



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**ANÁLISIS DE LA AFECTACIÓN TÉRMICA POR SOLDADURA
SMAW Y GMAW DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS
CARROCERÍAS DE AUTOBUSES.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentando para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

NELSON HUMBERTO GALLEGOS CADENA

JUAN CARLOS GUAYAULEMA CUDCO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ

**ANÁLISIS DE LA AFECTACIÓN TÉRMICA POR SOLDADURA
SMAW Y GMAW DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS
CARROCERÍAS DE AUTOBUSES.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentando para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JUAN CARLOS GUAYAULEMA CUDCO

NELSON HUMBERTO GALLEGOS CADENA

DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS QUINCHUELA PAUCAR

Riobamba – Ecuador

2023

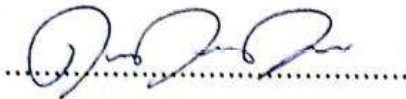
©2023, Juan Carlos Guayaulema Cudco & Nelson Humberto Gallegos Cadena

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Juan Carlos Guayaulema Cudco & Nelson Humberto Gallegos Cadena, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de mayo de 2023.



Juan Carlos Guayaulema Cudco

060499844-3



Nelson Humberto Gallegos Cadena

172521305-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DE LA AFECTACIÓN TÉRMICA POR SOLDADURA SMAW Y GMAW DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CARROCERÍAS DE AUTOBUSES**, realizado por los señores: **JUAN CARLOS GUAYAULEMA CUDCO** y **NELSON HUMBERTO GALLEGOS CADENA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-05-31
Ing. Juan Carlos Quinchuela Paucar DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-31
Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-05-31

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios, mis padres, y hermana. A Dios, porque siempre fue la luz que iluminó mi camino, a mis padres, que fueron y serán siempre un pilar de apoyo incondicional, sobre todo en los momentos difíciles, a mi hermana, porque fue mi alegría e inspiración para continuar en mi vida.

Carlos

Dedico este trabajo de investigación a Dios por darme la fuerza para lograr esta meta. A mis Padres y Hermano, por motivarme a seguir adelante y por todo el apoyo incondicional en este largo camino. Finalmente, a mis amigos y familiares que me brindaron el apoyo emocional necesario para continuar este camino.

Nelson

AGRADECIMIENTO

Tengo el honor de agradecer a Escuela Superior Politécnica De Chimborazo por acogerme e inculcarme conocimientos útiles y también en el ámbito profesional. A mi familia por su apoyo incondicional y finalmente a mis asesores de este trabajo de investigación.

Carlos

Tengo el honor de agradecer a Escuela Superior Politécnica De Chimborazo por acogerme e inculcarme conocimientos útiles y también en el ámbito profesional. A mi familia por creer en mí y por siempre alentarme a seguir mis sueños, a mis amigos por siempre estar ahí, incluso en los momentos más difíciles. Su amistad ha sido un regalo invaluable en mi vida

Nelson

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento de Problema.....	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	3
1.3. Problema general de investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.6. Justificación.....	5
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	5
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	6
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	6
1.7. Hipótesis.....	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de investigación.....	8
2.2. Referencias teóricas.....	9
2.2.1. <i>Cambio de la matriz productiva</i>	9
2.2.1.1. <i>Vehículos motorizados matriculados, periodo 2012-2022.</i>	10
2.2.1.2. <i>Causa de siniestros de tránsito</i>	10
2.2.1.3. <i>Empresas carroceras de buses en Ecuador</i>	11
2.2.2. <i>La Soldadura como unión metálica</i>	12
2.2.2.1. <i>Efectos adversos en la soldadura</i>	13

2.2.2.2.	<i>Tensiones Residuales</i>	14
2.2.2.3.	<i>Modificación de la estructura metalúrgica</i>	15
2.2.3.	<i>Clasificación de los procesos de soldadura</i>	16
2.2.3.1.	<i>Soldadura por arco eléctrico</i>	17
2.2.3.2.	<i>Tecnología general de la soldadura con arco</i>	18
2.2.3.3.	<i>Clasificación de electrodos según AWS</i>	19
2.2.3.4.	<i>Fuentes de potencia en la soldadura con arco</i>	21
2.2.4.	<i>Proceso de soldadura con electrodos consumibles</i>	23
2.2.4.1.	<i>Soldadura SMAW</i>	23
2.2.4.2.	<i>Los electrodos metálicos</i>	24
2.2.5.	<i>Soldadura MIG solido</i>	25
2.2.6.	<i>Propiedades del material</i>	27
2.2.6.1.	<i>Acero ASTM A36.</i>	27
2.2.6.2.	<i>Ventajas del acero ASTM A36</i>	28
2.2.6.3.	<i>Desventajas del acero ASTM A36</i>	29
2.2.7.	<i>Tubo cuadrado estructural ASTM A36</i>	30
2.2.7.1.	<i>Propiedades mecánicas</i>	31
2.2.7.2.	<i>Espesor de pared</i>	31
2.2.7.3.	<i>Cuadratura de los lados</i>	32
2.2.7.4.	<i>Composición química</i>	32
2.2.8.	<i>Estructural Galvanizada (ASTM A572Gr 50)</i>	32
2.2.8.1.	<i>Diferencias de aceros ASTM A-500 con el acero ASTM -A36</i>	34
2.2.9.	<i>Aceros HSLA</i>	34
2.2.10.	<i>Fundiciones</i>	35
2.2.11.	<i>Fases y microconstituyentes de las fundiciones</i>	37
2.2.12.	<i>Tipos de fundiciones</i>	38
2.2.12.1.	<i>Fundición blanca. Son duros, resistentes al desgaste, quebradizos y difíciles de mecanizar.</i>	38
2.2.12.2.	<i>Fundición gris.</i>	38
2.2.12.3.	<i>Fundiciones nodulares</i>	39
2.2.13.	<i>Método estándar para el tamaño de grano</i>	39
2.2.13.1.	<i>Procedimiento de Comparación</i>	40
2.2.13.2.	<i>Procedimiento Planimétrico</i>	41
2.2.13.3.	<i>Procedimiento de Intersección</i>	42
2.2.13.4.	<i>Reglas de conteo</i>	43
2.2.14.	<i>Tratamientos Térmicos</i>	43
2.2.14.1.	<i>Pre calentamiento / Temperatura entre pasadas</i>	46

2.2.14.2.	<i>Determinar la temperatura de precalentamiento adecuada</i>	48
2.2.15.	<i>Control de temperatura entre ranuras</i>	49
2.2.16.	<i>Post calentamiento (deshidrogenación) del material</i>	50
2.2.17.	<i>Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT)</i>	50
2.2.18.	<i>Análisis por elementos finitos</i>	53
2.2.18.1.	<i>Modelos de verificación dinámica</i>	55
2.2.18.2.	<i>Teorías de fallas</i>	56
2.2.19.	<i>Mallado</i>	57
2.2.20.	<i>Tipo de errores</i>	58
2.2.21.	<i>Simulación del modelo matemático</i>	59
2.2.22.	<i>Limitaciones de los elementos</i>	59
2.2.23.	<i>Análisis Térmico por el Método de Elementos Finitos</i>	59

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	63
3.1.	Enfoque de investigación	63
3.2.	Diseño de investigación	63
3.3.	Tipo de investigación	63
3.3.1.	<i>Descriptiva</i>	63
3.3.2.	<i>Cuantitativa</i>	64
3.3.3.	<i>Experimental</i>	64
3.4.	Población y Muestra	64
3.4.1.	<i>Población</i>	64
3.4.2.	<i>Muestra</i>	64
3.4.3.	<i>Unidad de análisis</i>	65
3.5.	Métodos y técnicas de la investigación	65
3.5.1.	<i>Instrumentos de investigación</i>	66
3.6.	Principales aceros y aleaciones	68
3.6.1.	<i>Acero ASTM A-500 galvanizado</i>	68
3.6.2.	<i>Probetas de acero ASTM A-500 galvanizado</i>	69
3.6.2.1.	<i>Placas de acero ASTM A-500 galvanizado</i>	69
3.6.2.2.	<i>Obtención de muestra de las placas de acero galvanizado</i>	70
3.6.2.3.	<i>Compactación de la baquelita con la muestra de acero galvanizado</i>	70
3.6.2.4.	<i>Desgaste de superficie de la muestra de acero galvanizado</i>	71
3.6.2.5.	<i>Forma de desgaste del acero galvanizado</i>	71
3.6.2.6.	<i>Limpieza de las muestras de acero galvanizado</i>	72

3.6.2.7.	<i>Zona de ataque Químico</i>	72
3.6.3.	Microestructura del acero	73
3.6.3.1.	<i>Placa de acero ASTM A-500 galvanizado en estado puro</i>	74
3.6.3.2.	<i>Placas de acero ASTM A-500 galvanizado soldadas por SMAW</i>	75
3.6.3.3.	<i>Obtención de Probetas</i>	76
3.6.3.4.	<i>Obtención de la Microestructura</i>	77
3.6.3.5.	<i>Placas de acero ASTM A-500 galvanizado soldadas por GMAW</i>	79
3.6.3.6.	<i>Obtención de probeta mediante la utilización de la fresadora</i>	80
3.6.3.7.	<i>Obtención de la Microestructura</i>	81
3.6.4.	Modelado bidimensional de elementos finitos	82
3.6.4.1.	<i>Modelado</i>	83
3.6.4.2.	<i>SolidWorks</i>	83
3.6.4.3.	<i>Croquis de las probetas acero ASTM A-500</i>	83
3.6.4.4.	<i>Selección del espesor del croquis</i>	84
3.6.4.5.	<i>Elección del material para la placa de acero</i>	84
3.6.4.6.	<i>Elaboración del cordón de soldadura en la placa de acero</i>	85
3.6.4.7.	<i>Importar archivo de las placas de acero</i>	85
3.6.5.	ANSYS	86
3.6.5.1.	<i>Selección del sistema de análisis</i>	87
3.6.5.2.	<i>Parámetros para considerar los materiales y especificaciones del material</i>	87
3.6.5.3.	<i>Selección del material de la placa ASTM A-500</i>	88
3.6.5.4.	<i>Parámetros de mallado</i>	88
3.6.5.5.	<i>Selección de la temperatura de trabajo en el lugar de estudio</i>	89
3.6.5.6.	<i>Determinar el tipo de transferencia de calor para la placa</i>	89

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	90
4.1.	Propiedades del acero ASTM A-500	90
4.1.1.	<i>Propiedades físicas del acero ASTM A-500</i>	90
4.1.2.	<i>Propiedades químicas del acero ASTM A-500</i>	90
4.2.	Resultados de las placas de acero ASTM A-500	90
4.2.1.	<i>Placa de acero ASTM A-500 en estado puro</i>	91
4.2.2.	<i>Placas de acero ASTM A-500 soldadas por SMAW</i>	91
4.2.3.	<i>Placas de acero ASTM A-500 soldadas por GMAW</i>	92
4.3.	Diferencias microestructurales del acero A-500	93
4.3.1.	<i>Placa de acero vs Placas de acero por SMAW</i>	93

4.3.2.	<i>Placa de acero estado puro vs Placa de acero por GMAW</i>	93
4.3.3.	<i>Placa de acero por SMAW puro vs Placa de acero por GMAW</i>	94
4.3.4.	<i>Diferencia microestructural proceso que no necesita tratamiento post soldadura vs proceso que necesita un tratamiento post soldadura</i>	94
4.4.	Resultados de la placa ASTM A-500 mediante elementos finitos	95
4.4.1.	<i>Análisis térmico de la placa ASTM A-500</i>	95
4.4.2.	<i>Análisis térmico del cordón de soldadura del ASTM A-500</i>	96
4.4.3.	<i>Análisis de la temperatura del ASTM A-500</i>	97
4.4.4.	<i>Análisis térmico transversal del acero ASTM A-500</i>	98
4.4.5.	<i>Deformación del acero ASTM A-500</i>	98
4.4.6.	<i>Análisis de Tensión de Von Mises</i>	99
4.4.7.	<i>Análisis del Factor de Seguridad</i>	100

CAPÍTULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	101
5.1.	Propuesta	101

CONCLUSIONES	102
---------------------------	-----

RECOMENDACIONES	104
------------------------------	-----

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Clasificación AWS.....	20
Tabla 2-2:	Factores de transferencia de calor para varios procesos de soldadura con arco	22
Tabla 2-3:	Propiedades del acero ASTM A-36.....	29
Tabla 2-4:	Composición química del acero A-36.....	30
Tabla 2-5:	Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos.....	31
Tabla 2-6:	Tolerancias en las dimensiones planas exteriores para tubería cuadrada y rectangular.....	31
Tabla 2-7:	Tubo de acero estructural con forma rectangular, norma de fabricación NTE INEN 2415; Calidad SAE J 403 100, lo puedes encontrar en espesores de 1,2 a 3mm y su largo estándar de 6 metros.....	32
Tabla 2-8:	Masa de zinc por unidad de superficie (dos caras) para tubería galvanizada por inmersión en caliente.....	32
Tabla 2-9:	Espesores mínimos de recubrimiento.....	33
Tabla 2-10:	Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A 500.....	33
Tabla 2-11:	Diferencias de Aceros ASTM A-500 con el acero ASTM A-36.....	34
Tabla 2-12:	Tipos de aceros.....	37
Tabla 2-13:	Factor de correlación.....	41
Tabla 2-14:	Valores equivalentes en función del carbono (CE).....	48
Tabla 2-15:	Deformación equivalente.....	57
Tabla 3-1:	Herramientas y máquinas utilizadas.....	66
Tabla 3-2:	Especificaciones del acero ASTM A-500 galvanizado.....	68
Tabla 3-3:	Características del microscopio NIKON Eclipse E200 LED.....	74
Tabla 3-4:	Parámetros de soldadura para SMAW.....	76
Tabla 3-5:	Características de la fresadora.....	76
Tabla 3-6:	Características para el proceso de soldadura por GMAW.....	79
Tabla 3-7:	Características de la maquina fresadora.....	80
Tabla 4-1:	Características físicas del acero ASTM A-500.....	90
Tabla 4-2:	Propiedades químicas del acero galvanizado.....	90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Número de vehículos motorizados matriculados	10
Ilustración 2-2:	Causas de los siniestros de tránsito, periodo 2022.	11
Ilustración 2-3:	Número de empresas carroceras en el territorio ecuatoriano	12
Ilustración 2-4:	Estructura granular y cristalina de superficie metálica.....	13
Ilustración 2-5:	Distribución típica de tensiones en una junta a tope	14
Ilustración 2-6:	Estructura de la soldadura en un acero	16
Ilustración 2-7:	Clasificación general de los procesos de soldadura	17
Ilustración 2-8:	Configuración básica y circuito de un proceso de soldadura con arco.....	18
Ilustración 2-9:	Soldadura de metal protegido.....	23
Ilustración 2-10:	Efecto de la polaridad y del tipo de corriente.....	24
Ilustración 2-11:	Soldadura MIG.....	26
Ilustración 2-12:	Equipos para soldadura MIG.....	27
Ilustración 2-13:	Tubo cuadrado estructural ASTM A500 y ASTM A572Gr 50.....	30
Ilustración 2-14:	Propiedades mecánicas deformación- tensión.....	35
Ilustración 2-15:	Diagrama estable Fe-Grafito.	36
Ilustración 2-16:	Porción del diagrama hierro-carbono correspondiente al acero	37
Ilustración 2-17:	Fundición blanca.	38
Ilustración 2-18:	Fundición Gris.....	38
Ilustración 2-19:	Fundiciones nodulares.....	39
Ilustración 2-20:	Clasificación de los métodos para determinación del tamaño de grano.....	39
Ilustración 2-21:	Ajuste de tamaño en el microscopio óptico.	40
Ilustración 2-22:	Tipos de microestructuras	41
Ilustración 2-23:	Procedimiento Planimétrico	42
Ilustración 2-24:	Procedimiento de Intersección	42
Ilustración 2-25:	Etapas de tratamiento.	43
Ilustración 2-26:	Clasificación de los tratamientos térmicos.....	44
Ilustración 2-27:	Configuración de las resistencias función tratamiento térmico a realizar. ...	45
Ilustración 2-28:	Formación de estructuras metalúrgicas menos frágiles y propensas a fisuración.....	46
Ilustración 2-29:	Susceptibilidad de formación de fisuras en frío.	50
Ilustración 2-30:	Influencia del tiempo y la temperatura en la reducción de tensiones residuales y durezas en la zona afectada por el calor.	52
Ilustración 2-31:	Procedimientos Metodológico del Método (MEF)	54
Ilustración 2-32:	Esquema geométrico del proceso de diseño.....	55

Ilustración 2-33:	Configuración prismática	56
Ilustración 2-34:	Generación de mallas.	57
Ilustración 2-35:	Diseño de un componente mediante optimización estructural.	58
Ilustración 2-36:	Correlacional entre dos modelos de uniones simples (a, b) y el equivalente modelo FEM, C.	59
Ilustración 2-37:	Análisis Térmico por el Método de Elementos Finitos.	61
Ilustración 2-38:	Método de Newton-Raphson con convergencia controlada por residuos de flujo de calor interno y/o aumento de temperatura.....	61
Ilustración 3-1:	Tubo cuadrado acero ASTM A-500 galvanizado.....	69
Ilustración 3-2:	Placa de 50x100 mm de acero ASTM A-500 galvanizado	69
Ilustración 3-3:	Cortadora de Disco.....	70
Ilustración 3-4:	Máquina de baquelita	70
Ilustración 3-5:	Acero galvanizado en la baquelita.....	71
Ilustración 3-6:	Tipos de papeles abrasivos para el desgaste del acero	71
Ilustración 3-7:	Desbastadora	72
Ilustración 3-8:	Alúmina y pulidora.....	72
Ilustración 3-9:	Ataque químico- Nital.....	73
Ilustración 3-10:	Limpieza de la baquelita luego del ataque químico	73
Ilustración 3-11:	NIKON Eclipse E200 LED	74
Ilustración 3-12:	Colocación de la baquelita en el microscopio.	75
Ilustración 3-13:	Microestructura del acero galvanizado original 5x	75
Ilustración 3-14:	Soldadura SMAW de placa de acero ASTM A-500 galvanizado	76
Ilustración 3-15:	Fresado de placa de acero ASTM A-500 galvanizado	77
Ilustración 3-16:	Baquelita cordón de soldadura SMAW acero ASTM A-500 galvanizado... ..	77
Ilustración 3-17:	Desbaste cordón de soldadura SMAW acero ASTM A-500.....	78
Ilustración 3-18:	Ataque Químico acero ASTM A-500 galvanizado	78
Ilustración 3-19:	Microestructura del acero ASTM A-500 después del proceso de soldadura SMAW 5x	79
Ilustración 3-20:	Soldadura GMAW de placa de acero ASTM A-500.....	80
Ilustración 3-21:	Fresado de placa de acero ASTM A-500	80
Ilustración 3-22:	Baquelita cordón de soldadura GMAW acero ASTM A-500	81
Ilustración 3-23:	Desbaste cordón de soldadura GMAW acero ASTM A-500	81
Ilustración 3-24:	Pulido cordón de soldadura GMAW de acero ASTM A-500.	82
Ilustración 3-25:	Microestructura del acero ASTM A-500 después del proceso de soldadura GMAW 5x.....	82
Ilustración 3-26:	Croquis de las planchas de acero ASTM A-500	83
Ilustración 3-27:	Selección del espesor para la probeta de acero	84

Ilustración 3-28:	Selección del material en las probetas.....	84
Ilustración 3-29:	Cordón de soldadura en las placas de acero galvanizado.....	85
Ilustración 3-30:	Guardar documento en formato STEP de las placas de acero galvanizado..	86
Ilustración 3-31:	Apertura del modelado en ANSYS	86
Ilustración 3-32:	Selección del sistema de análisis de las placas de acero ASTM A-500.....	87
Ilustración 3-33:	Parámetros de inicio de las placas de acero ASTM A-500	87
Ilustración 3-34:	Escoger el tipo de material y el comportamiento de rigidez	88
Ilustración 3-35:	Determinar el mallado para la placa ASTM A-500.....	88
Ilustración 3-36:	Selección de la temperatura de trabajo para la placa ASTM A-500	89
Ilustración 3-37:	Selección de la transferencia de calor para la placa ASTM A-500.....	89
Ilustración 4-1:	Microestructura del acero ASTM A-500 en estado base.....	91
Ilustración 4-2:	Microestructura del acero ASTM A-500 post soldadura SMAW	91
Ilustración 4-3:	Microestructura del acero ASTM A-500 post soldadura GMAW	92
Ilustración 4-4:	Placa de acero ASTM A-500 en estado puro vs Placas de acero ASTM A-500 soldadas por SMAW	93
Ilustración 4-5:	Placa de acero ASTM A-500 en estado puro vs Placas de acero ASTM A-500 soldadas por GMAW	93
Ilustración 4-6:	Placa de acero ASTM A-500 soldada por SMAW puro vs Placas de acero ASTM A-500 soldadas por GMAW.....	94
Ilustración 4-7:	Diferencias de microestructuras acero ASTM AISI 316L y ASTM A-500.	94
Ilustración 4-8:	Flujo de calor del acero ASTM A-500.....	95
Ilustración 4-9:	Análisis de flujo de calor del cordón de soldadura de la placa de acero ASTM A-500.....	96
Ilustración 4-10:	Análisis de la temperatura de la placa ASTM A-500.....	97
Ilustración 4-11:	Análisis térmico transversal de la junta a tope del acero ASTM A-500	98
Ilustración 4-12:	Análisis de la deformación de la placa ASTM A-500.....	98
Ilustración 4-13:	Análisis de tensión de la placa ASTM A-500	99
Ilustración 4-14:	Gráfica esfuerzo deformación del acero ASTM A-500	100
Ilustración 4-15:	Análisis del factor de seguridad del acero ASTM A-500.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PROCESO DE SOLDADURA
- ANEXO B:** OBTENCIÓN DE PROBETAS
- ANEXO C:** PROCESO ANALISIS MICROESTRUCTURAL
- ANEXO D:** MÁQUINA PARA REALIZAR LA MAQUELITA DE LA MUESTRA DEL ACERO
- ANEXO E:** MICROESTRUCTURA POR SOLDADURA GMAW
- ANEXO F:** MICROESTRUCTURA SOLDADURA POR SMAW
- ANEXO G:** RESULTADOS DE LA PROBETA DE ACERO ASTM A-500, DE TEMPERATURAS Y FLUJO DE CALOR
- ANEXO H:** RESULTADOS DE TEMPERATURA TRANSVERSAL, DEFORMACIÓN TOTAL DE LA PLACA DEL ACERO
- ANEXO I:** RESULTADOS DEL FACTOR DE SEGURIDAD Y VIDA DEL ACERO ASTM A-500

RESUMEN

En el Ecuador durante los últimos años se han presentado diversos accidentes de tránsito en lo que están involucrados los buses interprovinciales por numerosos factores que produjeron dichos accidentes que producen pérdidas humanas y afectaciones materiales. Por lo tanto, en esta investigación se buscó una forma de mejorar la calidad y la seguridad de los ocupantes al momento de ser trasladados de un lugar a otro, dando así el estudio de la microestructura del material durante el proceso de soldadura. En el estudio de la microestructura del acero ASTM A500 se procedió a determinar las técnicas que se debe seguir al momento de realizar la soldadura por lo que se ocupará dos procesos, la soldadura por arco con electrodo metálico revestido (SMAW) y la soldadura por arco metálico con gas (GMAW) que se desarrolló en esta investigación. Para un mejor análisis se determinó un lugar específico en la parte frontal del autobús, y al tomar en cuenta el tipo de unión de los materiales que se realizó en una junta a tope; para esto se procedió a realizar un análisis en las probetas, por lo que se va a extraer dos probetas aplicando los respectivos procesos mencionados anteriormente, y así determinar el comportamiento del material al momento de ser aplicado la soldadura. Mediante el estudio microestructural del acero ASTM A-500 aplicando los procesos de soldadura se determinó los diversos factores; por lo cual se analizó el material mediante la microestructura antes y después de realizar los procesos de soldadura, se comprobó que tanto influye la temperatura en el material y si es necesario ocupar un proceso térmico a dicho elemento. La investigación mejoró la calidad de soldadura en las diversas uniones de soldadura y poder garantizar una mejor seguridad ante un accidente.

Palabras clave: <AFECTACIÓN TÉRMICA> <SOLDADURA> <CARROCERÍA> <AUTOBUS> <MICROESTRUCTURA> <ACERO ASTM A-500>.

1373-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

In recent years, Ecuador has experienced various traffic accidents involving interprovincial buses, resulting in human casualties and material damage. Therefore, this research aimed to find a way to improve the quality and safety of passengers during their transportation from one place to another resulting on studying the material's microstructure during the welding process. During the microstructure of ASTM A500 steel the techniques which should be followed during welding were determined, specifically using shielded metal arc welding (SMAW) and gas metal arc welding (GMAW). A specific area on the front of the bus was selected for a better analysis, considering the type of joint used in a butt joint. Two test specimens were extracted and subjected to the abovementioned welding to evaluate the material's behavior. Various factors were determined by studying the microstructure of ASTM A500 steel and applying welding processes for this reason, the material was analyzed before and after welding to assess the influence of temperature and the need for thermal processes. The research improved the welding quality of different joints and aimed to ensure better safety in the event of an accident.

Keywords: <THERMAL EFFECT> <WELDING> <BODYWORK> <BUS>
<MICROSTRUCTURE> <ASTM A-500 STEEL>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz en el Ecuador es muy amplia, en todo el territorio ecuatoriano existe una variedad de empresas dedicadas al diseño y fabricación de carrocerías de autobuses, que permiten a las personas movilizarse de un lugar a otro con las diferentes comodidades posibles que puedan ofrecer.

En las últimas estadísticas ha existido una gran cantidad de accidentes viales con un 29% son de choques laterales en el país, mediante la Agencia Nacional de Tránsito de Ecuador indica que el 7% autobuses están involucrados en accidentes de tránsito. Por este motivo la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) ha tomado acciones frente a los accidentes de tránsito respecto a las normas INEN-043 a la configuración del diseño y fabricación de las carrocerías de los autobuses con ello poder salvaguardar la integridad de las personas que necesiten de los servicios de transporte interprovincial.

Mediante el estudio se pretende analizar el proceso de fabricación de las carrocerías de los autobuses, al momento de realizar la unión de los diferentes aceros ASTM A 500 (ASTM A572Gr 50) galvanizado que conforma una estructura debe pasar primeramente por soldadura la soldadura por arco con electrodo metálico revestido (SMAW) y la soldadura por arco metálico con gas (GMAW) durante este proceso existe diversos factores como la afectación térmica, humedad, grasa, suciedad, etc., dando así un cordón de soldadura defectuosa provocando una unión de los aceros ASTM A500 (ASTM A572Gr 50) galvanizado sean incorrectas que no garantiza la seguridad, por lo que se busca es determinar el comportamiento del material antes y después del proceso de la soldadura mediante su estructura cristalina para analizar si el cambio aumenta o disminuye sus propiedades mecánica y físicas con eso poder garantizar un acabado adecuado durante el proceso de soldadura.

Los cálculos se realizan en una cuadrícula de puntos (llamados nodos), que a su vez actúan como base personalizada del dominio en el elemento finito. La creación de la cuadrícula está completa. generalmente con programas especiales llamados generadores de malla, en una etapa anterior el cálculo se llama preprocesamiento. Según estas relaciones de adyacencia o la conectividad implica el valor de un conjunto de variables desconocidas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de unas variables entre nodos se puede escribir como un sistema de ecuaciones lineales (o linealización). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se denomina matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones en tal sistema es proporcional al número de nodo

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento de Problema

En la República del Ecuador, los buses son el medio de transporte más utilizado para trasladarse tanto en zonas urbanas como rurales, ya sea de provincia o dentro de la ciudad. Su capacidad y comodidad son diferentes al campo en el que se va destinada su utilización.

Actualmente en el país se cuenta con una industria automotriz muy amplia, dedicada al diseño y fabricación de carrocerías para autobuses, teniendo la mayor concentración de empresas en la provincia de Tungurahua, para realizar los distintos procesos de unión de la estructura, la soldadura SMAW y GMAW son las que principalmente se utiliza para realizar estos trabajos, los dos procesos presentan una serie de ventajas así como también de desventajas entre ellas podemos destacar que el proceso SMAW depende en su mayoría de la habilidad del soldador además que sus ciclos de trabajo son muy cortos ya que estas pueden trabajar generalmente a un 60% si se sobrepasa este tiempo la máquina podría llegar a sobrecalentarse.

Para la construcción de la estructura de la carrocería se utiliza un acero ASTM A-500 galvanizado con el objetivo de evitar impurezas al momento de soldar las cuales pueden llegar a comprometer la calidad y resistencia de la estructura, además es de vital importancia conocer el electrodo adecuado para este tipo de soldadura ya que este cuenta con un metal de aporte que brinda las características mecánicas y de tracción que el acero va a necesitar para brindar seguridad y estabilidad en la estructura.

En el proceso de soldadura interviene una serie de contaminantes atmosféricos que afectan a la calidad de esta, además la aplicación térmica en el metal base puede llegar a afectar de distintas formas a este proceso, por lo cual es necesario un estudio microestructural de las consecuencias de esta afectación, la microestructura de una soldadura es muy importante ya que el tamaño de grano y el espacio que existe entre ellos es vital para determinar las capacidades mecánicas de la soldadura, la zona ZAC que es la zona afectada por el calor es aquella que va a cambiar su estructura debido a la afectación térmica.

En el país las normas INEN son las encargadas estandarizar los métodos de fabricación de carrocerías estos cambios se los hace de manera periódica cada dos años para garantizar la calidad de las estructuras, la normativa ecuatoriana exige trabajar con las normas internacionales más

importantes como es la AWS para realizar la soldadura de la estructura por lo que se realiza una serie de pruebas en las piezas soldadas pero el análisis microestructural de la afectación térmica no es tomado en cuenta.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

Mediante la indagación de las empresas de carrocerías de buses en Ecuador se enfoca principalmente en la ciudad de Riobamba, en la empresa Megabuss en la cual se desempeña en el desarrollo de dichas carrocerías.

Para la afectación térmica en las carrocerías se realizará el estudio como principal foco de investigación las juntas que se encuentran en la parte frontal del autobús ya que esta es una de las que se ve afectada de manera concurrente cuando se produce un accidente de tránsito por lo que es de vital importancia que esta estructura cumpla con los requerimientos de resistencia establecidos, para lograr esto se puede realizar una serie de ensayos en probetas.

En la parte frontal se encuentra juntas en T, así como juntas a tope además las cuales se realizan con soldadura SMAW o GMAW dependiendo cual sea el proceso adecuado y las especificaciones que dicta la norma, para el siguiente ensayo se va a realizar probetas para juntas a tope con los dos procesos de soldadura anteriormente mencionados.

El equipo que utilizó para dicha investigación se realizará mediante una cierta limitación de calibración para la observación de microestructuras en el material, y la variedad de dicho equipo para tener una mejor comparación de muestras.

Se pueden realizar ensayos no destructivos, así como también realizar pruebas mecánicas, los cuales permiten determinar los distintos defectos que se presentan en cada etapa del proceso, debido a que el análisis de la deformación térmica es un ensayo el cual no se lo realiza de manera frecuente, pero nos aporta una serie de datos importantes de la estructura y microestructura de la soldadura la presente investigación se centrara en dicho estudio.

1.3. Problema general de investigación

La afectación térmica de la soldadura SMAW y GMAW en el proceso de construcción de las estructuras de la carrocería es un punto el cual las empresas dedicadas a esta área ignoran por completo, ya que realizan una serie de pruebas las cuales permiten conocer la resistencia de la unión o permiten conocer las características mecánicas de la unión soldada

El análisis de la afectación térmica permite conocer la microestructura de la soldadura y con esto podemos conocer cuál es el grado de calidad de esta ya que permite conocer si la soldadura sufrió efectos negativos producidos por el ambiente en el que se realiza este trabajo.

¿Cuál es la deformación de una junta a tope después del proceso de soldadura GMAW y SMAW en la carrocería de un autobús interprovincial y sus cambios microestructurales y en que afecta al material?

1.4. Problemas específicos de investigación

El estudio de la afectación térmica de la soldadura depende de una serie de factores a tomar en cuenta, cada material a soldar presenta características diferentes las cuales van a intervenir en los resultados deseados, por lo que para este estudio es de vital importancia tener el conocimiento necesario de los materiales utilizados, métodos de soldadura que se aplica además de las normativas utilizadas.

- ¿Cuáles son los principales aceros y aleaciones utilizadas para la fabricación de carrocerías?
- ¿Qué afectaciones se presentan en las juntas de soldadura?
- ¿Cuál es el grado de deformación del material después del proceso de soldadura?
- ¿Cuál es la microestructura de los aceros no aleados después del proceso de soldadura?
- ¿Como se presenta la microestructura del material después de proceso de soldadura?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Examinar la deformación del elemento causada por la temperatura en una junta tipo tope de una carrocería y evidenciar los cambios microestructurales y como estos afectan a la resistencia del material de un autobús mediante la realización de un diseño experimental que ayudara a predecir la deformación final y así poder evitar operaciones adicionales dentro del proceso de manufactura.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar los principales aceros y aleaciones utilizadas en el proceso de fabricación de carrocerías
- Elaborar probetas de acero no aleado para el estudio de las distintas afectaciones térmicas que se pueden observar en las juntas.

- Analizar la microestructura de los aceros no aleados después del proceso de soldadura
- Realizar un modelado bidimensional de elementos finitos para la simulación del proceso de soldadura en las juntas.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

La soldadura es un método el cual nos permite unir los bordes de una pieza hasta el punto de fusión esto lo logra con un metal de aporte o sin la ayuda de este, lo más importante del proceso de soldadura son los efectos indeseables que se encuentra luego de que la pieza paso por el proceso de soldadura.

La soldadura SMAW y GMAW son procesos conocidos como soldadura por arco eléctrico, son procesos similares, pero a la vez diferentes, mientras la soldadura SMAW es un proceso completamente manual, la soldadura GMAW permite un proceso casi automático, debido a que el primer proceso nombrado se lo realiza con electrodos revestidos los cuales son consumibles y es necesario el cambio continuo de estos, mientras que el segundo proceso cuenta con un alambre solido el cual se va añadiendo de manera continua dependiendo de los parámetros especificados. Uno de los puntos más importantes al momento de realizar el análisis de los efectos del proceso de la soldadura es la microestructura y las propiedades del material, la estructura cristalina se define como la forma en la cual los átomos, moléculas, o iones se llegan a agrupar de manera ordenada y además con características que se van a extender en las tres dimensiones del espacio. La microestructura del material y su estudio es importante ya que este nos permite determinar las distintas características y sobre todo la calidad de las uniones soldadas permitiendo observar la posible existencia de grietas.

La aplicación de Softwares de simulación permite un estudio más completo obteniendo así resultados más precisos los cuales podemos llegar a comparar con los obtenidos con la experimentación práctica, cabe recalcar que al encontrarse en un sistema ideal la simulación del cordón de soldadura nos va a presentar valores algo alejados a los reales, pero nos va a permitir tener una mejor apreciación de datos ideales.

1.6.2. Justificación metodológica

Mediante la guía de investigaciones relacionadas a la soldadura aplicada en el campo automotriz se pretende profundizar en los cambios microestructurales del material y su resistencia después de la soldadura SMAW- GMAW en las carrocerías de autobuses.

Para realizar la investigación de la afectación térmica se procederá como principal punto la fabricación de probetas en acero ASTM A-500 con lo que se determinara las diferencias entre los dos materiales y definir cuál es el más óptimo, en este proceso el corte del acero se realizara en frío ya que si se lo realiza en caliente la probeta presentara deformaciones térmicas que van a afectar al estudio a realizar.

Se plantea contar con probetas tanto para soldadura SMAW como para soldadura GMAW, en este punto se tomará en cuenta voltajes, posición de soldadura, ángulo del electrodo para obtener datos de las distintas situaciones que se presenta dentro de la construcción de la carrocería.

El estudio de la microestructura se realizará con la ayuda de un microscopio el cual nos va a permitir ver de forma detallada las distintas características del material tanto antes como después del proceso de soldadura.

1.6.3. Justificación práctica

La normativa ecuatoriana para la fabricación de carrocerías de autobuses exige una serie de requisitos los cuales permitan asegurar el confort y bienestar de los ocupantes, a pesar de estas exigencias los estudios sobre la afectación térmica nos son muy tomados en cuenta, aunque la unión de los materiales es de vital importancia al momento de fabricar las carrocerías.

El transporte interprovincial de pasajeros es el medio más común de movilización, por lo cual es necesario que las carrocerías estén homologadas, como punto principal para la resistencia de la estructura es necesario analizar la calidad de la soldadura además que los procesos realizados deben ser los óptimos con el personal adecuado.

Las condiciones atmosféricas que se presentan en el lugar de fabricación de las estructuras son de vital importancia para evitar efectos indeseados en el proceso de soldadura, estos efectos como principal afectación presentan las pérdidas de resistencia, así como soldaduras defectuosas, por lo que es necesario un análisis microestructural que permita determinar si las condiciones en las que se realiza este trabajo permiten que la soldadura sea eficiente.

El estudio de la afectación térmica permite conocer y mejorar los procesos de soldadura en las distintas estructuras brindando así mejores resultados y asegurando el estricto cumplimiento de las características mecánicas de la estructura.

1.7. Hipótesis

¿Cuál es el cambio microestructural de la junta a tope después de los procesos de soldadura en carrocerías de un bus interprovincial?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Se ha reseñado, artículos científicos, libros, revistas localizando temas similares, sin embargo, existen trabajos similares a nuestra investigación, como lo siguiente:

En el análisis del último estudio dedicado al aumento de la resistencia de las estructuras soldadas sobre la fusión del baño de soldadura, se estableció un conocimiento inadecuado del efecto sobre la formación del metal de soldadura por oscilaciones. Con base en los resultados de la investigación sobre la influencia de la vibración mecánica armónica horizontal del baño de soldadura, en la formación del tamaño del cristal y los componentes estructurales de la microestructura de la soldadura metal obtenido por Gas Metal Arc Welding (GMAW) mediante la alimentación de un hilo calefactor de baja aleación sobre la base de una estructura de acero de medio carbono. El análisis del tamaño del cristal se obtiene a partir de las curvas del grado de dependencia del tamaño del cristal de los parámetros de vibración y los parámetros del modo tecnológico.

La influencia de las características de frecuencia de amplitud en la formación de componentes estructurales de la microestructura del metal de soldadura contribuye al aumento del valor de dureza del metal de soldadura, así como la influencia del valor del tamaño de cristalización en la dureza del metal fundido. La importancia de este trabajo radica en la tendencia del conformado a conseguir la máxima eficiencia de la microestructura soldada con el mínimo de material y energía, así como la sencillez de construcción e instalación para el mecanizado de la superficie. (Askeland Donald 2010, p.220)

Después de encontrar la combinación correcta de parámetros en la soldadura, se cambiaron los parámetros correspondientes al movimiento del arco desde el punto de inicio hasta la fase constante. Cambiar la corriente significa cambiar la velocidad de alimentación del alambre, por lo que hay una clara diferencia en el volumen del alambre fundido en la región de iniciación del arco y en la región de fase constante sin cambios apreciables en la configuración de la protuberancia. La variación de voltaje da como resultado una diferencia de tono mínima, pero el abultamiento de la bota sigue siendo el mismo. La configuración más efectiva para lograr una altura y un ancho uniformes es la velocidad de desplazamiento. La corriente y el voltaje se mantienen constantes y la velocidad de viaje se reduce gradualmente para lograr la misma altitud

en la región de inicio del arco que en la zona estable, se muestra un ejemplo de tales parámetros establecidos. De esta manera, la entrada de calor se minimiza en el punto de partida, aumentando gradualmente a medida que se alcanza un nivel estable constante.

La soldadura se usa comúnmente para unir metales y aleaciones de manera rentable en varias industrias, se realizaron pruebas de tracción y análisis microestructural. El objetivo principal es generar la soldabilidad de la aleación, hubo tratamiento térmico previo y posterior a la soldadura en el material. En el trabajo existente se evidenció la utilización de los procesos la soldadura por arco con electrodo metálico revestido (SMAW) y la soldadura por arco metálico con gas (GMAW). La selección de los electrodos y la preparación de la muestra de soldadura. Hay 3 tipos de electrodos, como electrodos E7018, E9018 y ER70S-6 para soldar muestras y que se logra la comparación entre ellos. El trabajo concluyó en el logro de las propiedades de tracción, propiedad microestructural para diferentes tipos de soldadura y diferentes tipos de electrodos en la muestra de placa y es apropiado para todas las industrias.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Cambio de la matriz productiva*

El cambio de matriz productiva tiene como objetivo cambiar el modelo productivo basado en la manufactura y cumplir con estándares de calidad que mejoren el producto final. Esto ayudará a lograr el desarrollo sostenible del país y hacer que los productos sean más aceptables en el mercado ecuatoriano. (Fernández et al. 2017, p.5).

Los factores del cambio en la matriz productiva, como el sector privado y el sector público, utilizarán ejes de transformación para superar el patrón actual de especialización de los exportadores primarios y transformar la matriz productiva actual en un patrón diferente enfocado a la diversificación, la creación de un valor agregado y sustitución de importaciones.

En la actualidad en el país existen alrededor de 100 fabricantes de carrocerías, de los cuales la mayor parte con 60% se encuentra en la provincia de Tungurahua. Las demás se localizan en Pichincha, Guayas, Chimborazo, Manabí, Imbabura, Azuay, Cotopaxi. Dando así una producción en Tungurahua con un 66% de la producción total.

El sector carrocerero ecuatoriano tiene como desafío permanente, cumplir con las normas vigentes en el país. Por lo cual 54 empresas, dedicadas en la construcción de buses urbanos, escolares, interprovinciales, fueron homologados hasta junio del 2015, según la Cámara Nacional de

Fabricantes de Carrocerías (Canfac), y la Agencia Nacional de Transito (ANT). (Javier, Terán 2016, p.35).

2.2.1.1. Vehículos motorizados matriculados, periodo 2012-2022.

El parque automotor se incrementó en 977.695 vehículos en el periodo 2012-2022, hasta alcanzar la cifra de 2.535.853, un crecimiento anual de 5,6%. (INEC 2022, p.6)

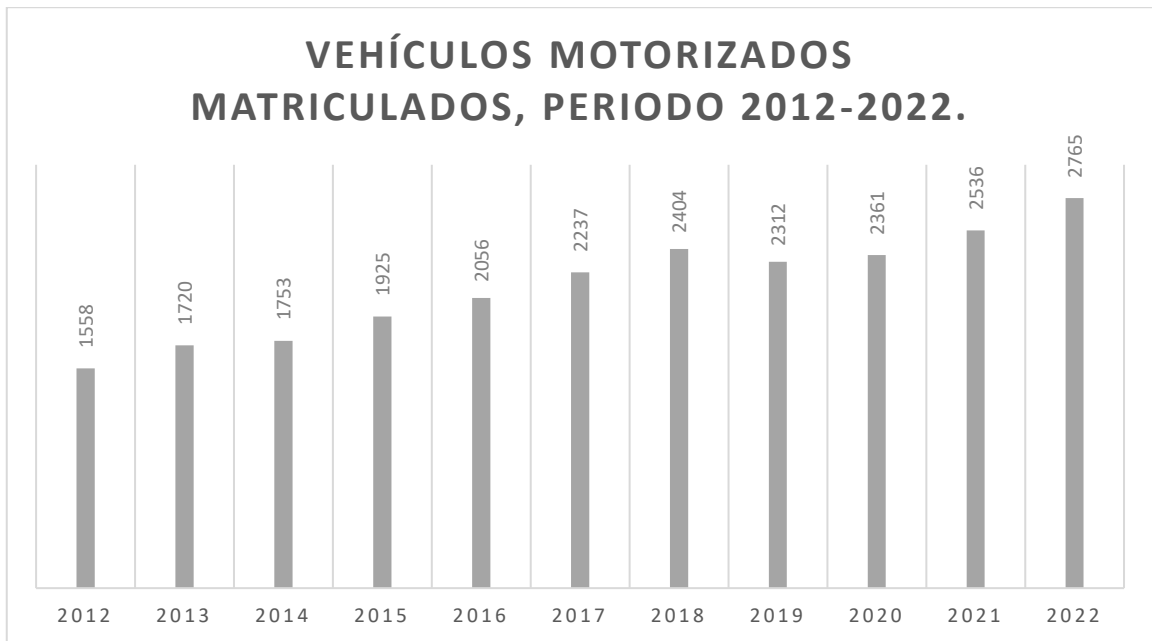


Ilustración 2-1: Número de vehículos motorizados matriculados

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2022.

2.2.1.2. Causa de siniestros de tránsito

La negligencia y el descuido del conductor son las principales causas de siniestralidad, con un total de 9.281 accidentes, que representan el 3,5%. Desde entonces, ha habido 76 casos de fallas en las señales de tránsito, lo que ha resultado en un total de 21 % de accidentes de tránsito en todo el país (INEC 2022, p.9).

CAUSAS DE SINIESTROS DE TRÁNSITO.

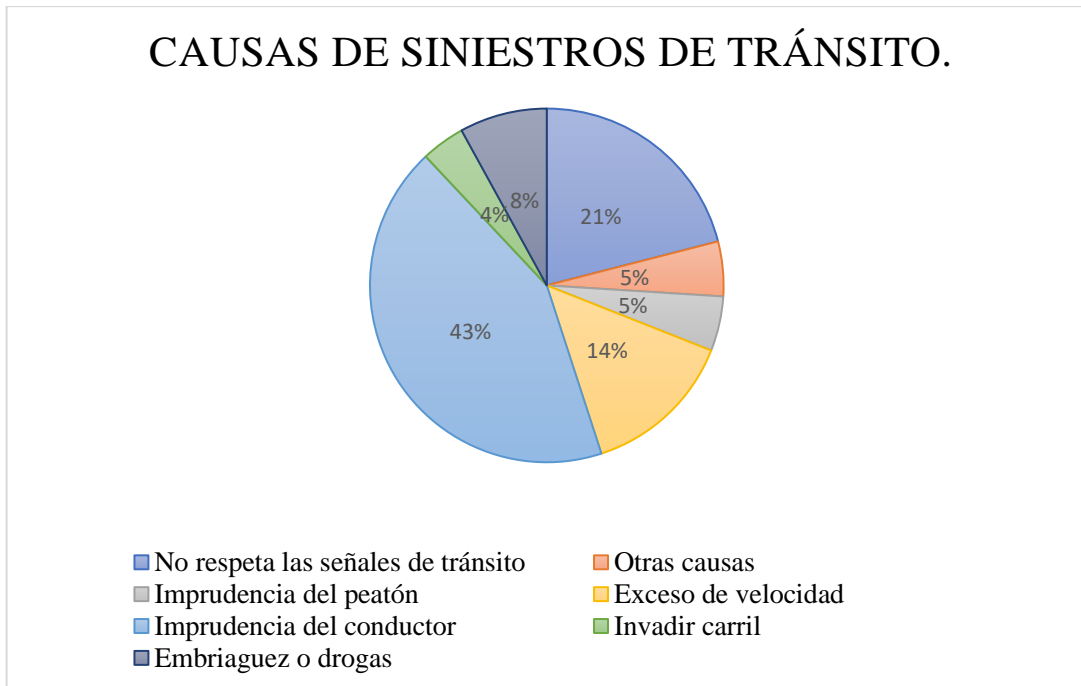


Ilustración 2-2: Causas de los siniestros de tránsito, periodo 2022.

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2022.

2.2.1.3. Empresas carroceras de buses en Ecuador

En el país se cuenta con un total de 72 empresas carroceras a nivel nación donde podemos observar que el 50% de ellas se encuentran en el centro de país específicamente en las ciudades de Ambato y Riobamba, esta área laboral del país se encuentra actualmente estancada debido a la pandemia del COVID-19 y también por la fuerte crisis económica que atraviesa el país provocando la fuga de mano de obra calificada al exterior. Por ende, es necesario el estudio de la microestructura de la soldadura para poder verificar que el proceso de fabricación de las carrocerías sea óptimo y brinde las seguridades necesarias para el usuario de estos servicios. (Acuña 2023, p.2).

EMPRESAS CARROCERAS EN EL ECUADOR

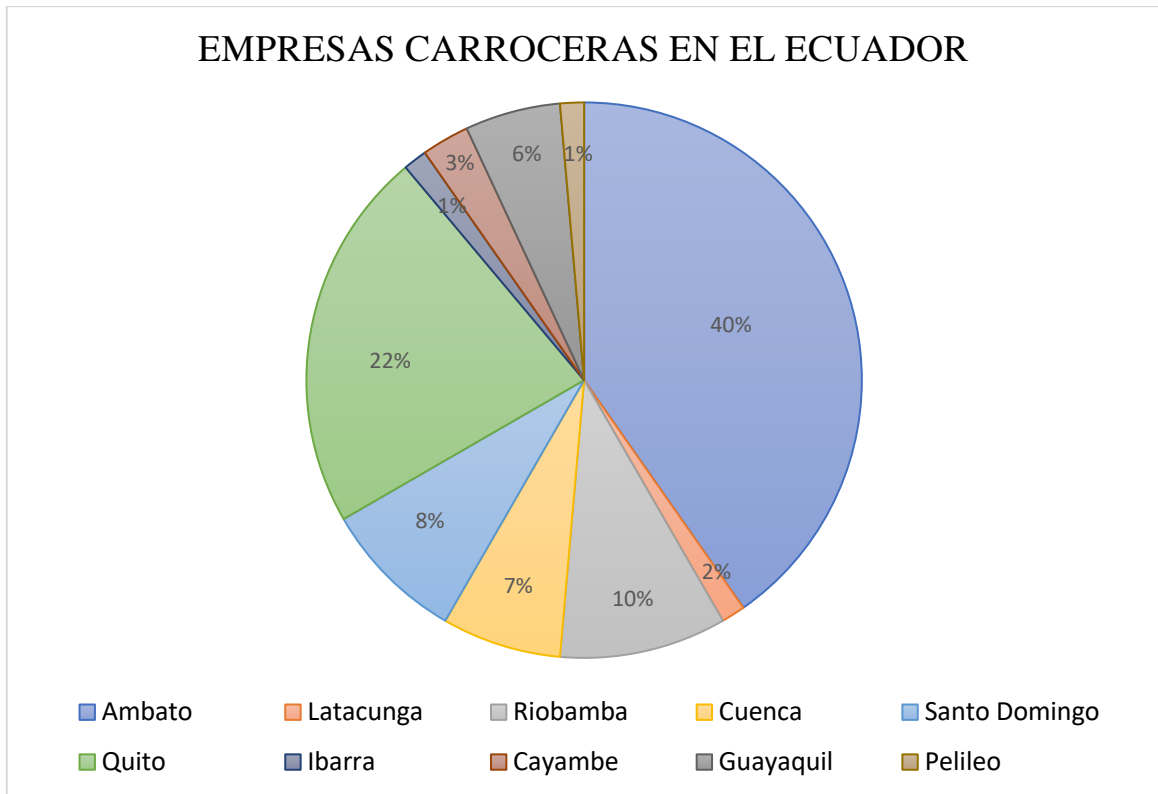


Ilustración 2-3: Número de empresas carroceras en el territorio ecuatoriano

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2022.

2.2.2. *La Soldadura como unión metálica*

Para poder comprender el proceso de soldadura, es fundamental conocer y analizar los distintos fenómenos que van a intervenir cuando se presenta el contacto entre dos superficies sólidas. Por esta razón se debe recordar que los metales están constituidos por granos y cada uno de estos granos están conformados por una serie de átomos y esto da origen a una red cristalina. (EXSA SA. 2012, p.12).

Los granos tienen un tamaño medio que es variable el uno de otro, además de estar separados por una zona conocida como límite de grano, la cual es de vital importancia para poder determinar cuáles son las propiedades mecánicas de los distintos metales. (EXSA SA. 2012, p.13).

Si se toma en cuenta un átomo dentro de un grano cualquiera al identificar que este también se encuentra unido a otros átomos mediante fuerzas de enlaces, sin embargo, se puede notar que los átomos que se encuentran de manera libre son incapaces de complementar sus enlaces, si ubicamos adecuadamente dos superficies en contacto, se establecerán dichos enlaces y se tendrá una superficie que formará un equivalente al límite de grano. Los procesos de soldadura se originan en base a lograr reproducir de manera controlada estos fenómenos. (EXSA SA. 2012, p.14).

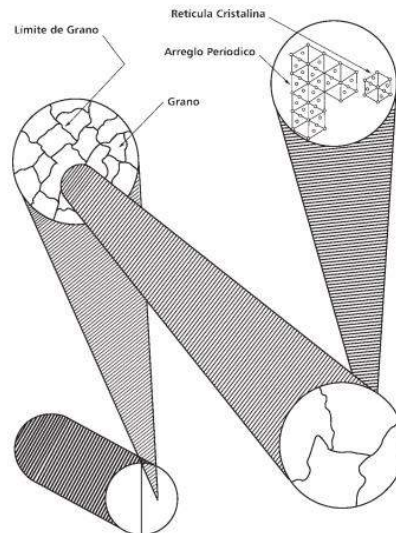


Ilustración 2-4: Estructura granular y cristalina de superficie metálica

Fuente: (EXSA SA. 2012)

2.2.2.1. Efectos adversos en la soldadura

Debido al calentamiento localizado y el enfriamiento de la pieza tenemos en este proceso la producción de una serie de efectos no deseados.

En el proceso de soldadura tenemos velocidades tanto de enfriamiento como de calentamiento extremadamente elevadas, siendo esta una velocidad máxima de 300 °C/seg a 100°C (EXSA SA. 2012, p.37).

Para poder determinar la velocidad teórica con la que se va a lograr el enfriamiento en el centro del cordón contamos con la siguiente ecuación:

$$V_e = \frac{2pK(T_c - T_o)^2}{H_{input}}$$

Donde:

Ve: Velocidad de enfriamiento

K: Conductividad térmica (Joule/m seg °C)

To: Temperatura inicial del metal base

Tc: Temperatura calculada para la velocidad de enfriamiento

Hinput: Calor Aportado (J/mm)

Los efectos no deseados en el proceso de soldadura son esencialmente tres:

- Generación de tensiones residuales
- Modificación de la estructura metalográfica
- Absorción de gases por el metal

2.2.2.2. Tensiones Residuales

Al aplicar un proceso térmico podemos observar que la gran mayoría de los metales tienden a dilatarse, en el proceso de soldadura podemos observar que el calentamiento del metal es localizado, pero debido a que en este proceso la temperatura no es uniforme la dilatación se va a producir en distintas zonas de la pieza en un mismo instante por lo que se producirán tensiones térmicas (EXSA SA. 2012, p.25)

Por lo general en los cordones de soldadura las tensiones térmicas alcanzan el límite de fluencia, produciéndose una deformación plástica localizada después de que la pieza se enfríe va a producir tensiones residuales y/o distorsión.

En la soldadura de dos chapas planas se puede observar que existen tensiones residuales ya sea transversal, así como también longitudinales al cordón de soldadura, en la soldadura de dos chapas se puede visualizar la existencia de tensiones longitudinales las cuales son de tracción en el cordón de soldadura y estas siendo equilibradas por tensiones de compresión en el metal base (EXSA SA. 2012, p.32)

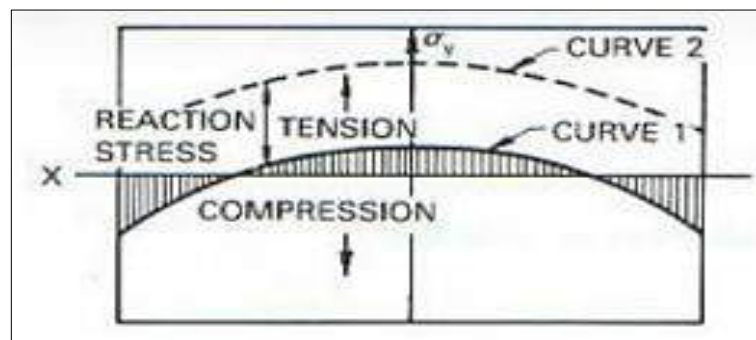


Ilustración 2-5: Distribución típica de tensiones en una junta a tope

Fuente: (EXSA SA. 2012)

Las tensiones residuales en el proceso de soldadura pueden llegar a incidir en algún tipo de falla del material, pero no necesariamente producen afectaciones graves.

Podemos clasificar los efectos de las tensiones residuales en el modo de falla de la siguiente manera:

- **Fluencia y colapso plástico**

El resultado de las tensiones residuales es despreciable cuando las estructuras son soldadas en tensiones superiores a la fluencia.

- **Fractura**

Cuando el nivel de las tensiones que se aplican va aumentando, podemos observar que los efectos de las tensiones residuales van a disminuir. En situaciones de donde encontramos baja tenacidad son perjudiciales en la soldadura

- **Fatiga**

Cuando se encuentra tensiones residuales de tracción se puede observar que la resistencia a la fatiga de las estructuras va a disminuir debido a que se va a elevar la tensión media además de la relación que hay entre la tensión mínima y máxima.

Este problema tiene un efecto negativo en evitar el cierre de fisuras

- **Corrosión bajo Tensión**

Se puede llegar a presentar corrosión bajo tensión debido a las tensiones residuales de tracción

- **Pandeo**

La presencia de tensiones residuales produce que se disminuya de manera muy significativa la resistencia al pandeo de las estructuras

- **Fisuración de Soldadura**

Existen diferentes tipos de fisuración que se van a ver afectadas por las tensiones residuales, como por ejemplo fisuración en caliente durante la solidificación, fisuración por hidrógeno en zonas duras del ZAC, desgarre laminar, fisuración por recalentamiento

- **Distorsión**

Las tensiones residuales por más pequeñas que sean van a producir distorsiones importantes luego del mecanizado cuando tenemos estructuras esbeltas. (Groover 2007, p.107)

2.2.2.3. Modificación de la estructura metalúrgica

Actualmente la mayoría de los aceros modernos pasan por varios procesos termo mecánicos los cuales van a brindar las propiedades mecánicas creando una microestructura óptima para soportar las distintas exigencias

En estas estructuras al momento de realizar la soldadura se forman dos zonas las cuales quedan completamente definidas

- Metal fundido con o sin el aporte de un metal
- Zona ZAC (zona afectada por el calor)

Estas zonas ya no van a tener la estructura óptima original con la que contaba el acero en un principio por lo que este cambio se considera un efecto no deseado de la soldadura.

Existen dos modos en los que se puede controlar parcialmente estos efectos no deseados

- Modificación del ciclo térmico de la soldadura
- Realizando un tratamiento térmico post soldadura

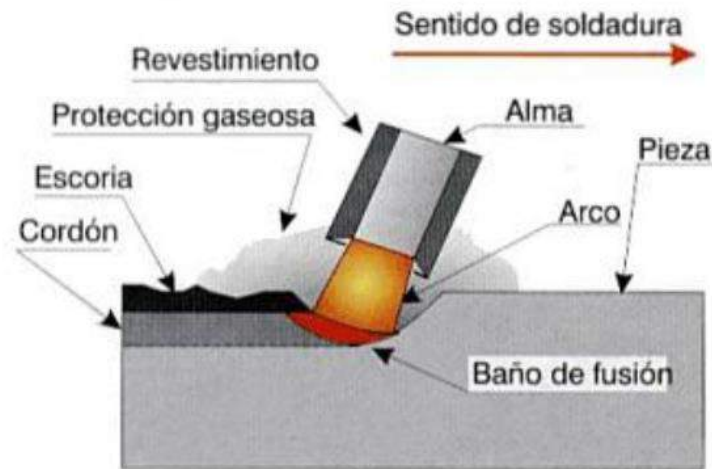


Ilustración 2-6: Estructura de la soldadura en un acero

Fuente: (Groveer. 2007)

2.2.3. Clasificación de los procesos de soldadura

Uno de los métodos que permite la unión de superficies metálicas para lograr la soldadura, es someter a las piezas a una presión recíproca. Si la presión aplicada es adecuada se va a lograr superar las capas de óxido y humedad entre las superficies, así deformándolas y permitiendo el contacto necesario para lograr la unión de las piezas. Así se consigue la soldadura por presión. (EXSA SA. 2012, p.12).

En este proceso se puede presentar la aportación de energía térmica o no dependiendo cual sea el caso, lo que se debe tener presente es que esta temperatura a usar debe mantenerse por debajo del punto de fusión del material, el objetivo de aplicar energía térmica en el proceso de soldadura es principalmente reducir la tensión de fluencia, así como también disociar óxidos y humedad de los materiales a soldar (EXSA SA. 2012, p.13).

Otro de los métodos de soldadura aplicable es cuando se emplea energía térmica para así fundir un área local de los metales a unir, así permitiendo eliminar las capas antes mencionadas y lograr tener el contacto de las piezas por fusión y solidificación de estos metales que se encuentran en contacto. Este método por lo normal se lo conoce como Soldadura por Fusión. (Méndez 2007, p.37)

Existe una gran cantidad de posibles aplicaciones en cuanto a los procesos de soldadura, esta aplicación siempre va a depender principalmente del material a soldar, de su espesor y sobre todo de los requisitos que debe cumplir el cordón de soldadura, la existencia de múltiples métodos para la ejecución del cordón de soldadura y las aplicaciones que se puede llegar a dar, ha llevado a

determinar una serie de procesos en esta técnica, para seleccionar el proceso más óptimo a ejecutar es determinado por el conocimiento de la forma de realizar la ejecución y sus peculiaridades

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

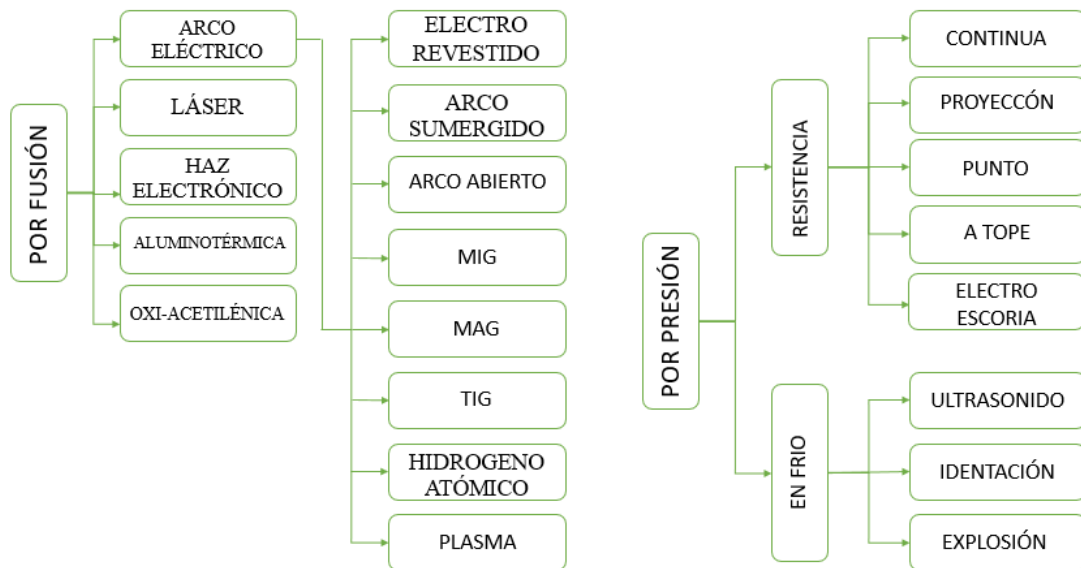


Ilustración 2-7: Clasificación general de los procesos de soldadura

Fuente: (EXSA SA. 2012)

2.2.3.1. Soldadura por arco eléctrico

Es un proceso de soldadura el cual se basa en la fusión en el que la unión de dos metales se la obtiene por medio de calor que es producido por un arco eléctrico el cual se forma entre un electrodo y el trabajo. El arco eléctrico se produce mediante la descarga de corriente eléctrica en la separación que se forma en el circuito, este se mantiene debido a que existe una columna de plasma por la cual va a fluir la corriente eléctrica (EXSA SA. 2012, p.14).

Para poder iniciar el arco en el proceso de soldadura se inicia acercando el electrodo hacia la pieza en la que se va a realizar el trabajo, para después de realizar el contacto entre la pieza y el electrodo proceder a retirarlo de manera inmediata una corta distancia de la pieza, la energía eléctrica del arco produce temperaturas de 5 500 °C o pueden llegar a ser mayores las cuales son suficientes para fundir la pieza sin importar cual sea el metal

En la mayoría de los procesos realizados con arco eléctrico se añade un metal de aporte el cual se encarga de aumentar el volumen, además fortalece la unión soldada en cuanto se avanza el cordón a lo largo de la unión y el pozo que se forma con el metal fundido se solidifica de manera inmediata (EXSA SA. 2012, p.15).

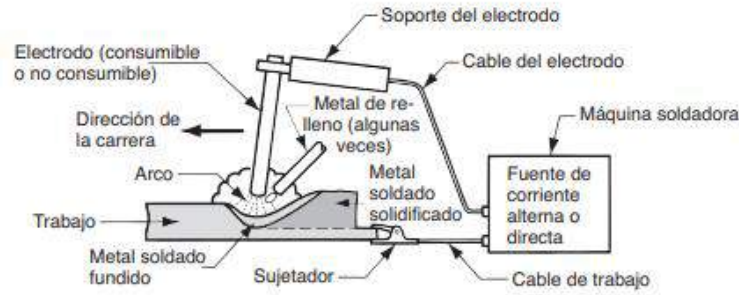


Ilustración 2-8: Configuración básica y circuito de un proceso de soldadura con arco
Fuente: (EXSA SA. 2012)

2.2.3.2. Tecnología general de la soldadura con arco

Para poder definir los procesos de soldadura con arco es de vital importancia evaluar los diferentes aspectos técnicos que se van a utilizar en estos procesos (EXSA SA. 2012, p.16)

- **Electrodos.**

En el proceso de soldadura con arco podemos dividir la clasificación de sus electrodos en electrodos consumibles y no consumibles.

Los electrodos consumibles son aquellos que ofrecen un metal de aportación, por lo general esos electrodos están disponibles en forma de varilla y de alambre, la varilla para soldar comúnmente tiene una longitud de 225 a 450 mm y cuenta con un diámetro de 9.5 mm, el principal inconveniente que se presenta en las varillas para soldar consumibles es que se debe cambiar periódicamente esto produciendo que se reduzca soldador (EXSA SA. 2012, p.16)

El alambre para soldar presenta como principal diferencia y sobre todo ventaja al electrodo consumible, que este se alimenta de manera periódica hacia el pozo de soldado desde los grandes rollos que lo contienen, esto permite que no existan interrupciones de manera.

En los dos casos ya sea con varilla consumible o alambre para soldar los dos se consumen durante el proceso de soldadura y estos se añaden como material de aporte a la unión soldada.

Los electrodos no consumibles son aquellos que están fabricados de tungsteno, estos están diseñados para resistir la fusión a través del arco. Aunque se los llama electrodos no consumibles, estos si presentan un desgaste gradual durante el proceso de soldadura, pero su desgaste es muy similar al que presenta en una herramienta de corte durante la operación de maquinado, en este caso cuando se utiliza electrodos no consumibles el material de aporte debe ser proporcionado

con un alambre por separado el cual se va a alimentar directamente al pozo de soldado (EXSA SA. 2012, p.17).

- **Protección del arco eléctrico.**

Cuando se realiza la soldadura con arco, tenemos que las altas temperaturas que se presentan en el proceso provocan que los metales que se van a unir reaccionen con algunos de los elementos que encontramos en el ambiente como el oxígeno, nitrógeno, e hidrogeno. Al momento de presentarse la reacción con estos elementos las propiedades mecánicas del metal se pueden ver afectadas.

En los procesos por arco se tiene un manto de gas o fundente y en algunos casos de ambos el cual se va a encargar de proteger al arco de la exposición al aire, este manto se encarga de cubrir la punta del electrodo, el arco de suelda y sobre todo el pozo de soldadura (EXSA SA. 2012, p.18)

El fundente es una sustancia la cual se utiliza para poder evitar que se formen óxidos otro tipo de contaminantes no deseados que se pueden presentar en el proceso o también permite facilitar la remoción de estos efectos no deseados, mientras se realiza el proceso de soldadura este fundente se derrite y forma una escoria liquida la cual se va a solidificar después del proceso de enfriamiento el cual puede ser removido con cincel o con cepillo, generalmente el fundente está elaborado para realizar algunas funciones adicionales las cuales incluye:

- 1) Dotar de una atmosfera de protección a la soldadura
- 2) Estabilizar el arco
- 3) Reducir salpicaduras durante el proceso

Dependiendo del proceso de soldadura la forma de aplicar el fundente se diferencia, entre las técnicas utilizadas tenemos:

- 1) Vaciar fundente granular en la operación de soldadura
- 2) Usar un electrodo que cuente con material de aporte, el cual se va a derretir durante se realiza el proceso de soldadura.
- 3) Usar electrodos en forma tubular los cuales contiene el fundente en su núcleo.

2.2.3.3. Clasificación de electrodos según AWS

La AWS tiene una serie de especificaciones para clasificar a los electrodos y estas son:

- Designación para electrodos revestidos de acero al carbono AWS: A5.1/A5.11M-04
- Designación para electrodos revestidos de aceros de baja aleación AWS: A5.5-96

- Designación para electrodos revestidos de acero al cromo y cromo níquel resistente a la corrosión AWS: A5.4/45.4M-06
- Designación para varillas de aporte para soldadura TIG y/o oxiacetilénico AWS: a5.2-92
- Designación para electrodos revestidos para soldadura de hierro fundido AWS: A5.15-90
- Designación para electrodos continuos y fundentes para arco sumergido AWS: A5.17/A5.17M-97
- Designación para electrodos de aceros dulces, soldadura MIG/MAG AWS: A5.18/A5.18M-05

Para identificar las distintas clasificaciones de los electrodos tenemos la siguiente nomenclatura que tiene como base la letra E mayúscula que se encuentra acompañada de cuatro dígitos, donde la letra E representa la palabra “Electrodo”, los dos primeros dígitos son encargados de representar la resistencia mínima a la tracción del metal de aporte este se mide en libras por pulgada así como también en pascales, esto depende de la certificación que se esté usando, los dos últimos dígitos son encargados de señalar las distintas características del electrodo, es necesario aclarar que el tercer dígito especifica la posición en la que se puede realizar la soldadura con el electrodo.

Tabla 2-1: Clasificación AWS

Clasificación AWS		Tipo de Revestimiento	Posición para soldar	Corriente y polaridad
A5.1	A5.1M			
E-6010	E-4310	Celulósico sódico	P, V, SC, H	CCEP
E-6011	E-4311	Celulósico potásico	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-6012	E-4312	Rutílico sódico	P, V, SC, H	CA, CCEN
E-6013	E-4313	Rutílico potásico	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-6018	E-4318	Potasio, BH-HP	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-6019	E-4319	Óxido de hierro, Rutílico potásico	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-6020	E-4320	Óxido de hierro	H	CA, CCEN
E-6022	E-4322	Óxido de hierro	P, H	CA, CCEN
E-6027	E-4327	Óxido de hierro, HP	H	CA, CCEN
E-7014	E-4914	Rutílico, HP	P, V, SC, H	CA, CCAP
E-7015	E-4915	Sódico, BH	P, V, SC, H	CCEP
E-7016	E-4916	Potásico, BH	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-7018	E-4918	Potásico, BH-HP	P, V, SC, H	CA, CCEP
E-7018M	E-4918M	BH-HP	P, V, SC, H	CCEP
E-7024	E-4924	Rutílico, HP	P, H	CA, CCAP
E-7027	E-4927	Óxido de hierro, HP	H	CA, CCEN

E-7028	E-4928	Potásico, BH-HP	P, H	CA, CCEP
E-7048	E-4948	Potásico, BH-HP	P, Vdown, SC, H	CA, CCEP
Nomenclatura		CC: Corriente continua	EP: Electrodo positivo	P: Plana
HP: Hierro en polvo		CA: Corriente alterna	EN: Electrodo negativo	V: Vertical
BH: Bajo en Hidrogeno		AP: Ambas polaridades	SC: Sobre cabeza	H: Horizontal

Fuente: (EXSA SA. 2012)

Realizado por: Gallegos, N. & Guayaulema, J. 2023.

2.2.3.4. Fuentes de potencia en la soldadura con arco

En el proceso de soldadura con arco se va a utilizar corriente continua (CC) así como también corriente alterna (CA). Las máquinas de soldar que funcionan con corriente alterna son más económicas y fáciles de operarlas, pero estas se ven limitadas generalmente a la soldadura de metales ferrosos, mientras que las maquinas que funcionan con corriente continua permiten utilizarlas para todos los metales obteniendo mejores resultados y se caracteriza sobre todo por permitir un mejor control de arco.

Las máquinas para este proceso son maquinas eléctricas las cuales tiene que cumplir ciertas exigencias como es la potencia suficiente para realizar la soldadura, así como también debe tener características que permita un fácil encendido y mantenimiento del arco que es fundamental para un buen proceso de soldadura (EXSA SA. 2012, p.14).

Las principales características que deben cumplir estas máquinas son:

- Transformar el voltaje que se recibe de la red eléctrica a un voltaje de vacío, este debe permitir que se inicie el arco (voltaje en vacío es el voltaje que se va a suministrar a la maquina antes de que se inicie el arco eléctrico, este voltaje varía de los 30 a 90 voltios).
- Cuando se inicia el arco eléctrico, se debe realizar una conversión automática y de manera instantánea del voltaje de vacío a un voltaje de trabajo, este debe permitir que el arco se mantenga (cuando el arco este encendido la maquina proporciona el voltaje de trabajo el cual varía de 17 a 45 voltios) (EXSA SA. 2012, p.32).
- Permitir variar la intensidad de la corriente o el amperaje según sea el caso necesario para realizar el proceso de soldadura, este amperaje se varía dependiendo de las diferentes características de los elementos involucrados en la soldadura como puede ser el diámetro, el espesor de las piezas a unir y la posición de trabajo, así como la posición de trabajo.

- Asegurar la alimentación de manera constante de la corriente con el objetivo de permitir mantener el arco estable.

Al realizar los distintos procesos de soldadura con arco, el producto de la corriente que se traslada a través del arco y el voltaje de este es la potencia necesaria para realizar la operación.

La potencia se va a transformar en calor, pero no todo este calor se va a poder utilizar en la superficie de trabajo ya que parte de este va a presentar pérdidas en la convección, conducción, radiación y en las salpicaduras.

El factor de transferencia de calor f_1 es la manera en la que se representa el efecto de las pérdidas para los diferentes procesos de soldadura por arco y los cuales están proporcionados en la siguiente tabla (EXSA SA. 2012, p.34)

Tabla 2-2: Factores de transferencia de calor para varios procesos de soldadura con arco

Proceso de soldadura con arco	Factor de transferencia de calor típico f
Soldadura con arco de metal protegido	0,9
Soldadura con arco de metal y gas	0,9
Soldadura con arco de núcleo fundente	0,9
Soldadura con arco sumergido	0,95
Soldadura con arco de tungsteno y gas	0,7

Fuente: (EXSA SA. 2012)

Realizado por: Gallegos, N. & Guayaulema, J. 2023.

El factor de fusión f_2 minimiza al calor que se dispone en el proceso de soldadura. Por lo tanto, el equilibrio de la potencia resultante en el proceso de soldadura se determina con la siguiente formula.

$$R_{HW} = f_1 * f_2 * I * E = U_m * A_w * v$$

2.2.4. Proceso de soldadura con electrodos consumibles

2.2.4.1. Soldadura SMAW

La soldadura SMAW es un proceso en el cual se emplea un electrodo consumible el cual es una varilla metálica que se encuentra cubierta por una serie de materiales químicos los cuales se van a encarga de aportar un fundente y la protección para el proceso.

Por lo general la varilla de soldadura tiene una longitud aproximada entre 225 y 450 mm con un diámetro entre 2.5 a 9.5 mm.

La varilla debe contar con un material de aporte el cual sea compatible con el metal que se va a soldar por ende su composición debe ser similar a la del metal base. El recubrimiento de la varilla está conformado por celulosa pulverizada como puede ser los polvos y madera los cuales van a estar mezclados con óxidos, carbonatos, y demás ingredientes los cuales se integran mediante un aglutinante de silicato.

En el proceso de soldadura el calor producido funde el recubrimiento que tiene la varilla y así provee de una atmosfera de protección y escoria para finalizar el proceso(Groover 2007)

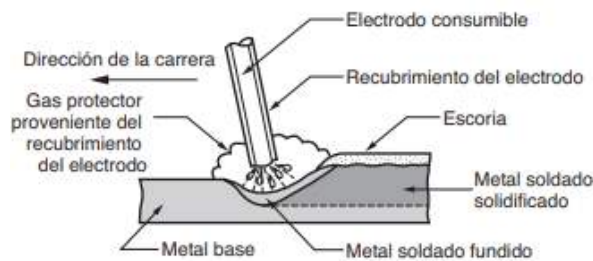


Ilustración 2-9: Soldadura de metal protegido.

Fuente: (EXSA SA. 2012)

Durante el proceso de soldadura el extremo de la varilla que se encuentra descubierto esta sujetado a una porta electrodos el cual va a estar conectado a una fuente de energía. Para este proceso por lo general se utiliza corrientes las cuales van a variar entre los 30 y 300 A con voltajes de 15 a 45 V.

Los parámetros para realizar el proceso se seleccionan en base al tipo de soldadura, longitud del electrodo además del tipo de metal que se va a soldar y la profundidad de penetración que se necesite.

Es necesario familiarizarse con los efectos de la polaridad cuando se realiza el proceso de soldadura, por lo general cuando el electrodo se conecta al polo positivo conocido como polaridad invertida permite tener una mayor penetración de la soldadura mientras que si se conecta el electrodo negativo conocido como polaridad directa permite tener una mayor velocidad de fusión,, dependiendo del proceso a realizar se debe elegir la polaridad correcta ya que esto permite obtener resultados satisfactorios en el cordón de soldadura.(EXSA SA. 2012, p.40).



Ilustración 2-10: Efecto de la polaridad y del tipo de corriente.

Fuente: (EXSA, 2012).

2.2.4.2. Los electrodos metálicos

Son fundamentales para la obtención de los resultados satisfactorios que se esperan en el proceso de soldadura. Estos están compuestos por un núcleo metálico y un revestimiento químico (EXSA SA. 2012, p.87).

- **El núcleo**

Este está conformado por una varilla metálica la cual contiene una composición química que es adecuada para cada tipo de metal que este destinado el electrodo, las propiedades y carteristas que se aporta a la junta está dada por los distintos componentes que tiene el núcleo como es el hierro, magnesio, fosforo, silicio, manganeso, y entre otros.

- **El revestimiento**

Este está aplicado en el contorno del núcleo y este fabricado a base de una composición química la cual va a depender de cada tipo de electrodo.

Este elemento cumple funciones de vital importancia en cuanto a la calidad de ejecución de la soldadura y sus funciones.

- **Funciones eléctricas**

Aquí el revestimiento permite controlar el empleo de la corriente alterna ya que como es de conocimiento esta cambia su polaridad 120 veces en cada segundo lo que produce inestabilidad del arco, aquí el revestimiento ayuda a mantener la estabilidad del arco con la ayuda de elementos químicos que se queman con el arco y producen un gas con características ionizantes.

Funciones metalúrgicas

El revestimiento se encarga de proteger al metal fundido de los elementos dañinos existentes en el aire, el revestimiento cuenta con una serie de elementos que va a formar una capa de gases la cual va a rodear al arco protegiendo así a las gotas finas de metal que están siendo proyectadas por el arco, el contacto con el aire produce una serie de óxidos y nitruros debido al gran contenido de estos elementos que contiene produciendo si un debilitamiento en el cordón de soldadura haciendo que sea menos resistente a la tracción y al impacto.

También forma la escoria la cual va a proteger al metal caliente, existen ciertas características en el revestimiento que se funden y se van mezclando con el metal base para así recoger las impurezas del metal y así hacerlas flotar hacia la superficie. Se encarga de aportar los distintos elementos de aleaciones necesarias para así poder obtener las distintas propiedades y características del metal de aporte.

- **Funciones Mecánicas**

Se encarga de dirigir la fuerza del arco, así como también las gotas del metal fundido en la dirección que se necesite realizar el cordón de soldadura esto sucede debido a que el revestimiento se funde después del núcleo de manera inmediata y así logrando su objetivo.(EXSA SA. 2012, p.88)

2.2.5. Soldadura MIG solido

La soldadura MIG está definida por la AWS como un proceso de soldadura por arco. Donde la soldadura se produce debido al calentamiento con un arco de un metal de aporte continuo y la pieza a soldar, en este proceso la protección del arco es obtenida gracias al aporte de un gas de manera externa el cual se va a encargar de proteger el metal fundido de la contaminación atmosférica y además de permitir establecer el arco.(EXSA SA. 2012, p.95)

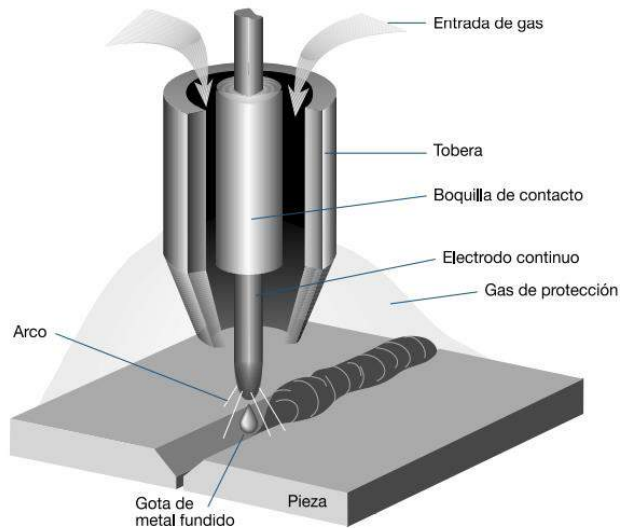


Ilustración 2-11: Soldadura MIG.

Fuente: (EXSA SA. 2012)

Este sistema está impulsado de manera automática y permite establecer una velocidad automática alambre-electrodo hacia la pieza de trabajo, en este proceso la pistola de soldadura se debe mantener a una distancia por lo general de 10 mm y con un ángulo adecuado entre la tobera y la pieza.

Las principales características con las que cuenta este proceso son las siguientes:

- visibilidad para el operador ya que el arco siempre se lo puede observar
- fácil manipulación debido a que sus piezas son ligeras
- rapidez en la deposición
- alto rendimiento
- posibilidad de automatización

el equipo que se utiliza para realizar el proceso de soldadura MIG es el siguiente:

1. maquina soldadora
2. alimentador (permite controlar el avance)
3. pistola de soldar
4. gas protector
5. carrete de alambre

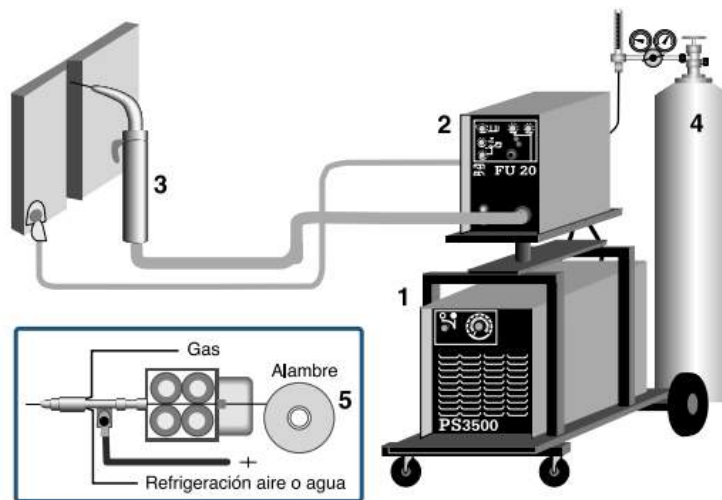


Ilustración 2-12: Equipos para soldadura MIG.
Fuente: (EXSA SA. 2012)

2.2.6. *Propiedades del material*

2.2.6.1. *Acero ASTM A36.*

El acero ASTM A36 es un material que por sus propiedades y características se ha convertido en el material más utilizado por la industria ecuatoriana; Este material es el resultado de composiciones de elementos químicos, el más importante el hierro y al menos actualmente el carbono, no superando el 1,2% en peso de la composición, llegando normalmente a un porcentaje que abarca desde el 0,2% al 0,3%, que facilita este proceso de fundición de acero (Pazmiño et al. 2009, p.45).

Características de composición son aquellas que clasifican los materiales según factores numéricamente predominantes, según la facilidad con que se realizan ciertos tratamientos térmicos y su uso. El acero es muy utilizado en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas; por la variedad que presenta y sobre todo por su disponibilidad en el mercado.

Una ventaja muy importante de este material es que tiene propiedades elásticas lineales y hasta a la fluencia, esto lo hace predecible en estructuras, y por ende el más utilizado en la industria, como hay tantos tipos de aceros por las propiedades de su composición y aleaciones, se han adoptado ciertas normas para regirlos, las cuales son aplicadas por cada país, cada fabricante y entre productores de acero y también por consumidores de este material.

Las normas reguladoras del acero, las más conocidas a nivel internacional, son las clasificaciones AISI, ASTM, DIN o ISO. Estos estándares especifican la cantidad mínima o máxima de cada componente y las propiedades mecánicas de la formación de acero. Los aceros también se clasifican según el tratamiento térmico que se les ha aplicado, que es un proceso de calentamiento y enfriamiento a ciertas temperaturas y condiciones, a las que se somete el metal para mejorar sus propiedades mecánicas, a saber, dureza, fuerza y tenacidad. Este proceso no cambia la composición química sino componentes estructurales. Los tratamientos térmicos básicos son: temple (que aumenta la dureza y resistencia del acero), revenido (conserva la dureza y aumenta la tenacidad), Recocido (aumenta la elasticidad y reduce la ductilidad) duro y Normalizado (para que el material se esfuerce libre y con una distribución uniforme de carbono).

Este es el material utilizado para construir la estructura extremadamente duradera y está hecho de un material que es muy común en la naturaleza. Sus ventajas incluyen una resistencia superior a la tracción y compresión y su menor costo.

El acero laminado en caliente fabricado para uso estructural se denomina acero estructural al carbono y tiene un límite elástico de 36 000 psi o 248.21 MPa. Más utilizado en la industria de la carrocería ecuatoriana, se tiene un conocimiento profundo de sus propiedades técnicas, composición química y propiedades que lo convierten en el material estructural más común en la fabricación de autobuses.

Debido a su amplia disponibilidad en el mercado, el uso tradicional y la falta inherente de un proceso de investigación adecuado para otras opciones de materiales, este acero se usa de manera abrumadora. (Pazmiño et al. 2009, p.65).

2.2.6.2. Ventajas del acero ASTM A36

Alta resistencia. - La alta resistencia por unidad de peso del acero hace que la estructura sea más ligera. Esto es muy importante para grandes puentes.

Homogeneidad. - Las propiedades del acero no cambian tanto con el tiempo como las estructuras de hormigón armado.

Durabilidad. - Si la estructura de acero se mantiene adecuadamente, tendrá una duración indefinida.

Ductilidad. - Es la propiedad de un material para resistir grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos de tracción elevados. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes permite la fluencia localizada para evitar fallas prematuras.

Tenacidad: El acero estructural es tenaz. Es decir, tiene resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber grandes cantidades de energía se llama tenacidad.

- Se pueden usar varios tipos de sujetadores como soldaduras, tornillos y remaches para conectar fácilmente diferentes elementos.
- Posibilidad de prefabricar los elementos de la estructura.
- Velocidad de montaje.
- Amplia gama de tamaños y formas con alta capacidad de laminación.
- Resistencia a la Fatiga.
- Posibilidad de reutilización tras demolición de estructuras.

2.2.6.3. Desventajas del acero ASTM A36

- **Costos de mantenimiento.** - La mayoría de los aceros son susceptibles a la corrosión cuando se exponen al agua y al aire y, por lo tanto, deben pintarse periódicamente.
- **Gastos de prevención y extinción de incendios.** - Aunque algunos elementos estructurales no se incendian, su resistencia se reduce significativamente al fuego.
- **Se deforma fácilmente.** - Cuanto más largos y delgados sean los elementos de compresión, mayor será el riesgo de deformación. se debe usar material, solo para endurecer las columnas contra una posible deflexión.
- Este acero, cuando se expone a elementos ambientales, se oxidará y formará óxido de hierro en polvo en su superficie. Si no se hace nada, el proceso de oxidación del continuará hasta que el acero esté completamente corroído. (Pazmiño et al. 2009, p.67).
- La siguiente tabla ha recopilado datos sobre las propiedades más importantes del acero ASTM A-36.

Tabla 2-3: Propiedades del acero ASTM A-36

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7850	Kg/m ³
Límite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (MPa)
Resistencia a la tensión	58- 80 (400- 550)	Ksi (MPa)
Módulo de elasticidad	29000	Ksi
% de elongación mínima	20	%
Punto de fusión	1538	°C

Fuente: (Carrasco, L, 2018)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

A continuación, se detalla la composición química del acero al que se hace referencia.

Tabla 2-4: Composición química del acero A-36

Elemento	C	Cu	Fe	Mn	P	S
%	0,25	0,02	99	0,8-1,2	Máx. 0,04	Máx. 0,05

Fuente: (Carrasco. L, 2018)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

2.2.7. *Tubo cuadrado estructural ASTM A36*

Aleación (hierro y carbono), tiene muchas propiedades interesantes. Tiene un valor particular para su uso en estructuras pesadas que requieren resistencia a la corrosión y temperaturas extremas.

En general, el tubo cuadrado de acero aporta:

- Más tenacidad
- Mayor peso
- Mayor resistencia a la corrosión
- Amplia resistencia a las temperaturas extremas
- Elevada maquinabilidad
- Facilidad para soldar



Ilustración 2-13: Tubo cuadrado estructural ASTM A500 y ASTM A572Gr 50.

Fuente: (DIPAC, 2020)

2.2.7.1. Propiedades mecánicas

La tubería debe cumplir con las especificaciones de esfuerzos a la tracción, fluencia y porcentajes de elongación (INEN 2016, p.3).

Tabla 2-5: Clasificación y propiedades mecánicas de los tubos

Grado	Descripción	Límite de fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tracción mínima (MPa)	Elongación mínima en 50 mm ^ %
AC	Tubo para usos generales	--	290	≥ 35
A	Tubos estructurales sección circular	230	310	25 ^B
B		290	400	23 ^C
C		315	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C
A	Tubos estructurales sección cuadrada, rectangular o especial	270	310	25 ^B
B		315	400	23 ^C
C		345	425	21 ^D
D		250	400	23 ^C

Fuente: (INEN, 2016)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Tabla 2-6: Tolerancias en las dimensiones planas exteriores para tubería cuadrada y rectangular

Dimensión externa mayor de la cara plana (mm)	Tolerancia (mm)
Dimensión externa ≤ 65	± 0.5
65 < dimensión externa ≤ 90	± 0.6
90 < dimensión externa ≤ 140	± 0.8
Dimensión externa > 140	± 0.01 veces la dimensión más larga

Fuente: (INEN, 2016)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

2.2.7.2. Espesor de pared

La tolerancia del espesor de pared medido en cualquier punto del tubo no debe exceder de ± 10% del espesor nominal. El espesor de pared de un tubo cuadrado o rectangular debe medirse desde el centro de las superficies planas.

2.2.7.3. Cuadratura de los lados

Las superficies adyacentes de tubos estructurales cuadrados o rectangulares deben ser perpendiculares (90°) con una tolerancia máxima de $\pm 2^\circ$.

2.2.7.4. Composición química

Tabla 2-7: Tubo de acero estructural con forma rectangular, norma de fabricación NTE INEN 2415; Calidad SAE J 403 100, lo puedes encontrar en espesores de 1,2 a 3mm y su largo estándar de 6 metros.

Composición *, %						
Grado	C	Mn	P	S	Si	Nb
CS	0.09	0.70	0.030	0.035	0.044	-
FS	0.05/0.08	0.30-0.50	0.020	0.015	0.030	-
CR	0.05/0.09	0.30-1.10	0.018	0.012	0.100	0.055
GA	0.09	0.10-0.50	0.020	0.015	0.044	-

Ilustración 1-2: Composición química.

Fuente: (Metalub, 2016)

2.2.8. Estructural Galvanizada (ASTM A572Gr 50)

Se tiene espesores de recubrimiento de 180 g/m² -Z180 (G60) por debajo de 2,0 mm y espesores de recubrimiento de 275 g/m² -Z275 (G90) de 2,5 mm y 3,0 mm.

Tubería galvanizada de todas sus propiedades y partes, el zinc del baño metálico utilizado para el revestimiento en el proceso de galvanización deberá cumplir con los requisitos de la NTE INEN 882.

La masa de ambas caras del revestimiento de zinc se obtiene sumando las masas correspondientes a las superficies interior y exterior (INEN 2016, p.16).

Tabla 2-8: Masa de zinc por unidad de superficie (dos caras) para tubería galvanizada por inmersión en caliente

	Espesor < 3.2 mm	Espesor \geq 3.2 mm
Masa de recubrimiento (g/m ²)	230	530
Mínimo espesor promedio (μ m)	45	75

Fuente: (INEN, 2016)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

La determinación de la masa del recubrimiento de zinc debe hacerse de acuerdo con NTE INEN 1172. También se puede obtener midiendo el espesor del recubrimiento por un método magnético y calcularse de acuerdo con la siguiente relación: 1 μm equivale a 7,067 g/m^2 .

Tabla 2-9: Espesores mínimos de recubrimiento

Recubrimiento	Densidad (g/cm^3)	Valores indicativos teóricos para el espesor del recubrimiento por superficie en el ensayo en un punto μm		Masa total del recubrimiento, ambas superficies g/m^2
		Valor habitual por cara	Espesor mínimo	Ensayo de tres puntos
Zn (Z)	7,1	20	15	275
Zn + Al + Mg (ZMM)	5,7	10	7,5	120

Fuente: (INEN, 2016)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

La soldadura será uniforme, sin discontinuidades y se fabricará mediante el proceso de soldadura por resistencia ERW (baja o alta frecuencia). La profundidad de la soldadura no debe ser menor que el espesor del material base. Las soldaduras no se colocarán dentro del radio de las esquinas de ninguna sección de la tubería. Los tubos soldados normalmente se entregan sin quitar el cordón de soldadura del interior.

Los tubos de clase D deben ser tratadas térmicamente a una temperatura de al menos 590 °C, una hora por cada 25 mm de espesor. En la fabricación de tuberías a partir de materia prima pregalvanizada, donde la costura de soldadura ha perdido el revestimiento exterior por influencia de la temperatura, para que la tubería se considere un producto terminado, debe repararse de acuerdo con la norma ASTM A780 (INEN 2016, p.9).

Tabla 2-10: Propiedades químicas y mecánicas del acero ASTM A 500

Eléctrica-resistencia-soldado									
Elemento	Composición química % máx.					Elemento	Propiedad mecánica		
Acero	C%	Mn%	S%	PAG%	%si	Acero			
Grado A	0.25	0.95	0.045	0.5	--	Grado A	205(min.)	330(min)	26-30
Grado B	0.3	1.2	0.045	0.05	--	Grado B	240(min.)	415(min.)	21-26
Estándar de calidad: ASTM A53 ASTM A500 especificación estándar para tuberías, negro, y bañado en caliente, recubiertos de zinc, soldadas y sin costura									

Fuente: (Sumetic 2023)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

La tubería cuadrada galvanizada es una tubería de acero cuadrada hueca con una forma y tamaño de sección transversal cuadrada, que está formada por una tira de acero galvanizado laminado en frío o una bobina galvanizada como elemento en bruto, doblada en frío y soldada de alta frecuencia. O es tubo rectangular galvanizado hecho de tubo de acero hueco formado en frío preparado de antemano y luego procesado por galvanizado en caliente.

El tubo galvanizado tiene un efecto protector más fuerte y una fuerte resistencia a la corrosión. Toda la estructura está hecha de zinc para formar un cristal cuaternario denso, que forma una barrera para el acero y, por lo tanto, evita eficazmente la penetración de agentes corrosivos. La resistencia a la corrosión se debe a la fuerte función protectora de la capa de barrera de zinc. Cuando se usa zinc para proteger bordes afilados, agujeros y rayones en un revestimiento, el zinc forma una capa de óxido insoluble y actúa como un escudo protector. (DIPAC 2020, p.22)

2.2.8.1. Diferencias de aceros ASTM A-500 con el acero ASTM -A36

Tabla 2-11: Diferencias de Aceros ASTM A-500 con el acero ASTM A-36

Propiedades del material	A500 Grade C	Gr. A36
Densidad	7800 kg/m ³	7850 kg/m ³
Módulo de Young's	7.72 x 10 ¹⁰ Pa	2.02 x 10 ¹¹ Pa
Poisson' ratio	0.31	0.32
Módulo de volumen	158 GPa	167 GPa
Módulo de corte	80.2 GPa	76.9 GPa
Resistencia a la tracción	315 MPa	420 MPa
Resistencia ultima a la tracción	425 MPa	560 MPa

Fuente: (Researchgate, 2023)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

2.2.9. Aceros HSLA

Un problema común en el caso del acero como material de construcción es, el aumento de elementos de aleación, especialmente el carbono, aumenta la resistencia mecánica del acero, pero se pierden las propiedades dúctiles del material.

La industria automotriz revolucionó con la llegada del acero HSLA (acrónimo de High Strength Low Alloy) que permitió al reducir el peso de la carrocería en un 35%. Además, sus propiedades mecánicas representan un cambio respecto al acero al carbono ordinario: su límite elástico aumentó de 300 MPa (típico de los aceros utilizados hasta la época) a 550 MPa, mejorando considerablemente la resistencia al impacto y torsión.(Delgado-Pamanes et al. 2017, p. 11).

Anteriormente se aplicaba a la carrocería acero bajo en carbono sin elementos de aleación, que tenía buena deformabilidad, pero baja resistencia mecánica, factor que hacía que en estos casos el ingeniero tuviera que aumentar el espesor de la chapa y con ello el peso de la estructura.

En los últimos años, se han desarrollado varios aceros que combinan de estas propiedades de alta ductilidad y resistencia. Este es acero HSLA. Algunos fabricantes de automóviles, incluido Toyota, están construyendo marcos en sus con un 30 % más de resistencia y menos peso.

Los elementos más utilizados en la producción de estos aceros tienen un contenido de 0,05 a 0,2% C, 0,6 a 1,6% Mn y elementos combustibles con concentraciones cercanas a 0,1 Nb, V o Ti, aunque algunos otros elementos como ya que Cu, Ni, Cr y Mo también pueden estar presentes en pequeñas cantidades alrededor del 0,1%.

2.2.10. Fundiciones

Las fundiciones para las aleaciones de Fe-C, en las que el contenido de carbono es superior al 2.08%



Ilustración 2-14: Propiedades mecánicas deformación- tensión.
Fuente: (Askeland. D, 2010)

Hay que destacar su bajo precio y su alta posibilidad de fusión. Esto se da por la falta de grafitización, por lo cual el efecto produce la descomposición de todo el cementita resultante y hace que el diagrama sea estable, se genera un diagrama metaestable propio de las fundiciones.

- **Ledeburita:** Este es el componente eutéctico formado durante el enfriamiento del hierro fundido líquido a 4,3 °C desde 1145 °C. Se compone de 52'cacionita y 48'austenita al 2 % C. La ledeburita no existe a temperatura ambiente en las fundiciones convencionales. porque al enfriarse se convierte en cementita y perlas; sin embargo, en las fundiciones, las áreas donde existe ledeburita dan lugar a la aparición eutéctica de grupos de perlita y cemento

- **Esteadita:** Es un constituyente de naturaleza eutéctica dura, quebradiza (300 a 300) punto de fusión 350 Vickers), punto bajo (960 °C), ocurre en fundiciones con alto contenido de fósforo (más del 0,15% P)

Cuatro fases sólidas diferentes aparecen en el diagrama metaestable Fe-Fe₃C y se denominan: δ-ferrita (abreviada como δ), α-ferrita (abreviada como α), austenita (γ) y cemento (Fe₃C). Para que estos equilibrios se sumen a una fase, la martensita, por su naturaleza desequilibrada, no aparece en el gráfico de metástasis.

Además, en este esquema de diferenciabilidad aparecen dos microestructuras como resultado de las transformaciones eutectoide y eutéctica. Sus nombres son perlita y ledeburita respectivamente. El diagrama se muestra los cambios de fase ocurren durante el enfriamiento o el calentamiento lento y en relación con el contenido de carbono se denomina diagrama de fase de hierro-carbono. Este diagrama es la base para una comprensión adecuada del tratamiento térmico.

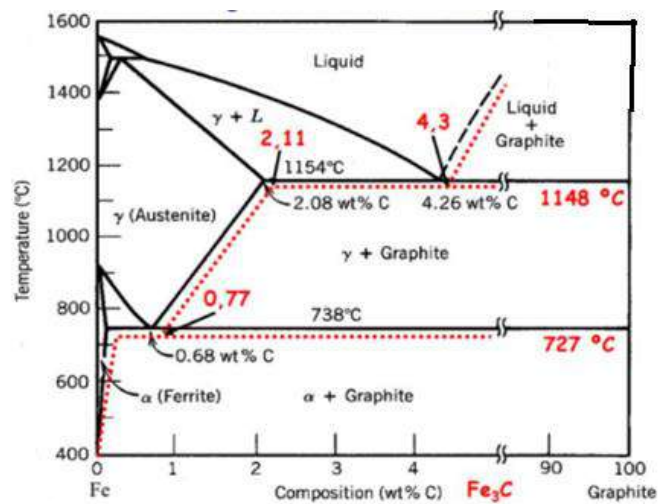


Ilustración 2-15: Diagrama estable Fe-Gráfico.

Fuente: (Askeland, D, 2010)

El porcentaje de carbono en relación con el peso es menor al 2.11% se le nombra acero, y cuando es mayor al 2.11% se le nombra hierro fundido. Se muestra las diferentes microestructuras correspondientes al diagrama hierro-carbono a la que aplica el tratamiento térmico del acero. (Dante et al. 2022)

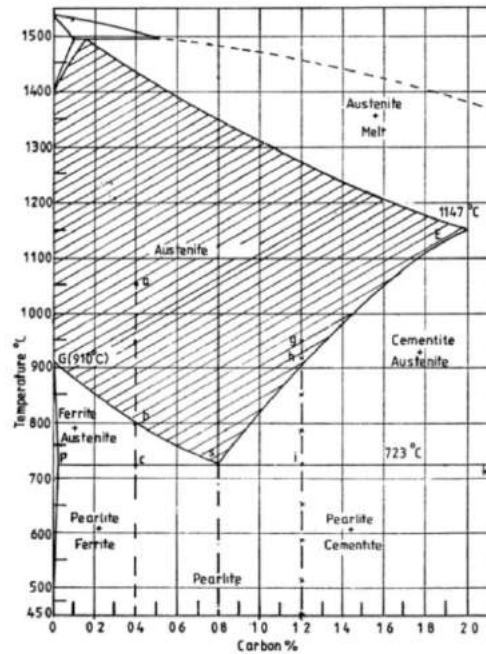


Ilustración 2-16: Porción del diagrama hierro-carbono correspondiente al acero

Fuente: (Dante, 2022)

2.2.11. Fases y microconstituyentes de las fundiciones

Se encuentra lo siguiente en microconstituyentes:

- Laminar sus propiedades mecánicas son notablemente disminuyentes (E , α_y , α_x , tenacidad y ϵ).
- Carbono recocido que independientemente de la morfología, mejora la resistencia al desgaste, actúa como lubricante y la maquinabilidad es más fácil.

Tabla 2-12: Tipos de aceros.

	Martensítico	Ferrítico	Austenítico
Tipo de acero propiedades	AISI 420 13% Cromo	AISI 430 18% Cromo	AISI 304 18% Cr y 8% Ni
Magnetismo	Si	Si	No
Resistencia a la oxidación	En contacto con la atmósfera	Usos interiores, pero presenta problemas en exteriores	Excelente
Dilatación térmica	Casi igual al acero de bajo carbono	Casi igual al acero de bajo carbono	1.5 veces superior al acero de bajo carbono
Soldabilidad	Baja	Media	Excelente
Conductividad Térmica	Mitad que la del acero al bajo carbono	Mitad que la del acero al bajo carbono	Triple que la del acero de bajo carbono

Fuente: (Askeland. D, 2010)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

2.2.12. Tipos de fundiciones

2.2.12.1. *Fundición blanca. Son duros, resistentes al desgaste, quebradizos y difíciles de mecanizar.*

- Son la materia prima para la producción de hierro dúctil. En esta fundición, cruzamos rápidamente zona eutéctica.
- Fundiciones Maleables

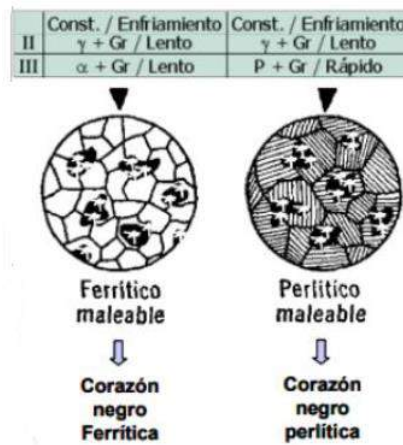


Ilustración 2-17: Fundición blanca.
Fuente: (Askeland,2010)

2.2.12.2. *Fundición gris.*

En este caso, la región eutéctica se cruza lentamente. Podemos controlar su tamaño utilizando preparados como el calcio y el titanio. (Askeland Donald 2010, p.55)

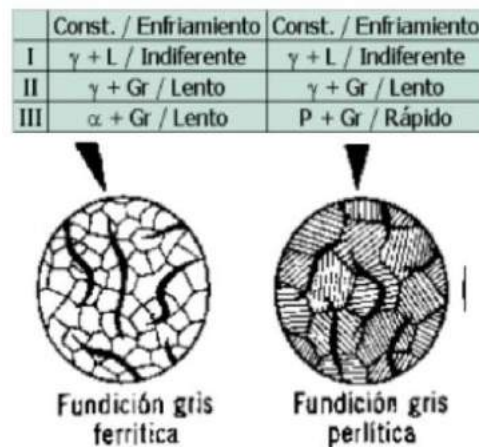


Ilustración 2-18: Fundición Gris.
Fuente: (Askeland,2010)

2.2.12.3. *Fundiciones nodulares*

Se puede controlar el tamaño de las esferas (pasando de copos a esferas) gracias a aditivos como cera o magnesio. En este caso, la tensión superficial disminuye.

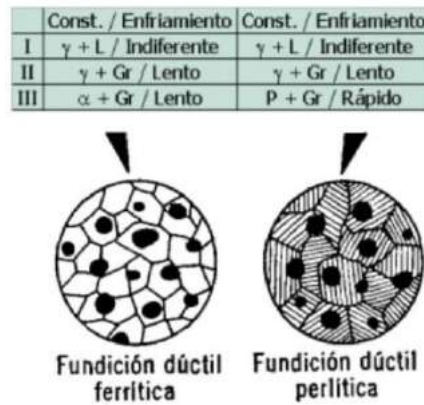


Ilustración 2-19: Fundiciones nodulares.
Fuente: (Askeland,2010)

2.2.13. *Método estándar para el tamaño de grano*

Para la medición del tamaño de grano se describe diferentes métodos que constituye en la norma, en los cuales se dividen de acuerdo con lo siguiente:

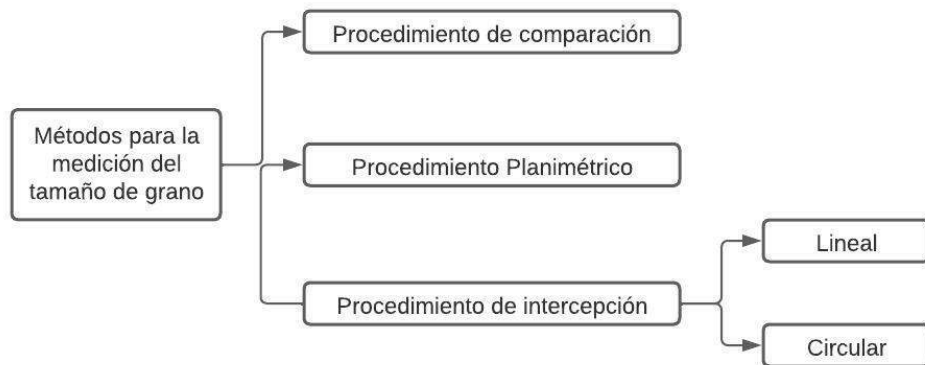


Ilustración 2-20: Clasificación de los métodos para determinación del tamaño de grano.
Fuente: (Seiro,2017).

Para realizar mediciones sobre la imagen obtenida en el microscopio, es necesario ajustar el tamaño de la imagen en el papel para que la ampliación no cambie obtenido bajo el microscopio. En las imágenes, se mide, un control deslizante en un microscopio, el tamaño real de la imagen observada. Desde ese punto se puede ajustar el tamaño de la imagen para que no se modifique el zoom bajo el microscopio.

Tamaño real de las imágenes observadas bajo el microscopio óptico, utilizando el ocular de 10x y los objetivos de 5x, 10x, 20x, y 50x

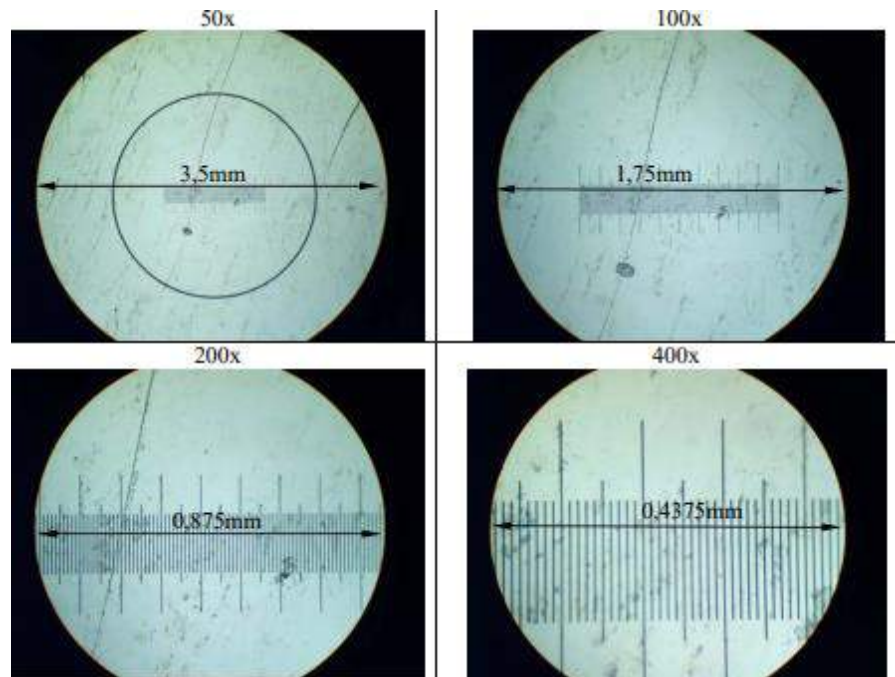


Ilustración 2-21: Ajuste de tamaño en el microscopio óptico.
Fuente: (Seiro,2017)

Para que la imagen se obtenga correctamente con el aumento del microscopio, la circunferencia la imagen debe tener 175 mm de diámetro en la hoja. Así, las distancias las medidas en papel se relacionarán con las distancias reales en el espécimen por ampliación utilizada en el microscopio.

2.2.13.1. Procedimiento de Comparación

En las normas ASTM, hay una tabla donde el tamaño de grano se expresa como un rango de 1 a 8, donde el rango 1-4 representa grano grueso y 5-8 es grano fino. Luego, el material se ve bajo un microscopio a una resolución de 100x y la imagen que se ve detrás se compara con la imagen de la mesa y se infiere su tamaño.

El laboratorio cuenta con un ocular especial para medir el tamaño de las partículas. utilizar el procedimiento de comparación, la diferencia muestras de comparación vistas a través del ocular antes mencionado.

El círculo exterior tiene un diámetro de 175 mm y debe coincidir con el contorno de la forma. microscopio para respetar los aumentos. El número de cada patrón corresponde al tamaño de grano "G" si se observa la imagen. tubo de ensayo con un aumento de 100x. Si se utiliza un aumento diferente, se debe hacer la corrección este valor sumando el factor de corrección Q.

Tabla 2-13: Factor de correlación

Magnificación M	Factor de corrección Q (para Mb= 100x) $Q = 6064 \log_{10} \left(\frac{M}{M_b} \right)$
50x	-2
100x	0
200x	2
400x	4

Fuente: (Seiro,2017)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

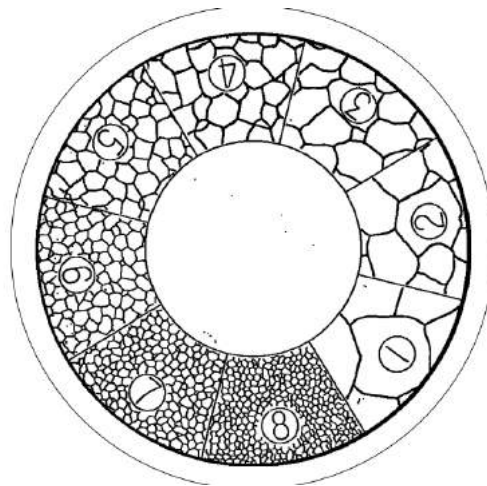


Ilustración 2-22: Tipos de microestructuras

Fuente: (Seiro,2017)

2.2.13.2. Procedimiento Planimétrico

Este fue el primer método creado para medir el tamaño de grano en los metales y era lento. Implica el uso de un círculo, cuyo tamaño se conoce de antemano y su superficie puede ser normalmente de 5000 mm². El círculo se amplía en una cámara óptica o se coloca en un proyector, y luego se cuenta el número de partículas que están completamente dentro del primer círculo y el número de partículas que cortan el segundo círculo; se marcan a medida que se cuentan. (Diego 2017, p.4).

La siguiente imagen muestra un círculo con un área de 5000 mm² en el centro círculo, el exterior tiene 175 mm de diámetro y debe coincidir con el borde de la imagen de arriba microscopio para respetar los aumentos.

$M = \text{Magnificación}$

$M_b = \text{Aumento utilizado por una serie de gráficas}$

$N_A = \text{Granos por mm}^2$

$N_{\text{INTERNO}} = \text{Número de granos dentro del círculo}$

$N_{INTERCEPTADO}$ = Número de granos interceptados por el círculo

f = Múltiplo de Jeffries

$$N_A = f * (N_{INTERNO} + \frac{N_{INTERCEPTADO}}{2})$$

Un área de 5000 mm^2 $f = 0.0002 * M^2$

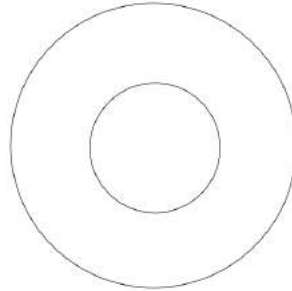


Ilustración 2-23: Procedimiento Planimétrico
Fuente: (Seiro,2017)

2.2.13.3. Procedimiento de Intersección

Este método es más rápido que el método planar porque no necesita marcar la cámara del microscopio para obtener resultados precisos, pero este método se usa con una pantalla de vidrio dividido o con una cámara de microscopio en la muestra. Tiene y cuenta las partículas que están bloqueadas por una o más líneas, las líneas que toca la cabeza se denominan partículas medias. Para determinar el tamaño de grano, el tamaño de grano en milímetros se dividió por el número promedio de partículas en tres lugares diferentes para obtener el diámetro de grano promedio.

La siguiente imagen muestra las diferentes geometrías utilizadas para medir el tamaño de grano utilizando el procedimiento de intersección. Las cuatro líneas de la figura corresponden al método de Heyn. El método de Hilliard usa un círculo suelen tener una circunferencia de 100, 200 o 250 mm. Tres círculos de la imagen, corresponde al método de Abrams (entre los tres métodos suman una longitud de 500 mm)

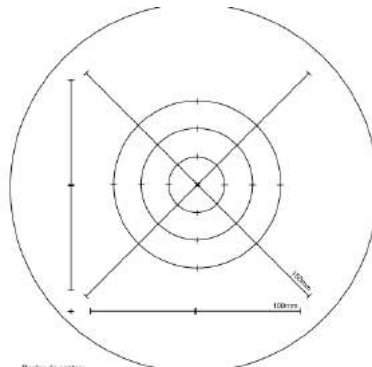


Ilustración 2-24: Procedimiento de Intersección
Fuente: (Seiro,2017)

2.2.13.4. Reglas de conteo

La intersección es un segmento de la ruta de prueba que pasa a través del grano, una intersección es un punto donde la línea de prueba es intersecada por un límite de grano. Ambos se pueden calcular con resultados idénticos en materiales monofásicos. Cuando se cuenta intersecciones, los segmentos al final de la línea de ensayo que ingresan, dentro de un grano son contados como media intersección. Al contar las intersecciones, los puntos los extremos de la línea de prueba no son intersecciones y solo se cuentan cuando se tocan exactamente un límite de grano, entonces se debe registrar ½ intersección. La coincidencia de tres partículas se debe denotar 1 1/2.

$$\overline{N}_L = \frac{N_i}{L/M}$$

$$G = (6.643856 * \ln(\overline{N}_L)) - 3.288$$

2.2.14. Tratamientos Térmicos

El tratamiento térmico es un proceso por el cual un material en estado sólido se somete a uno o más ciclos de calentamiento y enfriamiento, con el fin de cambiar algunas de sus propiedades, con el fin de mejorar un determinado uso.

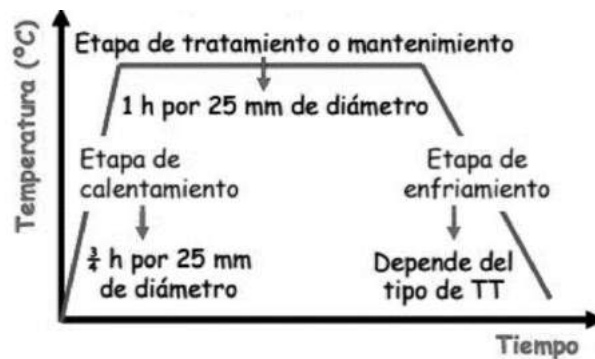


Ilustración 2-25: Etapas de tratamiento.
Fuente: (MIESA,2017)

En el tratamiento térmico, todos los tratamientos tienen la misma pendiente, por lo que solo hay cambio de deformación plástica. Restaurar una normalización solo cambia la deformación y la pendiente es la misma en ambos casos. Su clasificación es el siguiente:

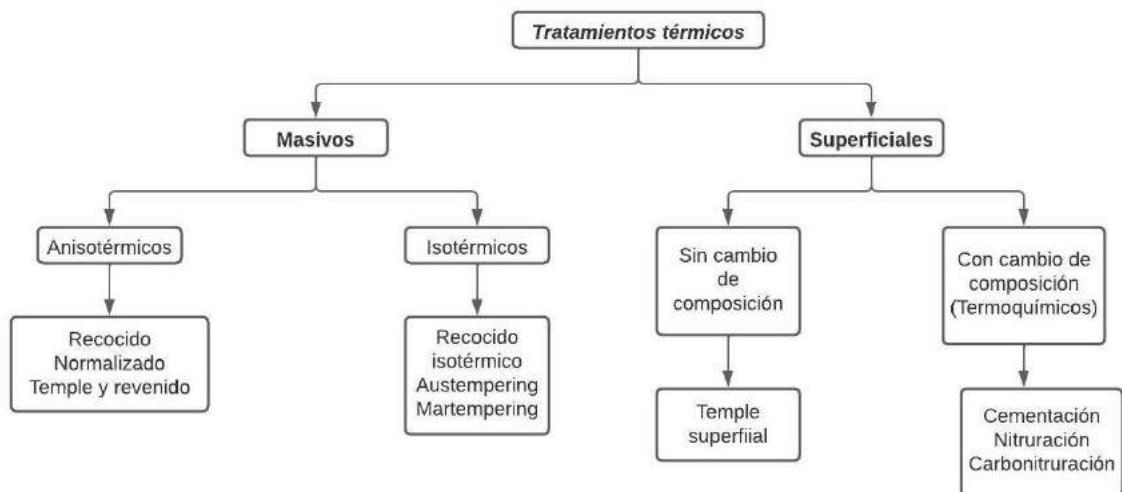


Ilustración 2-26: Clasificación de los tratamientos térmicos.
Fuente: (MIESA,2017)

Durante la soldadura se crean efectos indeseables en el material, siendo los principales:

- Generando tensiones residuales que pueden ocasionar asentamiento de partes gruesas o deformación de partes delgadas, estas tensiones son de dos tipos: tensión y compresión
- Absorción de hidrógeno en la soldadura, debido a factores ambientales o al uso de material de aporte en condiciones inadecuadas.
- Modificación de la estructura metálica, aumentando la dureza de la zona afectada por el calor y creando fragilidad o apariencia de corrosión bajo tensión o fisuración debido a la presencia de hidrógeno en la soldadura.

Para minimizar los efectos de estos efectos indeseables, las soldaduras requieren un calentamiento controlado tanto del metal base como del metal que se está soldando. Estos procesos controlados de calentamiento, curado y enfriamiento pueden ocurrir antes, durante y después del proceso de soldadura y afectar las propiedades mecánicas de la soldadura. soldadura incompleta. Llamar a todas las técnicas que incluyen la aplicación de calor, de forma controlada, al tratamiento térmico de la unión soldada. Usar dos formas de agrupar:

- Para las temperaturas alcanzadas: subcríticas y supercríticas.
- En el momento de la fabricación: bake out (desgasificado, deshidrogenado, outgassing), precalentamiento, postcalentamiento y tratamiento térmico posterior a la soldadura.

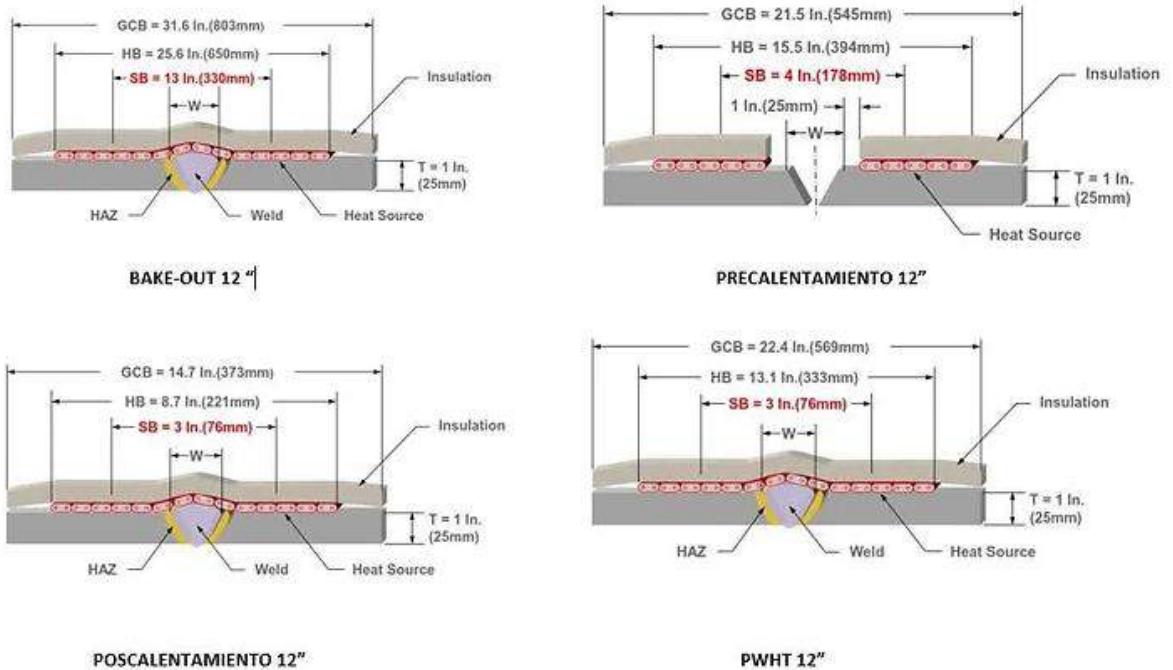


Ilustración 2-27: Configuración de las resistencias en función del tratamiento térmico a realizar.
Fuente: (MIESA,2017)

Precalentamiento para eliminar el hidrógeno presente en una pieza, antes de proceder a trabajar sobre ella, generalmente para reparaciones de soldadura o mecanizado. Se trata de elevar la temperatura del metal para garantizar que cualquier hidrógeno molecular contenido en esta parte, debido a las condiciones de uso, pueda convertirse al estado atómico y difundirse hacia el exterior. El hidrógeno en estado molecular está confinado en vacíos, impurezas, defectos de soldadura, debe disociarse, al aumentar la temperatura, en hidrógeno atómico. La presencia de hidrógeno es común en equipos y tuberías involucradas en servicios que contienen H₂S. El uso de Bake-Out implica llevar la pieza a una temperatura determinada que, durante un tiempo suficiente, permite que el hidrógeno molecular se convierta en hidrógeno atómico y se mueva hacia el exterior de la pieza para reducir el riesgo de rotura a bajas temperaturas durante la soldadura. (Askelanda 2011) Para determinar el tiempo y temperatura requeridos, se deben tener en cuenta ciertos parámetros:

- Contenido inicial de hidrógeno (dependiendo del servicio y/o procedimiento de soldadura utilizado en la construcción del equipo o tubería).
- Contenido de hidrógeno final aceptable.
- Coeficiente de difusión del hidrógeno.
- Distancia fuera del material (generalmente se considera la mitad del espesor).
- Las restricciones de temperatura pueden afectar negativamente al material.

Por lo general, los códigos de construcción no brindan instrucciones para realizar este tipo de deshidrogenación. API RP 945 (2008) 6.5.3 recomienda fijar en servicios de aminas para Bake-out de 232 a 316 °C, por 2 a 4 horas.

2.2.14.1. *Pre calentamiento / Temperatura entre pasadas*

El pre calentamiento consiste en calentar el metal base, todo o sólo en las inmediaciones de la unión antes de soldar, a una temperatura determinada, conocida como temperatura de pre calentamiento. El calentamiento debe continuar durante la soldadura. El pre calentamiento puede producir muchos efectos beneficiosos; Sin embargo, sin un conocimiento práctico de los principios subyacentes involucrados, existe el riesgo de deterioro de la integridad de la soldadura. Si se calienta el material, se reduce la diferencia de calor con respecto al punto de fusión del acero, desplazando la curva de enfriamiento hacia la derecha del gráfico (TTT), favoreciendo así las conversiones metalúrgicas hacia una estructura más blanda, menos quebradiza y propensa a fisurarse.

La función principal de la temperatura de pre calentamiento es reducir la velocidad de enfriamiento de la soldadura. Debe realizarse en todo su espesor y en un área suficientemente amplia a ambos lados de la junta del material base antes de iniciar el proceso de soldadura.

En general, la temperatura de pre calentamiento requerida para la soldadura de varias pasadas es más baja que para la soldadura de una sola pasada. En la soldadura multi trayecto, el calor del segundo paso reduce la rigidez de la ZAT generada por el primer paso y aumenta la tasa de migración de hidrógeno. Esto reduce en gran medida la posibilidad de agrietamiento en frío en el acero soldado.

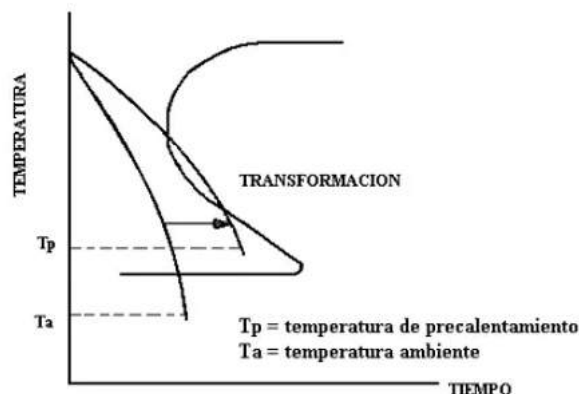


Ilustración 2-28: Formación de estructuras metalúrgicas menos frágiles y propensas a fisuración.

Fuente: (MIESA,2017)

Hay 4 razones principales para el precalentamiento:

- Disminuye la velocidad de enfriamiento en la soldadura, lo que crea una estructura metalúrgica más dúctil con mayor resistencia al agrietamiento.
- La velocidad de enfriamiento más lenta promueve la difusión de cualquier hidrógeno que pueda estar presente, reduciendo así el riesgo de agrietamiento.
- Reduce la tensión de contracción entre la soldadura y el metal base, especialmente importante en uniones de alta tensión.
- Mejora las propiedades de fractura frágil de algunos aceros y puede ser necesario para garantizar las propiedades mecánicas, como la tenacidad del metal de soldadura.

Para determinar si el precalentamiento es deseable, se deben considerar varios aspectos:

- Especificación de soldadura, procedimiento o requisitos del código.
- El espesor de la soldadura.
- Composición química de los metales comunes.
- Temperatura ambiente.
- Contenido de hidrógeno del metal de aporte.
- Problemas de agrietamiento anteriores

Si se va a seguir un estándar de soldadura, este código indicará la temperatura de precalentamiento para un tipo de soldadura, metal base y espesor determinados. Esta temperatura mínima debe alcanzarse independientemente de las limitaciones o la composición química del metal, sin embargo, el valor mínimo puede aumentarse si es necesario.

Cuando la soldadura no está especificada por un código, se debe determinar si se requiere precalentamiento y la temperatura a la que se debe lograr el precalentamiento. En general, no se requiere precalentamiento para acero con bajo contenido de carbono de menos de 1" (25 mm) de espesor. La necesidad de precalentamiento aumenta con el aumento del espesor, los niveles de hidrógeno en el material de relleno y la composición química del metal. básico. Los códigos de soldadura suelen especificar valores mínimos para la temperatura de precalentamiento, pero se puede ver que para el mismo material diferentes códigos dan diferentes temperaturas de precalentamiento.(Carrasco 2018, p.3).

Existe en ocasiones riesgo de fisuración de soldaduras y aparición de fisuras en el metal fundido o en la zona afectada por el calor. El ciclo térmico de soldadura con calentamiento y enfriamiento

rápido, desde muy altas temperaturas, facilita la aparición de microestructuras, que han sufrido un ciclo similar al temple. El espesor de la junta, la composición química del material y la presencia de hidrógeno favorecen la fisuración. El precalentamiento es un excelente método para reducir la velocidad de enfriamiento, obtener una estructura menos rígida y, por lo tanto, menos propensa a agrietarse, también nos ayuda a difundir el hidrógeno fuera del material.

Cuando no se especifica un código de soldadura y se ha establecido la necesidad de precalentamiento.

2.2.14.2. *Determinar la temperatura de precalentamiento adecuada*

La temperatura de precalentamiento varía en función de varios factores y se pueden encontrar temperaturas de precalentamiento superiores a los 600°C. Se debe intentar que la temperatura de precalentamiento sea superior a la temperatura inicial de transformación de la martensita para evitar la formación de martensita o que se forme lentamente para evitar la formación de microestructuras muy rígidas. En la soldadura por arco de aceros al carbono y de baja aleación, el endurecimiento por zona de calor (HAZ) generalmente es causado por la transformación de la austenita en martensita. El grado de dureza depende de la composición química de la aleación y de la velocidad de enfriamiento. Para los aceros al carbono y los aceros de baja aleación, el efecto de la química de la aleación en la dureza de la ZAT se evalúa utilizando el equivalente de carbono. Se han desarrollado varios métodos para determinar el equivalente de carbono del acero. Se dan los siguientes valores en función del carbono equivalente (CE):

Tabla 2-14: Valores equivalentes en función del carbono (CE)

CE < 0,45	CE entre 0,45 – 0.60	CE > 0,60
Precalentamiento opcional.	Precalentamiento 95 °C a 200 °C	Precalentamiento 200 °C a 370 °C.

Fuente: (MIESA,2017)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

La temperatura intermedia se refiere a la temperatura del material en la zona de soldadura inmediatamente antes de que se realice la segunda pasada de soldadura. En la práctica, la temperatura mínima de unión suele ser igual a la temperatura mínima de precalentamiento.

La temperatura de la junta es igual o superior a la temperatura de precalentamiento, relacionada con las propiedades mecánicas y microestructurales de la soldadura. Por ejemplo, el límite elástico y la resistencia a la tracción del metal de soldadura dependen de la temperatura entre pasadas. Las

altas velocidades pueden debilitar el metal de soldadura. Cuando se requiera resistencia al impacto, no se debe exceder la temperatura entre circuitos de 290° C.

Si se especifica una temperatura intermedia mínima, no se debe realizar la soldadura cuando la placa base se encuentra a esta temperatura. Una temperatura alta puede ayudar a lograr una microestructura de grano fino que mejora la resistencia al impacto, pero para algunos materiales es importante controlar la temperatura intersticial máxima para evitar la inutilización por baja resistencia (el material fue tratado con Q&T).

Mantener la temperatura entre el mínimo de pasada, que evita el agrietamiento, y el máximo, que no afecta a las propiedades mecánicas, depende de varios factores:

- Tiempo entre pasadas.
- Espesor del metal base.
- Temperatura de precalentamiento.
- Condiciones ambientales.
- Aporta energía.
- Transferencia de calor.

2.2.15. Control de temperatura entre ranuras

Para medir si la temperatura entre ranuras es la especificada, utilizaremos una tiza de temperatura. Cuando solo se especifica una temperatura mínima, utilizaremos una sola tiza, una vez terminada la raíz, haremos una prueba antes de empezar a soldar, con una tiza adecuada a la temperatura, hemos alcanzado la temperatura mínima entre soldaduras, la tiza debe fundirse, si esto no sucede aumentaremos la temperatura de las resistencias.

Si la temperatura se establece en un valor máximo y mínimo entre transferencias, se deben usar dos tizas, para el valor mínimo la tiza debe derretirse, pero no para el valor de tiza más alto, la tiza caliente desaparecerá tan pronto como las raíces la atraviesen, es muy eficaz para prevenir el agrietamiento en frío, ya que puede reducir el contenido de hidrógeno en aproximadamente un 30 % en comparación con solo pasar a través de las raíces. Esto significa que la temperatura de precalentamiento requerida puede reducirse a unos 30-50 °C. La perforación en caliente también puede reducir la dureza de ZAC.

2.2.16. Post calentamiento (*deshidrogenación*) del material

El objetivo principal del post calentamiento es reducir la cantidad de hidrógeno en la soldadura y el metal base adyacente para reducir el riesgo de agrietamiento por hidrógeno o agrietamiento retardado, que puede ocurrir horas o días después de que la cámara esté a temperatura ambiente. Este proceso de calentamiento es de gran importancia cuando se sueldan aceros aleados o resistentes, especialmente cuando existe riesgo de entrada de hidrógeno en la zona de soldadura por no respetar la temperatura de precalentamiento o secado de la aportación.

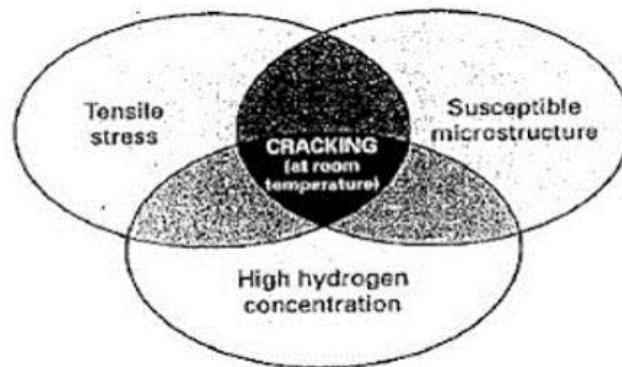


Ilustración 2-29: Susceptibilidad de formación de fisuras en frío.
Fuente: (MIESA,2017)

Cuando se realice un post calentamiento, se mantendrá la temperatura de precalentamiento hasta el arranque. Se utiliza también cuando habrá un intervalo desde el final de la soldadura hasta el inicio del tratamiento térmico de la soldadura. El post calentamiento se utiliza como pretexto para realizar un tratamiento térmico en la reparación de soldadura Temper Bead. El post calentamiento se realiza de 232 a 316 °C, con una duración de 2 horas por pulgada con un tiempo mínimo de 2 horas (para aceros al carbono y de baja aleación).

2.2.17. Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT)

El tratamiento térmico posterior a la soldadura de los aceros al carbono y de baja aleación es un ciclo de calentamiento que ocurre a temperaturas por debajo de la temperatura crítica de transformación, estos son tratamientos subcríticos porque la recristalización no es deseable (estructura cúbica centrada en las caras).

- Los gradientes de temperatura que se producen en el tratamiento térmico in situ pueden crear regiones a diferentes temperaturas dejando una parte de la escama a la temperatura de recristalización, otra parte a temperatura subcrítica, obteniendo una estructura heterogénea, que presenta diferentes propiedades dependiendo de la temperatura alcanzada.

- El tratamiento térmico a temperaturas supercríticas puede afectar negativamente a las propiedades mecánicas de un material, alterando su límite elástico o su resistencia al impacto.
- El tratamiento térmico a temperaturas supercríticas puede aumentar significativamente el riesgo de deformación de la pieza.

A pesar de estos inconvenientes, en algunos casos el tratamiento térmico local debe realizarse a la temperatura de recristalización, como es el caso de la normalización y el recocido. La soldadura tiene efectos beneficiosos del tratamiento térmico posterior en el proceso de soldadura, tales como: reducción de tensiones residuales, eliminación de hidrógeno y endurecimiento de microestructuras duras. Estos efectos beneficiosos mejoran la estabilidad dimensional, reducen el riesgo de agrietamiento por hidrógeno y mejoran ciertas propiedades del material, como la resistencia al impacto, la flexibilidad o la resistencia a la corrosión. Del mismo modo, el tratamiento térmico con una temperatura o tiempo de curado incorrectos puede afectar negativamente las propiedades del material, reducir la resistencia del material y hacer que se vuelva quebradizo. La selección de los parámetros adecuados depende de la composición de los materiales base y auxiliares y de los procesos a los que se haya sometido el material base (mecanizados, conformados o ciclos térmicos).

Las necesidades de tratamiento térmico posteriores a la soldadura suelen estar determinadas por los requisitos de varios códigos de construcción o por las condiciones de servicio a las que se someterá el material. El código de construcción proporciona pautas para realizar tratamientos térmicos para mejorar el comportamiento frente a la aparición de fracturas frágiles, para reducir las tensiones residuales o para mejorar la resistencia al impacto. El tratamiento térmico asociado a las condiciones de uso suele estar encaminado a reducir la dureza y eliminar las tensiones residuales, con el fin de evitar situaciones propicias para la aparición de corrosión.

La soldadura más habitual de los tratamientos térmicos posteriores son las siguientes:

- Relajación: El tratamiento extremo está destinado a reducir la tensión residual generada durante la soldadura, normalmente no supera los 650 °C.
- Endurecimiento: El tratamiento extremo está destinado a reducir la dureza de la zona afectada por el calor (ZAT) y eliminar el estrés, normalmente no supera los 750 °C.
- Disolución de carburos: tratamiento supercrítico, aplicable a determinados aceros inoxidable a temperaturas entre 900 y 1050 °C y enfriamiento rápido

Puede ser necesario en algunos casos, realizar una normalización, seguida de un templado, para restaurar las propiedades del hardware. La normalización es un tratamiento supercrítico y no todos los rellenos pueden tolerar completamente este tipo de tratamiento.

La ductilidad mejora en el tratamiento térmico posterior de las soldaduras propensas a agrietarse debido a la composición del metal o al espesor de la pared. Cuando se aplica correctamente, se ha demostrado que es muy eficaz para prevenir daños prematuros relacionados con la soldadura. Las tensiones provocadas por el ciclo térmico de soldadura intervienen en determinados fenómenos de corrosión localizada. Los equipos y las tuberías se reemplazan o reparan constantemente debido a la pérdida local de metal o al agrietamiento por corrosión bajo tensión debido al efecto combinado de las condiciones de curado y los efectos adversos de la soldadura. La corrosión suele ser un problema incluso después del tratamiento térmico a la soldadura (PWHT). Los resultados de las pruebas experimentales muestran que el grosor de la pared de la pieza puede generar grandes diferencias de temperatura cuando se realiza PWHT. Colocar el elemento calefactor en el exterior de la tubería no garantiza que la superficie interior alcance la temperatura requerida para reducir suficientemente la dureza de la soldadura. El agrietamiento por corrosión bajo tensión comienza en estas superficies internas.

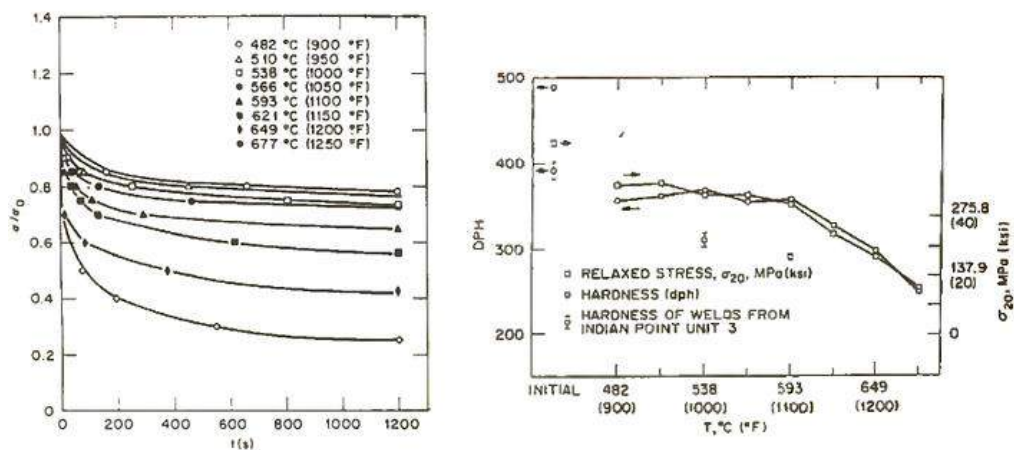


Ilustración 2-30: Influencia del tiempo y la temperatura en la reducción de tensiones residuales y durezas en la zona afectada por el calor.

Fuente: (MIESA,2017)

La reducción de la tensión residual asociada con la soldadura es un proceso que depende del tiempo y la temperatura, siendo la temperatura el componente más influyente. Se muestra que, para aceros de baja aleación, mientras la temperatura del metal fundido no supere la temperatura mínima, prácticamente no hay reducción de tensiones. Por encima de esta temperatura, el nivel de tensión residual disminuye rápidamente a medida que aumenta la temperatura. El mismo estudio muestra que cuando a esta temperatura, la tensión residual disminuye rápidamente solo durante los primeros 20 minutos, luego la tasa de relajación es muy lenta.

El temple es un tratamiento térmico posterior a la soldadura cuyo objetivo es reducir el grado de dureza de la zona afectada por el calor, con el fin de reducir la fragilidad de las estructuras rígidas.

Las microestructuras con alta dureza (350 HV) son susceptibles al agrietamiento por hidrógeno (HIC) o al agrietamiento por corrosión bajo tensión (SSC). El tratamiento térmico se aplica principalmente al acero aleado, utilizado para servicios de alta temperatura.

Dado que estas aleaciones están diseñadas para soportar altas temperaturas, las temperaturas de procesamiento también deben ser más altas, generalmente están entre 720-780 °C para los aceros CrMo, se deben usar temperaturas más altas, en rango, para lograr una mayor reducción de la dureza.

Disolución, recocido, precipitación de carburos. Este tratamiento requiere una austenización completa y, por lo tanto, se realiza a temperaturas supercríticas. Durante la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, parte de la zona afectada por el calor se encuentra dentro del rango de temperatura que favorece la formación de carburos de cromo.

El carácter inoxidable de estos aceros se debe a la formación de una capa de pasivación, cuando el cromo de la aleación reacciona con el oxígeno presente en el ambiente, si al soldar el cromo reacciona con el carbono corremos el riesgo de que algunas zonas del Zac no formarán una capa pasiva. Este fenómeno, conocido como sensibilización o corrosión entre ondas, ocurre en el rango de temperatura de 430 a 850 °C y se manifiesta como bandas paralelas al cordón de soldadura.

Desde el punto de vista del procesamiento, la solución consiste en elevar la temperatura a 1050 °C y permanecer constante para que se disuelvan todos los carburos. El carbono forma carburos de Ti o Nb a una temperatura superior a la temperatura a la que se empieza a formar el carburo de cromo, unos 900 °C, si el carbono se une a estas aleaciones, permaneciendo a esta temperatura el tiempo requerido, cuando llegamos a la formación del carburo de cromo. temperatura y la pasa rápidamente, el Cr permanecerá en estado libre porque no hay carbono libre involucrado. No se recomienda realizar este tipo de tratamiento de forma local.

2.2.18. Análisis por elementos finitos

Los métodos utilizados son elementos finitos y matemáticas, al dividir elementos en nodos, transforma funciones matemáticas, en modelos discretos, al interpolar valores establecidos, donde cada función tiene tres tipos de nodos, como primaria, secundaria e intermedia, agrupados en dos familias denominadas aleatorias y lagrangianas, sometándose a diferentes cargas, según sus geometrías, inicialmente define la unidad, condición de contorno, en base a un modelo 3D de las partes del cuerpo, determina las tensiones y los esfuerzos, dando la resultado esfuerzo, deformación, desplazamiento y factor de seguridad, en el que los elementos que producen satisfacen las condiciones, permiten transformaciones geométricas basadas en errores presentados

en formas de modelado, personalizadas y computacionales, con una cuadrícula adaptativa de estilo basada en el resultados de: Método H, que es un método de reducción de errores, tiene dos desventajas, como que es lento y está fuera de control, lo que puede causar una malla distorsionada.

El método P, que consiste en una interpolación incremental con nivel constante, con una mayor tasa de convergencia, presenta un alto grado de variación en las soluciones. Método HP, es una secuencia generada en ambas técnicas, donde se optimiza el mallado de la geometría con errores marcados y estimados al mínimo (Llanes 2020).

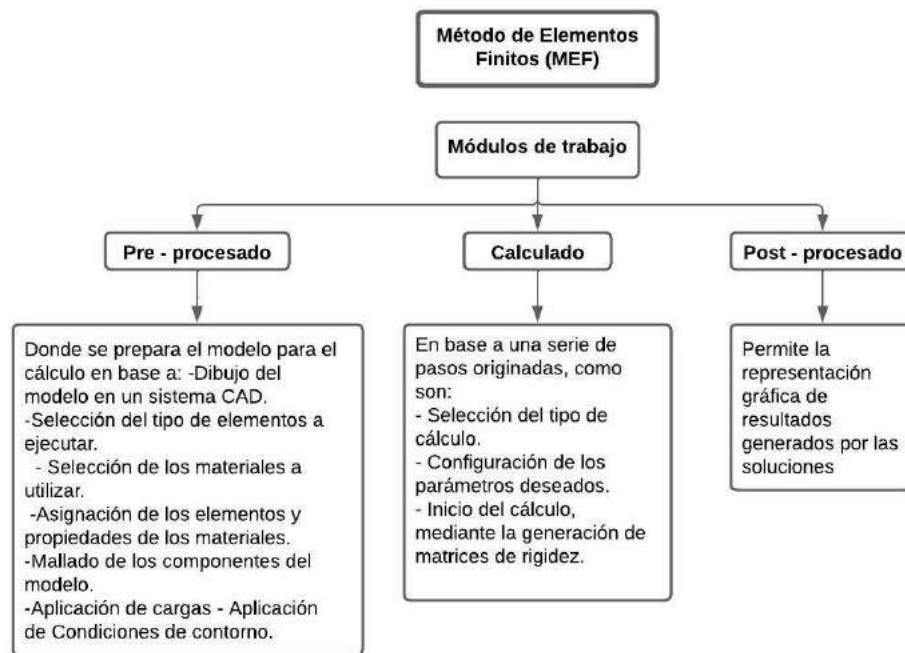


Ilustración 2-31: Procedimientos Metodológico del Método (MEF)
Fuente: (Llanes 2020)

Geometría CAD, el análisis de elementos finitos se basa en una geometría definida dada en una serie de procedimientos como se muestra en la Figura 37-2:

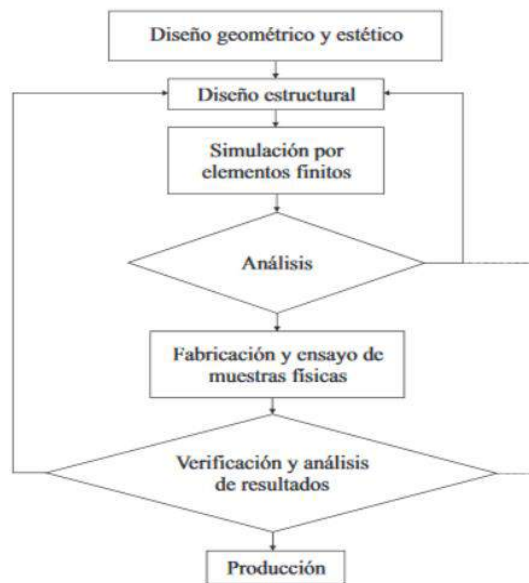


Ilustración 2-32: Esquema geométrico del proceso de diseño.

Fuente: (Llanes 2020)

2.2.18.1. Modelos de verificación dinámica

Modelos de elementos simplificados, dados, sobre la base de un cálculo dinámico semi estático, donde se debe incluir el efecto del endurecimiento del material en la velocidad de deformación, incluida la alteración de las condiciones de carga.

El modelo utiliza el método multi cuerpo, dado que a través de los cálculos utilizados en los modelos similares a los de las varillas y resortes no lineales, utilizando una estructura suficientemente aceptable.

El modelo detallado de elementos finitos, en su clara formulación, puede incluir desde superestructuras hasta elementos vehiculares dependiendo de la complejidad de los elementos fabricados detallados, por cómo llevar a cabo las fases de diseño, adaptándose al servicio técnico real y requerido, conduciendo a resultados aceptables y válidos para la certificación. No linealidad del material, que ocurre cuando la relación entre tensión y deformación ya no es lineal.

La no linealidad geométrica generalmente ocurre cuando las anomalías geométricas involucradas en se deben a cambios abruptos. La no linealidad en las condiciones de contorno ocurre cuando las cargas y los límites de movimiento se determinan de acuerdo con su ubicación, forma de aplicación, tipo de carga y magnitud (Llanes 2020, p.12).

La simulación estructural brinda apoyo a problemas relacionados con cargas producidas por componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos, entre otros; permitiendo plasmar esfuerzos y

deformaciones presentes en la estructura, ampliando el grado de opciones de simulación que permita controlar la disparidad del modelado, a través de una concreción deseada y tiempos computacionales, optimizando los diseños antes de su fabricación, diseños mejorados y parámetros críticos con una mejor percepción, en prototipos virtuales, iniciando con el boceto y modelado mediante el Diseño Asistido por Computadora (CAD), para a posteriori modelarlos a través de la Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), aplicando las propiedades de los materiales utilizados.

El diseño asistido por computadora (CAD) en 2D y 3D, se basa en la precisión adquirida por modelos complejos del orbe real, adonde la Ingeniería Inversa, depende de la segmentación ofertada por etapas, resaltando los procedimientos efectuados de datos, suavizando las superficies y registros múltiples en base a la integración de datos, con características adicionales que permitan asesinar irregularidades, creando una textura uniforme, en base a un pre procesamiento de simulación CFD, en base a parámetros simulados con esfera de jerga computacional, mallado y una posibilidad óptima, obteniendo una confiabilidad adecuada lisa, requerido a la disparidad limitada, en base a una propiedad de estilo física, con geometría y combinaciones de métodos, adecuados de estilo tetraédrico y hexacore, en base al refinamiento con una configuración prismática de cada capa límite como la indicada en la Ilustración 2-33.

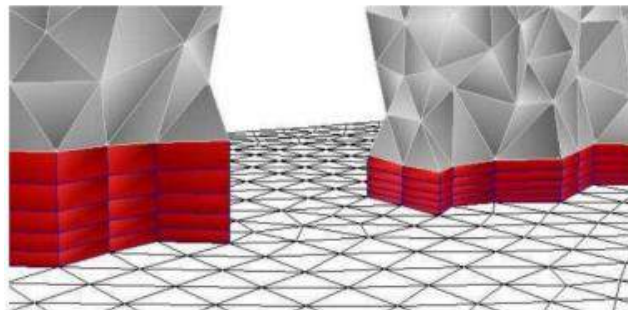


Ilustración 2-33: Configuración prismática

Fuente: (Llanes,2020)

2.2.18.2. *Teorías de fallas*

Detallando que la teoría del daño se basa en la pérdida de función del elemento causada por deformación y por separación, con base en la estructura microscópica de la forma con enlaces atómicos, prediciendo la falla del material bajo cargas estáticas, modelando diseños de elementos de máquinas de estilo confiable, generando cedencia bajo estados combinados de esfuerzos con criterios como:

- Teoría esfuerzo cortante máximo
- Von Mises

- Esfuerzo Normal Máximo
- Coulumb – Mohr
- Circulo de Mohr

2.2.19. Mallado

Para mallar un elemento dado utilizando el método FEM, los automáticos y preprocesadores de estilo 2D actúan como cuadriláteros lineales dominantes o triángulos adicionales en regiones definidas, mientras que en 3D los elementos actúan como un tetraedro lineal para la estimación de tensión. aceptable, con la combinación de 8 nodos y 6 nodos aumenta mayor tiempo de procesamiento, estilo mixto cuando geometrías son de diferentes modelos

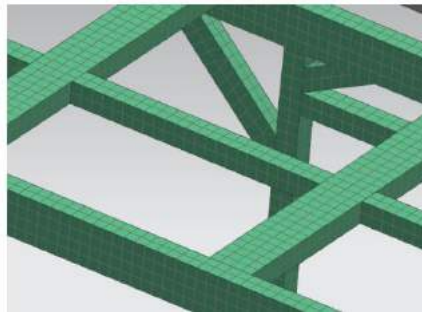


Ilustración 2-34: Generación de mallas.
Fuente: (Llanes,2020)

El análisis de sensibilidad de cuadrícula, un análisis realizado para abordar la precisión de la cuadrícula de una determinada variable relacionada con la estructura recomienda lo siguiente.

Tabla 2-15: Deformación equivalente

Modelo 3D	Deformación equivalente promedio (* 10 ⁻⁵)	Diferencia
Malla Fina (25mm)	1.8672	1.19
Malla media (50mm)	1.8448	2.73
Malla gruesa (75 mm)	1.8952	

Fuente: (Llanes, 2020)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

El análisis de elementos finitos FEM, permite resolver, inconvenientes o problemas creados en ingeniería, gracias a un software especializado, mediante el uso de Design Manager, que permite operaciones tridimensionales modificadas, en base a un croquis inicial, con diferentes tipos de malla, por la distribución de las fuerzas originales, tales como:

- Malla Cuadrada
- Malla Rectangular

- Malla Triangular
- Malla Hexagonal

Por lo tanto, por medio del análisis de elementos finitos, el comportamiento de la carga se determina además por la tensión en la escala de Von Mises, con aumentando en diferentes intervalos de tiempo y el desplazamiento generado a la carga máxima, junto con un factor de diseño-uso de seguridad establecido y calculado (Luis, Villafuerte Buñay 2017, p.34)

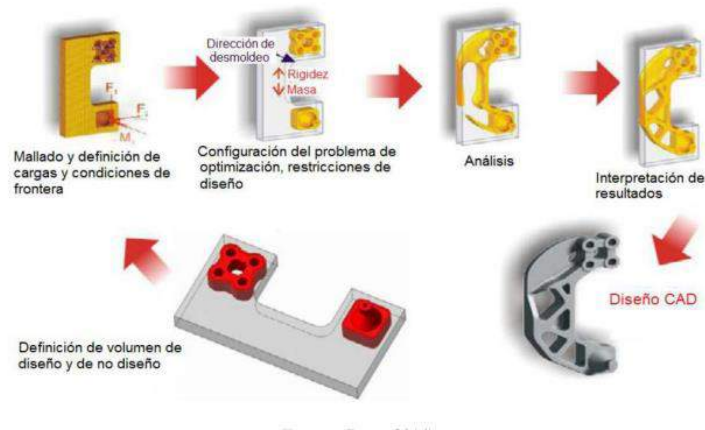


Ilustración 2-35: Diseño de un componente mediante optimización estructural.
Fuente: (Llanes, 2020)

El análisis de las fuerzas generadas se da mediante un software tipo CAE, a través de un estilo tetraédrico, subdividida en subáreas, con base en calidad jacobiana, mediante puntos de anclaje y asignación de cargas, genera un análisis de esfuerzo máximo, debe fallar, con la deformación máxima causada por el análisis estático configurado con parámetros de construcción definidos inicialmente combinados con el esquema del croquis (Llanes 2020, p.12).

2.2.20. Tipo de errores

Los errores que existen en el análisis de elementos finitos se dividen en:

- **Errores de modelado**, generados en cargas externas, condiciones de contorno y propiedades del material.
- **Error en la corrección de aproximación de la geometría**, debido a la falta de precisión en modo, aumenta la calidad de la malla con un mejor ajuste fino.
- **Error oculto**, directamente relacionado con el tamaño de los elementos en forma de nodos.
- **Error de cálculo**, debido a integración generada en componentes, aceptando error de límite, debido a truncamiento en representación por computadora

2.2.21. Simulación del modelo matemático

La simulación del modelo matemático se basa básicamente en tres tipos:

- *Estático Estructural*, que permite análisis de fuerzas axiales y cortantes, así como esfuerzos, deformaciones y desplazamientos. de una carga determinada estáticamente, a partir de los contactos diferentes utilizados a través del coeficiente de rozamiento y las condiciones de los límites analizados
- *Método*, que permite determinación de propiedades dinámicas, basado en 'un sistema definido en forma de frecuencias naturales, coeficientes de amortiguamiento y nodos de un elemento definido
- *Dinámica rígida*, que permite realizar diferentes acoplamientos de diferentes componentes sin permitir que el paso separe la simulación generada y generada por la fuerza definida y establecida, en base a diferentes condiciones no lineales, se definen con un mallado aceptable

2.2.22. Limitaciones de los elementos

Las limitaciones de los elementos indicados, a la hora de fabricar el autobús, son utilizar secciones tubulares de sección hueca, cuadrada o rectangular, de aceptable resistencia mecánica, con dimensiones adecuadas y geometría notablemente regular, utilizando juntas simples formadas por dos o tres configuraciones perpendiculares, que proporciona mayor rigidez con uniones complejas vinculadas a las facetas provistas de manera realista con tres elementos independientes, con una estimación de una estructura rígidamente modelada, con análisis de la mayor fatiga en los nodos donde produce una gran sensibilidad después de la distribución masiva (Yupanguí 2022, p.10).

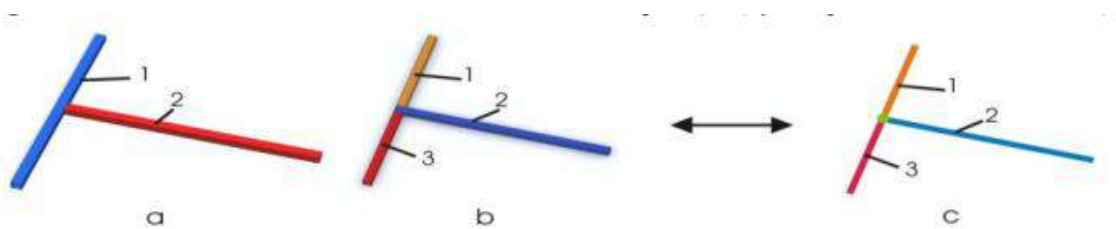


Ilustración 2-36: Correlacional entre dos modelos de uniones simples (a, b) y el equivalente modelo FEM, C.

Fuente: (Llanes, 2020)

2.2.23. Análisis Térmico por el Método de Elementos Finitos

El método de elementos finitos (FEM) se utiliza para aplicaciones estructurales con el estudio de distribuciones de tensión, deformación y desplazamiento mediante análisis estático y dinámico.

El estudio del comportamiento de la energía térmica en un sistema, especialmente cuando se mueve debido a las diferencias espaciales de temperatura. Esto sucede a través de tres métodos de transferencia de calor, cada uno descrito por una ecuación: conducción, que caracteriza el flujo de calor a través de la materia (ley de Fourier), convección, que se ocupa del movimiento de los líquidos debido a la gravedad o a los efectos del flujo (ley de enfriamiento de Newton) y radiación, con la transferencia de energía térmica por ondas electromagnéticas (Ley de Stefan -Boltzman) (Croppi, Lazzaroni 2014, p.2).

Debido a las propiedades numéricas de las mallas de elementos finitos, los análisis térmicos, de acuerdo con esta metodología, a menudo se utilizan para representar medios sólidos donde predomina la conducción. A su vez, los fenómenos de convección y radiación son idealizados por condiciones de contorno equivalentes, las cuales son representadas por las leyes anteriores. En otras palabras, el comportamiento de los líquidos y las ondas electromagnéticas no se modela explícitamente en el análisis de FEM, que se caracteriza por los flujos de calor en los límites del sistema. Se debe tener en cuenta que estos se realizarán con más detalle que con otras herramientas de simulación digital.

Desde un punto de vista aritmético, el desarrollo del análisis de transferencia de calor mediante MEF sigue los mismos supuestos que los especificados en los modelos estructurales, utilizando los conceptos y metodologías del análisis estático y dinámico, como elementos que son matemáticamente representados por funciones de forma. Sin embargo, los modelos numéricos utilizados en simulaciones térmicas tienen menor complejidad estructural que los modelos estructurales debido a las características físicas de los fenómenos investigados. Por ejemplo, una malla numérica tiene un solo grado de libertad por nodo (temperatura), por lo que el número de ecuaciones a resolver será menor que el de una malla estructural con el mismo número de elementos, donde cada nodo tiene tres o seis grados de secuencia (traslaciones y rotaciones de elementos de lámina o viga). Además, se pueden obtener resultados satisfactorios incluso con mallas más gruesas, debido a las propiedades de conducción lineal y al hecho de que los elementos no se deforman en un análisis térmico puro. Por lo tanto, las simulaciones de transferencia de calor suelen tener soluciones rápidas con poco esfuerzo computacional.

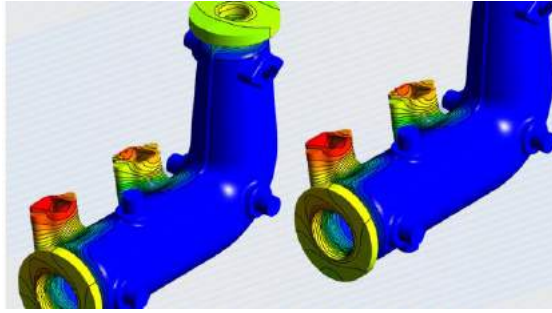


Ilustración 2-37: Análisis Térmico por el Método de Elementos Finitos.

Fuente: (ESSS, 2022)

Se puede observar algo similar para el comportamiento no lineal, con menos impacto en la complejidad de la configuración del análisis y el tiempo de resolución, que para los estudios estructurales. Esta no linealidad se caracteriza por la presencia de cualquier fenómeno dependiente de la temperatura, como las propiedades de los materiales, los coeficientes de convección o los flujos de calor externos. Además, la radiación es, por definición, no lineal en su tratamiento. La solución se obtuvo por el método de Newton-Raphson con convergencia controlada por residuos de flujo de calor interno y/o aumento de temperatura.

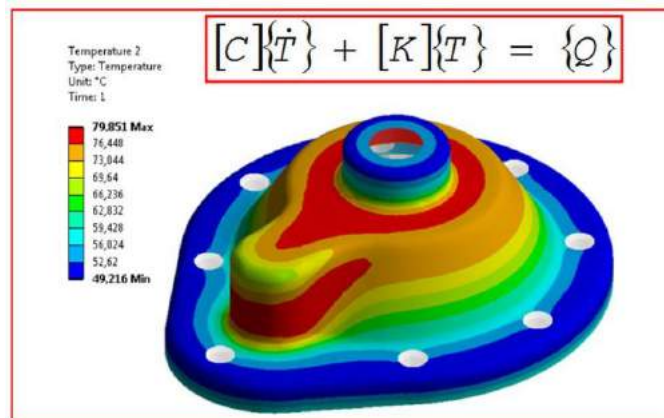


Ilustración 2-38: Método de Newton-Raphson con convergencia controlada por residuos de flujo de calor interno y/o aumento de temperatura.

Fuente: (ESSS, 2022)

El análisis térmico se puede utilizar para diversas aplicaciones industriales, lo que permite desarrollar productos y procesos con un mayor grado de seguridad y eficiencia. Dichos análisis numéricos para la evaluación del perfil de temperatura en un componente o equipo, que permitan evaluar el perfil de temperatura en un componente o equipo, para asegurar niveles aceptables para su operación, así como estudiar su interacción con el ambiente externo, para minimizar o maximizar el calor intercambiado con él. Cuando se eleva el equilibrio de estado estable, se

pueden evaluar los transitorios, determinando las tasas de calentamiento/enfriamiento experimentadas por el sistema, así como el historial de temperatura de funcionamiento.

Además, este tipo de simulación se puede utilizar de forma integrada con el análisis estructural para evaluar fenómenos de unión física. Algunos ejemplos de acoplamientos son la deformación térmica debido a la expansión o contracción, el efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas y la generación de calor debido a la fricción. Esta integración multi física ocurre directamente, ya que se utiliza el mismo método de elementos finitos para el comportamiento térmico y estructural, sin interpolación entre diferentes mallas, como en el acoplamiento estructural líquido. Esta propiedad especial del acoplamiento térmico-estructural hace posible modelar fenómenos no solo secuencialmente sino simultáneamente, con influencia mutua entre las dos físicas.

Como resultado, se pueden realizar análisis numéricos de transferencia de calor utilizando varios conceptos y recomendaciones utilizados en la simulación estructural. Esto permite que estos estudios se realicen con relativa facilidad y con poco impacto computacional, permitiendo no solo la evaluación de los fenómenos térmicos de forma individual, sino también una mayor fidelidad a los modelos.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

Se detallará el análisis de variables, normas y procesos empleados para la recopilación de datos en la investigación y además hacer el análisis e interpretación de los datos en el siguiente capítulo.

3.1. Enfoque de investigación

Para el proyecto de investigación se utilizará un enfoque cuantitativo ya que las propiedades mecánicas, de deformación y fractura de elementos estructurales, se calculan mediante asignación numérica a dichas variables. Se utilizará también el enfoque cualitativo en menor medida para la verificación del cumplimiento o no de las normas INEN.

3.2. Diseño de investigación

Dado que objetivo del estudio será analizar la afectación térmica por soldadura SMAW y GMAW durante la construcción de las carrocerías de autobuses, se recurrió a un diseño experimental que se aplicara de manera transversal, considerando que el tema de investigación tiene un sustento teórico suficiente, se procedió a realizar una investigación de tipo descriptivo para conocer a detalle la forma en que la soldadura afecta las propiedades del acero ASTM A-500.

3.3. Tipo de investigación

Para la elaboración el presente proyecto de Investigación Curricular con los objetivos de esta investigación por alcanzar y la problemática planteada, la metodología está basada en una investigación descriptiva en la que se estudia, se analiza y se define datos reales que ayudara como base para la investigación que requieran un mayor nivel de profundidad. Para el sitio del proyecto, experimental de acuerdo con las variables proporcionadas en la investigación, con un enfoque cuantitativo, ya que es el más adecuado para demostrar de manera objetiva, orientada a resultados y con datos claros y precisos.

3.3.1. *Descriptiva*

El estudio será descriptivo ya que se trata de describir el comportamiento mecánico del acero ASTM A-500 calculando su deformación y su análisis térmico luego de un proceso de soldadura.

Analiza, estudia y describe técnicas mediante la recolección primaria como es: la observación, para determinar las condiciones térmicas que afectan al material mediante los procesos de soldadura y de la misma manera las condiciones mecánicas y químicas del acero ASTM A-500 empleado para la construcción de las carrocerías de buses interprovinciales.

3.3.2. *Cuantitativa*

Se establece una investigación cuantitativa por el uso y recolección de datos, a través de equipos de tal forma el funcionamiento, así como el análisis e interpretación de los resultados ya que se emplean diferentes variables cuantificables, para definir de manera objetiva resultados y con datos reales de manera correcta.

3.3.3. *Experimental*

Método el cual tiene control de las variables de estudio las cuales son sometidas a diferentes pruebas, en ciertos parámetros mientras se realizan las pruebas para determinar la afectación térmica por soldadura al acero ASTM A-500 galvanizado.

3.4. Población y Muestra

3.4.1. *Población*

En el país se cuenta con 65 empresas carroceras calificadas por la ANT de las cuales el 60% se encuentra en las provincias del centro del país, a nivel nacional se llega a construir un promedio de 475 unidades de transporte interprovincial, las empresas de transporte renuevan sus unidades en un promedio de 500 unidades al año.

3.4.2. *Muestra*

El acero ASTM A-500 es el acero utilizado para la construcción de carrocerías debido a sus propiedades físicas y mecánicas además que evita cualquier tipo de corrosión que afecte al proceso de construcción además los procesos de soldadura utilizados en este proceso que es la soldadura SMAW y también GMAW.

3.4.3. *Unidad de análisis*

La unidad de muestreo se establece 2 probetas en acero ASTM A-500 galvanizado que posean las dos características de la soldadura por SMAW y GMAW respectivamente para verificar las condiciones mecánicas igual que las químicas antes y posterior de la realización de la soldadura del cual se analizará la sección frontal ya que es la porción del autobús que soportará la mayor energía proveniente de un impacto frontal

3.5. Métodos y técnicas de la investigación




3.5.1. Instrumentos de investigación

Tabla 3-1: Herramientas y máquinas utilizadas

Instrumento	Descripción	Figura
<p>Soldadora Lincoln 210 MP</p>	<p>La fuente de poder Lincoln POWER MIG 210 es una maquina multiprocesos que permite realizar trabajos de soldadura MIG</p>	
<p>Soldadora Lincoln MEGA FORCE 200I</p>	<p>Fuente de poder inversora permite realizar trabajos principalmente en procesos GMAW y GTAW tiene una tensión de alimentación de 110V y 220V</p>	
<p>Fresadora</p>	<p>Es una herramienta de mecanizado a partir del corte de viruta a través de una herramienta rotativa la cual dispone de varios frentes de corte conocido como fresa.</p>	
<p>Cortadora de Disco</p>	<p>Tiene como función cortar una muestra del material a estudiar, cuenta con un sistema de refrigeración por agua el cual evita el sobrecalentamiento evitando así que existan cambios en la muestra que pueda afectar al resultado</p>	

<p>Montador de probetas</p>	<p>Tiene como objetivo fabricar baquelitas su funcionamiento se basa en el movimiento de un pistón de manera automática mediante el accionamiento de los pulsadores de elevación y descenso logrando así compactar la muestra a la baquelita.</p>	
<p>Papeles abrasivos</p>	<p>Su función es la de realizar el desbaste en el material de estudio</p>	
<p>Desbastadora</p>	<p>Es utilizada para el desbaste superficial de muestras metalográficas mediante la utilización de papeles abrasivos y cuenta con un sistema de refrigeración y drenaje.</p>	
<p>Maquina pulidora</p>	<p>Equipo utilizado para realizar el pulido final de nuestra muestra metalográfica esta cuenta de un disco único el cual esta adecuado para realizar este trabajo, además cuenta con un sistema de refrigeración.</p>	
<p>Zona de Ataque Químico</p>	<p>Zona donde se realiza el proceso de ataque químico que consiste en la corrosión controlada de una muestra</p>	

<p>Microscopio Óptico</p>	<p>El microscopio metalográfico tiene como principal objetivo el permitir visualizar la microestructura y los distintos cambios que se puedan llegar a presentar en las distintas probetas realizadas, su principio de funcionamiento se basa en la iluminación de luz reflejada.</p>	
----------------------------------	---	--

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6. Principales aceros y aleaciones

3.6.1. Acero ASTM A-500 galvanizado

Para la realización del proyecto de investigación se utilizó un acero ASTM A-500 galvanizado el cual tiene las siguientes especificaciones.

Tabla 3-2: Especificaciones del acero ASTM A-500 galvanizado

Especificaciones	
Descripción	
Norma	NTE INEN 2415
Calidad	SAE J 403 1008
Acabado	Acero galvanizado
Forma	Tubo cuadrado
Diámetro externo	50x 50 mm
Espesor	3 mm
Longitud	100 mm
Tolerancia	Control con el estándar, OD: +/-1%, WT: +/-5%
Peso	4.48 Kg/m
Área	5.61 cm ²

Fuente: (DIPAC, 2020)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023



Ilustración 3-1: Tubo cuadrado acero ASTM A-500 galvanizado
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.2. *Probetas de acero ASTM A-500 galvanizado*

3.6.2.1. *Placas de acero ASTM A-500 galvanizado*

Para la realización del estudio del proyecto de investigación se realizó un corte al tubo cuadrado galvanizado para la obtención de placas, la distancia a trabajar es de largo 100 mm.



Ilustración 3-2: Placa de 50x100 mm de acero ASTM A-500 galvanizado
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.2.2. *Obtención de muestra de las placas de acero galvanizado*

Mediante la máquina se realizó el corte de una muestra del acero de 150x150 mm basando en la Norma ASTM E3-11 para preparación de muestras metalográficas y posteriormente realizar el estudio en estado puro antes de la realización de los procesos de soldadura.



Ilustración 3-3: Cortadora de Disco

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.2.3. *Compactación de la baquelita con la muestra de acero galvanizado*

Se utiliza el equipo para elaborar las probetas del material a estudiar, en este caso baquelita el cual permite realizar los distintos estudios de la microestructura del acero ASTM A-500 galvanizado



Ilustración 3-4: Máquina de baquelita

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

El proceso para la realización de la compactación de la muestra a la baquelita es de 10 minutos, una vez terminado el tiempo establecido se realiza un enfriamiento mediante agua finalmente ya se tiene la baquelita para el trabajo correspondiente.

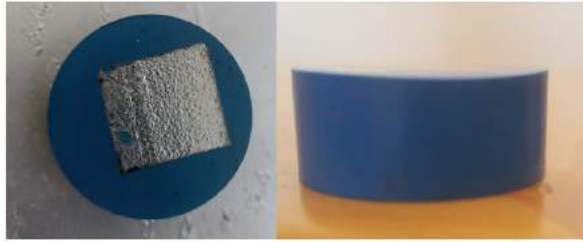


Ilustración 3-5: Acero galvanizado en la baquelita
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.2.4. Desgaste de superficie de la muestra de acero galvanizado

Al tener la baquelita se procede al desgaste de la superficie para eso se determina ciertas enumeraciones de papeles abrasivos como son: 220, 320, 400,600,1000,1200,1500 y 2000, son las que se ocuparon para el proceso de desgaste del acero en una de sus superficies tomando en cuenta que se va desgastando progresivamente del papel abrasivo más grueso hasta al más fino.



Ilustración 3-6: Tipos de papeles abrasivos para el desgaste del acero
Realizado por: Guayaulema. J, 2023

3.6.2.5. Forma de desgaste del acero galvanizado

Mediante el papel abrasivo se procede al desgaste de una de las superficies del acero galvanizado esto se debe realizar progresivamente, el desgaste debe ser en un solo sentido y a un ritmo moderado, el equipo posee un sistema de refrigeración por agua esto permitirá que el elemento no se caliente al momento de realizar el desgaste con eso evitar el cambio microestructural que se va analizar, posteriormente luego de realizar el respectivo proceso de desgaste debe quedar la cara del acero galvanizado en forma de espejo.

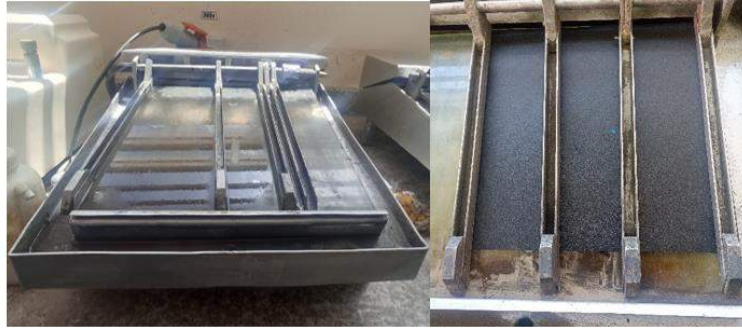


Ilustración 3-7: Desbastadora

Realizado por: Gallegos. N & Guayalema. J, 2023

3.6.2.6. Limpieza de las muestras de acero galvanizado

Al finalizar el proceso de desgaste del acero se procede a realizar una pulida en la maquina con la ayuda de alúmina para un mejor acabado en el material, esto se realiza mediante unos 5 minutos luego se limpia mediante agua y con una secadora se procede a tener a punto el material para posteriormente realizar un ataque químico.



Ilustración 3-8: Alúmina y pulidora

Realizado por: Gallegos. N & Guayalema. J, 2023

3.6.2.7. Zona de ataque Químico

En el ataque químico se realiza un proceso de corrosión controlada de la muestra para realizar el ataque químico es necesario tener la muestra ya devastada, para el estudio del acero ASTM A-500 galvanizado el químico a utilizar para realizar este proceso es el Nital según la norma ASTM E12 para la preparación de metalurgia

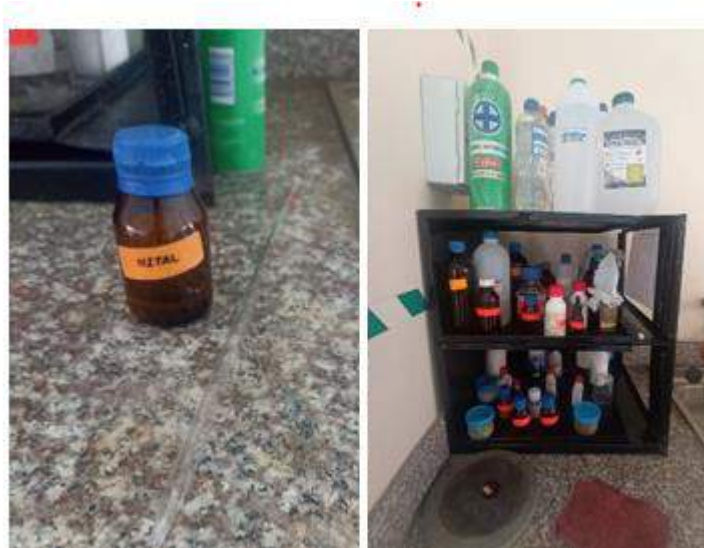


Ilustración 3-9: Ataque químico- Nital
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Una vez terminado el pulido de la baquelita se procede el ataque químico en la zona establecida para el estudio esto se realiza mediante 20 segundos, luego de la aplicación se limpia con agua en el área correspondiente.



Ilustración 3-10: Limpieza de la baquelita luego del ataque químico
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.3. *Microestructura del acero*

El microscopio metalográfico tiene como principal objetivo el permitir visualizar la microestructura y los distintos cambios que se puedan llegar a presentar en las distintas probetas realizadas, su principio de funcionamiento se basa en la iluminación de luz reflejada.



Ilustración 3-11: NIKON Eclipse E200 LED
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Tabla 3-3: Características del microscopio NIKON Eclipse E200 LED

Sistema óptico	
Ocular	10 (10x/20mm gran campo)
Tipo de objetivo	Planacromático
El Objetivo 1	5x/0.10
El Objetivo 2	10x/0.25
El Objetivo 3	20x/0.65
El Objetivo 4	50x/1.25
Tipo de lámpara	LED (LED 3 W)
Fuente de alimentación	100-240 V
En general	
Peso (g)	7300
Anchura (mm)	189
Longitud (mm)	258
Altura (mm)	407
Serie	Eclipse E200
Mecánica	
Tipo de construcción	Trinocular
Enfoque	Movimiento bruto y fino
Postura de observación (°)	30
Mesa de objetivo	Mesa en cruz (78x54 mm)
Revólver	4

Fuente: (Birden, 2022)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

3.6.3.1. Placa de acero ASTM A-500 galvanizado en estado puro

Al tener todo preparado con el ataque químico correspondiente de la baquelita con el acero galvanizado en estado puro se procede a la colocación en el microscopio para la visualización correspondiente de la estructura cristalina.

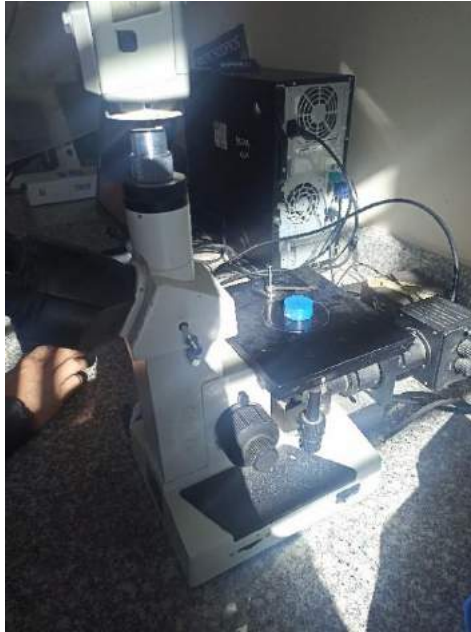


Ilustración 3-12: Colocación de la baquelita en el microscopio.
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Para la visualización de la estructura cristalina se apoyará con el microscopio, con las diferentes características que posee.



Ilustración 3-13: Microestructura del acero galvanizado original 5x
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

3.6.3.2. Placas de acero ASTM A-500 galvanizado soldadas por SMAW

La soldadura SMAW es la más utilizada en el proceso de soldadura en la fabricación de carrocerías por ende se realizó un cordón de soldadura de 100mm con una junta a tope entre dos placas respetando los parámetros de soldadura aplicados por las empresas carroceras del sector.

Tabla 3-4: Parámetros de soldadura para SMAW

Parámetros de Soldadura	
Electrodo	E 6013
Angulo del Electrodo	90°
Amperaje	85 A
Polaridad	Inversa
Corriente	CC
Voltaje	220V

Fuente: (EXSA, 2012)

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023



Ilustración 3-14: Soldadura SMAW de placa de acero ASTM A-500 galvanizado

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

3.6.3.3. Obtención de Probetas

Para obtener la muestra del cordón de soldadura es necesario el uso de una fresadora ya que el proceso debe realizarse en frío para así evitar el cambio de la microestructura del acero y así evitar alteraciones en los ensayos

Tabla 3-5: Características de la fresadora

Características Fresadora	
Tipo de Maquina	UF 90
Voltaje	220 V
Matricula N.º	420
Peso	800 kg
Potencia	4 KW
Año	1987

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023



Ilustración 3-15: Fresado de placa de acero ASTM A-500 galvanizado
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Una vez realizado el proceso de desbaste con la ayuda de la fresadora se procede a obtener la muestra, con la cortadora se toma una parte del cordón de suelda y se coloca la muestra en una baquelita con el montador de probetas.



Ilustración 3-16: Baquelita cordón de soldadura SMAW acero ASTM A-500 galvanizado
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.3.4. *Obtención de la Microestructura*

Para poder realizar el análisis microestructural es necesario empezar a hacer un desbaste progresivo con la ayuda de papel abrasivo de distintas numeraciones empezando por el 240 hasta llegar al 2000



Ilustración 3-17: Desbaste cordón de soldadura SMAW acero ASTM A-500

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Una vez realizado el desbaste logrando tener la muestra completamente lisa se procede a realizar el ataque químico con Nital este proceso se realiza por 20 segundos el cual permite observar la microestructura de la muestra.



Ilustración 3-18: Ataque Químico acero ASTM A-500 galvanizado

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Una vez realizado el ataque químico la muestra se encuentra lista para poder ser introducida en el microscopio y así obtener las diferentes fotografías de la microestructura de la muestra.

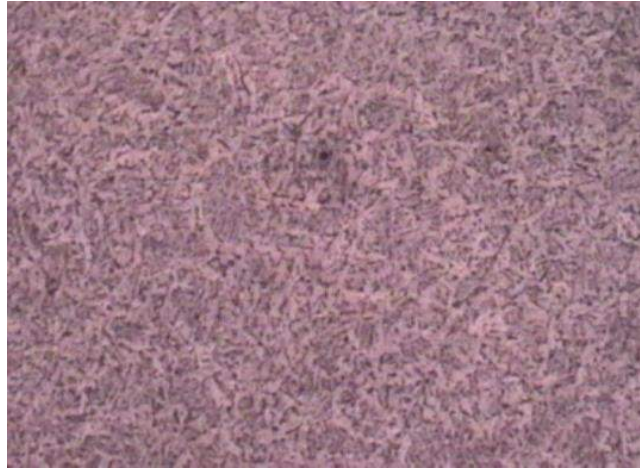


Ilustración 3-19: Microestructura del acero ASTM A-500 después del proceso de soldadura SMAW 5x
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.3.5. Placas de acero ASTM A-500 galvanizado soldadas por GMAW

El segundo proceso utilizado en la fabricación de carrocerías es la soldadura GMAW proceso que permite mejor control del cordón de soldadura y mayor eficiencia en el rendimiento del trabajo. Para el análisis microestructural de este proceso se realizó una investigación de los parámetros utilizados por las empresas que se encuentran en el sector siendo la soldadura MIG la principalmente utilizada.

Tabla 3-6: Características para el proceso de soldadura por GMAW

Parámetro de soldadura GMAW	
Gas de Protección	CO2
Salida de alambre	5m/min
Inducción	4 Hz
Angulo de soldadura	90°
Voltaje	118 V
Tipo de alambre	Solido
Eficiencia del arco	$\eta= 0.6$
Intensidad de corriente	23.4 A
Velocidad de soldeo	$1.1 \frac{cm}{segundo}$

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023



Ilustración 3-20: Soldadura GMAW de placa de acero ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.3.6. Obtención de probeta mediante la utilización de la fresadora

Para obtener la muestra del cordón de soldadura es necesario el uso de una fresadora ya que el proceso debe realizarse en frío para así evitar el cambio de la microestructura del acero y así evitar alteraciones en los ensayos

Tabla 3-7: Características de la maquina fresadora

Características Fresadora	
Tipo de Maquina	UF 90
Voltaje	220 V
Matricula N.º	420
Peso	800 kg
Potencia	4 KW
Año	1987

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023



Ilustración 3-21: Fresado de placa de acero ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Una vez realizado el proceso de desbaste con la ayuda de la fresadora se procede a obtener la muestra, con la cortadora se toma una parte del cordón de soldadura y se coloca la muestra en una baquelita con el montador de probetas.



Ilustración 3-22: Baquelita cordón de soldadura GMAW acero ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

3.6.3.7. *Obtención de la Microestructura*

Para poder realizar el análisis microestructural es necesario empezar a hacer un desbaste progresivo con la ayuda de papel abrasivo de distintas numeraciones empezando por el 240 hasta llegar al 2000



Ilustración 3-23: Desbaste cordón de soldadura GMAW acero ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Una vez realizado el desbaste logrando tener la muestra completamente lisa se procede a realizar el ataque químico con Nital este proceso se realiza por 20 segundos el cual permite observar la microestructura de la muestra.



Ilustración 3-24: Pulido cordón de soldadura GMAW de acero ASTM A-500.

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Una vez realizado el ataque químico la muestra se encuentra lista para poder ser introducida en el microscopio y así obtener las diferentes fotografías de la microestructura de la muestra.

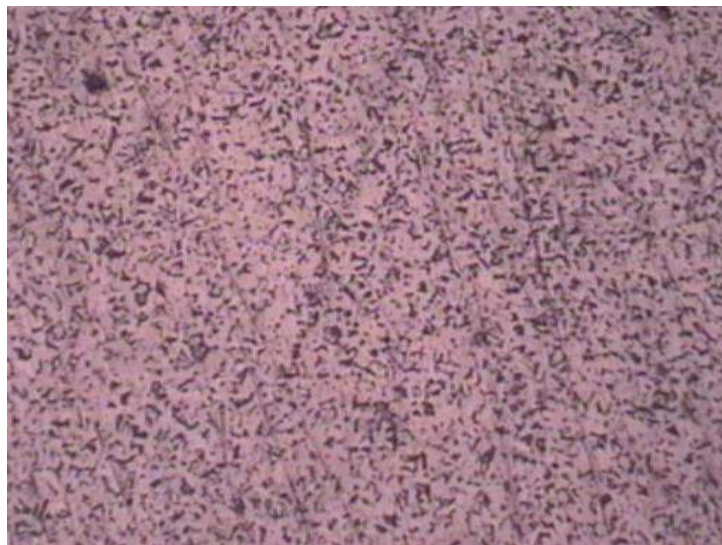


Ilustración 3-25: Microestructura del acero ASTM A-500 después del proceso de soldadura GMAW 5x

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

3.6.4. Modelado bidimensional de elementos finitos

Mediante el uso de software CAD permitirá el modelado y el estudio del elemento para determinar diferentes comportamientos durante la aplicación de diferentes factores que cambiará el estado original del material y con ello poder detallar el comportamiento más minucioso.

3.6.4.1. Modelado

Para la modelación se usa un software CAD en este caso se utilizará el programa de SOLIDWORK y para el análisis térmicas se utilizará el programa ANSYS debido a gran versatilidad y factibilidad de uso, para lo cual se debe empezar desde el punto ingenieril en este caso será la ingeniería inversa posteriormente se detallará más adelante y obviamente tomando en cuenta el elemento a realizar el diseño que para el caso será unas planchas de acero ASTM A-36 galvanizado.

3.6.4.2. SolidWorks

Mediante este tipo de software CAD, se pueden realizar piezas en 2D y 3D además es muy versátil por el motivo que permite exportar los planos técnicos de modelado incluido la información necesaria para la realización de la pieza, la herramienta CAD permite una buena modelación propuesta de manera virtual.

3.6.4.3. Croquis de las probetas acero ASTM A-500

Para comenzar el modelado mediante SolidWorks se comenzará a la realización de un croquis y se comenzará a trazar dos rectángulos de 50x100 mm con una separación entre ellos de 3 mm

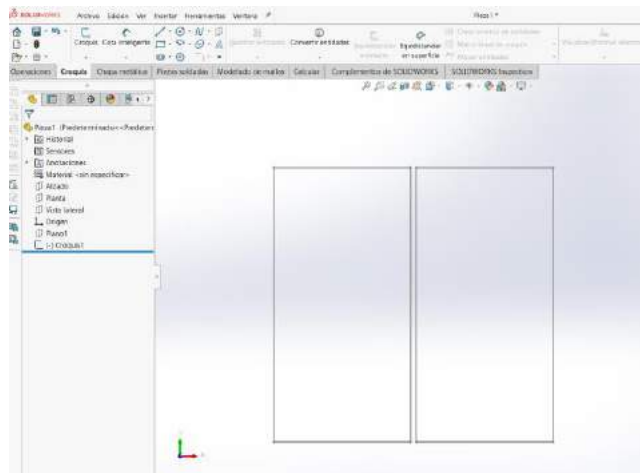


Ilustración 3-26: Croquis de las planchas de acero ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.4.4. Selección del espesor del croquis

Al momento de tener el croquis finalizado se procede a la realización de escoger el espesor que se va a trabajar en este caso con la herramienta de extruir se selecciona luego se coloca el valor en este caso es de 3 mm.

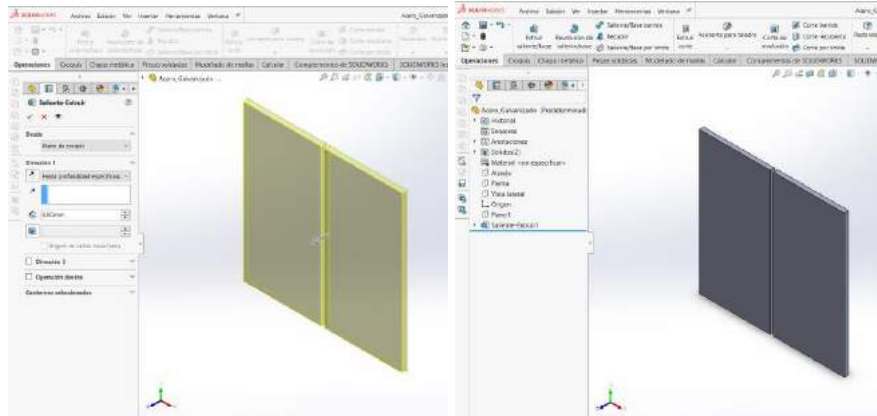


Ilustración 3-27: Selección del espesor para la probeta de acero
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.4.5. Elección del material para la placa de acero

Al momento de generar el espesor, la pieza está determinada por lo tanto se deberá escoger el material que se va a trabajar por lo que se debe elegir el acero ASTM A-500 una vez seleccionado el material saldrá una tabla con todas las características del material a seleccionar una vez verificado los diferentes parámetros se procede aceptar.

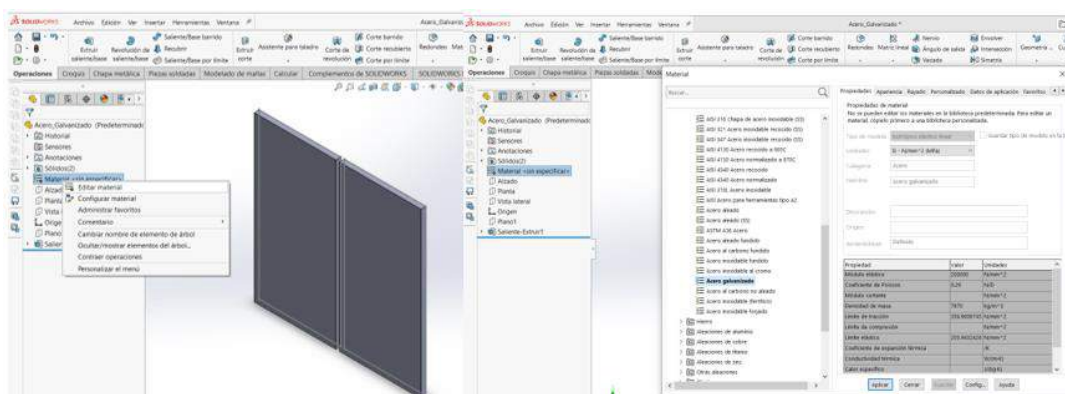


Ilustración 3-28: Selección del material en las probetas
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.4.6. Elaboración del cordón de soldadura en la placa de acero

La placa de acero una vez escogido el material que se va a trabajar se tiene que realizar el cordón de soldadura para lo cual se ayudara con el software CAD, se procede a dirigir a la pestaña de pieza soldada, de ahí se escoge cordón de soldadura, se selecciona las caras que se procederá a generar la suelda y se visualizara el cordón en el elemento.

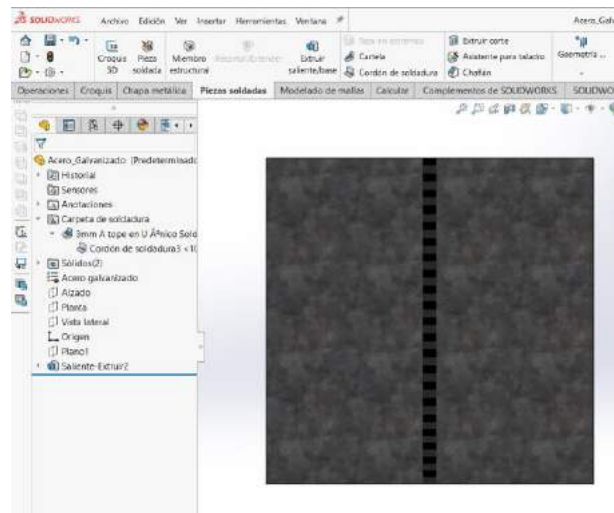


Ilustración 3-29: Cordón de soldadura en las placas de acero galvanizado

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

3.6.4.7. Importar archivo de las placas de acero

Al terminar de realizar la modelación de las placas de acero con los procesos de soldadura correspondiente se procederá a guardar dicho documento en formato STEP esto ayudará para la abertura en otro programa que permitirá el análisis térmico de las placas de acero galvanizado.

Para lo cual se apoyará en el programa de ANSYS es de gran ayuda por el motivo que su campo de análisis térmico es amplio y con eso poder identificar los diferentes comportamientos que suceden.

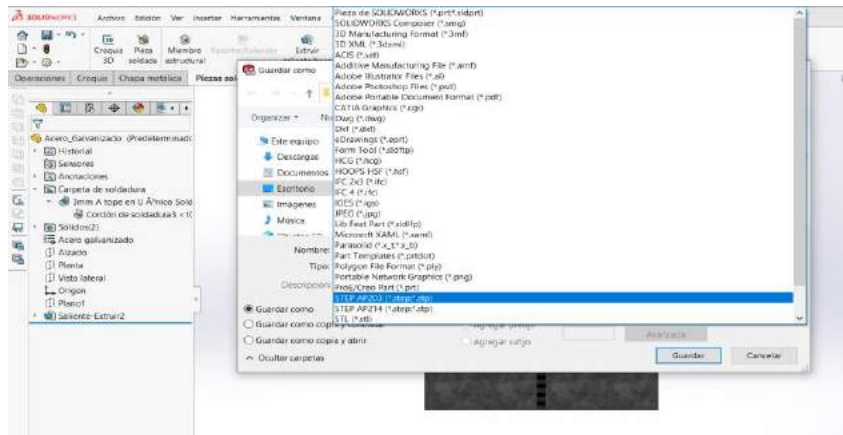


Ilustración 3-30: Guardar documento en formato STEP de las placas de acero galvanizado

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.5. ANSYS

Mediante el software ANSYS se estableció el análisis de elementos finitos de la pieza previamente diseñadas en un programa CAD, en el cual es un asistente de diseño computarizado. En el presente análisis se busca guiar al usuario mediante una serie de pasos para la obtención de un informe o estudio a fondo de la pieza, de un diseño previo.

Se construyó a partir de una serie de sencillos pasos a seguir utilizando ANSYS, el cual se comprende que es de gran ayuda, y posee diversas características en el área del estudio de los elementos finitos.

Para un análisis térmico más detallado se utilizará el programa de ANSYS al momento de abrir el programa se presenta un interfaz, se selecciona la opción de Transient Thermal, por lo tanto, una vez guardado el modelado en formato STEP se procede a importar el archivo al programa luego se procede a la selección de modelado que se presentará varias opciones para el desarrollo del estudio.

Se realiza la importación de la pieza diseñada en SolidWorks para realizar el mallado de la misma.

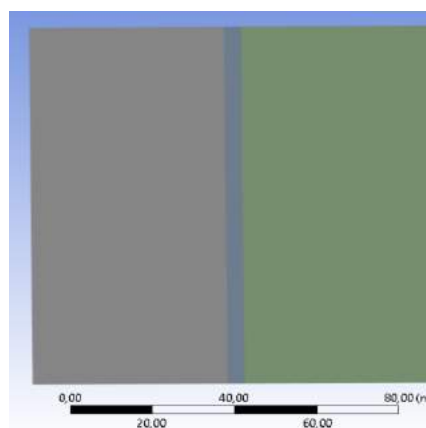


Ilustración 3-31: Apertura del modelado en ANSYS

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.5.1. Selección del sistema de análisis

Establecer las condiciones iniciales para realizar el análisis térmico por el motivo que se selecciona este método de *Transient Thermal*, por el motivo que se va a estudiar el comportamiento específico de la temperatura y convección además de definir esfuerzos de tensión para calcular el factor de seguridad y la deformación que puede presentar la estructura.

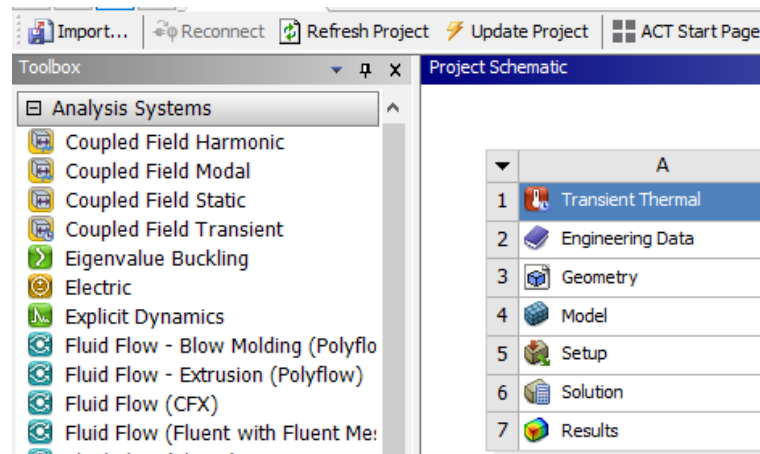


Ilustración 3-32: Selección del sistema de análisis de las placas de acero ASTM A-500

Realizado por: Gallegos. N & Guayalema. J, 2023

3.6.5.2. Parámetros para considerar los materiales y especificaciones del material

Para ingresar las propiedades mecánicas del acero se procede a la selección del apartado de Engineering Data, en la cual se establecerá las condiciones iniciales para el análisis de la placa de acero ASTM A-500.

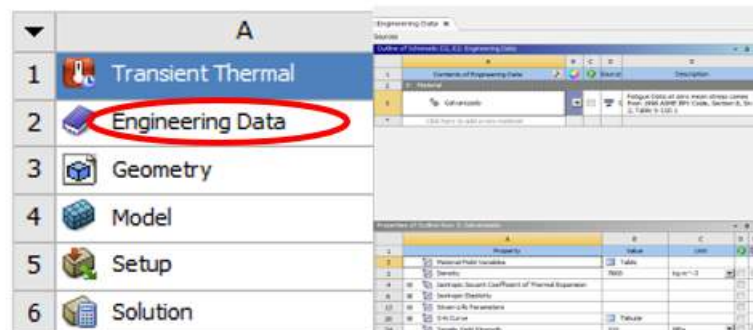


Ilustración 3-33: Parámetros de inicio de las placas de acero ASTM A-500

Realizado por: Gallegos. N & Guayalema. J, 2023

3.6.5.3. Selección del material de la placa ASTM A-500

Para determinar el tipo de material para la pieza de estudio se dirige a la geometría de la placa luego se procede a visualizar el tipo de material y el comportamiento de rigidez que debe estar en los parámetros de flexible y la asignación del material en galvanizado.

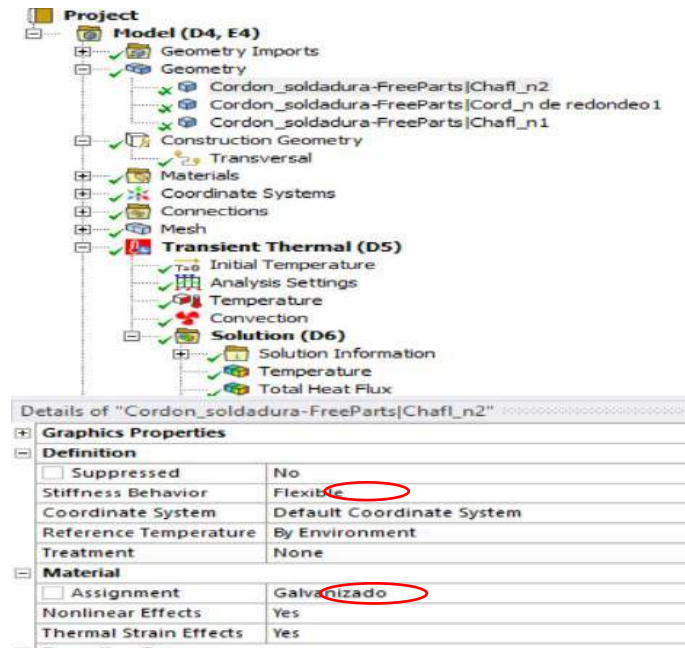


Ilustración 3-34: Escoger el tipo de material y el comportamiento de rigidez
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.5.4. Parámetros de mallado

Para determinar un mallado adecuado se debe determinar el tamaño del elemento por lo que se va a escoger un valor de 1.3 mm para la malla principal, luego se procede a la selección de un método de mallado de la cual se selecciona el multi Zone por el motivo que genera una mejora distribución del mallado dentro del análisis de estudio.

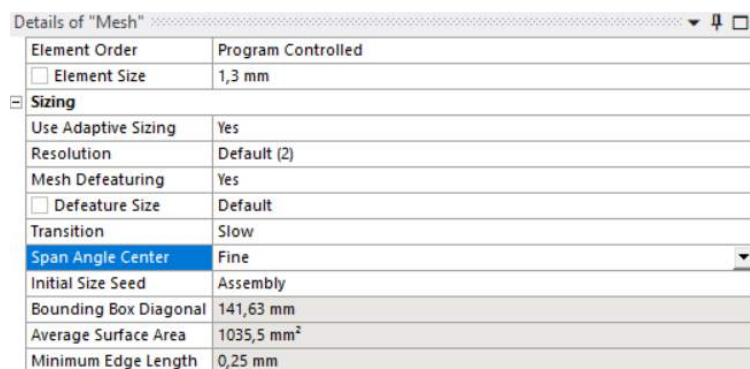


Ilustración 3-35: Determinar el mallado para la placa ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.5.5. Selección de la temperatura de trabajo en el lugar de estudio

Para determinar la temperatura de trabajo se debe conocer los valores de temperatura que rige al momento que un elemento al fundirse que está en el rango de 1300 – 1500 °C, estableciendo que el valor máximo se rigió para determinar el trabajo último que puede alcanzar dicho elemento a condiciones extremas.

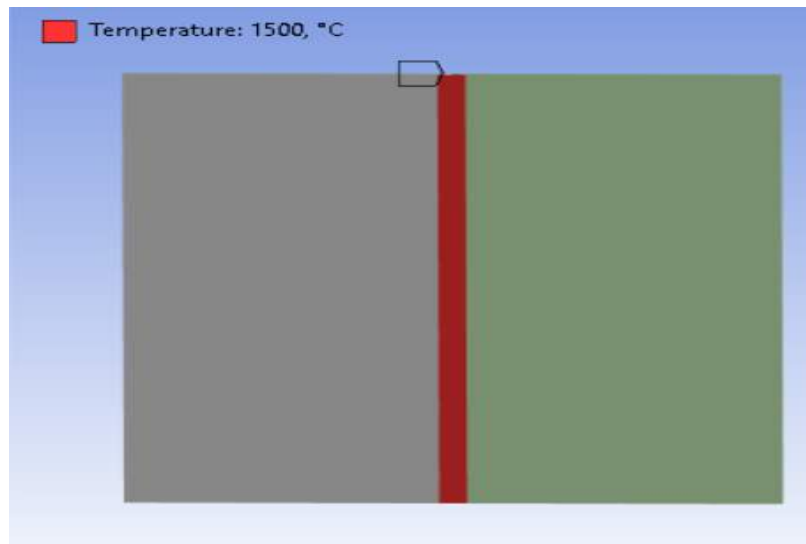


Ilustración 3-36: Selección de la temperatura de trabajo para la placa ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

3.6.5.6. Determinar el tipo de transferencia de calor para la placa

Al establecer la temperatura de trabajo y el lugar de estudio se procede a la selección del tipo de transferencia de calor por lo cual se seleccionó el tipo de convección por el motivo que al momento de ejercer una temperatura alta a un punto determinado ese calor es transferido por toda la placa hasta los lugares más alejados del punto de inicio donde se inicia la ejercida de calor.

Details of "Convection"	
[-] Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	1 Face
[-] Definition	
Type	Convection
<input type="checkbox"/> Film Coefficient	1,8e-002 W/mm ² ·°C (step applied)
<input type="checkbox"/> Ambient Temperature	22, °C (step applied)
Convection Matrix	Program Controlled
Suppressed	No

Ilustración 3-37: Selección de la transferencia de calor para la placa ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se realizó pruebas tomando en cuenta los procesos, normas mencionadas en la metodología, se obtiene resultados de las probetas de acero ASTM A-500 galvanizado permitiendo obtener visualización de la microestructura del acero mediante los procesos de soldadura SMAW y GMAW correspondientes dando así dar una correlación, manipulación y análisis para la interpretación de resultados.

4.1. Propiedades del acero ASTM A-500

4.1.1. Propiedades físicas del acero ASTM A-500

Tabla 4-1: Características físicas del acero ASTM A-500

Esfuerzo a la Fluencia Mínimo	46 000 psi
Esfuerzo a la Tensión	58 000 psi
Elongación mínima en 50mm	23%
Densidad	7.9 g/cm ³
Coefficiente de conductividad térmica (λ)	0.018 W/m ² * °C
Módulo de Young	7.77x 10 ¹⁰ Pa
Módulo de Poisson	0.31
Resistencia a la fluencia compresiva	250 Mpa
Resistencia a la tracción	315 Mpa
Resistencia máxima a la tracción	425 MPa

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

4.1.2. Propiedades químicas del acero ASTM A-500

Tabla 4-2: Propiedades químicas del acero galvanizado

% C Max	% P Max	% S Max	% Cu min
0.26	0.040	0.050	0.20

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

4.2. Resultados de las placas de acero ASTM A-500

Al realizar ensayos con el acero galvanizado con los respectivos procesos de soldadura que se mencionaron anteriormente se puede verificar el comportamiento microestructural del material al

realizar dicha soldadura y los varios factores que están inversos en este ensayo para poder mejorar la calidad de soldadura.

4.2.1. *Placa de acero ASTM A-500 en estado puro*

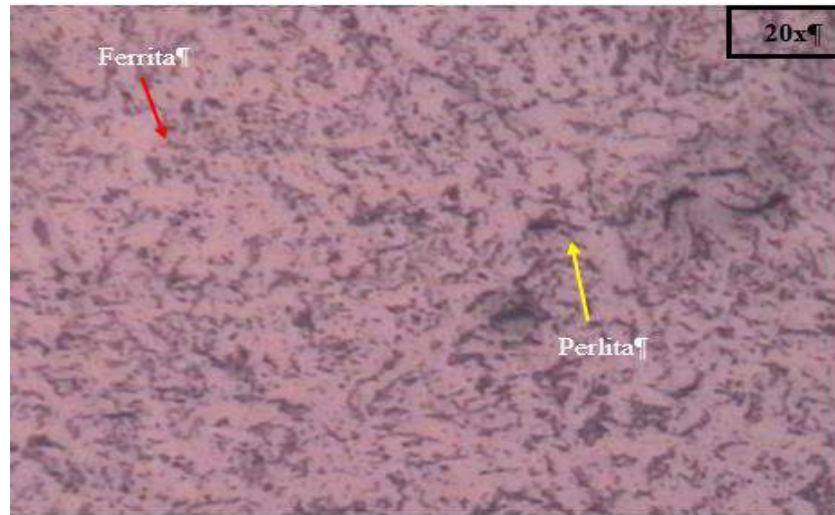


Ilustración 4-1: Microestructura del acero ASTM A-500 en estado base
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Mediante la metalografía en el acero A-500 se observa la composición del material dando así la identificación de ferrita que es característica de los aceros de bajo contenido de carbono que se determina con la flecha de color rojo y la flecha de color amarillo corresponde a perlita que en su totalidad esta uniforme antes de realizar los diferentes procesos de soldadura.

4.2.2. *Placas de acero ASTM A-500 soldadas por SMAW*

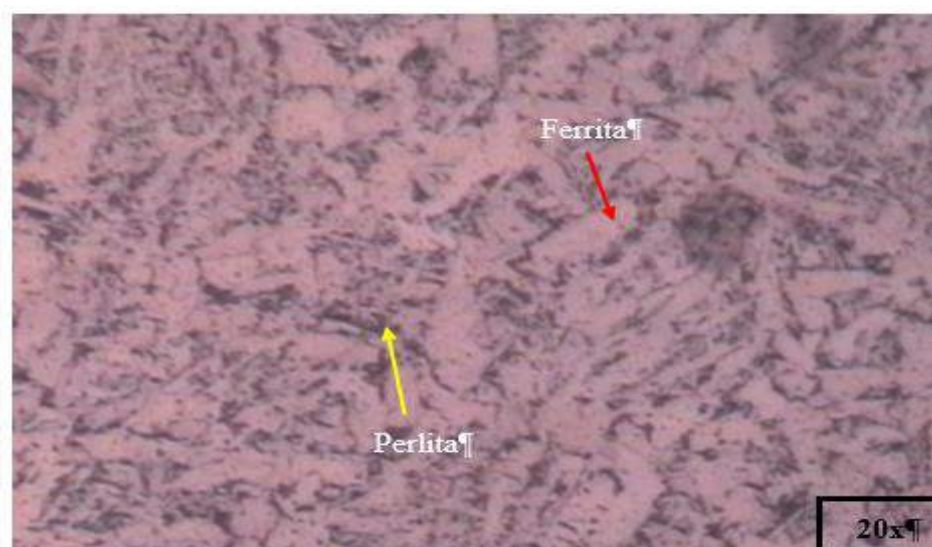


Ilustración 4-2: Microestructura del acero ASTM A-500 post soldadura SMAW
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

En el análisis de la placa de acero ASTM A500 en la cual se realizó el proceso de soldadura SMAW se observa la presencia de ferrita que es característica de los aceros de bajo contenido de carbono, el color característico de la ferrita es blanquecina y que está determinada por la flecha de color rojo y también se puede observar la presencia de perlita que es característica del enfriamiento lento del acero después del proceso de soldadura, tiene un color oscuro, y está representada por la flecha de color amarillo, conservando la microestructura del acero y presentándose de manera uniforme demostrando así que no es necesario realizar ningún tipo de tratamiento térmico después de la soldadura y además que el material de aporte se fusiona de manera correcta y eficiente con el material base.

4.2.3. Placas de acero ASTM A-500 soldadas por GMAW

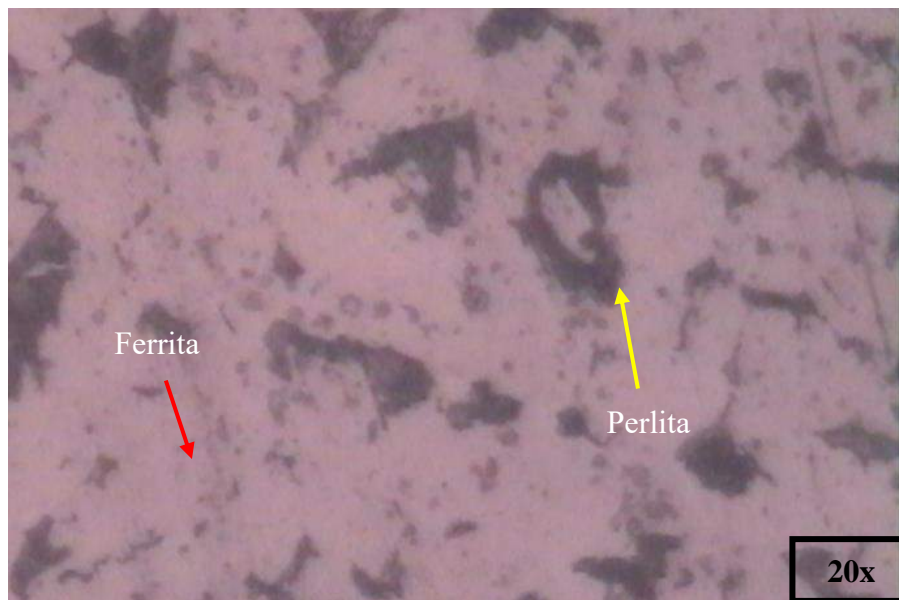


Ilustración 4-3: Microestructura del acero ASTM A-500 post soldadura GMAW
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

En la soldadura GMAW podemos observar la presencia de ferrita que es característica de los aceros de bajo contenido de carbono determinada con el color rojo y también la presencia de perlita que es característica del enfriamiento lento del acero después del proceso de soldadura señalada con color amarillo la cual la cual de igual manera se presenta de manera uniforme y homogénea demostrando de igual forma que el material de aporte es óptimo para la soldadura de este material.

4.3. Diferencias microestructurales del acero A-500

Al tener las microestructuras respectivas de cada proceso se comprueba entre los dos procesos de soldadura en la cual verificar el comportamiento y el índice que puede alcanzar la temperatura al momento de realizar el cordón de soldadura.

4.3.1. Placa de acero vs Placas de acero por SMAW

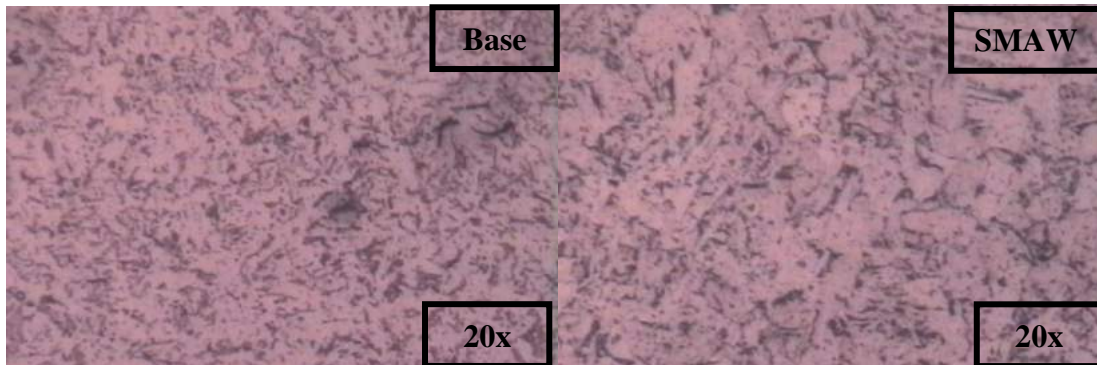


Ilustración 4-4: Placa de acero ASTM A-500 en estado puro vs Placas de acero ASTM A-500 soldadas por SMAW

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Podemos observar que el acero base y el acero después del proceso de soldadura mantiene sus características microestructurales manteniendo la presencia de ferrita y perlita, de esta manera se evidencia que el proceso de soldadura SMAW es óptimo para la unión de este material, además con estos resultados queda definido que no es necesario realizar ningún tratamiento térmico ya sea antes o después del proceso de soldadura.

4.3.2. Placa de acero estado puro vs Placa de acero por GMAW

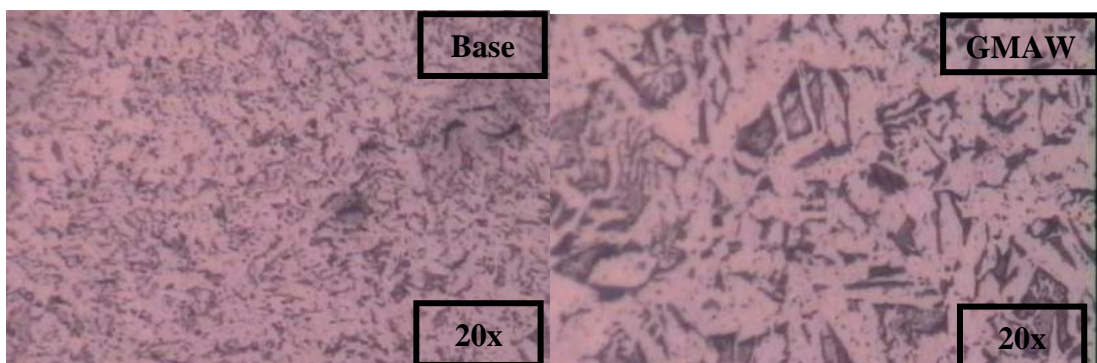


Ilustración 4-5: Placa de acero ASTM A-500 en estado puro vs Placas de acero ASTM A-500 soldadas por GMAW

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

En el proceso de soldadura GMAW podemos observar de igual manera que la microestructura se conserva manteniendo la presencia de perlita y ferrita aunque podemos observar que existe un aumento del grosor de la perlita después del proceso de soldadura característico del enfriamiento del acero después del proceso, de esta manera podemos definir que la soldadura GMAW es óptima para la soldadura del acero y también demuestra que tampoco es necesario realizar un tratamiento térmico antes o después de la soldadura.

4.3.3. *Placa de acero por SMAW puro vs Placa de acero por GMAW*

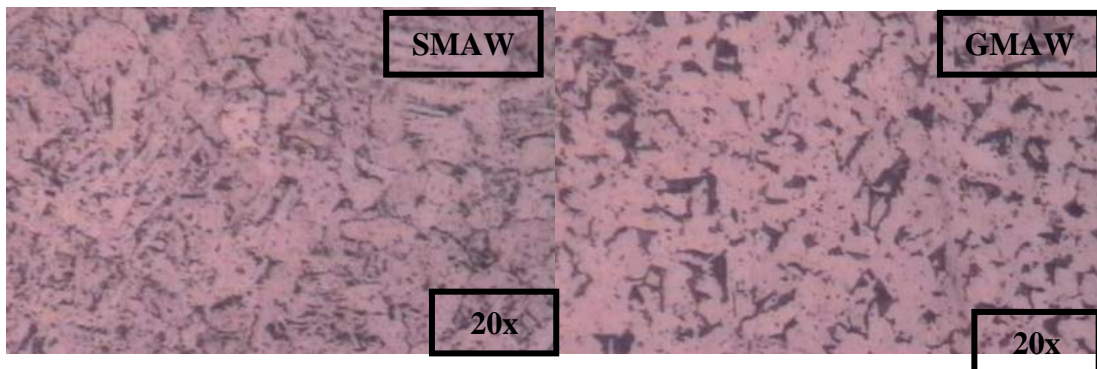


Ilustración 4-6: Placa de acero ASTM A-500 soldada por SMAW puro vs Placas de acero ASTM A-500 soldadas por GMAW
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Al analizar los dos procesos de soldadura se puede observar a nivel microestructural que las dos placas mantienen la ferrita y la perlita característica del material base, pero también podemos observar que la distribución de la perlita en la estructura ha cambiado, la zona ZAC en la soldadura SMAW presenta una mayor densidad de perlita esto debido a que no cuenta con la ayuda de un gas de protección como es en el caso del proceso GMAW.

4.3.4. *Diferencia microestructural proceso que no necesita tratamiento post soldadura vs proceso que necesita un tratamiento post soldadura*

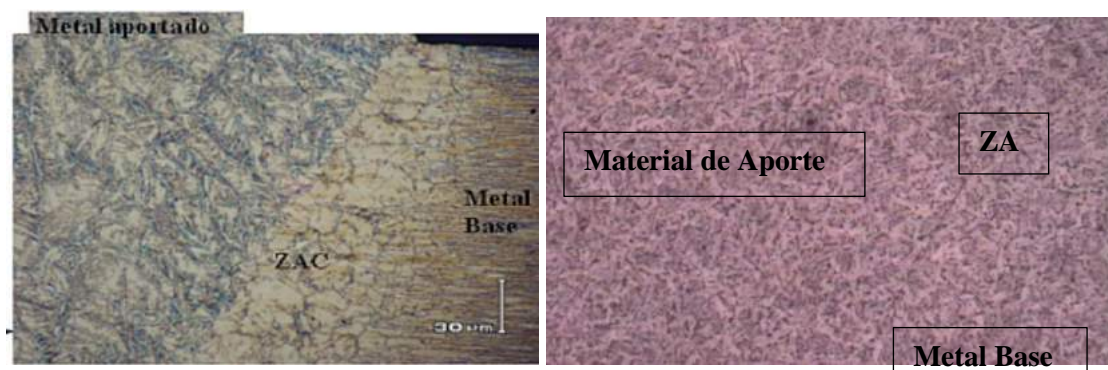


Ilustración 4-7: Diferencias de microestructuras del acero ASTM AISI 316L y ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023.

Se puede observar que en el caso de nuestra investigación tanto el material base como el de aporte presentan la misma microestructura uniforme, mientras que en el ejemplo adjunto se observa la existencia de una diferencia microestructural bastante notable, lo que da a entender la necesidad de realizar un proceso post soldadura para lograr la uniformidad microestructural que se necesita para no perder las propiedades físicas y mecánicas del acero.

4.4. Resultados de la placa ASTM A-500 mediante elementos finitos

El modelado numérico comienza con la definición de la geometría de la red. Para que el análisis numérico del modelo construido proporcione una temperatura más precisa y una salida de gradiente térmico, se utilizaron elementos de malla fina cerca de la fuente de calor y en el parte donde se encuentra la región más alejada del centro de la soldadura, los elementos finitos eran más grandes porque el gradiente térmico es más pequeño y menos sensible.

4.4.1. *Análisis térmico de la placa ASTM A-500*

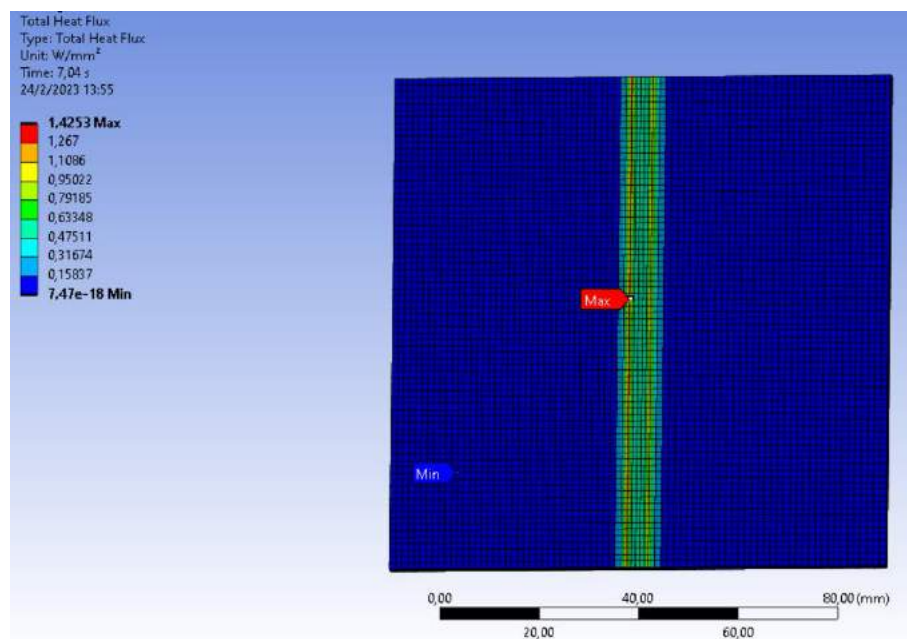


Ilustración 4-8: Flujo de calor del acero ASTM A-500

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Mediante el análisis de la probeta del acero ASTM A-500 con un espesor de 3mm, se estableció que el material tiene variaciones en lo que es en la conductividad térmica durante la plancha al momento de ejercer los procesos de soldadura dando así que el proceso que más índice de conducción térmica es del proceso GMAW por el motivo que no tiene un gas de protección para

los diversos factores que se presenta al soldar. Dando, así valores de $7.47 \times 10^{-18} \text{ W/mm}^2$ como mínimo y máximo de conductividad térmica de 1.4253 W/mm^2 .

Los cálculos de simulación numérica posteriores del campo de temperatura se realizaron con elementos finitos utilizados en la malla, estos termoelementos tienen solo un grado de libertad en cada nodo (temperatura). En las simulaciones se estudiaron las propiedades físicas (densidad, conductividad térmica y calor específico) del material acero ASTM A-500, el metal base, en el análisis numérico a diferentes temperaturas. Se utilizó el mismo acero ASTM A-500 como metal base y de aporte debido a que la composición química, las propiedades físicas y mecánicas del alambre AWS ER 70S-6 es aproximada. Tomar en cuenta que los datos de conductividad térmica y calor específico obtenidos para el acero ASTM A-500 dependen de la temperatura. La densidad varió poco en función de la temperatura, por lo que esta propiedad se mantuvo constante en $15,575 \text{ Kg/mm}^3$.

4.4.2. Análisis térmico del cordón de soldadura del ASTM A-500

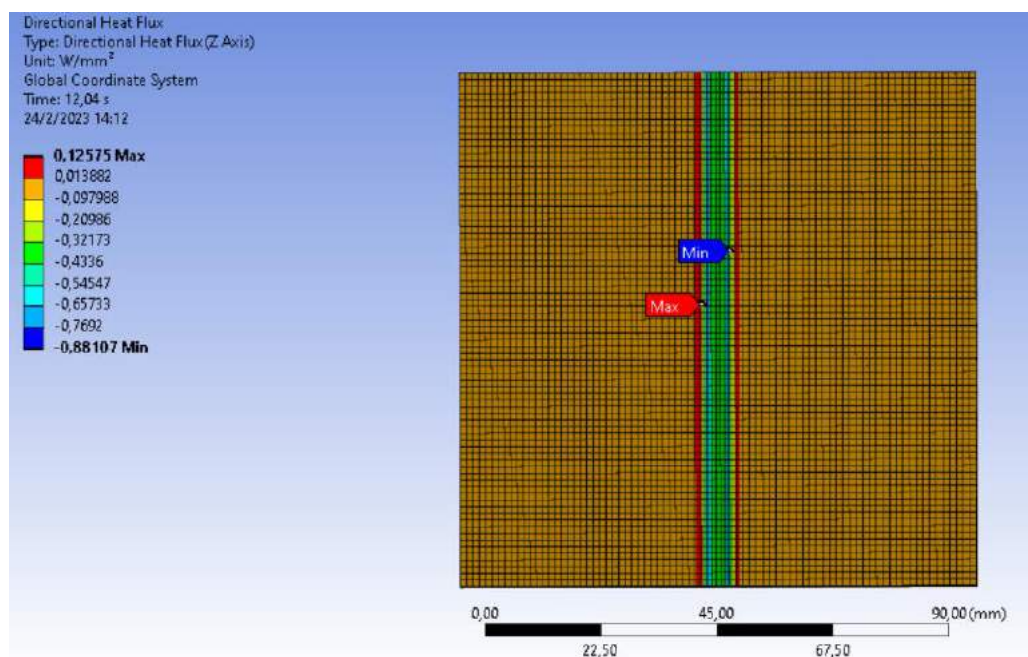


Ilustración 4-9: Análisis de flujo de calor del cordón de soldadura de la placa de acero ASTM A-500

Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Al realizar el estudio del análisis térmico en el área donde va a ser aplicado los procesos de soldadura, esto se determinará por la temperatura que se va a soldar por lo tanto al tener dos procesos de soldadura se visualiza que mayor índice de conductividad térmica posee el proceso de GMAW dando un valor máximo de 0.12575 W/mm^2 , esto se da por el calor que se genera al momento de soldar y la distancia que se tiene el electrodo con el material base.

Mediante este estudio se realizó en una probeta de acero ASTM A-500 la duración para la soldadura es de 12.04 segundos que se va a demorar el proceso de soldadura por ende el flujo de calor va a ser directamente proporcional a la sección del cuerpo y a la diferencia de temperatura por longitud.

4.4.3. Análisis de la temperatura del ASTM A-500

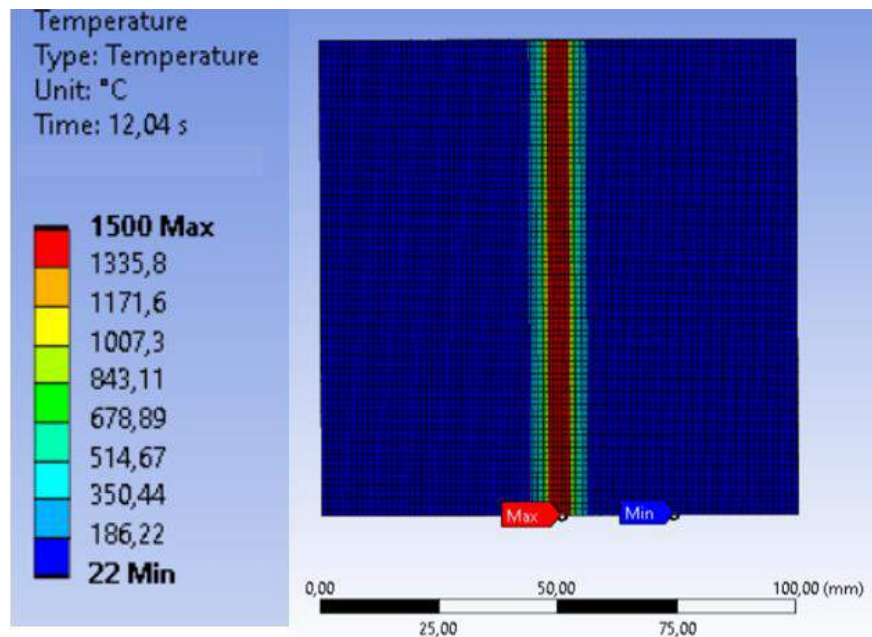


Ilustración 4-10: Análisis de la temperatura de la placa ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Mediante la aplicación de la soldadura en las placas de acero ASTM A-500 se visualiza que el campo térmico tiene una mayor concentración en la parte central dando ahí el punto crítico esto se da por los procesos de soldadura que se está aplicando, variara las temperaturas mediante los parámetros de soldadura se cambien.

El análisis mostró un alto gradiente de temperatura en el metal de soldadura, donde se produce la fusión cuando se calienta por el arco eléctrico, mientras que el valor máximo de temperatura disminuye en los puntos más alejados del centro de la llama de soldadura. Una vez que se completa el proceso de soldadura, la muestra soldada se enfría gradualmente a temperatura ambiente. Temperaturas típicas, es decir. 1500 °C, 850 °C y 420 °C indican las temperaturas límite de fusión, crecimiento de grano. El límite de la zona combinada y el límite de la ZAT se identificaron a partir de la imagen macro y se compararon con las líneas isotérmicas correspondientes a las temperaturas máximas esperadas de 1500 °C y 850 °C. experimentación y modelado. Los resultados presentados muestran que la energía de soldadura afecta directamente las dimensiones de la ZAT.

4.4.4. Análisis térmico transversal del acero ASTM A-500

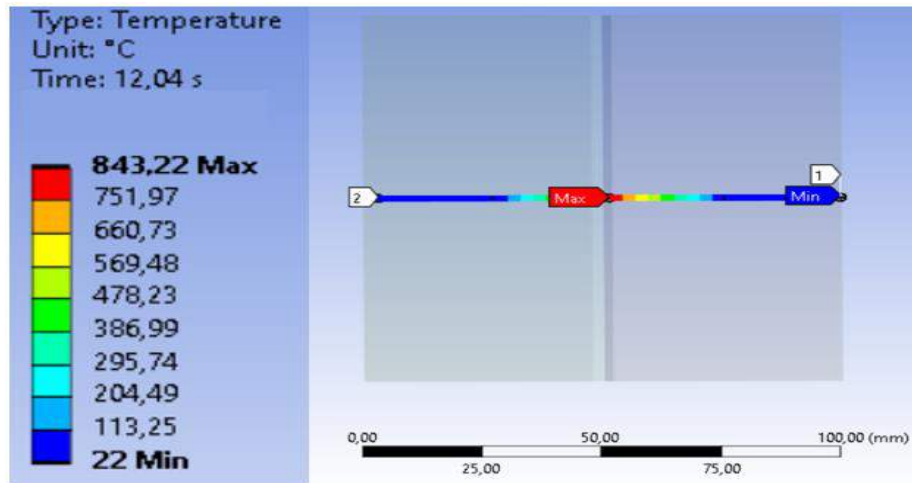


Ilustración 4-11: Análisis térmico transversal de la junta a tope del acero ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Mediante el análisis transversal del acero ASTM A-500 se verifico la metodología propuesta anteriormente, se realizó un experimento realizado sobre soldadura GMAW de dos placas con preparación de borde en forma de V y una sola pasada (Figura 82). El sistema de soldadura utilizado es: $I = 170$ A, $V = 23$, V y $v_s = 12.04$ mm/s. La eficiencia de la fuente es $\eta = 0,6$. Se empleo un mallado de partida con un tamaño de elemento en la soldadura de $50 * 50 * 3$ mm (99340 nodos, 19173 elementos). Dando como resultado temperaturas dentro y fuera de la zona de soldadura por ende el lugar de la soldadura se encuentra con una temperatura de $843,22$ °C como máximo, por ende, la temperatura varia cuando más se aleja del punto de suelda hasta llegar a una temperatura ambiente de 22 °C.

4.4.5. Deformación del acero ASTM A-500

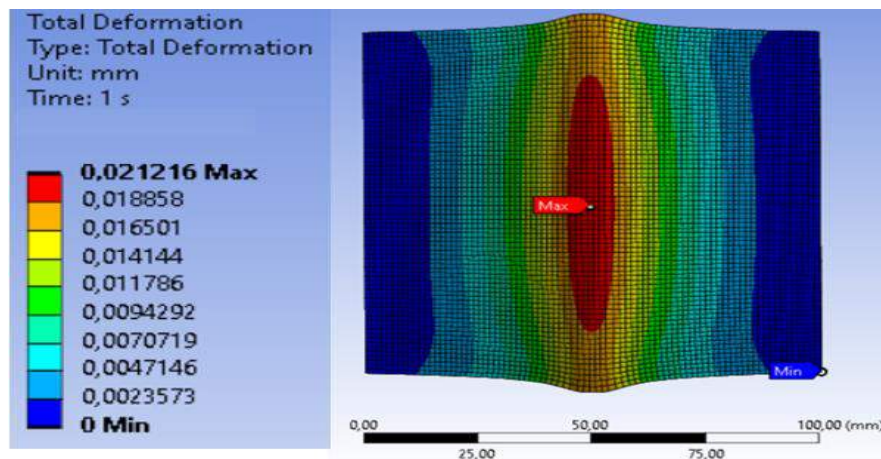


Ilustración 4-12: Análisis de la deformación de la placa ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Se visualiza el análisis estático de la pieza para los módulos de desplazamiento. Las placas de acero ASTM A-500 al realizar los procesos de soldadura tienden a deformarse esto producto de la temperatura que se está trabajando en esos puntos por lo que al momento de realizar los procesos de soldadura se establece que el índice de desplazamiento de 0.021216 mm como máximo, con una fuerza normal de 500 N esto hace referencia por el motivo que se entiende que la suelda esta realizada en condiciones de ensamblaje de la carrocería por ende existen cargas externas que afectan en las condiciones de soldadura, por lo cual es muy bajo su nivel y que el material tiende una resistencia adecuada para el desarrollo del mismo.

4.4.6. *Análisis de Tensión de Von Mises*

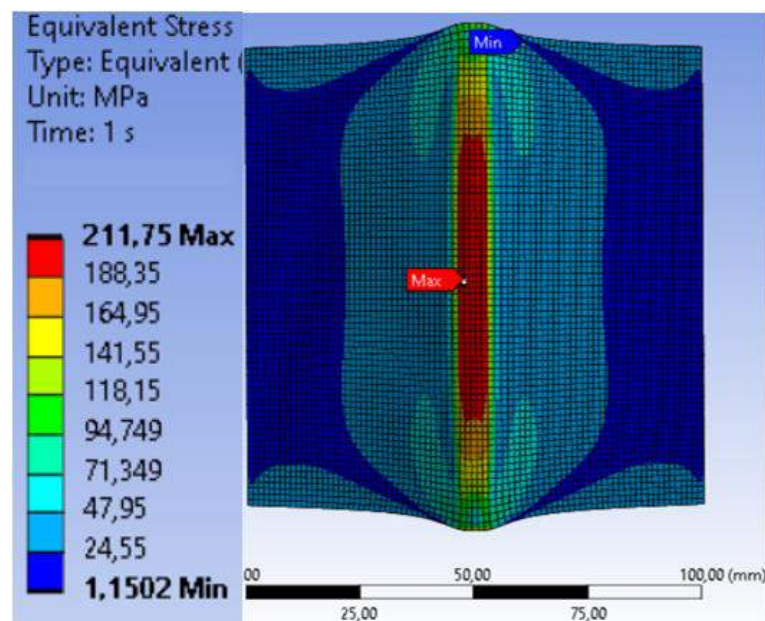


Ilustración 4-13: Análisis de tensión de la placa ASTM A-500
Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

Esto mostrará visualmente el análisis estático de la pieza. Mediante el análisis se determina el fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Para lo cual en la placa de acero galvanizado está en los parámetros adecuados teniendo un valor de 211,75 MPa y esto corresponde en una zona elástica del material, por lo que puede realizar los procesos de soldadura en este tipo de placas, dando así un límite máximo que soporta el material que es de 400 MPa antes de entrar a la zona plástica y una vez sobrepasado dicho valor el material entraría en una zona de ruptura y perdiendo las condiciones iniciales del material como se muestra en la siguiente figura.

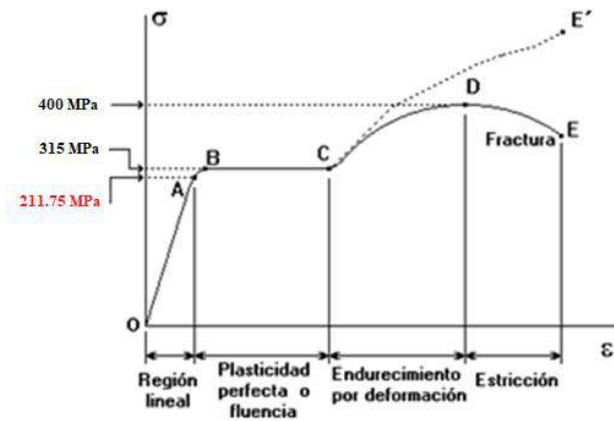


Ilustración 4-14: Gráfica esfuerzo deformación del acero ASTM A-500
 Realizado por: Gallegos. N & Guayaulema. J, 2023

4.4.7. Análisis del Factor de Seguridad

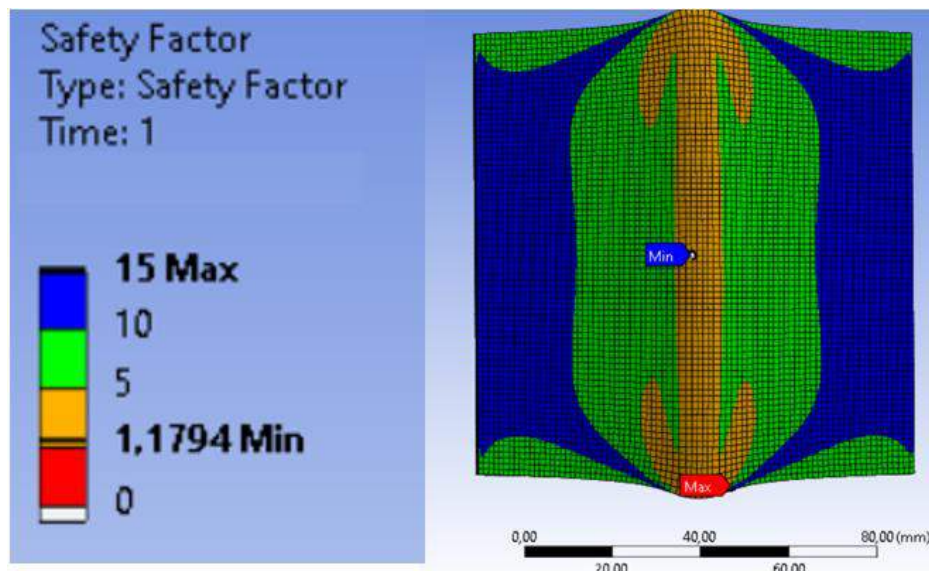


Ilustración 4-15: Análisis del factor de seguridad del acero ASTM A-500.
 Realizado por: Guayaulema. J, 2023

El resultado permite estimar cuantitativamente la relación de las tensiones admisibles, se especifica en las características del material, a las tensiones calculadas equivalentes. Si la proporción de la permitida a las tensiones calculadas se está acercando a una o más pequeña que una, entonces el criterio de resistencia no es satisfecho, y, por lo tanto, las modificaciones se deben hacer en la pieza. El factor de seguridad en este ensayo se obtuvo de 1,1794 por ende la probeta se encuentra en una zona aceptable y puede soportar los diversos procesos de soldadura esto hace referencia a una fuerza de la estructura de ensamblaje que se presenta en la línea de fabricación de la carrocería.

CAPÍTULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Propuesta

En el ámbito de la fabricación de autobuses, es crucial comprender y minimizar la afectación térmica generada durante los procesos de soldadura SMAW y GMAW en la construcción de las carrocerías. Con el objetivo de abordar esta problemática, se propone llevar a cabo un estudio exhaustivo que permita analizar y comprender en detalle los efectos de la afectación térmica en las juntas soldadas, así como explorar estrategias para mitigar dichos efectos y mejorar la calidad de las uniones.

El trabajo a futuro se enfocará en realizar una investigación adicional sobre los procesos de soldadura SMAW y GMAW, estudiando en profundidad los fundamentos teóricos y los principios de funcionamiento de cada proceso. Se compararán sus ventajas y desventajas, considerando también otras técnicas de soldadura utilizadas en la industria de fabricación de autobuses, como TIG y MIG, para evaluar su efecto en la afectación térmica.

Un aspecto fundamental del estudio será el análisis de la microestructura de las juntas soldadas. Se utilizarán técnicas avanzadas de análisis metalográfico, como microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X, para examinar la estructura cristalina, la distribución de fases y la presencia de posibles defectos o inclusiones en las juntas soldadas. Además, se evaluarán las propiedades mecánicas, como resistencia a la tracción, dureza y tenacidad, comparándolas con los estándares y requisitos de la industria.

Con el objetivo de optimizar los parámetros de soldadura y minimizar la afectación térmica, se desarrollarán estrategias para ajustar y optimizar los parámetros clave del proceso, como la corriente, el voltaje, la velocidad de alimentación del alambre y el flujo de gas. Se emplearán técnicas de simulación por elementos finitos para predecir y optimizar la distribución de temperaturas y tensiones durante el proceso de soldadura en las carrocerías de autobuses.

El estudio también se enfocará en evaluar nuevas técnicas de mitigación de la afectación térmica. Se investigarán enfoques como el precalentamiento y post enfriamiento controlados, así como el uso de materiales y revestimientos especiales que minimicen los efectos de la soldadura en las

CONCLUSIONES

El acero ASTM A-500 es el principal acero utilizado para la fabricación de carrocerías, se examinaron sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, así como sus características específicas de resistencia, ductilidad, peso y resistencia a la corrosión, dando como resultado la selección de este material para su realización del estudio.

La aplicación de temperaturas controladas y la observación detallada de las probetas se pudieron identificar y analizar las distintas afectaciones térmicas que ocurren en las juntas de acero no aleado. Esto incluye fenómenos como la deformación, la distorsión, la formación de fisuras o grietas, así como los cambios microestructurales que pueden afectar la resistencia y el rendimiento del material.

La tasa de alimentación del material de relleno es el factor menos importante en el ensayo ya que tiene menos influencia, mientras que, por el contrario, el amperaje y el voltaje serán los factores más importantes ya que causarán una mayor asignación al ensayo.

Los resultados obtenidos proporcionaron una comprensión más profunda de los cambios microestructurales causados por la temperatura y su relación con la resistencia del material. Estos hallazgos son fundamentales para predecir la deformación final de las juntas tipo tope en la carrocería de un autobús y, en consecuencia, evitar operaciones adicionales costosas y tiempo en el proceso de manufactura.

Mediante la utilización del software ANSYS se observó los diversos comportamientos que puede producir la temperatura en ciertos puntos de las probetas que pueden provocar el cambio estructural dando una deformación de 0.0212 mm en los extremos de la probeta por el motivo de la temperatura alcanzada del arco eléctrico.

La utilización del ANSYS para el análisis térmico de una probeta se determinó el esfuerzo que puede alcanzar respecto a los parámetros iniciales por lo cual al momento de sobrepasar el esfuerzo de fluencia determinara que las condiciones que se va a emplear no son las adecuados para la ejecución del proceso de soldadura dando así un valor computacional de esfuerzo de 211,75 MPa que está dentro de la zona elástica respecto al valor de las propiedades mecánicas del ASTM A-500 de 315 MPa de límite de esfuerzo.

La necesidad de un tratamiento térmico luego de observar la microestructura de los procesos SMAW y GMAW no es necesaria por el motivo que su morfología es uniforme, depende también

de múltiples factores, como el tipo de acero, el espesor de la junta soldada, las condiciones de carga y las especificaciones del proyecto.

RECOMENDACIONES

Emplear aceros de alta resistencia que tenga composiciones y propiedades semejantes al acero seleccionado en este proyecto como los aceros ASTM A-588, ASTM A-572 o ASTM A-514 Gr. B, dando así unos resultados similares.

Establecer un sistema de monitoreo continuo de la temperatura durante el proceso de soldadura SMAW y GMAW. Esto permitirá identificar y controlar las variaciones térmicas en las carrocerías de los autobuses, lo que puede ayudar a prevenir distorsiones y deformaciones no deseadas.

Realizar estudios exhaustivos para optimizar los parámetros de soldadura, tanto para el proceso SMAW como para el GMAW. Esto incluye la configuración correcta de la corriente, el voltaje, la velocidad de alimentación del alambre y otros parámetros relevantes. Ajustar estos parámetros de manera adecuada ayudará a reducir la afectación térmica y mejorar la calidad de las soldaduras.

Durante el ensayo tomar en cuenta el área de estudio para un mejor análisis de la microestructura del material.

Al momento de realizar el desgaste de la superficie de la probeta se debe realizar en un solo sentido para la obtención de una mejor apreciación en la microestructura del acero.

Tomar en cuenta los valores característicos del material para la asignación correspondiente de los parámetros en los diferentes softwares.

Incorporar materiales de mejor calidad en la industria carrocera ecuatoriana como aceros inoxidables o aluminio respecto a las condiciones más críticas, posteriormente con el avance tecnológico poder fabricar en la totalidad con estos materiales.

GLOSARIO

ANET: Anuario de Estadísticas de Transporte

ANSYS: Análisis y simulación de partes por elementos finitos

ANT: Agencia Nacional de Transito

ASTM: Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales

AWS: Sociedad Americana de Soldadura

CAD: Diseño asistido por computadora

Canfac: Cámara Nacional de Fabricantes de Carrocerías

GMAW: Soldadura por arco metálico con gas.

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos.

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

Microestructura: La estructura de la superficie preparada de un material mostrada por un microscopio óptico.

SMAW: Soldadura por arco con electrodo metálico revestido.

SolidWorks: Software tipo CAD, de diseño mecánico, es utilizado en un entorno gráfico, permite de manera intuitiva y rápida la creación de Modelos sólidos en 3D

ZAC: Zona afectada por el calor

BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA, Santiago, 2023. *LISTADO DE HOMOLOGACIÓN DE VEHÍCULOS*. . Quito.
- ASKELAND DONALD, 2010. *ciencia-e-ingenieria-de-los-materiales-askeland-3-edicion*. .
- ASKELANDA, Donald, 2011. *Ciencia e ingeniería de materiales*. .
- CARRASCO, Luis, 2018. *ACERO ASTM A36*. .
- CROPPI, J I y LAZZARONI, M C, 2014. *Finite element model for thermal analysis of structures concreted in stages*. .
- DANTE, Ing et al., 2022. *Efectos del recocido subcrítico en la dureza y tamaño de grano del acero*. .
- DELGADO-PAMANES, Miguel Fernando et al., 2017. Evaluación del Deterioro de los Electrodo al Incrementar el Número de Pulsos del Tiempo de Soldadura en Aceros IF y HSLA Galvanizados y la Afectación de las Propiedades Mecánicas en los Puntos de Soldadura. *Soldagem & Inspeção*. Vol. 21, número 4, pp. 469-482. DOI 10.1590/0104-9224/SI2104.07.
- DIEGO, M, 2017. *Laboratorio de Metalografía y Soldadura, Norma ASTM E112*. .
- DIPAC, 2020. DIPAC. .
- EXSA SA., 2012. *Manual de Soldadura*. 1ra Edición. Lima.
- FERNÁNDEZ, Angie et al., 2017. Corporate social responsibility and the transformation of the productive matrix for ecuador sustainability. *Journal of Security and Sustainability Issues*. Vol. 6, número 4, pp. 575-584. DOI 10.9770/JSSI.2017.6.4(4).
- GROOVER, Mikell, 2007. *Fundamentos de manufactura moderna* en línea. 3ra Edición. México D.F : MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A. ISBN 987-970-10-6240-1. Recuperado a partir de : www.elsolucionario.net
- INEC, 2022. *Estadísticas de Transporte (ESTRA)* en línea. Recuperado a partir de : www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEN, 2016. NTE INEN 2415. .
- JAVIER, Álvaro y TERÁN, Andrade, 2016. *Análisis de la industria metalmecánica Carrocera de Ecuador*. .
- LAUFGANG, Sergio, 2004. *TRATAMIENTO TERMICO DE SOLDADURA*. Buenos Aires : TERMO SOLDEX S.A.
- LLANES, Antonio, 2020. Análisis estructural de un bus por el método de elementos finitos. . DOI 10.23857/pc.v5i01.1265.
- LUIS, Autor : y VILLAFUERTE BUÑAY, Enrique, 2017. *MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS PARA LA PRODUCCIÓN EN SERIE*. .
- MÉNDEZ, Carlos, 2007. Análisis de tensiones residuales y predicción de inestabilidad en chapas soldadas. . pp. 39-45.

PAZMIÑO, Aranda et al., 2009. ACEROS ESTRUCTURALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARROCERÍAS PARA BUSES. .

YUPANGUI, Segundo, 2022. Simulación del Impacto Frontal para una Carrocería de Autobús. .

Vol. 66, pp. 1277-1297. DOI 10.23857/pc.v7i1.3542.

ANEXOS

ANEXO A: PROCESO DE SOLDADURA





ANEXO B: OBTENCIÓN DE PROBETAS





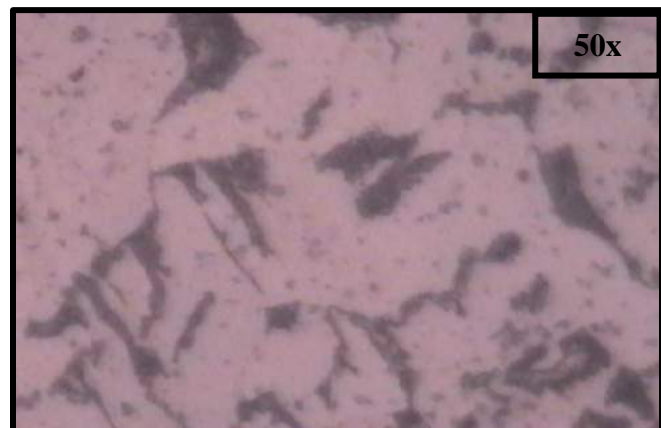
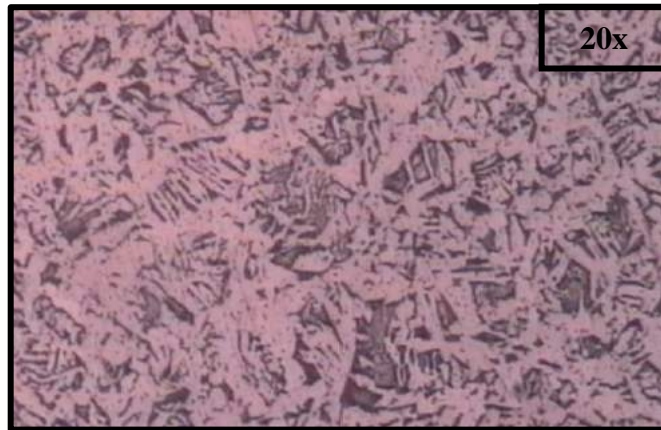
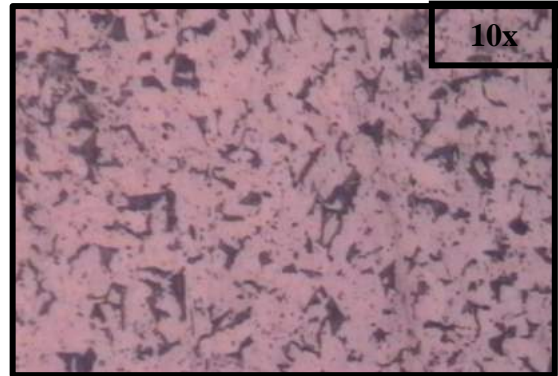
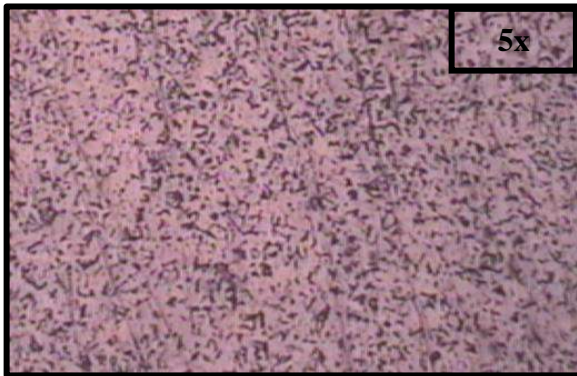
ANEXO C: PROCESO ANALISIS MICORESTRUCTURAL



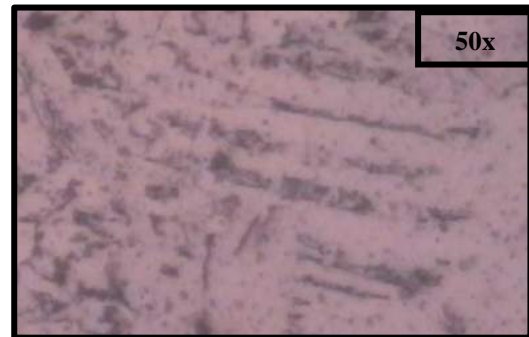
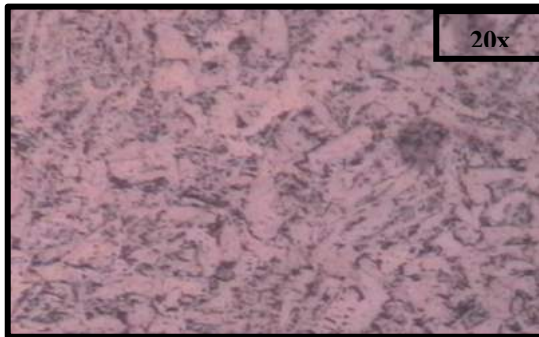
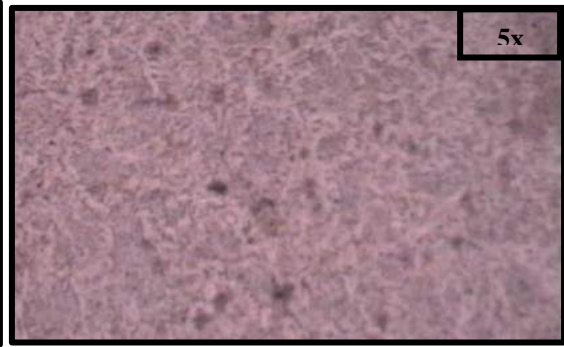
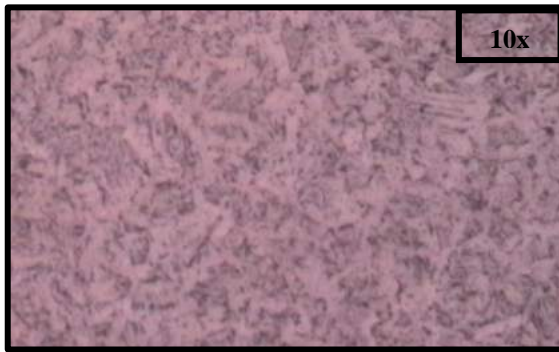
ANEXO D: MÁQUINA PARA REALIZAR LA MAQUELITA DE LA MUESTRA



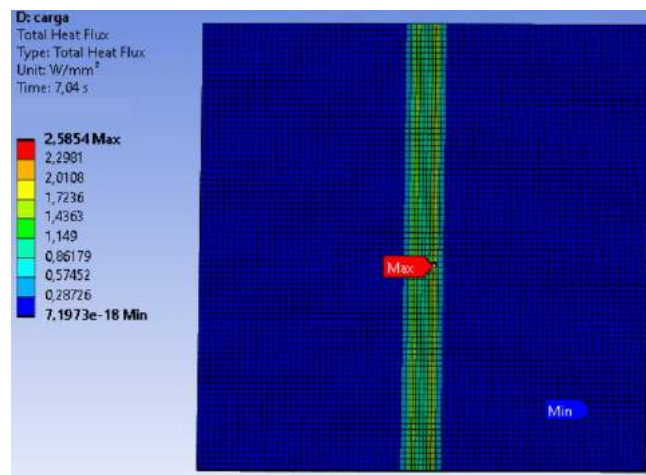
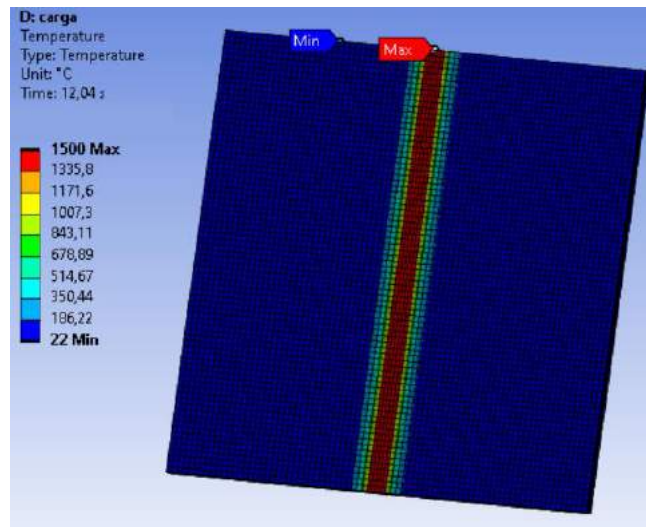
ANEXO E: MICROESTRUCTURA POR SOLDADURA GMAW



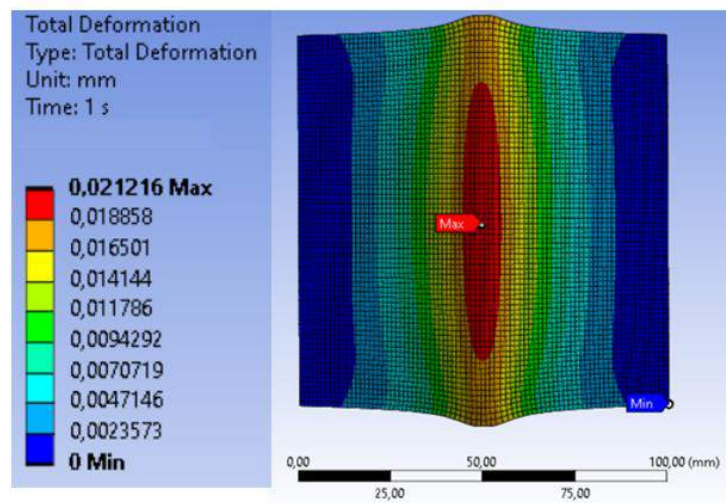
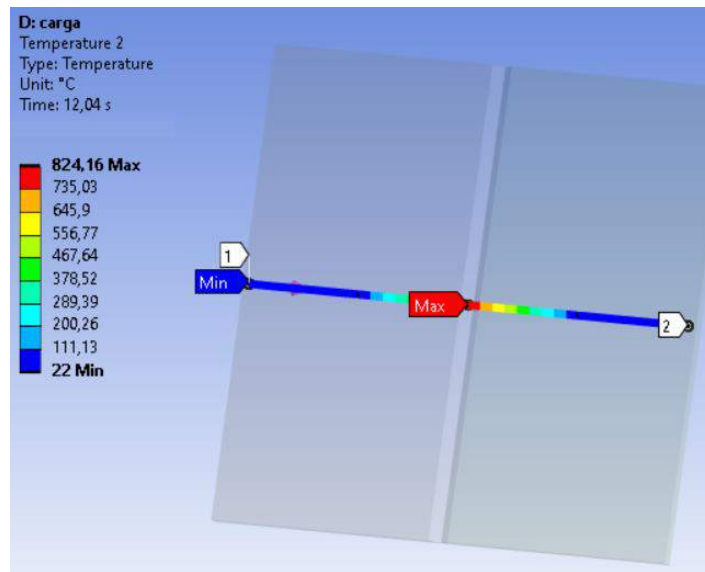
ANEXO F: MICROESTRUCTURA SOLDADURA POR SMAW



ANEXO G: RESULTADOS DE LA PROBETA DE ACERO ASTM A-500, DE TEMPERATURAS Y FLUJO DE CALOR



ANEXO H: RESULTADOS DE TEMPERATURA TRANSVERSAL, DEFORMACIÓN TOTAL DE LA PLACA DEL ACERO



ANEXO I: RESULTADOS DEL FACTOR DE SEGURIDAD DEL ACERO ASTM A-500

