

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PENETRACIÓN DE SOLDADURA GMAW
MEDIANTE ENSAYOS METALGRÁFICOS EN AUTOPARTES RIELES
DE CHASIS Y BARRA DE TABLERO PRODUCIDOS POR LA EMPRESA
METALTRONIC S.A.**

**AUTOR:
VÍCTOR XAVIER PLACES GARZÓN**

**TUTOR:
MILTON SALOMÓN JAMI LEMA**

Quito, febrero del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Víctor Xavier Places Garzón, con documento de identificación N°1721065892, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo de Titulación intitulado: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PENETRACIÓN DE SOLDADURA GMAW MEDIANTE ENSAYOS METALGRÁFICOS EN AUTOPARTES RIELES DE CHASIS Y BARRA DE TABLERO PRODUCIDOS POR LA EMPRESA METALTRONIC S.A.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



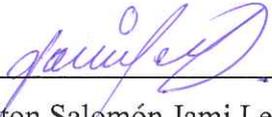
Víctor Xavier Places Garzón

C.I. 1721065892

Quito, febrero 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PENETRACIÓN DE SOLDADURA GMAW MEDIANTE ENSAYOS METALGRÁFICOS EN AUTOPARTES RIELES DE CHASIS Y BARRA DE TABLERO PRODUCIDOS POR LA EMPRESA METALTRONIC S.A.” realizado por Víctor Xavier Places Garzón, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



Milton Salomón Jami Lema

C.I. 1707254171

Quito, febrero 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, lo empiezo dedicando a DIOS, por ser El guía de inicio a fin en cada momento de este trayecto de mi vida, siendo luz en cada adversidad; a mi madre Patty quien con su apoyo, amor incondicional supo encaminarme y motivarme cada día; a mi padre Víctor que desde el cielo se encargó de que su legado de lucha y fortaleza siga vivo en cada uno de los suyos; a mi hermosa novia, Lau quien confió en mi desde el principio, siendo en incontables momentos el soporte y aliento para superar diversos obstáculos, brindándome su amor y apoyo; a mis hermanas Mayra, Miriam, Cristina y hermano Freddy; en general, a mi familia por ser el apoyo constante y el pilar fundamental de motivación en cada una de las decisiones tomadas durante todos estos años de estudios universitarios, debido a que sin sus consejos, no hubiera sido posible alcanzar este título universitario, tan anhelado. Además, agradecido con las personas que me ayudaron para que pueda realizar este trabajo como lo fue Raúl, Armando y muchos más quienes forman parte de una gran empresa como lo es Metaltronic S.A, los mismos que me supieron brindar las facilidades necesarias complementadas con su apoyo.

A cada una de estas personas mencionadas, hoy les doy las gracias.

Víctor

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xi
GLOSARIO	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.3 La industria autopartista en el Ecuador	3
2.4 Estampado de autopartes	4
2.5 Introducción a las técnicas de soldadura	5
2.6 Soldadura GMAW.....	7
2.6.1 El cordón de soldadura.....	8
2.7 Clasificación de los cordones de soldadura.....	10
2.7.1 Tipos de juntas de soldadura	11
2.8 Penetración de soldadura GMAW.....	12
2.9 Metalografía generalidades	14
2.9.1 Análisis macroscópico	15
2.9.2 Preparación de la probeta	15
2.9.3 Corte probetas y muestras	16
2.9.4 Desbaste, lijado y pulido	16
2.9.5 Ataque químico.	16
2.9.6 Examen microscópico y análisis de imagen.....	16

2.10	Autopartes	17
2.11	Parámetros y criterios de aceptación de la norma GMW-14058.....	20
2.12	Conclusiones del capítulo.....	21
CAPÍTULO II		22
FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA ENSAYOS METALOGRAFICOS		22
2.1	Proceso actual del ensayo metalográfico.....	22
2.2	Proceso de fabricación de autopartes	24
2.2.1	Riel delantera	25
2.2.2	Riel central	26
2.2.3	Riel Posterior.....	26
2.3	Área y temperatura de soldadura.....	27
2.4	Propiedades del material base	29
2.5	Normas técnicas para estandarizar procesos metalográficos.....	31
2.5.1	Alcance de la norma ASTM E3-11	32
2.5.2	Documentos de referencia.....	32
2.5.3	Significado y Uso.....	33
2.5.4	Selección de especímenes metalográficos	33
2.5.5	Tamaño de especímenes metalográficos	35
2.5.6	El corte de especímenes metalográficos	36
2.5.7	Limpieza.....	37
2.5.8	Montaje de muestras	39
2.5.9	Chapado de especímenes.....	39
2.5.10	Esmerilado y pulido	40
2.5.11	Pulido	42
2.5.12	Fuerza aplicada en la preparación de la probeta	43
2.5.13	Secuencia de preparación.....	43
2.5.14	Los métodos automatizados	45

2.5.15	Reactivo de ataque	46
2.6	Complemento de la norma E3-11 con la norma E-340	47
2.6.1	Macrografías por el tipo de material	49
2.6.2	Aplicación de químico revelador para macrografía	49
2.7	Observación metalográfica	50
2.7.1	Antecedentes de observación metalográfica	50
2.7.2	Microscopios metalúrgicos	51
2.7.3	Observación macroscópica.....	52
CAPÍTULO III		55
CRITERIOS Y PARAMETROS DE EVALUACIÓN DE SOLDADURA.....		55
3.1	Norma GMW-14058	55
3.2	Criterios generales de aceptación.	56
3.3	Evaluación de la soldadura.	56
3.4	Criterios de aceptación visuales.	57
3.4.1	Apariencia visual.....	57
3.4.2	Las grietas o fisuras.....	57
3.4.3	Retro fusión.....	58
3.4.4	Cordones de soldadura extra	58
3.4.5	Cráter.....	58
3.4.6	Dirección de soldadura.....	59
3.4.7	Discontinuidades	60
3.4.8	Salpicaduras	60
3.5	Criterios de aceptación medibles.....	61
3.6	Soldadura sección representativa (s).	63
3.6.1	El espesor de garganta (a).	66
3.6.2	La profundidad de la Fusión o penetración de soldadura	67
3.6.3	El espesor mínimo o representado como t_{min}	68

3.6.4	Porosidad.....	68
3.6.5	Las grietas internas.....	69
3.7	Disposición y procedimiento de reparación	69
3.8	Criterios de aceptación para productos de otras marcas.....	70
CAPÍTULO IV.....		72
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS METALOGRAFICOS Y COSTOS.....		72
4.1	Definición de cordones para ensayo metalográficos en autopartes.....	72
4.2	Cordones evaluados en los rieles de chasis	73
4.3	Cordones evaluados en la barra de tablero	75
4.4	Especificaciones del microscopio.....	76
4.5	Resultados macrográfico	77
4.6	Tabulación de resultados	82
4.6.1	Resultados tabulados de los parámetros y criterios evaluados en los cordones de soldadura de los rieles de Chasis	82
4.6.2	Tabla de parámetros evaluados en los cordones de soldadura de la barra de tablero.....	86
4.6.3	Evaluación en puntos críticos de la barra de tablero.....	90
4.7	Comparación de resultados internos contrastados con los de un laboratorio externo	92
4.8	Costos	95
4.9	Análisis financiero del proyecto.....	96
4.9.1	Valor actual neto (VAN).....	96
4.9.2	Tasa interna de retorno (TIR).....	97
4.9.3	Período de recuperación de la inversión (PRI)	98
CONCLUSIONES		100
RECOMENDACIONES		102
BIBLIOGRAFÍA		103
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Amperaje recomendado según el diámetro del alambre para soldar GMAW.	8
Tabla 2. Fuerza de estampado.	27
Tabla 3. Composición química riel delantera	29
Tabla 4. Composición química riel central	30
Tabla 5. Composición química riel posterior	30
Tabla 6. Composición química riel posterior 2	31
Tabla 7. Selección del Disco de Corte	37
Tabla 8: Soluciones de limpieza para su uso cuando los métodos estándar son inadecuados.	38
Tabla 9. Comparación de Grano del Papel Lija	40
Tabla 10. Selección de Papel Abrasivo	43
Tabla 11. Método de preparación de aplicación general	44
Tabla 12. Reactivo de ataque para examen metalográfico	47
Tabla 13. Requerimientos de longitud del cordón	62
Tabla 14. Ubicación y cantidad recomendadas para ensayos metalográficos	63
Tabla 15. Requerimiento mínimo de la longitud de pierna y el espesor de la garganta	66
Tabla 16: Cordones evaluados en los rieles de chasis.....	73
Tabla 17: Puntos para Análisis Metalográficos Barra de Tablero	75
Tabla 18. Especificaciones técnicas del microscopio digital.	77
Tabla 19: Resultados macrográfico.....	78
Tabla 20. Resultados de criterios evaluados en el cordón 9 de rieles de chasis.	79
Tabla 21: Resultados macrográfico.....	80
Tabla 22: Resultados macrográfico.....	81
Tabla 23: Costos del Producto para los Ensayos Destructivos.	95
Tabla 24: Costos de Equipo y Materiales.	95
Tabla 25: Costos Externos.	96
Tabla 26. Costo Total.....	96
Tabla 27. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) al 5%.	97
Tabla 28: Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Prensa hidráulica	5
Figura 2: Clasificación general de los procesos de soldadura	6
Figura 3: Antorcha de soldadura GMAW	8
Figura 4: Partes del cordón de soldadura	9
Figura 5. Longitudes cordón de soldadura.....	10
Figura 6. Tipo de cordones de soldadura	11
Figura 7. Diversas juntas y posiciones de soldadura	11
Figura 8: Zona fundida y de influencia térmica	13
Figura 9: Problemas de soldadura GMAW	14
Figura 10. Rangos de tamaño para estructuras típicas en materiales.	15
Figura 11: Imagen microscópica sobre penetración de soldadura.	17
Figura 12. Riel central de chasis de camioneta	18
Figura 13. Chasis RT-50 ensamblado.	18
Figura 14. Barra de tablero T-200	19
Figura 15. Sección de soldadura a evaluar.....	19
Figura 16: Criterio de aceptación para soldadura en placas.....	20
Figura 17. Informe macrográfico de laboratorio externo	23
Figura 18: Área de estampado y almacenamiento de rieles.....	24
Figura 19: Riel delantero.....	25
Figura 20: Riel central.....	26
Figura 21: Riel posterior.	26
Figura 22. Jigs de soldadura rieles.	27
Figura 23. Temperatura de rieles al terminar la soldadura.....	28
Figura 24: Modo de designación de la ubicación del área que se muestra en la metalografía.....	35
Figura 25: Discos de corte y cortadora de muestra.....	37
Figura 26: Probetas montadas en frío.....	39
Figura 27: Principio de funcionamiento del microscopio metalúrgico	51
Figura 28. Microscopio utilizado para los ensayos en el laboratorio interno	52
Figura 29. Software empleado en la obtención de resultados metalográficos.	53
Figura 30: Dirección de soldadura.	57
Figura 31: Cordón de soldadura fisurado	58
Figura 32: Cordón de soldadura con presencia de cráter.	59

Figura 33. Dirección de soldadura.	59
Figura 34. Discontinuidades de soldadura.	60
Figura 35. Salpicaduras de soldadura.....	60
Figura 36. Plantilla de soldadura.....	62
Figura 37. Criterios medibles mediante ensayos macrográfico	64
Figura 38. Junta solapada con cordón de soldadura convexo	65
Figura 39. Junta a tope con cordón de soldadura cóncavo	65
Figura 40. Junta a tope con cordón de soldadura convexo	66
Figura 41. Longitud de pierna y espesor de garganta en unión lamina con tubos.	67
Figura 42: Profundidad de penetración de soldadura.....	67
Figura 43. Espesor mínimo de material (Tmin)	68
Figura 44. Porosidad interna y superficial	68
Figura 45. Grietas internas	69
Figura 46. Área de soldadura de rieles.....	72
Figura 47. Bloques patrones de calibración	77
Figura 48: Análisis macrográfico del cordón 7.....	78
Figura 49. Análisis macrográfico en el cordón 9 de rieles de chasis.	79
Figura 50. Análisis macrográfico punto 11.....	80
Figura 51. Análisis macrográfico punto 13.....	81

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Espesor de la garganta rieles de chasis.	82
Gráfica 2. Longitud de Pierna 1 rieles de chasis	83
Gráfica 3. Longitud de Pierna 2 rieles de chasis	84
Gráfica 4. Penetración de soldadura rieles de chasis	85
Gráfica 5. Espesor de la garganta barra de tablero.....	86
Gráfica 6. Longitud de Pierna 1 barra de tablero	87
Gráfica 7. Longitud de Pierna 2 barra de tablero	88
Gráfica 8. Penetración de soldadura barra de tablero	89
Gráfica 9. Evaluación de parámetros Bracket airbag 1 LH	91
Gráfica 10. Evaluación de parámetros Bracket airbag 1 RH	92
Gráfica 11. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida del espesor de garganta.....	93
Gráfica 12. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida de la longitud de pierna 1	93
Gráfica 13. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida de la longitud de pierna 2	94
Gráfica 14. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida de la penetración de soldadura	94

GLOSARIO

- **Ensayo destructivo:** Exámenes que se ejecutan a un material mediante el uso de herramientas o máquinas las cuales producen una variación irreversible de su composición química, mecánica o de su geometría dimensional [1].
- **Soldadura:** Es una técnica de sujeción en la cual se realiza el nexo de varios materiales por medio de una fundición a altas temperaturas [2].
- **Soldadura GMAW:** La soldadura a gas y arco metálico denominada Gas Metal Arc Welding es un proceso de soldadura por arco eléctrico y gas protector con electrodo de aporte [3].
- **Metalografía:** Estudio de las estructuras de una aleación y de su relación con las propiedades físicas, mecánicas y su composición química [4].
- **Macrografía:** Método que se basa en la observación mediante un microscopio de los defectos o discontinuidades en los materiales [5].
- **Chasis:** Es la estructura interna encargada de aportar sostén, rigidez y forma al vehículo en cuestión. Se trata de un armazón, generalmente fabricado de acero o algún metal similar que ofrezca buenas prestaciones en términos de dureza, que integra y da soporte a todos y cada uno de los componentes mecánicos que forman parte del vehículo [6].
- **Barra de tablero:** Componente estructural del chasis de un vehículo es el encargado de soportar internamente los instrumentos y partes del tablero [6].
- **El espesor de garganta:** Es la mínima distancia a la que se puede encontrarse la cara de soldadura y la raíz de la soldadura [7].
- **Porosidad:** Es una discontinuidad de tipo cavidad o aberturas superficiales resultantes de gas atrapado en o escapar del baño de soldadura durante la solidificación [7].

RESUMEN

El objetivo del proyecto fue la implementación de ensayos destructivos, específicamente, metalografías en la Empresa Metaltronic S.A, dedicada a la industria autopartista, en la cual se realizó el análisis y evaluación de penetración de soldadura.

Cuyos resultados fueron medibles mediante un microscopio y la utilización del software Amcap v3.0.9, el cual sirve para capturar la imagen visualizada en el microscopio y después se utiliza el módulo Measurement, con lo cual se obtiene datos medibles y se los contrasta con los parámetros y criterios de aceptación establecidos en la norma técnica GMW-14058, la cual establece criterios de aprobación en autopartes ensambladas mediante soldadura, para lo cual fue necesario la realización de las macrografías como parte del ensayo metalográfico.

Las mismas tienen un proceso de preparación de la probeta para lo cual fue necesario la aplicación de las normas técnicas referentes a metalografías tales como la ASTM E3-11 que abarca las recomendaciones para este tipo de ensayos destructivos en complemento con la norma ASTM E-340, que detalla específicamente lo referente a macrografías en diferentes materiales.

Según la Norma GMW-14058, se definió los cordones principales de las autopartes analizadas, para efectuar el ensayo de lo cual se establece 14 puntos de evaluación en los diferentes rieles de chasis y 9 puntos en la barra de tablero. Los resultados obtenidos fueron exitosos al cumplir con todos los criterios establecidos por la Norma GMW-14058.

Palabras claves: autopartes, barra de tablero, ensayo destructivo, metalografía, penetración de soldadura, rieles de chasis, soldadura GMAW.

ABSTRACT

The objective of the project was the implementation of destructive assays especially of metallographies in the Company Metaltronic S.A, dedicated to the industry autopartist, in which the analysis and evaluation of the welding penetration was carried out.

Whose results were measured through a microscope and with the useable of the software Amcap v3.0.9, which is used to capture the image visualised in the microscope and after used in the module Measurement, from which measurable data is obtained and it is contrasted with the parameters and criteria of acceptance established in the technical rule GMW-14058, which establishes the approbation criteria in assembled auto parts, for which it was necessary to carry out macrographies as part of the micrographic assay.

The same have a process of preparation of the test tube for which the application of technological rules referring the metallography was necessary such as ASTM E3-11 which take on the recommendations of the type of destructive assays in complement to the rule ASTM E-340, which specifically details the references to macrographies in different materials.

According to the rule GMW-14058, the principles links of the auto parts analysed was defined, to make the essay from which 14 evaluative points are established in the different chassis rails and 9 points on the bar of the dashboard. The obtained results were successful in fulfilling with all the criteria established by the rule GMW-14058.

Keywords: auto parts, board bar, destructive test, metallography, weld penetration, chassis rails, GMAW welding.

INTRODUCCIÓN

La Empresa Metaltronic S.A. es una de las empresas líderes en la metalmecánica con más de 45 años de experiencia en el campo automotriz, para el desarrollo de autopartes metálicas, así como de su ensamble.

Tiene un área cubierta de 10.064 m² y 7.147 m² de circulación, almacenamiento y espacios verdes y un área total de 22.630 m², está ubicada en Quito Ecuador, en las calles Avellaneda N-69 y Calle E3.

La misión de la Empresa se resume en fabricar y ensamblar autopartes metálicas, logrando altos estándares de calidad que cumplan satisfactoriamente las necesidades de los clientes.

En la industria autopartista actualmente se necesita realizar ensayos que garanticen la calidad de los productos fabricados tales como los ensayos metalográficos de tipo destructivo, que permiten analizar la eficacia de la soldadura, lo que permita cumplir con las normas que está certificada la Empresa (ISO 9001 y la IATF 16949), la cual da una mayor confiabilidad al cliente, debido a que los ensayos se realizaran periódicamente con su respectiva documentación.

Los ensayos de penetración de soldadura y sus diferentes parámetros incluidos longitud de pierna, espesor de garganta, porosidad entre otros problemas presentes en la ejecución de cordones de soldadura y juntas soldadas.

Los ensayos metalográficos actualmente se realizan externamente y con una reducida frecuencia, por lo que la empresa tomo la decisión de ampliar el alcance de su laboratorio interno y adquirió los equipos y herramientas para realizar los ensayos metalográficos. Pero al ser un proceso nuevo de control para la empresa no cuenta con el instructivo de procedimiento para realización de dichos ensayos y el criterio de análisis y evaluación para evaluar los resultados con los criterios y parámetros establecidos en la Norma GMW-14058 por lo que se me ha dado la oportunidad de realizarlo como tema de titulación.

Debido a que para la Empresa es necesario realizar estos ensayos con mayor frecuencia para garantizar la calidad de sus productos o verificar la calidad de estos cuando existen cambios en el proceso de soldadura de los rieles de chasis de camioneta y la barra de tablero de automóvil.

El objetivo general es analizar y evaluar la penetración de soldadura GMAW mediante ensayos metalográficos en autopartes rieles de chasis y barra de tablero producidos por la Empresa Metaltronic S.A.

Los objetivos específicos son:

- Analizar el proceso actual de evaluación de penetración de soldadura en los rieles de chasis y la barra de tablero fabricada por la empresa.
- Estandarizar el proceso para realizar los ensayos metalográficos según la Norma ASTM E3-11 en las instalaciones de Metaltronic S.A.
- Evaluar los resultados de los ensayos metalográficos con relación a los parámetros y criterios de aceptación de soldadura de la Norma GMW-14058.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hace referencia al motivo de la investigación continuando con una recopilación de datos históricos, desarrollo, principios de funcionamiento, complementado por aspectos técnicos y teóricos de las metalografías para el análisis de penetración de soldadura GMAW, así como, sus diferentes componentes y equipo para obtener óptimos resultados para un adecuado análisis.

El objetivo del capítulo es conocer el proceso de soldadura, los parámetros que influyen en los ensayos metalográficos y el uso que se le da en la industria, para el análisis de penetración de soldadura.

2.3 La industria autopartista en el Ecuador

La industria autopartista es una gran generadora de empleo e influye en toda una industria automotriz, se encuentra en una etapa de franco crecimiento, esto se puede verificar en cifras que muestra el gobierno del Ecuador, la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (Cinae), complementado por la asociación de empresas Automotrices del Ecuador [8].

Con un Acuerdo Ministerial 17131, suscrito por el Ministerio de Industrias en 2017, determina que los autos ensamblados en el país contengan mínimo el 19% de partes fabricadas en Ecuador hasta 2020 [8]. Esto ayudaría de gran motivación a las empresas que se encargan a la fabricación de piezas automotrices por lo que generaría inversión en las plantas para el cubrimiento de la demanda que generaría las ensambladoras.

Las ensambladoras en el país son parte de multinacionales, por lo cual se exige a sus proveedores (Metaltronic S.A.) a cumplir altos estándares de calidad bajo las normas ISO 9001 y IATF 16949, las cuales son normas de sistemas de gestión de calidad específica para la industria del automóvil.

La Norma IATF 16949 tiene como objetivo mejorar la Gestión de Calidad, el cual proporciona un progreso, haciendo que el objetivo sea la prevención de errores y una reducción de los diferentes residuos en la cadena de suministro automotriz [9].

La Empresa al estar certificada bajo estas normas necesita mantener y asegurar la calidad de sus productos, sus clientes las ensambladoras automotrices necesitan que las autopartes que van a recibir garanticen su funcionamiento y calidad por lo que se realiza diferentes ensayos para garantizar el producto entre ellos esta las metalografías para inspeccionar la penetración de la soldadura y comprobar sus propiedades.

La Empresa se caracteriza en gran medida por el equipo humano y técnico que posee complementado por maquinaria y equipos modernos que permiten obtener productos de calidad. Entre este equipo destaca la maquinaria manejada por control número computarizado que permite la fabricación de herramentales, los cuales en complemento con las prensas hidráulicas de diversos tonelajes hasta de 1500T, la misma que observa en la Figura 1, que es la de mayor capacidad que posee la empresa, este equipo es necesario para estampar en su mayoría las autopartes ensambladas posteriormente como son los pisos y paneles de balde, cerchas, riles de chasis entre otras.

2.4 Estampado de autopartes

Está constituido por dos partes denominada la parte macho y hembra, las cuales se acoplan, por lo que es necesario que su diseñar tenga una sobre medida, para evitar una contracción del producto, un exceso de rebaba en ciertos bordes debido al herramental u otros parámetros como lo resaltan varios libros [6].

Es un proceso que se lo realiza tanto en forma fría como en caliente, el estampado en frio se emplea para metales diversos tipos de metales como aluminio, estaño entre otros de alta ductilidad como los aceros con bajo carbono. Los aceros aleados con bajas fuerzas también pueden llegar a ser estampados en frio [6].

Metaltronic S.A cuenta con diversas prensas hidráulica y mecánicas como las que se observa en la Figura 1.

La fluencia del material influye en el proceso y queda limitada al diseño del herramental de estampo, el cual se encuentra en medio de dos matrices que permiten obtener la forma de la pieza, al ingresar presión en las matrices se acciona el sistema y el material va completando el espacio vacío que se encuentran entre las matrices

(superior e inferior), el estampado termina una vez que la matriz superior haga contacto con la matriz inferior.



Figura 1. Prensa hidráulica [10]

2.5 Introducción a las técnicas de soldadura

La historia de la soldadura es amplia y diversa, empieza entre la edad de bronce y hierro, en la actualidad la American Welding Society la soldadura se define como la coalescencia de dos o más piezas de chapa o metal a temperaturas altas, a la vez puede realizarse con la aplicación de un tercer material, que al enfriarse se convierte en una unión fija y sólida [11].

La unión de piezas por soldadura data desde miles de años atrás, aproximadamente 2500 años en la cual un herrero de Grecia conocido como Glaukos juntaba piezas, calentando las mismas hasta que se suavizaban y luego le aplicaba golpes con un martillo hasta que se unían.

Sin embargo, la unión de piezas se mantuvo durante muchos años condicionada a la tecnología de unir las con remaches y tornillos las cuales son soluciones lentas y costosas que impedían el rápido desarrollo de la producción.

Por esta razón técnicos y científicos de la época, dedicaron sus esfuerzos para buscar una tecnología de unión de metales que estuviera acorde con las exigencias del desarrollo industrial de esos momentos, y es cuando se descubre la unión de metales mediante la utilización de la fusión local, que más tarde se definió como procesos de

soldadura y que adquieren un grado elevado de desarrollo cuando se descubren las fuentes de energía calórica [12].

La soldadura por resistencia fue descubierta a la terminación del siglo XIX, mientras que la soldadura térmica fue empleada por primera vez en 1893 y mediante este proceso también se aplicó el proceso de soldadura a gas [12].

El inicio de la Primera Guerra Mundial provocó un gran avance en la tecnología por lo que se profundizó el tema de soldadura, otro avance importante se dio en el año 1920 con la implementación de la soldadura automática la cual era alimentada con un alambre de electrodo. Un factor importante que se fue tratando con el tiempo fue elaborar un gas de protección contra los efectos del oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera, pero esto se complicaba debido a la porosidad y la fragilidad, por lo que los científicos para generar una solución adoptaron incluir el uso de hidrógeno, argón, y helio que ayudan a proteger la soldadura [13].

Una clasificación adecuada de los diferentes procesos de soldadura existentes se detalla en la Figura 2.



Figura 2. Clasificación general de los procesos de soldadura [11]

En la actualidad, los procesos de soldadura han mejorado constantemente hasta llegar a ser automatizados completamente, pero se siguen manteniendo algunos procesos manuales debido a que la automatización completa involucra altos costos económicos.

2.6 Soldadura GMAW

Es un proceso por arco con electrodo consumible y gas protector, esto hace que la soldadura produzca menos escoria y cumpla con las medidas ambientales requeridas [2]. El arco con protección gaseosa se consideró como GMAW. Esta fusiona dos metales mediante el arco eléctrico que está protegido del ambiente por el gas que se emplea, según el tipo de gas este puede clasificarse como MIG o MAG. Los gases inertes son utilizados para la suelda MIG. Estos gases son: argón (Ar), helio (He) o mezclas de ambos, mientras que los gases que son usados en la suelda MAG son considerados gases activos y estos son mezclas con base en dióxido de carbono (CO₂).

La diferencia entre la soldadura MIG y la MAG se da en la reacción que produce los gases el momento de soldar. El gas que se usa en la suelda MIG no interviene en las propiedades, es más estable, tiene menor penetración, no genera deformación y un mejor acabado, por estas razones es una gran opción para materiales delicados. Por otro lado, la suelda MAG genera una penetración más profunda, aumenta la resistencia al impacto, corrosión, temperatura, pero a su vez produce un cordón más grueso y una gran cantidad de salpicadura, por lo que para mejorar su función se lo mezcla con un cuarto de gas de argón o helio, lo que permite reducir la salpicadura y el humo, se lo emplea en construcciones, laminas.

La soldadura GMAW es un proceso muy versátil a partir de los dos métodos ya que no se distingue el tipo de gas que permiten soldar a diferentes espesores la mayoría de los aceros, hierros al carbono. Pero general mente las industrias y los soldadores usan la soldadura MAG, ya que abunda el trabajo con aceros de diferentes tipos de espesores y permite aumentar el proceso en la industria [3].

El mundo de la soldadura está creciendo a un ritmo exponencial, existe una necesidad apremiante de desarrollar la sincronidad dentro de la industria a través del uso de estándares mediante un documento que se usa repetidamente como regla o directriz. Todos los estándares de AWS están aprobados por el American National Standards Institute (ANSI). Esto significa que, durante el proceso de desarrollo de estándares, AWS sigue un estricto conjunto de reglas y requisitos que sirven para regir no solo el proceso de aprobación de los estándares [1].

El proceso GMAW puede ser semiautomático o automático, los componentes del proceso se detallan en la Figura 3.

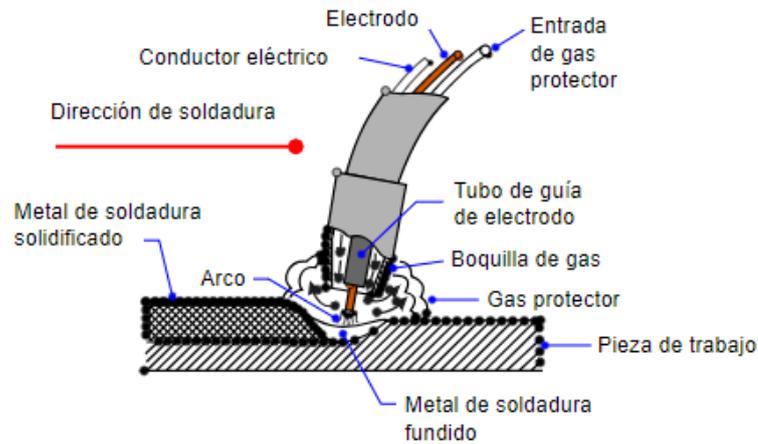


Figura 3: Antorcha de soldadura GMAW [2]

La Tabla 1, detalla el amperaje recomendado para ser utilizado dependiendo del diámetro del material de aporte utilizado.

Tabla 1. Amperaje recomendado según el diámetro del alambre para soldar GMAW [3]

Dimensión	Amperaje Recomendado
0.76 mm	60 – 160 A
0.90 mm	80 – 220 A
1.02 mm	90 – 280 A
1.14 mm	100 – 340 A
1.6 mm	250– 500 A

2.6.1 El cordón de soldadura

En la Figura 4 podemos diferenciar las tres zonas presentes en el cordón de soldadura:

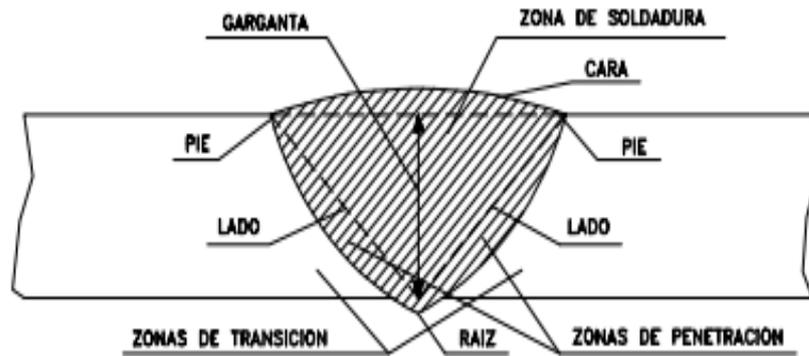


Figura 4: Partes del cordón de soldadura [14]

- a.) Zona de soldadura: Es la zona central, que está conformada por el metal de aporte fundido.
- b.) Zona de penetración. Es la parte fundida de la soldadura, y mientras mayor sea la soldadura se considera de mejor calidad.
- c.) Zona de transición. Es la parte más vulnerable debido a que es la zona que recibe gran cantidad de temperatura debido a que está cerca de la zona de penetración.

En la Figura 5, se puede analizar las dimensiones necesarias para determinar el cordón estas son la garganta y la longitud.

La garganta (a) es la distancia entre la altura del triángulo isósceles que se forma de los lados iguales que se encuentran en las caras de las dos partes a unir y es contenido en la sección transversal de la soldadura [15].

Se denomina longitud eficaz representada por (l) a la longitud existente en la soldadura excepto los cráteres externos, se permite que la longitud del cráter sea similar a la garganta.

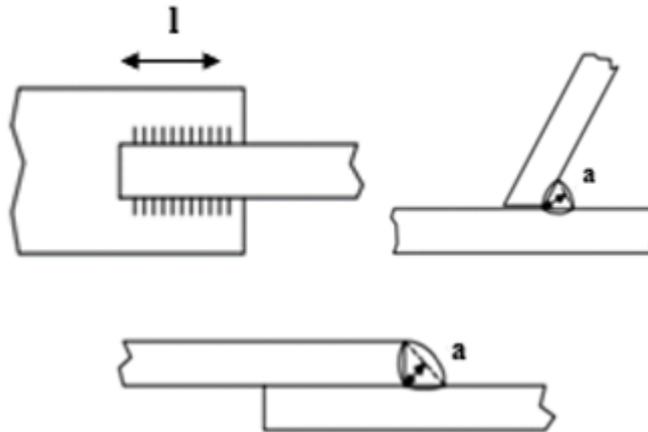


Figura 5. Longitudes cordón de soldadura
Elaborado por: Víctor Places

2.7 Clasificación de los cordones de soldadura

Los cordones de soldadura se pueden agrupar:

a. Respecto a la posición geométrica de las piezas a unir:

- Soldadura a tope
- Soldadura en ángulo

b. Respecto a la posición del cordón de soldadura detallados en Figura 6:

- Cordón oblicuo
- Cordón lateral
- Cordón frontal

c. Respecto a la posición del cordón de soldadura durante la operación como indica la Figura 7:

- Cordón de soldadura plano (se representa con H)
- Cordón de soldadura horizontal (se representa por C)
- Cordón de soldadura vertical (se representa con V)
- Cordón de soldadura en techo (se representa con T)

Existen diferentes tipos de uniones soldadas y posiciones de soldadura como las que se detallan en la Figura 6 y la Figura 7.

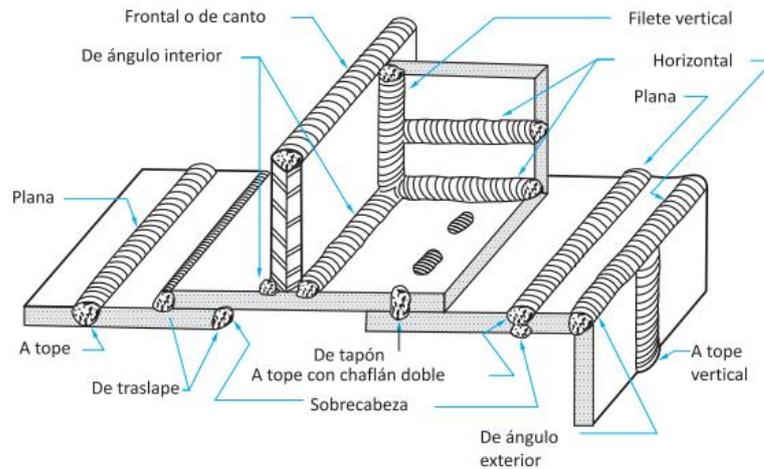


Figura 6. Tipo de cordones de soldadura[16]

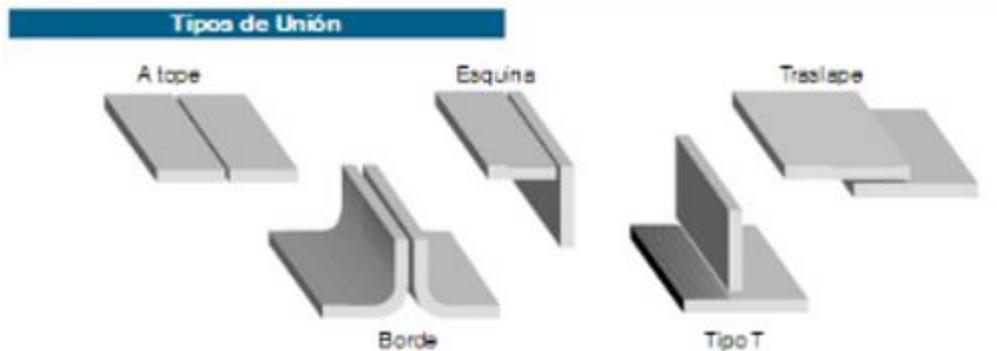


Figura 7. Diversas juntas y posiciones de soldadura [16]

2.7.1 Tipos de juntas de soldadura

2.7.1.1 Junta a tope

La junta a tope es el tipo más común de unión soldada. Se emplea para unir dos piezas que están sobre el mismo plano. Los dos objetos pueden consistir en dos bordes ya sean en forma de "V", de "U" o cuadrados. Depende de los materiales que serán soldados, y también puede tener relación con la aplicación que se logra dar a esos materiales. Las uniones a tope consisten en una soldadura simple o doble, teniendo las soldaduras simples las que logran una mejor relación entre costo y beneficio [15].

2.7.1.2 Soldadura de esquinas

Se utiliza para unir dos piezas en un ángulo de 90 grados, las piezas se posicionan de manera que sólo mantengan contacto sobre una arista. Esto deja un agujero en forma

de "V" que debe ser cubierto con material de soldadura. Esta soldadura permite una junta más fuerte, y a la vez permite al soldador juntar las piezas en un paso [17].

2.7.1.3 Juntas de borde

La unión de borde es parecida a una junta de tope, pero se utiliza sobre las aristas de dos piezas de distribución vertical. Por ejemplo, esta junta se aplica para una chapa doble de acero. Las placas se colocan una sobre la otra, por lo menos un borde se suelda mediante esta metodología. Para incrementar la fuerza en la unión, debe realizar el proceso de soldadura en dos o más bordes [12].

2.7.1.4 Juntas solapadas o traslape

Las juntas solapadas se utilizan para sobre montar dos piezas que no permanecen directamente una sobre la otra, una porción de las piezas se coloca por encima, una junta de bordes no basta en su lugar, se sueldan las uniones donde la arista de un objeto tiene contacto con el otro, una junta solapada se utiliza para juntar elementos de diferentes espesores generalmente [12].

2.7.1.5 Soldadura en "T"

Las soldaduras en "T" se aplican para juntar dos piezas en el ángulo correcto para tener forma de "T". Un ejemplo sencillo es una viga de acero suspendida de un techo. La soldadura puede utilizarse en uno de los lados de la viga, en la cual se une con la cubierta del techo. Si la pieza metálica está colocado por encima del techo en una formación de tipo cruz, el resultado de la soldadura es lo que se conoce como una unión en forma de cruz [12].

2.8 Penetración de soldadura GMAW

La penetración de soldadura es el recorrido desde la superficie primitiva superior del metal, hasta el punto donde cesa la fusión es la zona fundida conocida como costura, de influencia térmica y de transición.

Una de las zonas más importantes es la zona fundida, es el metal líquido que se ha solidificado, el cual ha sufrido durante la fusión y solidificación, transformaciones del tipo físico químico o estructural [15].

La zona de influencia térmica del material base afectado térmicamente hasta la temperatura de mínima de transformación del material en cuestión. En esta zona se pueden producir cambios microestructurales que pueden variar o no las propiedades mecánicas como se detalla en la Figura 8.

La zona de transición es la zona entre la costura y el material base.

El término isoterma es el lugar geométrico obtenido por la unión de puntos de igual temperatura en el material base o en la zona de influencia térmica.

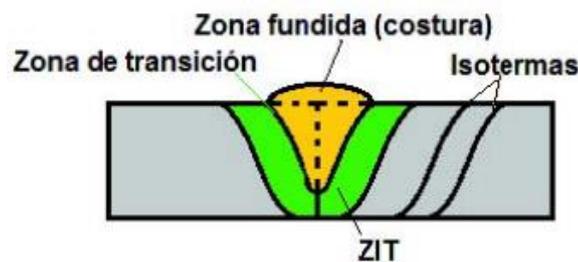


Figura 8. Zona fundida y de influencia térmica [11]

El coeficiente de dilución es la relación en porcentajes del material base fundido y la suma del material base con el material que se utilizó de aporte fundidos en un punto determinado de la costura.

El problema de falta de penetración de soldadura en ciertos casos se puede complementar con otras fallas comunes de soldadura.

Los aumentos en productividad de soldadura tienen un impacto económico importante de cientos de millones de dólares en ahorros anuales a nivel mundial [11].

La productividad de la soldadura se puede mejorar con el aumento de la velocidad de soldadura y la corriente; sin embargo, esta estrategia está limitada por la aparición de defectos de soldadura, descritos entre estos algunos como las salpicaduras, porosidad del túnel, fisuras entre otros, como se muestra en la Figura 9.

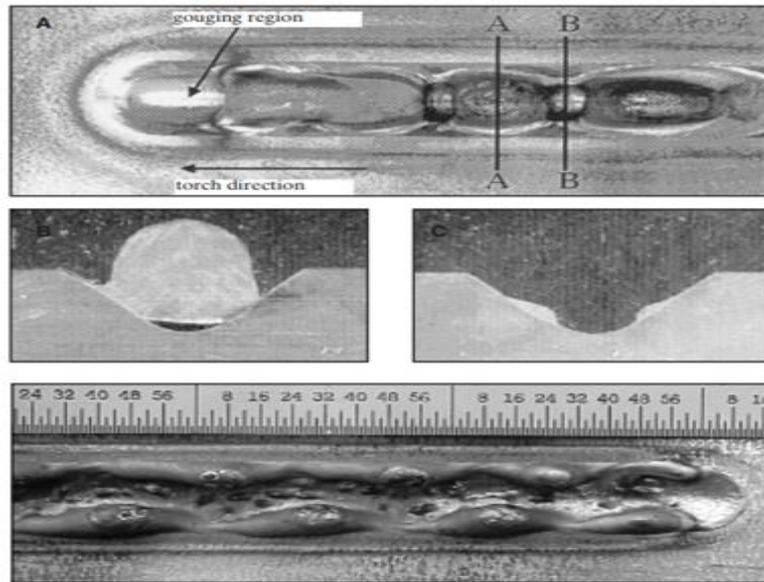


Figura 9. Problemas de soldadura GMAW [18]

2.9 Metalografía generalidades

Uno de los pioneros de la metalografía fue Henry Sorby. Fue el primero en realizar exámenes con el microscopio a una muestra metálica adecuadamente preparada en el año de 1863. La visualización de metales con el uso de microscopios empezó cerca de dos siglos posterior a la de muestras biológicas. Esto a causa de la preparación que requieren las muestras previo a ser evaluadas [5].

La metalografía es parte de la ciencia que tiene como objetivo examinar y determinar los componentes en una probeta, por medio del uso de varios niveles de amplificación visual que pueden ir desde 15x hasta 1000x de aumento. A la vez se tiene conocimiento que el proceso entre la preparación de una muestra de metal tiene relación directa para lograr la evaluación de la microestructura de la muestra [19]. La Figura 10, detalla el intervalo en tamaño, con el que es posible observar ciertas microestructuras típicas en materiales. El estudio metalográfico puede clasificarse en dos subdivisiones denominadas análisis macroscópico y análisis microscópico.

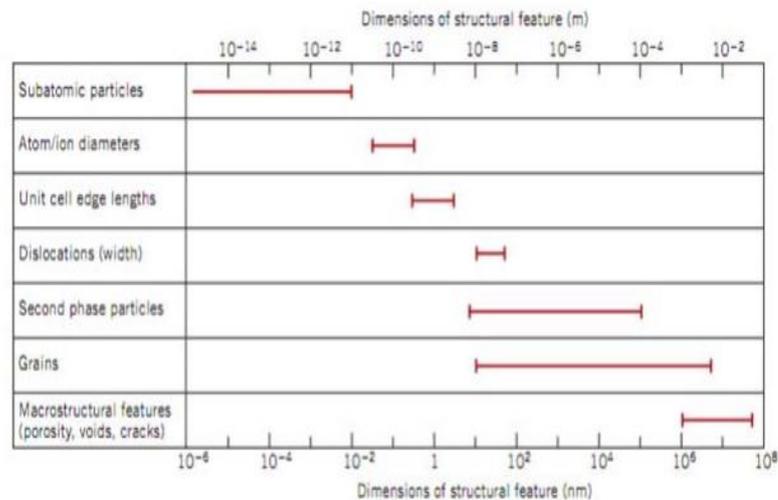


Figura 10. Rangos de tamaño para estructuras típicas en materiales [20]

2.9.1 Análisis macroscópico

El análisis macroscópico o conocido como macrografía es aquel que se puede realizar con un microscopio de baja capacidad. El intervalo de tamaño como se puede observar en la Figura 10, inicia en 10^{-3} m en adelante. El análisis macroscópico se puede usar para detallar y analizar:

- Líneas y zonas de flujo en materiales forjados
- Granos en materiales con tamaño de grano visible
- Marcas de maquinado y mecanizado
- Grietas y rallones
- Zonas y calidad del proceso de soldadura
- Orientación de la fractura en fallas

El análisis de este proyecto se basará en la penetración de soldadura por lo que con las macrografías se podrá realizar y evaluar el proyecto.

2.9.2 Preparación de la probeta

Tiene como objetivo obtener una superficie plana y semipulida, culminando con un pulido fino. El resultado de la operación es la obtención de una superficie especular para después de realizar un ataque químico poder observarla al microscopio y poder efectuar el respectivo análisis; para ello se debe tomar en cuenta los siguientes pasos que son detallados con mayor especificación en la Norma ASTM E3-11

Standard Guide for Preparation of metallographic specimens [4], donde se menciona en su última versión que fue realizada en el 2017, detalla las diversas técnicas requeridas para resolver problemas de preparación de muestras individuales que consta los siguientes pasos.

2.9.3 Corte probetas y muestras

El corte metalográfico es el primer paso y uno de los más importantes en la preparación de muestras, debido a que al cortar la pieza para conseguir la muestra que se quiere analizar, se debe garantizar que no se provoque un calor excesivo que altere o incluso dañe la estructura metalográfica que se va a evaluar [21].

2.9.4 Desbaste, lijado y pulido

El desbaste, lijado y pulido es el paso de la preparación metalográfica que brinda tener una superficie, adecuadamente, lisa para hacer el análisis mediante el microscópico.

2.9.5 Ataque químico

Una vez que se obtiene la superficie libre de rayaduras, se aplica un reactivo químico que ataca las diferentes partes estructurales de la probeta a través del microscopio. Un reactivo comúnmente aplicado es el nital.

2.9.6 Examen microscópico y análisis de imagen

Se necesita de un microscopio para el análisis de la probeta, a causa de la opacidad de los metales y aleaciones, opera con la luz reflejada del metal. La Figura 11, muestra el resultado de la penetración de soldadura obtenido a través de una captura de imagen con microscopio.



Figura 11. Imagen microscópica sobre penetración de soldadura [22]

2.10 Autopartes

a. Rieles de chasis de camioneta

Es la estructura interna encargada de aportar sostén, rigidez y forma al vehículo en cuestión. Se trata de un armazón externo, fabricado de acero que ofrece buenas prestaciones en términos de dureza, que integra y da soporte a todos y cada uno de los elementos mecánicos que conforman las partes del vehículo como los rieles de chasis son el marco que existe del lado izquierdo y derecho las cuales son parte importante de todo el conjunto denominado chasis. Los rieles son fabricados por completo en la empresa metalmecánica se divide en 3 tipos:

- Rieles delanteras
- Rieles centrales
- Rieles posteriores.

Los rieles en los tres tipos tienen una parte interna y una externa las cuales se sueldan con algunos brackets en su interior como se observa en la Figura 12, a esta operación se la denomina ensanduchado, la unión de estos elementos forma el riel que posteriormente se ensamblada en el conjunto del chasis de camioneta.

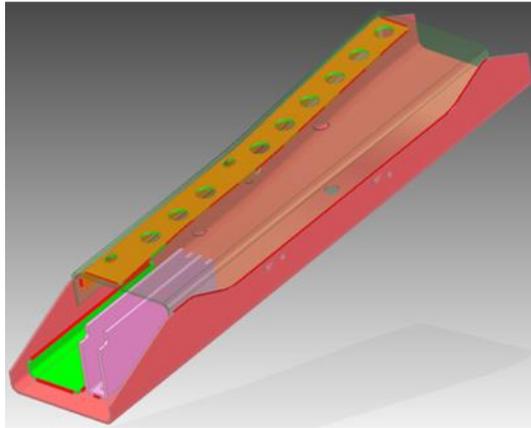


Figura 12. Riel central de chasis de camioneta [6]

La soldadura es sumamente importante en este proceso ya que garantiza la adecuada unión de los componentes del riel de chasis y los componentes que llevan en su interior.

La Figura 13, detalla el ensamble de conjunto de un chasis de camioneta, el cual muestra las diferentes rieles, puentes y brackets que lo componen.

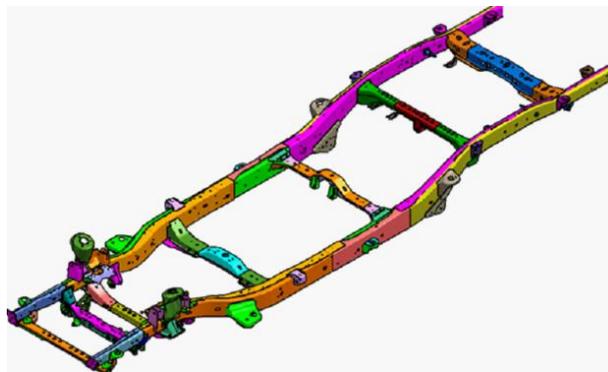


Figura 13. Chasis RT-50 ensamblado [10]

b. Barra de tablero de automóvil

Es un componente estructural del chasis de un vehículo es el encargado de soportar internamente los instrumentos y partes del tablero.

La mayoría de los componentes son de fabricación local con los mínimos componentes de CKD que son de gran importancia.

En el ensamble de la barra de tablero se emplean 42 cordones de soldadura para ensamblar sus diferentes componentes en los cuáles existen cordones que son de mayor importancia como los encargados de sujetar a los brackets que posicionan los airbags en un vehículo y los demás componentes como se observa en la Figura 14.

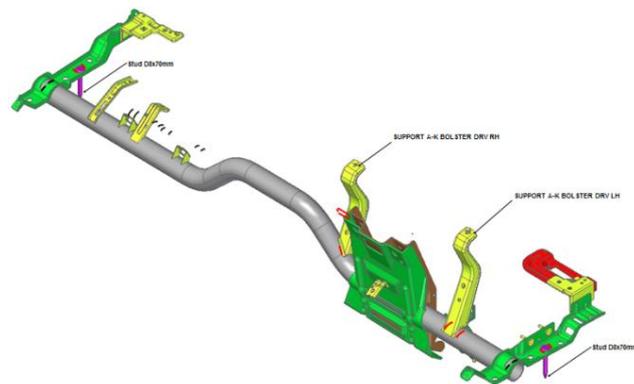


Figura 14. Barra de tablero T-200 [6]

Es importante garantizar la calidad de penetración de soldadura y tener documentos que respalden los ensayos debido a que en ocasiones se necesita verificar y controlar el producto por ciertas variables que pueden existir como cambio de proveedor de alambre de soldadura o cambios de las máquinas soldadoras hasta el cambio de operador encargado de ensamblar la barra de tablero lo que puede provocar variaciones en el producto y se debe realizar la metalografía para realizar el análisis y evaluación de la penetración de soldadura para garantizar la calidad del producto y cumplir con los requerimientos del cliente.

Los ensayos se deben realizar para evaluar la penetración en los cordones de soldadura como los indicados en la Figura 15.



Figura 15. Sección de soldadura a evaluar

Elaborado por: Víctor Places

2.11 Parámetros y criterios de aceptación de la norma GMW-14058

La norma proporciona los criterios de aceptación y los métodos de reparación para soldaduras en productos automotrices de los que GM es responsable de establecer o aprobar el diseño del producto.

Esta norma se aplica a juntas soldadas en todos los metales ferrosos y metales no ferrosos aprobados por GM. Los criterios establecidos en esta norma son obligatorios cuando se hace referencia en un documento de diseño de soldadura. Las desviaciones de cualquier criterio proporcionado en esta norma deben identificarse en un documento de diseño de soldadura.

Las estructuras soldadas se consideran satisfactorias cuando transportan las cargas de servicio previstas durante un período requerido. Las cargas de servicio en las piezas soldadas de un vehículo varían en cuanto a tipo y magnitud y no pueden abordarse en esta norma. Por lo tanto, aunque los criterios de calidad de soldadura de esta norma son consistentes con los requisitos de carga del servicio, se han establecido específicamente para su uso en procesos y monitoreo de productos.

La norma establece criterios de aceptación de soldadura donde se analizará: el espesor de garganta, longitud de la penetración de la pared lateral, profundidad de la penetración de soldadura, el espesor mínimo del material entre otros, los mismos que están representados como en la Figura 16.

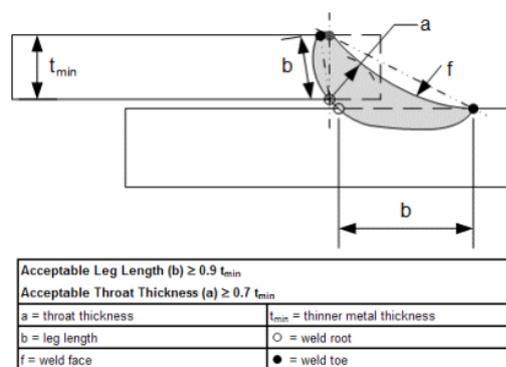


Figura 16. Criterio de aceptación para soldadura en placas [7]

La norma brinda parámetros de aceptación dependiendo del tipo de junta soldada para comprobar si los cordones de soldadura cumplirán con los parámetros necesarios para

la industria automotriz en los cuales los ensayos son de importancia para detectar productos defectuosos antes de que lleguen al cliente debido a que esto generaría sanciones por parte de las ensambladoras multinacionales.

2.12 Conclusiones del capítulo

En el Capítulo I, se hace referencia a tener en consideración la historia de la soldadura como la gran importancia que se le ha dado al pasar del tiempo en la industria primordialmente en la automotriz y una introducción de los parámetros que influyen en la penetración de soldadura con otros parámetros que deben ser evaluados mediante un adecuado proceso de ensayo metalográfico.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TÉCNICOS PARA ENSAYOS METALOGRAFICOS

En este capítulo se hace referencia a parámetros específicos de la investigación tratando de cumplir con el primer objetivo planteado analizar la situación actual de estos ensayos en la empresa, continuando con presión de estampado para obtener las piezas que posteriormente serán soldadas y enfocándose en la macrografía de las probetas analizadas.

2.1 Proceso actual del ensayo metalográfico

Las macrografías forman parte de los ensayos metalográficos el cual a su vez es un ensayo destructivo, este método de evaluación tiene como objetivo visualizar defectos en los materiales evaluados con la ayuda de un microscopio a una baja amplificación. Se aplica a menudo en soldaduras para evaluar la calidad o en superficies de fractura para relacionar características de superficie con mecanismos de falla [16].

Esta técnica se aplica mediante un ensayo de forma destructiva con reducida preparación superficial. La probeta se prepara cortando, devastando, puliendo y atacando la muestra de ensayo. El ataque de la probeta provoca una reacción química que muestra la microestructura o líneas de flujo del material.

Los estándares o denominadas normas técnicas más comunes utilizados en macrografía son ASTM E3-11, ASTM E3-40, ASTM E3-81, ASME Secc. IX, AWS D1.1 y API 1104 [23].

La Empresa al ser proveedores de una empresa automotriz internacional debe cumplir con normas de aceptación del cliente entre ellas la Norma GMW-14058. Esta norma proporciona los criterios de aceptación y los métodos de reparación para soldaduras en productos automotrices de los que GM es responsable de establecer o aprobar el diseño del producto.

Actualmente los ensayos metalográficos, la empresa los externaliza a un laboratorio local debido a que por exigencias del cliente y mantener un control adecuado de la calidad de sus productos estos ensayos se realizan periódicamente ya sea trimestral,

semestral o anualmente con una demora de una semana a quince días en la entrega de resultados y su costo llega a ser elevado por cada probeta analizada.

Debido a estos motivos se ha desarrollado esta investigación para ampliar el alcance del laboratorio interno de la empresa, mediante la cual los resultados dependiendo de la parte analizada se entregarían en pocas horas y con un costo inferior al que tiene la realización del ensayo en un laboratorio externo.

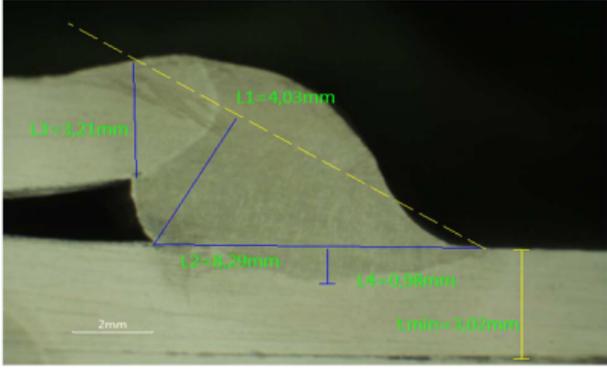
		INFORME DE LABORATORIO MACROGRAFÍA DE SOLDADURA			
Cliente:	METALTRONIC S.A.		Informe #	ILPM 2019-202-MCR	
Solicitante:	Ing. Raúl Gallegos		Número de macros:	14	
Temperatura °C	20	Humedad %	64	Instrumento de medición:	Microscopio Stereo Zoom
Motivo:	Macrografías de Soldadura		Fecha de Ensayo:	lunes, 22 de abril de 2019	
Testificado por:			Soldador Estampa #		
CONFORME NORMA GMW14058 Weld Acceptance Criteria (Arc Welds)					
MACRO N°	IDENTIFICACIÓN PROBETA		OBSERVACIONES		
1	Riel delantera RH				
DENOMINACIÓN	ESPECIFICADO (min)		ENCONTRADO	A	R
L1=Espesor de garganta $\geq 0,7$ t _{min} .	2,11		4,03mm	x	
L2 y L3 =Longitud de pierna $\geq 0,9$ t _{min} .	2,72		8,29mm x 3,21mm	x	
L4 =Profundidad de penetración de la suelda 10% de t _{min} .	0,30		0,98mm se observa fusión completa	x	
t _{min} =Espesor mínimo del material	3,02		3,02mm	x	
L6 = Porosidad	t \leq 3mm , entonces ϕ 0,5 mm máx.		No se observa	x	
	t \geq 3 mm , entonces ϕ 1,0 mm máx.				
Grietas	No se permite		No se observa	x	
					
			RESULTADO: APROBADO		
			COMENTARIO: El análisis macrográfico es realizado bajo los criterios de aceptación establecidos en la norma GMW 14058		
Nota: para la aprobación o cumplimiento de los ensayos, se ha tomado en cuenta la incertidumbre de medición del método.					
Realizado Por:	Aprobado Por:		Cliente:	Testificado por:	
 ILPM CIA. LTDA. LABORATORIO ILPM CIA. LTDA. Juan Garzón	 ILPM CIA. LTDA. LABORATORIO ILPM CIA. LTDA. Ing. Iván Estupiñán CWI 09111401		METALTRONIC S.A.		

Figura 17. Informe macrográfico de laboratorio externo [22]

La Figura 17, muestra el tipo de resultados que entrega el laboratorio externo donde se detalla las dimensiones de los parámetros evaluados y se especifica el cumplimiento o el rechazo de los cordones de soldadura analizados.

Las estructuras soldadas se consideran satisfactorias cuando transportan las cargas de servicio previstas durante un período requerido. Las cargas de servicio en las piezas soldadas de un vehículo varían en cuanto a tipo y magnitud y no pueden abordarse en esta norma. Por lo tanto, aunque los criterios de calidad de soldadura de esta norma son consistentes con los requisitos de carga del servicio, se han establecido específicamente para su uso en procesos y monitoreo de productos.

Al ser un fabricante de autopartes deben existir el control de diversos parámetros de la Norma GMW-14058, como espesores mínimos de la penetración de soldadura y distribuciones del cordón de soldadura.

2.2 Proceso de fabricación de autopartes

El proceso de estampado de metales es un proceso de fabricación en el cual se aplica un metal a una carga de compresión entre dos moldes. La carga puede ser una presión utilizada progresivamente, para lo cual se utilizan prensas mecánico o hidráulica.

La Empresa cuenta con diferentes tipos de prensas desde mecánica de 15 toneladas de presión hasta la más grande que cuenta con una fuerza de 1500 toneladas.



Figura 18. Área de estampado y almacenamiento de rieles.

Elaborado por: Víctor Places

La Figura 18, muestra la prensa de 1500 toneladas que se utiliza para estampar o embutir piezas de gran envergadura como las rieles al ser extensas y ser un material de mayor espesor que otras autopartes involucra una gran fuerza en su proceso de fabricación.

En las siguientes tablas y figuras se detalla la fuerza de estampado y la manera en la que se fabrican los rieles de chasis las mismas que se dividen el riles delanteras, centrales y posteriores.

2.2.1 Riel delantera

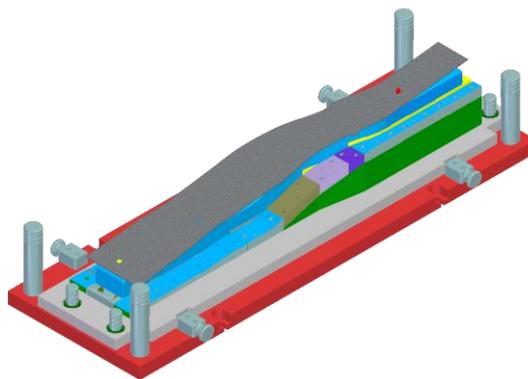


Figura 19: Riel delantero.

Elaborado por: Víctor Places

El riel delantero es un componente del chasis, es el de mayor longitud entre los tres tipos de espesores los materiales de este subensamble son fabricados de diversos espesores dependiendo de la sección, los mismos que son estampados mediante el uso de troqueles como el detallado en la Figura 19, los cuales se conforman de dos secciones y mediante el uso de una prensa hidráulica el material adopta la forma de la matriz.

2.2.2 Riel central

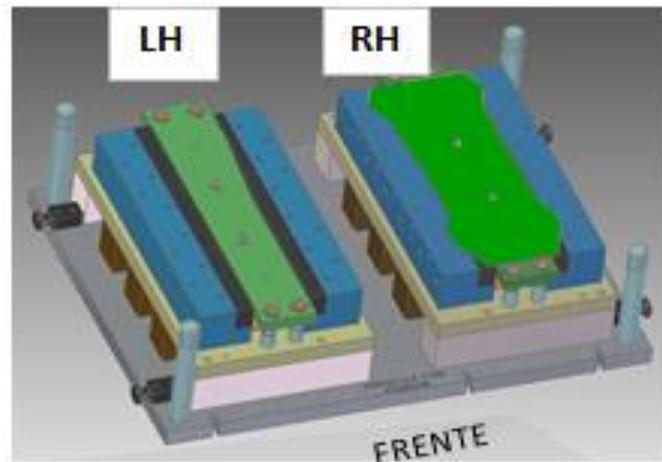


Figura 20: Riel central.

Elaborado por: Víctor Places

Como su palabra lo indica es la parte central y sirve como puente para unir la riel delantera y posterior es la de mayor espesor debido a las altas cargas que soporta, se fabrica de igual manera con el uso de troqueles y prensas hidráulicas de gran tamaño al necesitar una fuerza de 1500 toneladas en el proceso de fabricación de esta parte, el troquel utilizado se representa en la Figura 20.

2.2.3 Riel Posterior

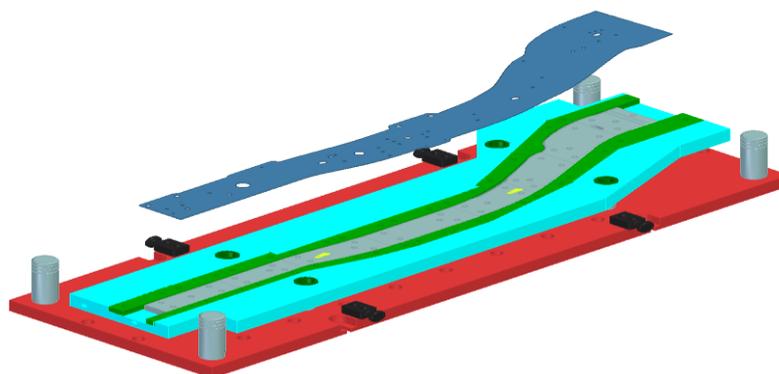


Figura 21: Riel posterior

Elaborado por: Víctor Places

El riel posterior es la parte final que compone el juego de rieles principales componente en el chasis de un vehículo el riel posterior en la cual se anclan los componentes del

balde y los demás accesorios de un vehículo, los rieles posteriores se estampan en un herramental representado por la Figura 21.

Los parámetros de estampado y espesores de material son:

Tabla 2. Fuerza de estampado.

Riel	Fuerza de estampado	Espesor de lamina utilizada
Delanteras	1000T	2,8 mm
Central	1500T	3,2 mm
Posterior	1000T	2,4 mm

Elaborado por: Víctor Places

La Tabla 2, resume la fuerza empleada para la fabricación de los rieles de chasis y el espesor del material principal que se utiliza en la fabricación de estos elementos.

2.3 Área y temperatura de soldadura

El sobrecalentamiento o exceso de temperatura produce excesiva fusión y una estructura a grano gruesa en la unión; por tal motivo la resistencia con respecto a fuerzas de tensión y de corte disminuye en gran medida. El resultado será un fallo anticipado de la unión soldada.



Figura 22. Jigs de soldadura rieles

Elaborado por: Víctor Places

En la Figura 22, se observa los JIGS de ensamble en los cuales se coloca los componentes de los rieles en la posición adecuada y se procede a realizar la soldadura. La temperatura de la soldadura es resultado de los parámetros del equipo tales como el amperaje, voltaje, caudal de CO₂ como resultado de esto podemos obtener:

- Una soldadura fría la cual tiene una fuerza de fusión inferior a la necesaria y fallará anticipadamente.
- Un calentamiento óptimo de 240°C a 250°C determina la máxima fuerza de la unión.
- El excesivo calor debilita la unión de soldadura y provocará un fallo prematuro.
- El exceso de calor puede provocar perforaciones y otros defectos de soldadura que generar que el producto no sea aceptado.



Figura 23. Temperatura de rieles al terminar la soldadura

Elaborado por: Víctor Places

Este control de temperatura sirve para evaluar la influencia de otros parámetros del equipo o el operario en el proceso de soldadura debido a que el exceso de temperatura puede crear perforaciones en las placas soldadas o si es menor permitiría concluir que la penetración de soldadura no es la adecuada lo que será analizado posteriormente con los ensayos metalográficos.

La Figura 23, muestra mediciones realizada con el medidor de temperatura laser pocos segundos después del proceso de soldadura.

2.4 Propiedades del material base

Es importante conocer los componentes químicos que forman las láminas que son el material base en la fabricación de las autopartes debido a que a esto se puede calibrar de mejor manera los parámetros de soldadura para que cumplan con los criterios establecidos por las normas técnica, el proveedor del acero es el encargado de entregar la ficha técnica la cual contiene las propiedades y componentes químicos complementada con las tolerancias geométricas con la que se fabrica las láminas bases que posteriormente serán convertidas en autopartes.

Tabla 3. Composición química riel delantera

RIEL DELANTERA (e=2.8)											
Descripción:		ID. IPAC 180921≡COIL N° 18505089310280									
Composición química											
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Si eq	Ceq
0.091	1.02	0.31	0.0009	0.014	0.43	--	0.006	0.03	--	0.35	0.40
Tolerancias dimensionales											
Espesor		Medida A			Medida B			Escuadra			
±0.03		±1			±1			3			

Elaborado por: Víctor Places

El material base con el que se fabrica el riel delantero se detalla en la Tabla 3, el espesor de esta lamina de acero es 2.8 mm, la cual forma parte de la estructura delantera del chasis del vehículo y en combinación con el puente central soportara principalmente la carga del motor.

Tabla 4. Composición química riel central

RIEL CENTRAL (e=2.6)											
Descripción:		ID. IPAC 179358≡COIL N. ° 18505089320580									
Composición química											
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Si eq	Ceq
0.091	1.02	0.31	0.0009	0.014	0.43	--	0.006	0.03	--	0.35	0.40
Tolerancias dimensionales											
Espesor			Medida A			Medida B			Escuadra		
±0.03			±1			±1			3		

Elaborado por: Víctor Places

El riel central según lo especificado en la Tabla 4, se forma de una lámina de acero de espesor 2,6 mm, este riel como lo describe su nombre estos rieles en unión con otros elementos soportaran la carga de la cabina en la cual va el conductor y los pasajeros.

Tabla 5. Composición química riel posterior

RIEL POSTERIOR (e=2.4)											
Descripción:		ID. IPAC 180915≡COIL N. ° 18405385310680									
Composición química											
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Si eq	Ceq
0.093	0.99	0.31	0.0005	0.013	0.43	--	0.008	0.04	--	0.34	0.40
Tolerancias dimensionales											
Espesor			Medida A			Medida B			Escuadra		
±0.03			±1			±1			3		

Elaborado por: Víctor Places

Los rieles posteriores se componen de dos laminas base de acero como se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6, el riel posterior en la mayor parte de su tramo está formada por

una lámina de espesor de 2.9 mm debido a que esta sección del chasis sujetará el balde de la camioneta la cual deberá soportar cargas variables.

Tabla 6. Composición química riel posterior 2

RIEL POSTERIOR (e=2.9)											
Descripción:										ID. IPAC 177785=COIL	
										N. ° 18404361310501	
Composición química											
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	Ti	Si eq	Ceq
0.066	0.38	0.01	0.004	0.016	0.33	---	-	0.023	---	0.05	0.2
Tolerancias dimensionales											
Espesor			Medida A			Medida B			Escuadra		
±0.03			±1			±1			3		

Elaborado por: Víctor Places

El material base con el que se realizan los diferentes componentes de los rieles de chasis y de la barra de tablero mantienen similares características químicas debido a que después de arduos procesos de prueba y aprobación del cliente final se especifica que ha cumplido con los requerimientos para que sea el material base de las diferentes autopartes.

Los espesores de láminas que se utilizan en la fabricación de brackets de la barra de tablero son inferiores debido a que estas autopartes soportan cargas inferiores a las de los rieles de chasis, y otros componentes de la barra son de origen CKD, los cuales provienen de un proveedor externo para ser ensambladas con los componentes locales.

2.5 Normas técnicas para estandarizar procesos metalográficos

Existen diversos estándares o denominadas normas técnicas comunes utilizadas en procesos metalográficos y algunas normas específicas para los ensayos macrográfico

entre las cuales existen ASTM E3-11, ASTM E340, ASTM E381, ASME Secc. IX, AWS D1.1 y API 1104.

Uno de los objetivos de este proyecto es estandarizar el proceso para realizar los ensayos metalográficos según la norma ASTM E3-11 complementada con la Norma ASTM E-340 la cual brinda recomendaciones para la realización de los ensayos.

En esta sección se recopila criterios y normas que brindan estos documentos para obtener resultados fiables después de los diversos pasos previos como el de extracción y preparación de las probetas.

2.5.1 Alcance de la norma ASTM E3-11

La principal función de los exámenes metalográficos es mostrar los componentes y estructura de los diferentes metales y sus aleaciones mediante la utilización de un microscopio. En ocasiones especiales, el motivo del examen puede requerir menos detalle que en otros casos, pero, bajo casi todas las condiciones, la selección y preparación de la muestra correcta es de suma importancia para obtener buenos resultados. Debido a la variedad en el equipamiento y la cantidad de problemas hallados, la Norma ASTM E3-11 presenta la orientación para realizar metalografías mediante procesos que la experiencia ha concluido que son generalmente correctas [23].

La Norma ASTM E3-11 se ha creado de acuerdo con los principios aplicados internacionalmente con respecto a la normalización utilizados en la decisión sobre los principios para la elaboración de guías, normas y recomendaciones creadas por la Organización Mundial del Comercio Técnico y el Comité de Obstáculos al Comercio por sus siglas OTC [23].

2.5.2 Documentos de referencia

Esta norma técnica está bajo la jurisdicción de ASTM Committee E-04 en Metalografía y es responsabilidad directa del Subcomité E04.01 en preparación de las muestras.

La edición actual fue aprobada el 1 de junio de 2017, su primera versión se encuentra vigente desde 1921 [5].

2.5.3 Significado y Uso

Las microestructuras poseen una gran influencia sobre la aplicación de ensayos metalográficos con éxito de metales y aleaciones, la determinación y control de la microestructura requiere la aplicación de evaluaciones metalográfico.

Diversas especificaciones poseen requisitos con respecto a la microestructura; por tal motivo, la aplicación para el examen metalográfico es la evaluación para confirmar que cumplen los requisitos establecidos en esta norma. Otras aplicaciones importantes para la evaluación metalográfica están en el análisis de fallos, en la investigación y el desarrollo de estudios de materiales [23].

2.5.4 Selección de especímenes metalográficos

La elección de muestras de ensayo metalográfico, tiene como objetivo la evaluación es de suma importancia debido a que si su interpretación de resultados es errónea el análisis no será efectivo, las muestras deben ser representativas del material que se está estudiando, el motivo del examen metalográfico por lo general se dictará la ubicación y cantidad de las muestras a estudiar [1]. Respecto a los fines de estudio el examen metalográfico se puede clasificar en tres que se detallan a continuación:

2.5.4.1 Los estudios generales o de rutina

En los cuales las probetas deben ser elegidas de posiciones más probables para revelar las variaciones máximas dentro del material que va a ser estudiado.

Se realizan periódicamente con una planeación previa y se utiliza para llevar un control de la calidad de los productos [23].

2.5.4.2 Estudio de fracasos

Las muestras de ensayo se toman lo más cercano de la fractura o de la iniciación de la falla que se quiere estudiar.

Su principal motivo para realizarlo es comprobar la razón por la cual sucedió el fallo en el material.

2.5.4.3 Estudios de investigación

La función y aplicación del análisis dependerá la ubicación del espécimen, orientación, entre otros. El muestreo suele ser más extensa que en los exámenes de rutina.

Una vez establecido el lugar para el ensayo metalográfico, las probetas a ser estudiados, el tipo de sección a examinar debe ser seleccionado para efectuar el estudio [23].

Para un elemento de fundición, una sección de corte perpendicular a la superficie revelará las variaciones en la estructura desde el exterior al interior de la pieza. En los metales trabajado en caliente o trabajado en frío, tanto transversal y secciones longitudinales deben ser estudiados. En el caso de alambre y pequeños ejes, una sección longitudinal a través del centro de la muestra detalla ventajas cuando se estudió en conjunción con la sección transversal.

2.5.4.4 Secciones transversales

Las muestras se deben tomar en forma perpendicular al eje principal del material a menudo se aplican para mostrar la siguiente información:

- Las diferencias en la estructura desde el centro a la superficie de la pieza
- Distribución de impurezas no metálicas en la sección
- Descarburación en la superficie de un material ferroso
- La profundidad de las imperfecciones de la superficie
- La profundidad de la corrosión
- Espesor de los recubrimientos de protección
- Estructura de la capa protectora del metal

2.5.4.5 Sección longitudinal

Se deben tomar paralelamente al eje principal del material, se utiliza a menudo para revelar la siguiente información:

- Inclusión de contenido de acero
- Grado de deformación plástica
- Hallazgo o ausencia de bandas en la estructura
- La microestructura lograda con el tratamiento térmico

2.5.5 Tamaño de especímenes metalográficos

Para mayor comodidad, las muestras para ensayos metalográficos generalmente son de 12 a 25 mm (0,5 a 1,0 pulg.) cuadrado, y de igual manera de 12 a 25 mm de diámetro, si la probeta es de ejes, tubería, o el material es cilíndrico. La altura de la muestra no debe ser superior a lo necesario para un cómodo manejo durante la preparación de la muestra, como ejemplo indica la Figura 24 [23].

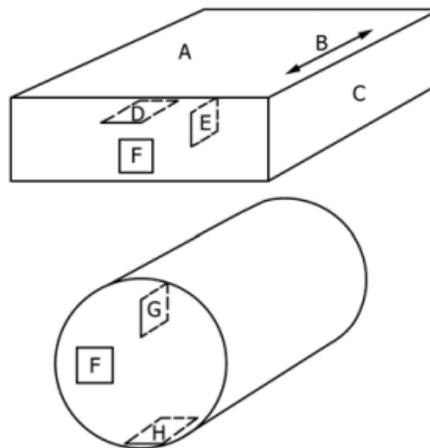


Figura 24: Modo de designación de la ubicación del área que se muestra en la metalografía [4]

Donde:

A esa superficie de laminado, B es dirección de laminado, C es borde de enrollado, D es sección la plana, E es la sección longitudinal perpendicular a la superficie de laminado, F es la sección transversal, G es la sección longitudinal radial y H es la sección longitudinal tangencial.

Los especímenes de mayor dimensión son generalmente más complicados de recortar. Las muestras que son frágiles, de forma irregular o demasiado pequeña para ser manejado fácilmente durante debe ser montado o encapsulada para lograr una superficie adecuada para el estudio [24].

2.5.6 El corte de especímenes metalográficos

En el corte de las muestras metalográficas se debe extraer del área que se requiere analizar, se debe tener precaución para disminuir la modificación de la estructura de la muestra. Entre los tipos frecuentes de seccionamiento existen métodos como serrar a mano o máquina con refrigerante, es fácil y rápido, se puede utilizar en todos los materiales con durezas por debajo de 350 HV [23].

La cuchilla de corte abrasivo producirá una superficie lisa, la misma a menudo lista para definir el desbaste. Este método de seccionamiento es normalmente más rápido que el aserrado. La elección de la cuchilla de corte, refrigerante, condiciones de enfriamiento, el grado y la dureza del metal a cortar que como resultado influirán en la calidad del corte.

Una mala selección de los parámetros de corte podría dañar sencillamente la probeta, produciendo una modificación de la microestructura, por lo general los materiales blandos se cortan con una cuchilla endurecida y los materiales duros con una hoja de unión suave. Los discos abrasivos de óxido de aluminio son los más frecuentes para cortar metales ferrosos y cuchillas de carburo de silicio se prefieren utilizarlas en las aleaciones no ferrosas, las cuchillas de corte abrasivas son primordiales para cortar metales con dureza superiores a 350 HV [24].

Para cortar materiales extremadamente duros metálicos y cerámicos pueden ser más efectivos para seccionar usando cuchillas de corte compuestas con diamante, como esta detallado en la Tabla 7, la cual enumera los discos de corte recomendadas para materiales con diversos valores de dureza [23].

La cizalla es una herramienta que sirve para realizar un corte con la que el material en forma de alambre, placa o eje se secciona entre dos cuchillas opuestas que aplican un efecto cortante.

Otros métodos de corte se aplican siempre que no causen alteración de la microestructura en el plano de desbaste y pulido. Todas las operaciones de corte producen ciertos de daños que deberán ser eliminado en etapas de preparación de la probeta posteriormente [23].



Figura 25: Discos de corte y cortadora de muestra [23]

La Figura 25, muestra discos abrasivos y el equipo de corte que se utiliza para la extracción de la probeta la cual posteriormente será analizada.

Tabla 7. Selección del Disco de Corte [4]

DUREZA (HV)	MATERIALES	ABRASIVO	ENLACE	DUREZA DE ENLACE
Hasta 300	No ferroso (Al,Cu)	SiC	P o R	Duro
Hasta 400	No ferroso (Ti)	SiC	P o R	Medio
Hasta 400	Suave ferroso	Al ₂ O ₃	P o R	Duro
Hasta 500	Medio suave ferroso	Al ₂ O ₃	P o R	Duro
Hasta 600	Semiduro ferroso	Al ₂ O ₃	P o R	Medio
Hasta 700	Duro ferroso	Al ₂ O ₃	P o RyR	Medio-Suave
Hasta 800	Muy duro ferroso	Al ₂ O ₃	P o RyR	Suave
>800	Extremadamente duro ferroso	CBN	P o M	Duro
>800	Cerámicas duras	Diamante	M	Extremadamente duro

2.5.7 Limpieza

La limpieza durante la preparación del espécimen o probeta es primordial que las impurezas tales como grasas, aceites, refrigerantes y los residuos del proceso de corte sobre las probetas a ser evaluada deben eliminarse mediante un lavado con agua o algún disolvente orgánico, caso contrario de no limpiarse a fondo puede prevenir residuos para el montaje en frío se adhiera a la superficie de la probeta. La limpieza por métodos de ultrasonido puede ser efectiva para eliminar los últimos fragmentos de residuos en la superficie a ser analizada de la probeta.

Los metales que poseen revestimiento que interfiera con la superficie del metal debe ser eliminado antes del proceso de desbaste y pulido, al analizar el acero en una muestra galvanizada el cubrimiento de zinc debe ser eliminado previo a ser montado para evitar efectos galvánicos durante la evaluación, el recubrimiento puede ser eliminado con la aplicación de ácido nítrico, ácido sulfúrico diluido o colocando en la superficie ácido clorhídrico diluido [4].

Las superficies oxidadas o corroídas pueden limpiarse como las sustancias descritas la Tabla 8.

Tabla 8: Soluciones de limpieza para su uso cuando los métodos estándar son inadecuados

SOLUCIÓN	FUNCIÓN Y PROCESO
HCl 6N más 2 g / L hexametilentetramina	Sumergir espécimen en solución durante 1 a 15 min. Bueno para los aceros. acción de limpieza se puede mejorar cepillado ligero o por breve (5 s) períodos en un limpiador ultrasónico.
3 ml de HCl 4 ml de 2-butino-1, inhibidor de 4 diol 50 ml, agua si	Usar una solución fresca a temperatura ambiente. El uso en un limpiador ultrasónico durante unos 30 s.
49 ml de agua 49 ml de HCl 2 ml Rodine-50 inhibidor C	Lavar espécimen en alcohol durante 2 min en un limpiador ultrasónico antes y después de un ultrasónico 2-min período con el baño ácido inhibe la limpieza.
Agua, 6 g de cianuro de sodio 6 g de sulfito de sodio 100 ml destilada	Usar una solución para la eliminación de óxido electrolítico. Utilizar bajo una campana con cuidado. Utilice 100-mA / cm ² densidad de corriente de hasta a 15 min.
10 g de citrato de amonio 100 ml de agua destilada	Uso solución calentar a 30 ° C (86 ° F)

70 ml de ácido ortofosfórico 32 g de ácido crómico 130 ml de agua	Recomendados para la eliminación de óxidos de fracturas de aleación de aluminio
8 oz Endox 214 en polvo 1000 ml de agua fría	Utilice electrolíticamente a 250 mA/cm ² densidad de corriente de 1 min con un cátodo de Pt para eliminar la oxidación productos

Elaborado por: Víctor Places

2.5.8 Montaje de muestras

Existen diversos casos en los que resulta más eficiente montar la muestra antes del desbaste y pulido, el montaje de la probeta se aplica generalmente en especímenes pequeños, frágiles, o de formas extrañas.

Las muestras o probetas podrían ser montados mecánicamente, montado en plástico, o una combinación de las dos recomendadas para muestras porosas [23].

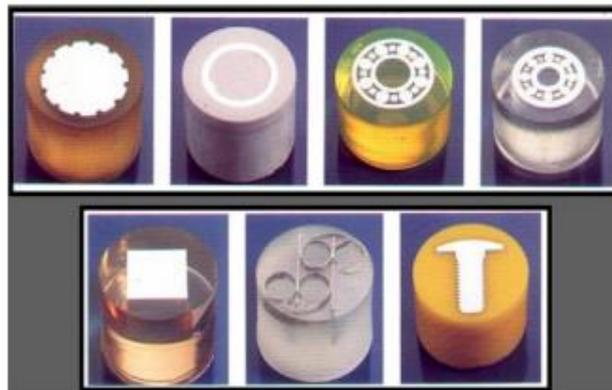


Figura 26: Probetas montadas en frío [12]

En caso de ser necesario la Norma ASTM E3-11 especifica el proceso de encapsulado para la facilidad de manejo de la probeta como indica la Figura 26, las cuales al ser demasiado pequeñas pueden generar dificultad en los diferentes procesos de preparación de la muestra antes de ser analizada.

2.5.9 Chapado de especímenes

Los especímenes que van a ser evaluados para verificar fracturas o aquellos en los que se requiere evaluar los bordes, frecuentemente se aplica el chapado para obtener una

buena observación de las muestras, se puede hacer electrolíticamente o con soluciones sin electricidad.

Estas probetas se montan sin depender del análisis que se vaya a realizar antes de los procedimientos de desbaste y pulido [21].

2.5.10 Esmerilado y pulido

La mayoría de los metales y aleaciones se deben alistar aplicando un proceso ordenado de esmerilado y pulido, las aleaciones fuertes requieren más presión que las aleaciones blandas, las diferencias principales dependerán del pulido final.

Algunos metales y aleaciones necesitan una combinación de material abrasivo y secuencia de pasos de aplicación de suministros e instrucciones para el pulido y esmerilado [23].

2.5.10.1 Molienda o desbastado

Se puede realizar de diversas maneras, desde frotar la probeta en una estación de papel abrasivo o mediante la aplicación de dispositivos automáticos, la selección del método varía de la cantidad y tipo de muestras a ser evaluadas, teniendo en cuenta las consideraciones financieras.

Las referencias del tamaño de grano del papel abrasivo en esta práctica son expresados en la Norma ANSI (American National Standards Institute) o CAMI (Instituto de fabricantes abrasivos), las unidades de sistema con los números entre paréntesis corresponden FEPA (Federación Europea de Productores de abrasivos), la Tabla 9, brinda una comparación entre estos dos sistemas [23].

Tabla 9. Comparación de Grano del Papel Lija [23]

FEPA		ANSI/ CAMI	
NÚMERO DE GRANO	TAMAÑO (μ)	NÚMERO DE GRANO	TAMAÑO (μ)
P120	125	120	116
P150	100	180	78

P220	68	220	66
P240	58.5	---	---
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	--	---
P360	40.5	280	42.3
P400	35	320	34.3
P500	30.2	---	---
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8

Donde:

CAMI es instituto de fabricantes de abrasivos revestidos y FEPA es federación europea de productores de abrasivos.

El desbastado debe comenzar con la lija, disco de exposición o piedra que realiza el aplanamiento de la probeta y la elimina los efectos provocados en las operaciones previas, tales como el corte. Los pasos siguientes deben eliminar los efectos de los anteriores pasos en un corto período de tiempo, formado de dos etapas que es el desbaste en bruto y fino [1].

Aplanado o desbastado puede realizarse en máquinas que transmiten el movimiento por cadenas, correas, o engranes. En algunos métodos abrasivos se aplican en placas rígidas o discos de esmeril, la molienda plana puede ser utilizada para lograr lo siguiente:

- Aplanar una superficie de corte irregular o dañado
- Quitar seccionar el daño, la escala y la otra superficie condiciones previas para el montaje

- Eliminar grandes cantidades de material de la probeta para llegar a un plano eficiente para el pulido
- Nivel efectivo de la superficie de montaje

En el proceso de la molienda, el daño a la muestra provocado durante la etapa de aplanado o etapa de trituración en bruto debe ser eliminado. La muestra se coloca sobre papeles abrasivos sucesivamente más finos utilizando agua para lavar los residuos y para actuar como un refrigerante.

Después de todo el proceso la muestra debe ser limpiada a fondo, la limpieza ultrasónica en una solución de agua y jabón que contiene un inhibidor de corrosión puede resultar beneficioso para conservar de mejor manera las probetas.

2.5.11 Pulido

Se suele distinguirse de la molienda mediante el uso de abrasivos menores o igual a 6 micras incrustado en una superficie de soporte adecuadamente lubricada. La elección de abrasivo, lubricante, y pulido de soporte de la superficie es a menudo específica para el metal y el objeto de la investigación.

En la Norma ASTM E3-11 se emplean las siguientes recomendaciones:

- El pulido en bruto a menudo es suficiente para evaluaciones de rutina como el tamaño de grano entre otros.
- Cuando se requiere pulido fino se puede llevar acabo con pasta de diamante u otros insumos la elección final dependerá del pulido, tipo y tamaño del abrasivo está dictada por la dureza de la muestra.
- La limpieza detallada de la probeta entre las etapas es obligatoria para evitar la contaminación por residuos de abrasivo más grueso, la limpieza ultrasónica podría ser efectiva y complementaria en el proceso.
- Los pasos de pulido pueden ser realizadas manualmente o por métodos automáticos.

Cuando la molienda o desbaste es de forma manual, la probeta debe ser movida hacia atrás y adelante en contacto con papel abrasivo para permitir un desgaste uniforme.

Entre las etapas de desbaste, el espécimen se debe rotar 45° y 90 °, al final del proceso de desbaste en cada papel, la superficie de la muestra y su montura, en su caso, debe ser planas para pulido unidireccionales [4].

Los métodos de pulido manual consisten en la coloca el espécimen o muestra contra un abrasivo en una rueda giratoria y mover la probeta en sentido circular alrededor de la rueda abrasiva y en contra de la dirección de rotación de la misma, la muestra debe mantenerse firmemente en contacto con la rueda [23].

2.5.12 Fuerza aplicada en la preparación de la probeta

La fuerza aplicada en combinación con el sentido del movimiento de la muestra durante el desbaste y pulido es una razón de preferencia personal y experiencia, en la preparación de materiales complicados, como por ejemplo aceros con revestimientos o materiales tratados térmicamente, los parámetros de aplicación deben ser controlados efectivamente, estos parámetros de detallan en la Tabla 11, la cual describe el método de preparación de probeta y aplica para uso general [23].

2.5.13 Secuencia de preparación

La secuencia recomendada según la tabla ya sea en método automatizado o manual se basa en una serie de pasos de esmerilado y pulido, estos pueden ser similares a los especificados en Tabla 10.

Tabla 10. Selección de Papel Abrasivo [23]

N° DE GRANO	MATERIAL	COMPOSICIÓN QUIMICA DEL PAPEL	MATERIAL DEL PAPEL	DUREZA DEL PAPEL
Hasta 300	No ferroso (Al,Cu)	SiC	P o R	Duro
Hasta 400	No ferroso (Ti)	SiC	P o R	Medio
Hasta 400	Suave ferroso	Al ₂ O ₃	P o R	Duro
Hasta 500	Medio suave ferroso	Al ₂ O ₃	P o R	Duro

Hasta 600	Semiduro ferroso	Al ₂ O ₃	P o R	Medio
Hasta 700	Duro ferroso	Al ₂ O ₃	P o RyR	Medio- Suave
Hasta 800	Muy duro ferroso	Al ₂ O ₃	P o RyR	Suave
>800	Extremadamente duro ferroso	CBN	P o M	Duro
>800	Cerámicas duras	Diamante	M	Extremada mente duro

Donde:

P es fenólico, R es caucho, R y R es resina y caucho y por último M es metal.

La Tabla 10, especifica el número de papel abrasivo recomendado con sus principales características dependiendo del material que se va a preparar para realizar el análisis metalográfico.

Tabla 11. Método de preparación de aplicación general [23]

Superficie	Lubricante	Abrasivo ANSI (FEPA)	Tiempo (Seg)	Fuerza ^A N (lbf)	RPM ^B	Rotación
Rectificado		120-320				
plano papel/ piedra	Agua	lija Sic/ Al ₂ O ₃	15-45	20-30 (5-8)	200-300 ^C	CO ^D
Papel de desbaste	Agua	240 (P220) de	15-45	20-30 (5-8)	200-300	CO
fino		grano SiC 320				
Papel	Agua	(P500) de	15-45	20-30 (5-8)	200-300	CO
		grano SiC				

Papel	Agua	600 (P1200) de grano SiC 15-45	120-300	20-30 (5-8)	100-150	CO
Pulido/ pañó grueso	Lubricante compatible	Diamante 6 micras	60-120	10-20 (3-5)	100-150	CO
Pulido/ pañó delgado	Lubricante compatible	Diamante 1 micra	30-60	10-20 (3-5)	100-150	CO
Ante sintético ^E (Terciopelo)	Agua	sílice coloidal 0.04µm o alúmina 0.05µm	30-60	10-20 (3-5)	100-150	CONTRA ^F

Donde:

A es una fuerza por 30 mm (1 1/4 pulg.) de diámetro al montar.

B es la energía generalmente giran entre 25 y 150 rpm.

C es alta velocidad molinillos de piedra generalmente giran a mayor que 1000 rpm.

D es rotación de cortesía, la superficie y espécimen giran en la misma dirección.

E representa un paso opcional.

F es contra la rotación, la superficie y espécimen giran en direcciones opuestas.

La Tabla 11, es de uso general por lo que sus aplicaciones son diversas en la misma resume el proceso con recomendaciones técnicas para obtener resultados fiables de los ensayos realizados.

2.5.14 Los métodos automatizados

Muchos estilos de preparación de probetas automatizado están presentes y son aplicables, en la mayoría de las muestras se puede realizar el lijado y pulido por pasos, diversos dispositivos o equipos son capaces de preparar múltiples muestras.

Las principales ventajas del desbaste automatizadas y pasas de pulido son la calidad que se mantiene en la preparación de muestras y la reducción en el tiempo de

preparación de la muestra, por lo tanto, se recomiendan técnicas automatizadas sobre las técnicas manuales.

La mayoría de los dispositivos para el desbaste automatizado se basa en mover la muestra de alrededor de una rueda giratoria cubierta con abrasivo de modo que la muestra sigue una trayectoria epicloide, en algunos dispositivos, la muestra gira sobre su propio eje también.

La superficie de la muestra debe mostrar arañazos o rayones con marcas uniformes antes de proceder al siguiente paso. La limpieza entre las etapas es necesario para evitar el arrastre de residuos abrasivos y la contaminación de las superficies de preparación posteriores.

La Tabla 11, detalla el método de preparación automatizada tradicional, mediante el uso de papeles abrasivos convencionales para la molienda y es adecuado para todos los procesos de preparación de probetas. Los métodos de preparación en los cuales se aplican discos de desbaste o paños para pulido, el método en el Tabla 11, ha demostrado ser eficaz para la preparación de materiales incluidos materiales con dureza superior a 45HRC [23].

De la misma manera se puede aplicar para la preparación de materiales más blandos, estos procedimientos dan excelentes resultados fuera de los intervalos de dureza recomendados.

2.5.15 Reactivo de ataque

Los reactivos químicos cumplen una función primordial en los ensayos metalográficos debido a que facilitan la observación de las diferentes características por los cuales se realizó el proceso de evaluación existen diferentes sustancias las cuales tienen diferentes aplicaciones y están relacionadas directamente con el material base del cual está formado la probeta [1].

Tabla 12. Reactivo de ataque para examen metalográfico [23]

Reactivo de ataque	Composición química	Aplicaciones
Ácido nítrico (Nital)	Ácido Nítrico 5cc Alcohol etílico 95cc	Aceros y hierros
Ácido Pricico (Picral)	Ácido picirico Alcohol etílico 95cc	Aceros de baja aleación
Cloruro férrico y ácido hidroclicóric	Cloruro férrico 5ml Acido hidroclicóric 50ml Agua 100ml	Aceros inoxidable
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio 10 gm Agua 90ml	Cobre, latón, bronce
Ácido hidroflicóric	Ácido hidroflicóric 0,5 ml Agua 99,5 ml	Aluminio y sus aleaciones

La Tabla 12, indica el reactivo químico, a utilizarse para garantizar la limpieza de la superficie en la cual se va a realizar el ensayo, esto facilita la revelación de la soldadura para poder obtener resultados de mayor calidad [23].

2.6 Complemento de la norma E3-11 con la norma E-340

La norma E3-11 en lo referente a ensayos metalograficos mediante macrografias se complementa con la norma E340-15 denominada práctica estándar para macrografias en metales.

Los procedimientos describen los métodos de macrografía de metales y aleaciones para revelar su macroestructura para verificar propiedades como la composición química como se evidencia por la segregación, carburo y las bandas de ferrita, de extracción de muestras, la profundidad de carburación o de descarburación entre otros [25].

Los detalles proporcionados sobre las variaciones en la composición química son estrictamente cualitativos, los análisis químicos u otros medios permiten determinar la composición química que tendría que llevarse a cabo para determinar el grado de

variación. La macrografía a la vez mostrará la presencia de discontinuidades y defectos, tales como costuras, fisuras, porosidad, falta de penetración, ruptura de extrusión, grietas, y así sucesivamente [25].

La macrografía posee un amplio campo en la fabricación de metales debido a que es un arma clave en la calidad, estos estudios se aplican en una de las principales ramas de la industria que es la soldadura en la cual se emplea este método para poder realizar un estudio minucioso de la penetración, el atrapamiento de reflujo, porosidad y grietas en las zonas sometidas al calor, esto para tener un conocimiento más exacto de los puntos fuertes o blandos que presenta la soldadura.

Para realizar un muestreo adecuado se debe considerar el tipo de tratamiento al que se va a someter a la macrografía:

- Si el muestreo es para resolver un problema debe tomarse la muestra en caliente.

- Si el muestreo es para usarlo como inspección se debe realizar en una temprana etapa de la fabricación

Los cortes para la muestra deben ser en frío con sierra, o disco de corte en elementos pequeños, y en caliente con plasma o laser si son piezas muy grandes, debido a que al ser piezas grandes tienen una superficie más amplia para realizar el estudio, esto para poder tener un valor más real.

Las soldaduras que involucran diferentes aleaciones ocasionaran un mal grabado, a la dirección que se va a emplear al disco de corte, si se logra un grabado limpio el resultado será una gran cantidad de información de la zona afectada por el calor, la estructura, para lo cual el mejor método es grabar la primera porción menos resistente a la corrosión y la parte más resistente después. Los límites entre la porción grabada y sin grabar darán una idea de penetración de la soldadura y de dilución.

2.6.1 Macrografías por el tipo de material

2.6.1.1 Hierro y acero

La macrografía se ha desarrollado en los productos de molino caliente tales como barras, palanquillas, de la hoja, y la placa, el corte de disco con una herramienta de separación se prepara frente en un torno o por molienda. El segundo revestimiento es una luz cortar con una carrera de herramienta en forma de V a alta velocidad. Las muestras producidas de esta manera son adecuadas para la inspección general. Un método mejor, aunque más lenta es moler el espécimen. Para fines de inspección, de acabado en una rueda de grano 120 será suficiente [1].

Cuando se requiere la máxima cantidad de detalle, como lo es en el caso de la soldadura, el pulido de la muestra con la serie de papeles metalográficos da los mejores resultados. Al examinar en busca de defectos de la superficie, la misma en sí debe ser tratada directamente. La única preparación que es aconsejable es cepillar hasta eliminar las impurezas grandes y luego para obtener la muestra realizar el proceso de lijado con un abrasivo grueso he ir alternando para obtener mejores resultados [25].

La solución es importante debido a que sirve para eliminar las impurezas más finas y revelar la estructura del material, con la cual se garantiza que el material esté libre de partículas en suspensión, escoria, para lo cual un buen grado de reactivo es útil, pero no debe ser químicamente puros o de calidad analítica. En caso de una mezcla, los reactivos son ácidos peligrosos, por lo que se debe combinar con el agua lentamente y producir su disolución mientras se agita, en los casos donde se utiliza ácido fluorhídrico, la solución debe mezclarse y utilizarse en vasos de polietileno [25].

2.6.2 Aplicación de químico revelador para macrografía

Muchas de las soluciones son agresivas y pueden desprender gases irritantes y corrosivos. Los ensayos deben realizarse en una habitación con adecuada ventilación, preferiblemente bajo un extractor de gases. La solución debe mezclarse y se coloca en una bandeja resistente a la corrosión o un plato y se llevó a la temperatura de funcionamiento. La muestra o las muestras deben ser colocadas en una bandeja de tamiz de acero inoxidable o en algún tipo de apoyo no reactivo. Varillas de vidrio a menudo se colocan en la parte inferior del depósito de ácido y los especímenes fijados directamente sobre las varillas. Cuando se completa el grabado, se retiran los

especímenes del plato teniendo mucho cuidado de no tocar la superficie grabada. Cuando se requiere sumergir la muestra en una segunda solución. Después de enjuagar la probeta con agua caliente, secar con aire comprimido limpio [25].

En el caso de grandes muestras, tales como secciones de lingotes, hisopado puede ser el único método práctico de macrografía. Saturar una gran bola de algodón celebrada en pinzas de acero o níquel inoxidable con el reactivo de ataque y de barrido sobre la superficie de la muestra. Se debe hacer un esfuerzo para cubrir toda la superficie tan pronto como sea posible, después de la humectación inicial, se debe mantener un algodón saturado con solución y frecuentemente barrer sobre la superficie de la muestra para renovar la solución. Cuando la estructura se ha desarrollado adecuadamente, enjuagar la muestra, ya sea con un algodón saturado con agua, o mejor aún, mediante el vertido de agua sobre la muestra. Después de enjuagar con agua caliente, soplar la muestra seca con aire comprimido para garantizar mejores resultados.

Los tiempos y temperaturas dadas están destinadas únicamente como guías la cuales dependerán del tipo de muestra y aplicación de cada ensayo metalográfico.

El progreso de grabado debe ser estrechamente vigilado y el grabado se detuvo cuando los detalles estructurales preferidos han sido revelados. Las muestras deben ser grabadas para desarrollar la estructura. En general, un grabado luz es mejor que un ataque químico pesada; sobre ataqué a menudo puede conducir a interpretaciones erróneas. El tiempo real de desarrollar una estructura adecuada puede ser muy diferente de la que se sugiere [25].

2.7 Observación metalográfica

2.7.1 Antecedentes de observación metalográfica

Repetitivamente se ha visto necesaria la aplicación de un método que facilite la ampliación de visualizar detalles en muestras metálicas por los que se ha visto necesaria la aplicación del microscopio como equipo que facilite la captura de imágenes metalográficas para aplicar un análisis minucioso.

2.7.2 Microscopios metalúrgicos

Comparándolo con uno microscopio de aplicación biológica, el microscopio metalúrgico se diferencia en la manera en que la probeta es iluminada. Una probeta metalográfica es opaca a la luz, la cual debe ser iluminada por luz reflejada, como se observa en la Figura 27, un haz de luz horizontal de un emisor de luz es reflejado, mediante un reflector de cristal plano, hacia abajo a través del objetivo del microscopio por encima la superficie de la probeta [25].

La luz incidente, reflejada desde la superficie de la probeta, se amplía al pasar por el sistema inferior de lentes, continuará hacia arriba por el reflector de cristal plano, luego una vez más lo amplifica el sistema superior de lentes, al ocular [18].

Lo que permite una observación fiable de los resultados los cuales dependen del software de medición con el cual se tratara a la imagen capturada por el microscopio al darle la escala y configuración de pixeles adecuada para obtener resultados fiables.

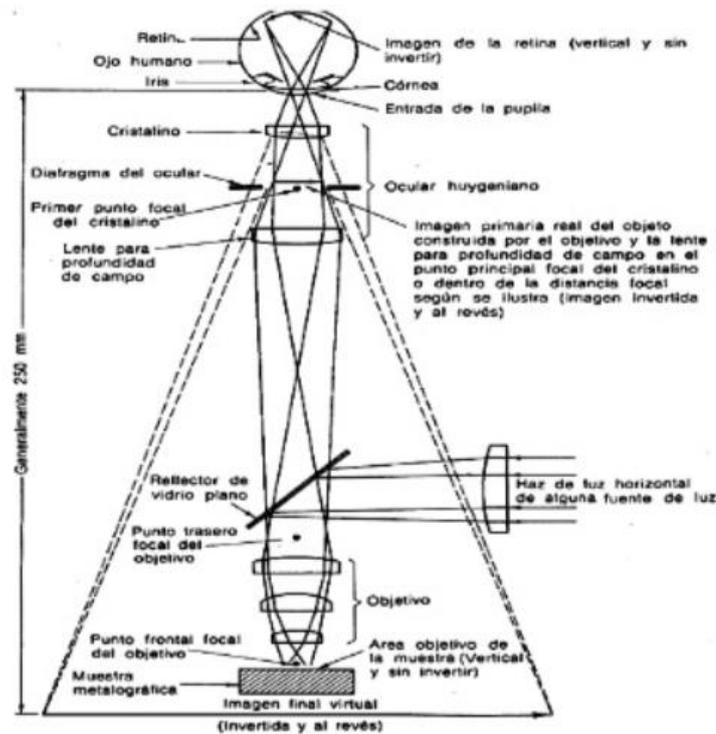


Figura 27. Principio de funcionamiento del microscopio metalúrgico [18]



Figura 28. Microscopio utilizado para los ensayos en el laboratorio interno

Elaborado por: Víctor Places

La Figura 28, muestra el microscopio utilizado para los ensayos realizados en las instalaciones de la empresa.

El término metalografía se ha utilizado diversamente en un sentido limitado, como sinónimo de microscopia de metales, y a la vez en el mismo deben integrarse todos los métodos de análisis sobre la estructura de los metales, ya que forman solamente una parte de la evaluación metalográfica aplicable en cualquier material.

Metalográficamente, es así mismo primordial para el análisis de las características de un metal o aleación, en comparación de sus propiedades físicas, mecánicas y ciertos efectos térmicos [21].

La metalografía, ha ganado una gran importancia industrial, debido a el uso que tienen los aceros y aleaciones, por lo general las propiedades físicas de una aleación están más relacionadas con la estructura del material, que, con la composición química, para detallar las propiedades de un material metálico.

2.7.3 Observación macroscópica

La metalografía se basa en el análisis de la composición y la estructura de los metales y las aleaciones, la forma más sencilla de hacer tal análisis es evaluando las superficies metálicas a simple vista o baja amplificación de un microscopio, permitiendo halla de esta forma las características macroscópicas. Este examen se denomina macrográfico del cual se pueden obtener datos sobre los tratamientos mecánicos provocados por el material se puede encontrar la manera de fabricación del material tales como que haya sido trefilado, laminado, forjado, entre otros.

Comprobar la distribución de fallas como grietas, retro fusión, fisuras, entre otros defectos de soldadura [25].

La manera más efectiva de aplicar el análisis es evaluando las superficies metálicas a simple vista o con aumentos no superiores a las 15X de aumento, dependiendo la calidad del equipo de visualización utilizado, consiguiendo determinar de esta manera las características macroscópicas [25]. De la misma manera, los exámenes macroscópicos se aplican generalmente sin preparación detallada, pero a veces es necesaria una detallada preparación de la superficie para conseguir resultados de calidad [2].

En microscopía, se aplican parámetros para el tipo de corte a realizar transversal o longitudinal para extraer la probeta a ser evaluada dependiendo del objetivo del estudio y los parámetros que se desea evaluar, por ejemplo:

- Corte transversal: Naturaleza del material, homogeneidad, segregaciones, procesos de fabricación, calidad de la soldadura, entre otros.
- Corte longitudinal: Proceso de fabricación de piezas, tipo, entre otros

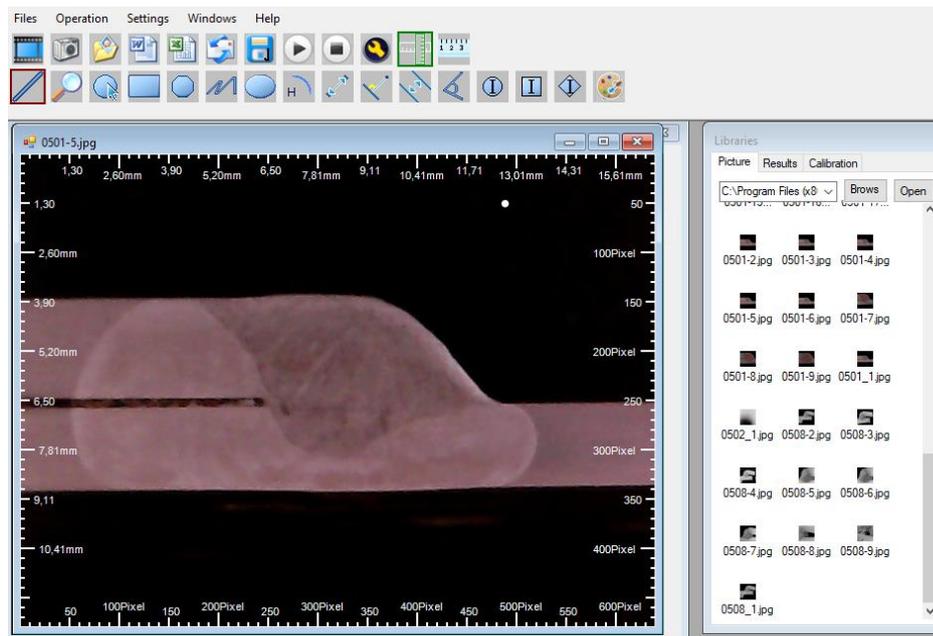


Figura 29. Software empleado en la obtención de resultados metalográficos

Elaborado por: Víctor Places.

En la Figura 29, se visualiza la estructura del software de medición que después de un proceso de captura de imagen del área a evaluarse permitirá medir diferentes parámetros.

CAPÍTULO III

CRITERIOS Y PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DE SOLDADURA

En el presente capítulo se detalla los criterios y parámetros que establece la Norma GMW-14058, los cuales deben ser controlados y evaluados por los fabricantes de autopartes para General Motors, desglosando cada uno de ellos y describiendo la forma en la que se debe contrastar con los resultados obtenidos.

3.1 Norma GMW-14058

La Norma GMW-14058 denomina aceptación de soldadura criterios y métodos de reparación. Es un conjunto de parámetros, reglas y recomendaciones que realiza General Motors en lo referente a soldadura. El Propósito de esta norma es proporcionar los criterios de aceptación y los métodos de reparación de soldaduras en productos automotrices para los que GM se encarga de establecer o aprobar el diseño del producto.

En esta sección del proyecto se describe los parámetros analizados en esta norma y los cuales serán evaluados después del proceso de preparación y obtención de la probeta. La aplicabilidad de esta norma abarca los siguientes tipos de soldadura por arco o procesos de soldadura fuerte de arco denominado Arc Welding:

- La soldadura por arco metálico con gas (GMAW)
- Para soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW)
- Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)
- Para soldadura por arco con núcleo de metal (MCAW)
- Protectores de metal para soldadura por arco (SMAW)
- Soldadura de arco de plasma (PAW)
- Arco soldadura fuerte de tungsteno de gas (GTAB)
- Arco Soldadura plasma (PAB)

Esta norma se aplica a las uniones soldadas y soldadura fuerte en todos los metales ferrosos como aceros y metales no ferrosos tales como aluminio, magnesio, cobre, entre otros que son aprobados por GM para ser usados en sus diversos productos [15].

Los criterios y parámetros establecidos en esta norma se convierten en obligatorias cuando se hace referencia a un documento de diseño de soldadura. Las variables de los criterios previstos en esta norma deben ser identificadas en un documento de diseño de soldadura el cual deberá tener la aprobación de todas las partes involucradas tanto como fabricantes y clientes del producto.

El uso de esta norma en estructuras soldadas se consideran satisfactorios cuando llevan las cargas de servicio destinadas a un período de tiempo requerido, mientras los criterios de calidad de soldadura de esta norma son consistentes con los requisitos del servicio de carga, que se han establecido específicamente para su uso en el proceso y seguimiento de productos automotrices [15].

Hay varios atributos que se utilizan para analizar la calidad de la soldadura por arco y la soldadura fuerte. Estos atributos se dividen en tres grupos: generales, visuales y medibles.

3.2 Criterios generales de aceptación.

Hay dos categorías de soldaduras estructurales y las soldaduras de proceso:

- Las soldaduras estructurales. se requieren soldaduras estructurales para el rendimiento del producto soldado. Todas las soldaduras son estructurales menos que se indique específicamente como soldaduras de proceso en el documento de diseño de soldadura.
- Las soldaduras de proceso. soldaduras de proceso están instaladas para facilitar el montaje en proceso, pero no son necesarios para el desempeño estructural del producto. soldaduras de proceso deben ser aprobados por la ingeniería del producto y se muestran en el documento de diseño de soldadura.

3.3 Evaluación de la soldadura.

El metal de relleno se especifica en el documento de diseño de soldadura producto deberá ser utilizado. Un conjunto con una soldadura que no utiliza el metal de relleno especificado en el método documento de diseño de soldadura o de reparación autorizado por la ingeniería de producto que no se ajusta.

3.4 Criterios de aceptación visuales.

Es uno de los principales criterios que se controlan con esta norma en los cuales tiene pendiente parametros de control como los que se detallan:

3.4.1 Apariencia visual.

Cuando una soldadura presenta cambio de exposiciones salpicaduras o un cambio en la forma, el proceso de soldadura se ajustará a la configuración calificado la Figura 30, muestra un ejemplo de un correcto cordón de soldadura visualmente debido a que es uniforme [15].



Figura 30: Dirección de soldadura

Elaborado por: Víctor Places

3.4.2 Las grietas o fisuras

En la superficie interfieren en las secciones de soldaduras continuas, las grietas superficiales que son visibles sin la ayuda de ampliación son discrepantes con los parametros establecidos de aceptación, la soldaduras continuas con fisuras superficiales transversales que son visibles sin la ayuda de magnificación y son mayores a 20 mm son discrepantes a la norma como lo detalla la Figura 31.

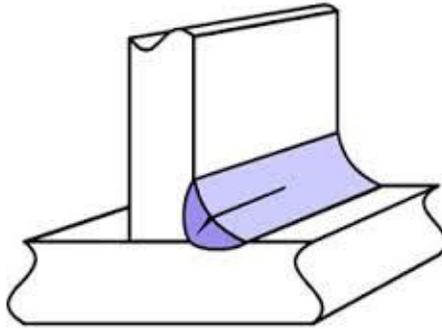


Figura 31: Cordón de soldadura fisurado [15]

La reparación recomendada por la norma es esmerilar la junta soldada con la fisura y resoldar adecuadamente hasta cumplir los requerimientos.

3.4.3 Retro fusión

Una situación en la que el metal de base se funde de nuevo desde un borde, pero no se convierte en parte de la soldadura. Esta condición deja un vacío desde el depósito de soldadura y el metal base, la soldadura que contiene retro fusión es discrepante y no pueden ser contados en la longitud efectiva de soldadura.

El exceso de fundición cuando una soldadura se funde a través de más de 2 veces el t min, el espesor del metal más delgado a soldar más allá de la superficie inferior y no hay interferencia con las operaciones de rendimiento del producto o subsiguiente de montaje, el proceso de la soldadura con fusión no es discrepante y cumple con los criterios de la norma GMW-14058 [15].

3.4.4 Cordones de soldadura extra

El número de cordones de soldaduras instalados no deberá exceder la cantidad especificada en el documento de diseño de soldadura. Cuando el número de cordones supera el número especificado, el proceso se ajusta a la configuración cualificado del proceso en el cual se define si los parámetros son discrepantes o conforme [15].

3.4.5 Cráter

Un cráter es una discontinuidad que puede ser contados en la longitud efectiva de soldadura en la cual se realizara el proceso de medición para saber si aprueba o

discrepa con los criterios de la norma un ejemplo de cráter se representa en la Figura 32.

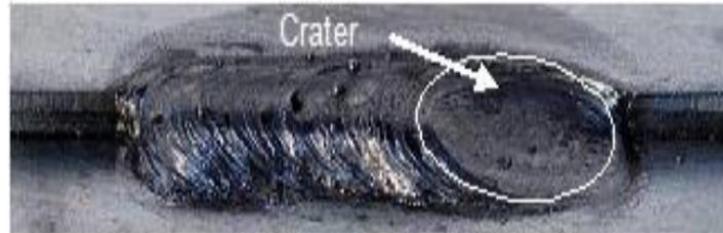


Figura 32: Cordón de soldadura con presencia de cráter
Elaborado por: Víctor Places

Aunque esta dentro de los criterios de aceptación visuales se incluye estos parámetros medibles de esta característica donde se aceptan bajo las siguientes condiciones:

- 0 mm si el cordón mide entre 5 y 10 mm
- Hasta 3 mm si el cordón mide entre 11 y 40 mm
- Hasta 5 mm si el cordón mide entre 41 y 100 mm
- Hasta 8 mm si el cordón mide más de 100 mm y se acepta 2 mm más por cada 25 mm adicionales de longitud del cordón.

La reparación recomendada por la norma es esmerilar la junta soldada con la fisura y resoldar adecuadamente.

3.4.6 Dirección de soldadura

Cuando se especifica la dirección de la soldadura en el documento de diseño, el proceso seguirá la dirección especificada. Los cordones de soldaduras que se desvían de una dirección de soldadura especificada son discrepantes en la Figura 33, se detalla un cordón de soldadura con dirección constante.



Figura 33. Dirección de soldadura
Elaborado por: Víctor Places

3.4.7 Discontinuidades

La soldadura que se muestran como cordones continuos sobre la documentación de soldadura estará soldada en un cordón continuo sin aperturas adicionales y paradas independientemente de la tolerancia de longitud en la Figura 34, se detalla una discontinuidad visible en la longitud del cordón.



Figura 34. Discontinuidades de soldadura

Elaborado por: Víctor Places

Ninguna discontinuidad podrá exceder los 16mm entre cordones el método de reparación recomendado es completar adecuadamente el segmento faltante de soldadura.

3.4.8 Salpicaduras

La soldadura que exhiben las salpicaduras tendrá su proceso ajustado a la configuración cualificado. La salpicadura que interfiere con la función del producto o cualesquiera operaciones de montaje subsiguientes será removida para cumplir con los criterios de aceptación. La Figura 35, muestra una mala calidad de soldadura al tener exceso de salpicadura.



Figura 35. Salpicaduras de soldadura

Elaborado por: Víctor Places

Se considera defecto únicamente cuando interfiere funcionalmente con el resto del montaje, como por ejemplo salpicadura en tuercas o perforaciones funcionales y zona de marcación. En otras áreas lo admisible es 12 pepitas de salpicadura en un área de 150 cm², la cual es equivalente a una Circunferencia de radio de 7 cm. No deben ser consideradas áreas con soldadura los elementos y partes CKD.

El método de reparación de este defecto es retirar salpicaduras con cincel, esmerilar o limpiar las tuercas que fueron afectadas [15].

Los defectos descritos son los principales estos y otros que son importantes de verificar para el cumplimiento de la norma GMW-14058.

En el cual se detalla el tipo de discrepancia encontrado, el criterio de aceptación o rechazo, una imagen referencial del problema, el tipo de inspección que se debe aplicar y el método de reparación recomendado para la discrepancia analizada.

3.5 Criterios de aceptación medibles

La soldadura se encuentra adecuadamente posicionada cuando se instala dentro de 6mm desde el lugar indicado en el documento de diseño de soldadura. Una soldadura o parte de esta que no se encuentra correctamente ubicada es discrepante, un proceso de soldadura que se encuentra inadecuadamente tendrá su proceso de ajuste a la ubicación correcta. Las plantillas de soldadura se pueden utilizar para determinar la ubicación de soldadura son un dispositivo de solapado de inspección utiliza para evaluar la ubicación de soldadura, las plantillas pueden ser como se muestra en la Figura 36, son creados por el trazado de la posición de la soldadura como se define en el documento de diseño de soldadura en una hoja transparente para la comparación de las ubicaciones reales de soldadura [15].



Figura 36. Plantilla de soldadura [15]

Longitud efectiva de soldadura (L_{mi}) es una medida de soldadura en la cual es aceptable si es mayor que o igual a la longitud requerida de soldadura (L_r , como se describe en la Tabla 13, y el valor máximo permisible discontinuidad enumerados en la Tabla 1 no se exceda, la longitud efectiva de soldadura es la longitud de la soldadura real (L_{una}) con las longitudes de discontinuidad combinados (L_{re}) deducido. La soldadura que no tienen una longitud efectiva de soldadura mayor que o igual a la longitud de la soldadura requerida tal como se especifica en la Tabla 13, son discrepantes [15].

Tabla 13. Requerimientos de longitud del cordón

Longitud especificada (mm) (L_w)	Longitud máxima de cualquier discontinuidad (mm) (L_d)	Tolerancia de longitud del cordón (mm) (L_t)
5 hasta 11	0	3
11 hasta 40	3	4
41 hasta 100	5	6
> 100	8 + 2 por cada 25mm adicionales*	10% de la longitud especificada (L_w)

Elaborado por: Víctor Places

Donde: L_e es soldadura eficaz, L_a es soldadura real, L_d es longitudes de discontinuidad, L_t es la tolerancia de la longitud y L_w es la soldadura especificado.

Una discontinuidad no puede exceder de 16 mm para cualquier cordón de soldadura, la longitud efectiva de soldadura debe cumplir o exceder la longitud de la soldadura mínima requerida.

3.6 Soldadura sección representativa (s).

La sección transversal de soldadura (s) se muestra en el Apéndice A, Apéndice B y Apéndice C de la norma GMW-14058 en la que se detalla los cordones de soldadura típicos usados en soldadura automotriz diseños de unión.

El número y la ubicación para la obtención de la muestra de sección transversal representativa (s) del cordón de soldadura se detalla en la Tabla 14, la misma especifica a que distancia y la cantidad de ensayos que se debe realizar según la longitud del cordón de soldadura a ser evaluado.

Tabla 14. Ubicación y cantidad recomendadas para ensayos metalográficos

Longitud de soldadura (mm) (Lw)	Cantidad de secciones recomendadas para el análisis	Ubicación aproximada de las secciones o lugar de corte
$Lw \leq 40\text{mm}$	1	Punto medio de la longitud de soldadura
$40 \text{ mm} < Lw \leq 100\text{mm}$	2	En 1/3 y 2/3 de la longitud de la soldadura
$Lw > 100\text{mm}$	3	En 1/4, la mitad y 3/4 de la longitud de la soldadura.

Elaborado por: Víctor Places

Un cordón de soldadura cuya medida transversal no cumple ninguno de los criterios detallados tendrá su proceso ajustado a la configuración cualificado de manera que deberán cumplir los criterios de la norma detallados anteriormente [15].

La Tabla 14 brinda las recomendaciones del lugar en el cual se deberá realizar el corte transversal del cordón de soldadura para realizar el análisis metalográfico como son las macrografías los cuales deben ser realizados bajo los criterios y recomendaciones

de la Norma E3-11 en lo referente a ensayos metalográficos mediante macrografías la misma que se complementa con la Norma E340-15 denominada práctica estándar para macrografías en metales.

Mediante las recomendaciones técnicas de estas normas se evaluarán los parámetros y criterios especificados en la Norma GMW-14058, principalmente, el espesor de la garganta, la longitud de penetración de la pared lateral, la profundidad de penetración de soldadura, el espesor del material, la porosidad interna del cordón de soldadura y las grietas presentes en el mismo.

El procedimiento para la medición se detalla en el instructivo realizado de manejo interno de la empresa en el cual mediante la obtención de la imagen brindada por el ensayo metalográfico con el uso de un software de medición se realiza los trazos sobre la imagen después de un proceso de calibración de este para obtener la medición de cada uno de estos parámetros.

Los criterios analizados en esta sección mediante ensayos de macrografía serán:

- Longitud de pierna (b).

La longitud de la pierna es la distancia desde la raíz de la soldadura al pie de la soldadura donde hay evidencia de fusión para soldaduras o adhesión para soldaduras en otras palabras se denomina así a la longitud de penetración de la pared lateral como se visualiza en la Figura 37.

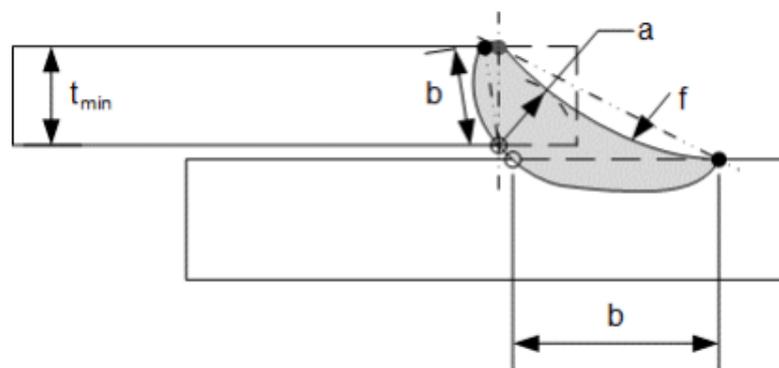


Figura 37. Criterios medibles mediante ensayos macrográfico [15]

A es denominado espesor de la garganta, b longitud de penetración de la pared lateral. En la Figura 38, se observa un esquema del proceso de medición de estos parámetros. Ejemplos adicionales de tipos de juntas y ubicación de parámetros medibles de la norma GWM-14058.

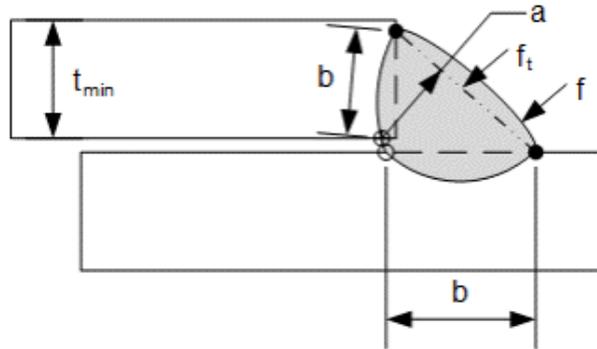


Figura 38. Junta solapada con cordón de soldadura convexo [15]

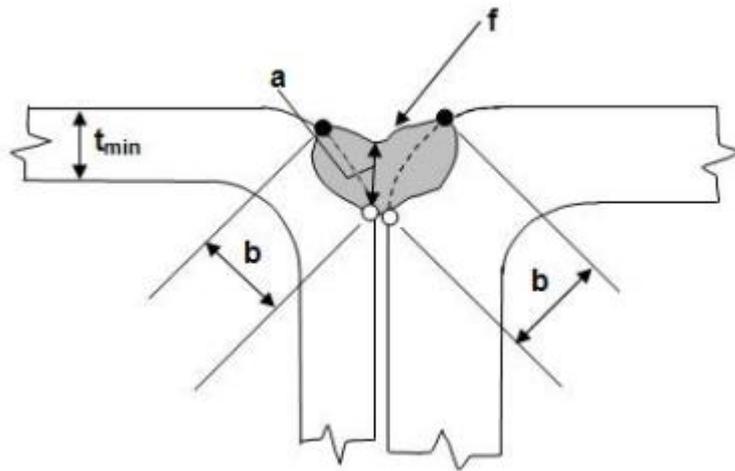


Figura 39. Junta a tope con cordón de soldadura cóncavo [15]

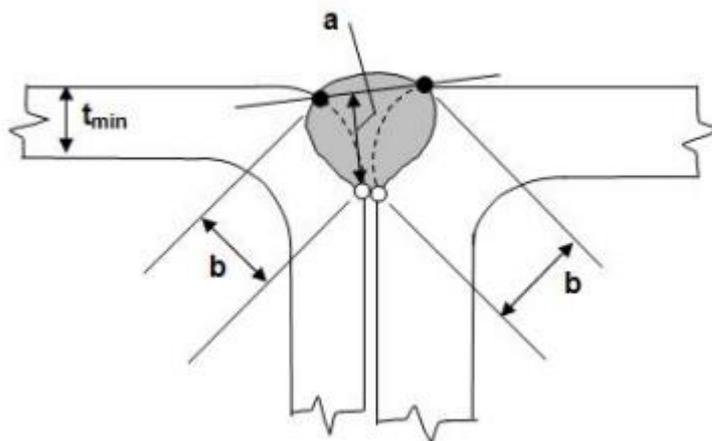


Figura 40. Junta a tope con cordón de soldadura convexo [15]

La Figura 39, detalla otro tipo de junta común en la cual se puede aplicar el análisis metalográfico para contrastarlo con los criterios de la norma GMW-14058.

3.6.1 El espesor de garganta (a).

El espesor de garganta es la medida mínima entre cualquier raíz de la soldadura y la cara de soldadura como se detalla en la Figura 40.

Los parámetros especificados anteriormente tienen una medida mínima la cual se basa en el espesor del material más delgado denominado t_{min} en cual depende del tipo de unión y de forma del material base.

Tabla 15. Requerimiento mínimo de la longitud de pierna y el espesor de la garganta

Tipo de material	Longitud de pierna (b)	Espesor de garganta (a)	
		Acero	Aluminio
Lamina con lamina	$\geq 0,9 t_{min}$	$\geq 0,7 t_{min}$	$\geq 0,6 t_{min}$
Lamina con tubo	$\geq 0,9 t_{min}$	$\geq 0,7 t_{min}$	$\geq 0,7 t_{min}$
Tubo con tubo	$\geq 0,9 t_{min}$	$\geq 0,7 t_{min}$	$\geq 0, t_{min}$

Elaborado por: Víctor Places

Los parámetros medibles tienen relación directamente de la forma del material a soldar y del espesor del material más delgado, quienes serán unidos mediante un cordón de soldadura, los mismos que están detallados en la Tabla 15.

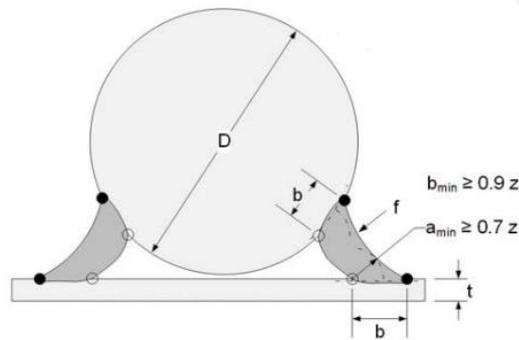


Figura 41. Longitud de pierna y espesor de garganta en unión lamina con tubos [15]

La Figura 41, muestra un ejemplo de cortes transversal entre un tubo y una placa a la cual se puede aplicar el análisis.

3.6.2 La profundidad de la Fusión o penetración de soldadura

La penetración de fusión será de al menos 10% de t_{min} para el acero y otras aleaciones y 5% de t_{min} para el aluminio, este parámetro se detalla en la Figura 42, cuando la penetración de la soldadura es inferior a estos límites, el proceso se debe ajustar a la configuración calificada y tomar medidas correctivas [15].

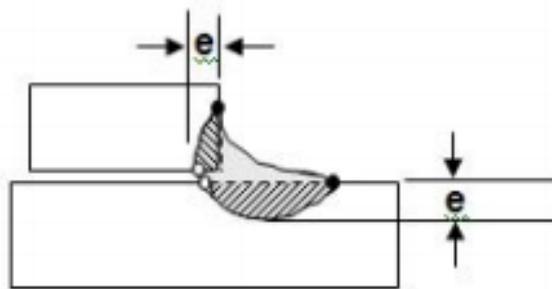


Figura 42. Profundidad de penetración de soldadura [15]

La medición de este parámetro es de suma importancia debido a que es el principal criterio para analizar la resistencia y calidad de la soldadura, una adecuada penetración de soldadura garantizará la función y rendimiento de la unión de materiales sin riesgo

que ocurra un desprendimiento de los elementos unidos los cuales son de suma importancia y se debe garantizar en la industria automotriz [15].

3.6.3 El espesor mínimo o representado como t_{min}

Se refiere al espesor del material más delgado de los elementos a soldarse que por lo general es suministrado por el fabricante de cada material, sin embargo, es importante llevar un control de este para comprobar su calidad y su función en el cálculo de los demás criterios que servirán para concluir si la probeta analizada cumple con los criterios de aceptación, este parámetro está representado en la Figura 43.

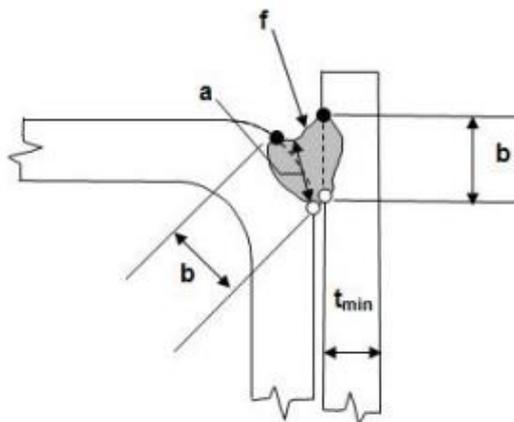


Figura 43. Espesor mínimo de material (t_{min}) [15]

3.6.4 Porosidad

Es una discontinuidad de tipo cavidad o aberturas superficiales resultantes de gas atrapado en o escapar del baño de soldadura durante la solidificación. Hay dos tipos de porosidad: superficie e interna, estos están representados en la Figura 44.

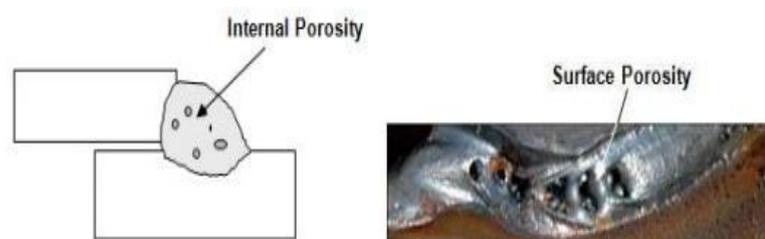


Figura 44. Porosidad interna y superficial [15]

La porosidad de la superficie es un atributo separado que no se va a incluir en la longitud máxima permitida discontinuidad, en su lugar la porosidad de la superficie se

evalúa por separado la porosidad de la superficie dispersada no es aceptable siempre que cumplan las siguientes condiciones:

- Poros ovalados: Relación largo/ancho del poro mayor a 3mm
- Poro único: Diámetro mayor a 2 mm
- Hasta 3 poros: Diámetro mayor a 1 mm
- 4 o más poros: Se encuentran dentro de un radio de 5 mm y su diámetro es mayor a 0,5 mm.

La observación de porosidad en la soldadura consiste en indicar que la calidad de este no es la adecuada y por ende el resto de los parámetros pueden tener variaciones o no cumplir con el mínimo especificado por la norma GMW-14058 [15].

3.6.5 Las grietas internas

La sección transversal de la soldadura no debe contener ninguna grieta que son visibles a 15X de aumento o menos. Los cordones de soldadura evaluados que contienen grietas son discrepantes como el que se visualiza en la Figura 45.

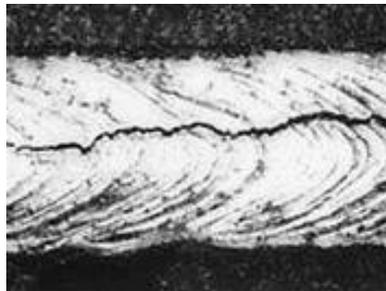


Figura 45. Grietas internas [17]

La presencia de grietas internas es resultado de un mal procedimiento de soldadura que evidencia la mala calidad de la soldadura y que tendrá como efecto un prematuro fallo de la unión por lo que al evidenciar grietas internas en el ensayo realizado será discrepante con la norma por lo que reprobará este criterio de aceptación.

3.7 Disposición y procedimiento de reparación

La aceptación de fabricación de producto se basa en todas las juntas continuas conformes y todos los patrones de uniones discretas conformes. Las soldaduras

reparadas adecuadamente conformar si cumplen con los criterios generales, visuales, y medibles descritos en esta norma. El Tratamiento de los productos que no se ajusten a esta norma debe ser manejado de acuerdo con los requisitos de calidad de GM Global para la acción correctiva y material no conforme.

Los elementos soldados de proveedores externos para conjuntos que tengan 13 o más secciones transversales por soldaduras realizado en una sola planta de fabricación en un único conjunto, 92% de todas las secciones transversales deberán satisfacer las exigencias de la sección transversal medibles detalladas anteriormente, para los criterios evaluados en su mayoría visuales se recomienda realizar reparaciones recomendadas en el Anexo 1, que van desde esmerilar y resoldar, rellenar el cordón entre otros detallados en el mismo [15].

3.8 Criterios de aceptación para productos de otras marcas

Esta norma es aplicable para productos de GM, para otros productos se puede utilizar la Norma ANSI/AWS D1.1. que es el Código para Soldadura Estructural de acero la cuál menciona que los ensayos recomendados para el control de soldadura en estructuras en el item 4.9 denominado métodos de ensayo y criterios de aceptación para la calificación de WPS, donde menciona las características que deben cumplir los cordones de soldadura empleados:

- Inspección visual de las soldaduras.
 - NDT. (Ensayos no destructivos)
 - Ensayos mecánicos.
 - Ensayo de macroataque. (Macrografías)
- a. Los criterios de aprobación para el estudio de macroataque, para que la calificación sea aceptable, la probeta inspeccionada visualmente debe aprobar con los siguientes requisitos: En las soldaduras en ranura, el tamaño real de la soldadura debe ser igual o mayor que el tamaño de soldadura especificado [1].
- b. Las soldaduras en filete deben poseer fusión a la raíz de la unión soldada, pero no obligatoriamente más allá de ella.

c. Las dimensiones mínimas de la longitud de pierna deben cumplir con el tamaño de la soldadura en filete especificado.

d. La soldadura en ranura y la soldadura en filete deben aprobar con lo siguiente:

- Sin grietas
- Fusión completa entre las capas adyacentes del metal de soldadura y entre el metal de soldadura y metal base
- Los segmentos de soldadura que cumplan con los detalles especificados, pero con ninguna de las variaciones prohibidas.
- Sin perforaciones que exceda de 1/32 pulg. [1 mm]

Esta Norma es aplicable para cualquier soldadura en la cual también se especifica como método de control los ensayos destructivos metalográficos para obtener el análisis de los parámetros mediante macrografías [1].

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS METALOGRAFICOS Y COSTOS

Este capítulo trata el proceso de análisis interno aplicado a las probetas obtenidas de los rieles de chasis y la barra de tablero, las secciones de donde se va a extraer las probetas el procedimiento que se aplicó, los resultados obtenidos dando como resultado a las conclusiones y recomendaciones. De la misma manera se incluyen los valores económicos realizados y los beneficios de la implementación de este proyecto con el respectivo análisis económico.

4.1 Definición de cordones para ensayo metalográficos en autopartes

Estas autopartes están formadas por diferentes tipos de brackets o subpartes las cuales se ensamblan después de un proceso de soldadura.

La Norma GMW-14058 brinda recomendaciones sobre lugares de corte para realizar las metalografías los cuales depende de la longitud del cordón de soldadura, como se especificó en la unión de todos los elementos que conforman el conjunto las rieles se emplean 56 y de la misma manera se aplican 42 para la unión de los componentes de la barra de tablero.

Para los cuales en conjunto con el departamento de ingeniería y producción de la empresa se realizó la selección de los cordones para el análisis teniendo en cuenta la aplicación de cada elemento y abarcando la mayor superficie de las autopartes en la Figura 46, se observa el área de soldadura de los rieles de chasis.



Figura 46. Área de soldadura de rieles

Elaborado por: Víctor Places

4.2 Cordones evaluados en los rieles de chasis

La selección de estos cordones se aplicó utilizando el criterio de la norma que brinda recomendaciones de la cantidad y distancia en donde se debe realizar los cortes transversales para realizar el análisis metalográfico de la soldadura en la Tabla 16, se especifican los 14 cordones en los cuales se realizó el ensayo macrográfico, en la misma que define el espesor del material con el que se fabrica ese segmento y el tipo de junta.

Tabla 16: Cordones evaluados en los rieles de chasis

PUNTO	UBICACIÓN	REFERENCIA IMAGEN	ESPESOR (mm)	TIPO DE JUNTA
1	RIEL DELANTERA RH		3.2	TRASLAPE
2	RIEL DELANTERA RH		3	TRASLAPE
3	RIEL DELANTERA RH		3	TRASLAPE
4	RIEL DELANTERA RH		2.8	TRASLAPE
5	RIEL DELANTERA LH		2.8	TRASLAPE

6	RIEL DELANTERA LH		2.8	TRASLAPE
7	RIEL DELANTERA LH		2.8	TRASLAPE
8	RIEL DELANTERA LH		2.8	TRASLAPE
9	RIEL POSTERIOR LH		2.6	TRASLAPE
10	RIEL POSTERIOR LH		2.4 y 2.9	TRASLAPE
11	RIEL POSTERIOR RH		2.6	TRASLAPE
12	RIEL POSTERIOR RH		2.4 y 2.9	TRASLAPE
13	RIEL CENTRAL RH		2.6	TRASLAPE

14 RIEL CENTRAL
LH



2.8 TRASLAPE

Elaborado por: Víctor Places

Los 14 puntos que indica la Tabla 16, son donde se aplicara el corte transversal para verificar los parámetros que estipula la norma GWM-14058.

4.3 Cordones evaluados en la barra de tablero

En la Tabla 17, se especifica los cordones seleccionados para realizar el ensayo metalográfico en la autoparte denominada barra de tablero que es un conjunto de diferentes brackets, en los mismos se especifica de igual manera en el espesor del material base utilizado y el tipo de junta, debido a esto podemos aplicar los parámetros evaluación para comprobar la calidad de la soldadura.

Tabla 17: Puntos para Análisis Metalográficos Barra de Tablero

PUNTO	NOMBRE	REFERENCIA IMAGEN	ESPESOR	TIPO DE JUNTA
1	SUBENSAMBLE LATERAL LH		1,6 mm	TRASLAPE
2	SUBENSAMBLE DIRECCIÓN SUPERIOR LH		2 mm	TRASLAPE
3	SUBENSAMBLE DIRECCIÓN SUPERIOR RH		2 mm	A TOPE
4	BRACKET DIRECCIÓN INFERIOR		2 mm	TRASLAPE

5	BRACKET AIRBAG 1 LH		1,4 mm	A TOPE
6	BRACKET AIRBAG 1 RH		1,2 mm	TRASLAPE
7	BRACKET AIRBAG 2 LH		1,2 mm	TRASLAPE
8	BRACKET AIRBAG 2 RH		1,2 mm	A TOPE
9	SUBENSAMBLE LATERAL RH		1,8 mm	TRASLAPE

Elaborado por: Víctor Places

La Tabla 17, detalla 9 puntos en los cuales se aplicará los ensayos, es importante la selección de los cordones a ser evaluados entre los pertenecientes a la barra, en la cual se encuentra 4 cordones que son los encargados de sujetar al bracket que posiciona los airbags tanto del conductor como del pasajero que es importante garantizar la calidad de los mismo con la razón de salvaguardar vidas humanas.

4.4 Especificaciones del microscopio

El microscopio es de facil uso y cuenta con el aumento necesario para obtener macrofias de calidad que complementadas con un adecuado proceso de preparación de las probetas sirvio para obtener resultados lo mas fiables posibles ya que se estandarizo el proceso de preparación y medicioón mediante un instructivo para uso interno de la Empresa.

La Tabla 18, describe los parámetros técnicos que posee el microscopio en cuál se utilizó para la evaluación de los parámetros de soldadura.

Tabla 18. Especificaciones técnicas del microscopio digital.

Especificaciones técnicas	
Equipo:	Microscopio Digital Portable
Marca del equipo:	ELECTRONIC MAGNIFER
Modelo:	DM4
Capacidad:	5X-1000X
Software:	Amcap v3.0.9



Elaborado por: Víctor Places

Las mediciones se realizó con el software Amcap v3.0.9 el cual sirve para capturar la imagen visualizada en el microscopio y después se utiliza el módulo Measurement especializado en mediciones, el cual después de una calibración permite realizar la medición de los paramtros controlados por la norma.



Figura 47. Bloques patrones de calibración

Elaborado por: Víctor Places

La Figura 47, muestra los bloques patrón con su certificado de calibración perteneciente a la empresa los cuales se utilizó para la calibración del software de medición y obtener resultados óptimos.

4.5 Resultados macrográfico

Los análisis son realizaron bajo las normas técnicas analizadas en capítulos anteriores para obtener resultados fiables y realizar un adecuado análisis de los criterios de Conforme la Norma GMW-14058 Weld acceptance Criteria (Arc Welds).

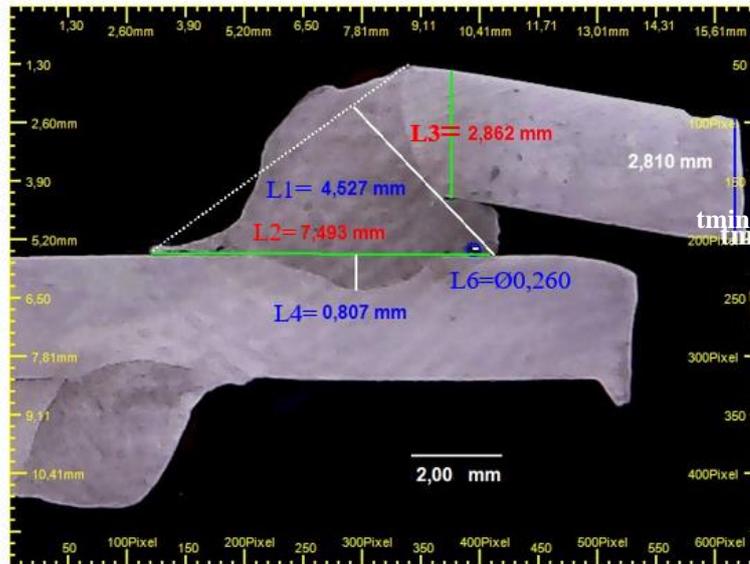


Figura 48: Análisis macrográfico del cordón 7

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 19: Resultados macrográfico

MUESTRA N°	IDENTIFICACIÓN	INSPECCIÓN VISUAL		
7	Riel de chasis	Uniformidad de cordón de soldadura		
REQUISITOS	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
L1= Espesor de garganta $\geq 0,7$ tmín.	1,967 mm mín.	4,527 mm	X	
L2 y L3 = Longitud de penetración de la pared lateral $\geq 0,9$ tmín.	2,529 mm mín.	7,493x2,862 mm	X	
L4 y L5 = Profundidad de penetración de la suelda 10% de tmín.	0,281 mm mín.	0,807 mm	X	
tmín= Espesor mínimo del material	2,81 mm mín.	2,81 mm	X	
L6= Porosidad	Porosidad $\leq \text{Ø}0,5$ mm máx.	$\text{Ø} 0,260$ mm	X	
Grietas	No se observa	No se observa	X	

Elaborado por: Víctor Places

Se observa en la Tabla 19 y la Figura 58 detalla los resultados obtenido en una probeta evaluada perteneciente a los cordones de los rieles de chasis.

La misma que cumple adecuadamente con los parámetros evaluados en la norma de GM, los ensayos se realizaron con las recomendaciones de las normas técnicas tanto de la norma ASTM E3-11 y la ASTM E340.

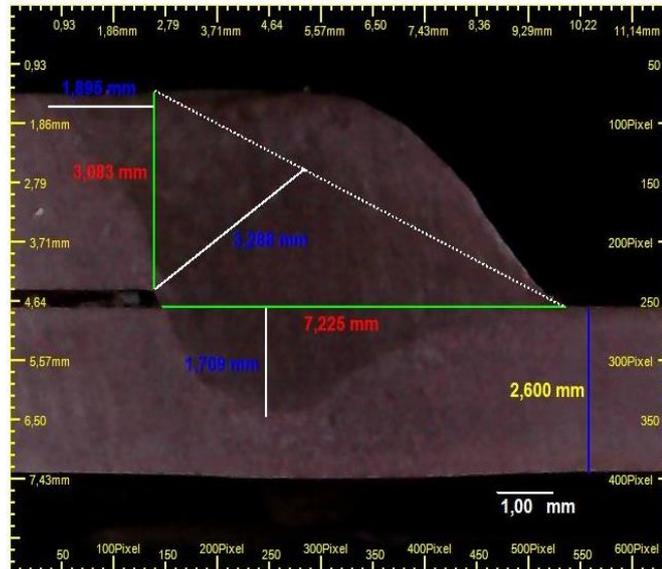


Figura 49. Análisis macrográfico en el cordón 9 de rieles de chasis

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 20. Resultados de criterios evaluados en el cordón 9 de rieles de chasis

MUESTRA N°	IDENTIFICACIÓN	INSPECCIÓN VISUAL		
9	Riel de chasis	Uniformidad de cordón de soldadura		
REQUISITOS	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A	R
L1= Espesor de garganta $\geq 0,7$ tmín.	1,82 mm mín.	3,288 mm	X	
L2 y L3 = Longitud de penetración de la pared lateral $\geq 0,9$ tmín.	2,34 mm mín.	7,225x3,083 mm	X	
L4 y L5 = Profundidad de penetración de la suelda 10% de tmín.	0,26 mm mín.	1,709x1,895 mm	X	
tmín= Espesor mínimo del material	2,6 mm mín.	2,6 mm	X	
Porosidad	Poros $\varnothing 0,5$ mm máx.	No se observa	X	
Grietas	No se observa	No se observa	X	

Elaborado por: Víctor Places

Se detalla en la Tabla 20 y la Figura 49 detalla los resultados obtenido en una probeta evaluada perteneciente a los cordones de los rieles de chasis.

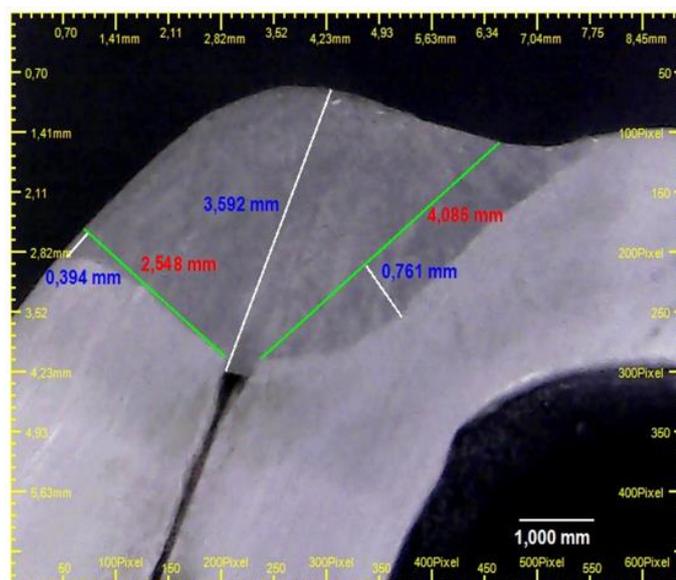


Figura 50. Análisis macrográfico punto 11

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 21: Resultados macrográfico.

MUESTRA N°	IDENTIFICACIÓN	INSPECCIÓN VISUAL		
		ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A R
11	Riel de chasis	Uniformidad de cordón de soldadura		
	L1= Espesor de garganta $\geq 0,7$ tmín.	1,96 mm mín.	3,592 mm	X
	L2 y L3 = Longitud de penetración de la pared lateral $\geq 0,9$ tmín.	2,52 mm mín.	4,086x2,548 mm	X
	L4 y L5 = Profundidad de penetración de la suelda 10% de tmín.	0,28 mm mín.	0,761x0,394 mm	X
	tmín= Espesor mínimo del material	2,8 mm mín.	2,8 mm	X
	Porosidad	Poros $\varnothing 0,5$ mm máx.	No se observa	X
	Grietas	No se observa	No se observa	X

Elaborado por: Víctor Places

Se detalla en la Tabla 21 y la Figura 50, los resultados obtenidos en una probeta evaluada perteneciente a los cordones de los rieles de chasis.

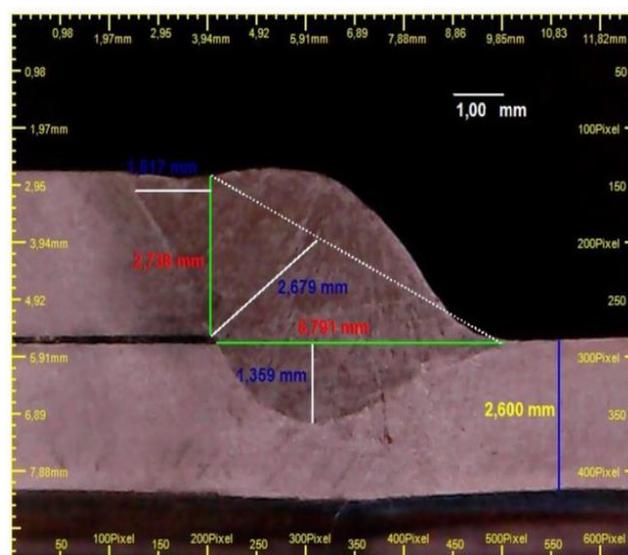


Figura 51. Análisis macrográfico punto 13

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 22: Resultados macrográfico

MUESTRA N°	IDENTIFICACIÓN	INSPECCIÓN VISUAL		
13	Riel de chasis	Uniformidad de cordón de soldadura		
	REQUISITOS	ESPECIFICADO	ENCONTRADO	A R
	L1= Espesor de garganta $\geq 0,7$ tmín.	1,82 mm mín.	2,679 mm	X
	L2 y L3 = Longitud de penetración de la pared lateral $\geq 0,9$ tmín.	2,34 mm mín.	5,791x2,738 mm	X
	L4 y L5 = Profundidad de penetración de la suelda 10% de tmín.	0,26 mm mín.	1,359 x 1,517mm	X
	tmín= Espesor mínimo del material	2,6 mm mín.	2,6 mm	X
	Porosidad	Poros $\varnothing 0,5$ mm máx.	No se observa	X
	Grietas	No se observa	No se observa	X

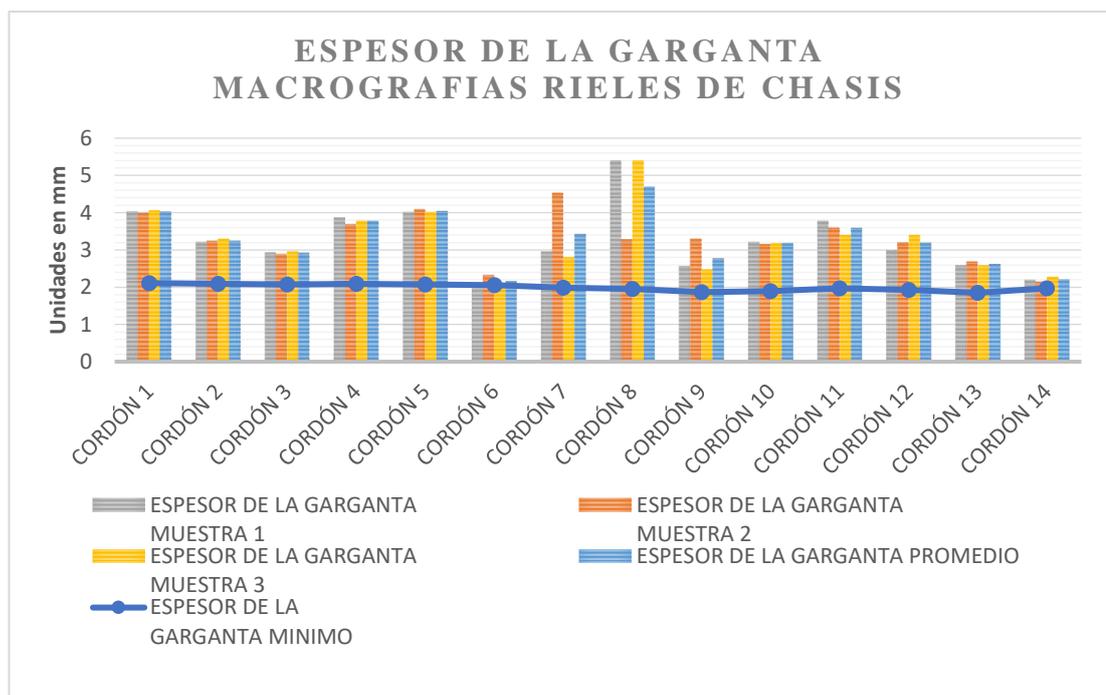
Elaborado por: Víctor Places

Se observa en la Tabla 22 y la Figura 51, los resultados obtenidos en una probeta evaluada perteneciente a los cordones de los rieles de chasis.

Las Figuras y Tablas de esta sección evidencian la medición de los parámetros que exige llevar control la norma GMW-14058 los cuales influyen en los cordones de soldadura y por lo tanto en el rendimiento de las juntas soldadas, los cuales después de adecuado proceso de preparación de la muestra obtenida del cordón mediante un corte transversal con la ayuda de software se procedió a la medición de la imagen generada por el microscopio después del proceso de evaluación se detalla se aprueba o reprueba el parámetro evaluado.

4.6 Tabulación de resultados

4.6.1 Resultados tabulados de los parámetros y criterios evaluados en los cordones de soldadura de los rieles de Chasis

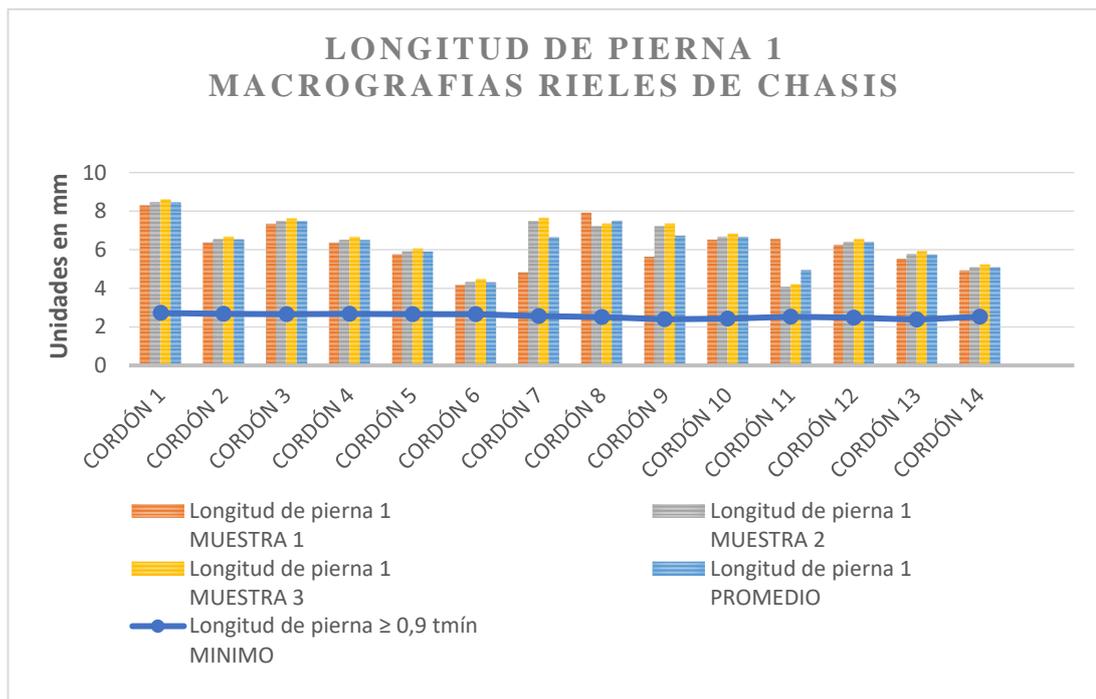


Gráfica 1. Espesor de la garganta rieles de chasis.

Elaborado por: Víctor Places

El espesor de garganta entendido como la distancia mínima entre cualquier raíz de la soldadura que es el punto de intersección de la soldadura con el metal base, o conocido como fondo de la soldadura, la cara de soldadura como se detalla en la Figura 38.

El espesor de la garganta es directamente proporcional al t_{min} y como se muestra en la Gráfica 1, cada uno de los cordones evaluados en la rieles de chasis cumple y supera satisfactoriamente el mínimo requerido para aprobar este parámetro en el cordón 8 se distingue que es el de mayor medida en el que se puede distinguir que existe un exceso de espesor de garganta y en el cordón 6 y 14 del segmento de rieles analizado supera levemente el mínimos establecido sin embargo es suficiente para estar dentro del rango de aceptabilidad.

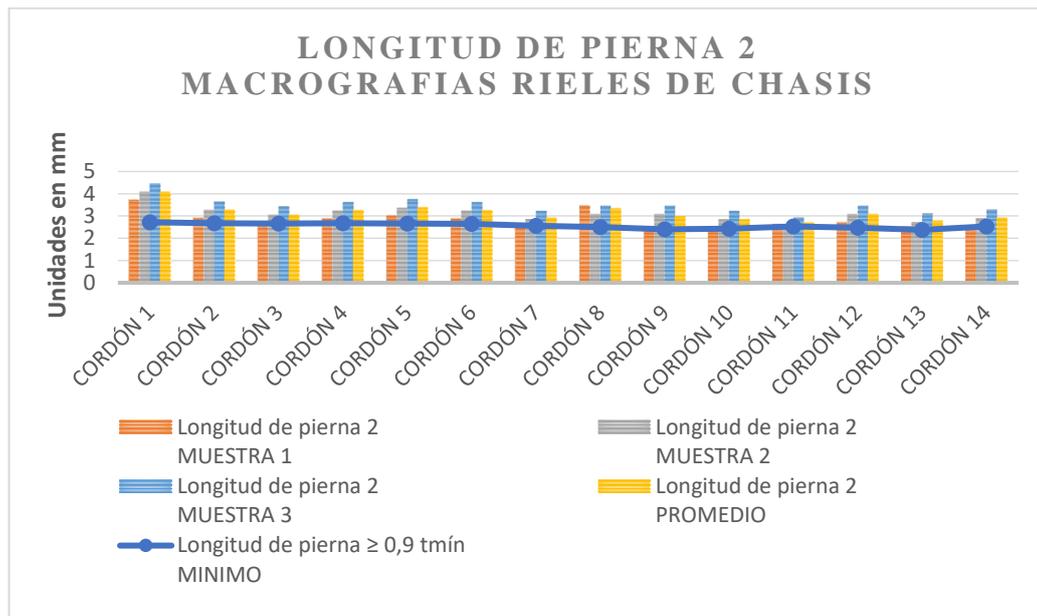


Gráfica 2. Longitud de Pierna 1 rieles de chasis

Elaborado por: Víctor Places

La Gráfica 2, representa las mediciones de longitud de pierna que se describió como la medida desde la raíz de la soldadura al pie de la soldadura, donde hay evidencia de existir fusión entre el material base y el material aportante es un criterio importante básicamente relacionado por el ancho del cordón de soldadura el criterio de la norma para la aceptación de este parámetro describe que la longitud debe ser igual o mayor al 90% del espesor de la placa más delgada entre las unidas, en los cordones analizados en la rieles de chasis se dimensiona que supera ampliamente este parámetro en la mayoría de cordones en unos más que otros cordones.

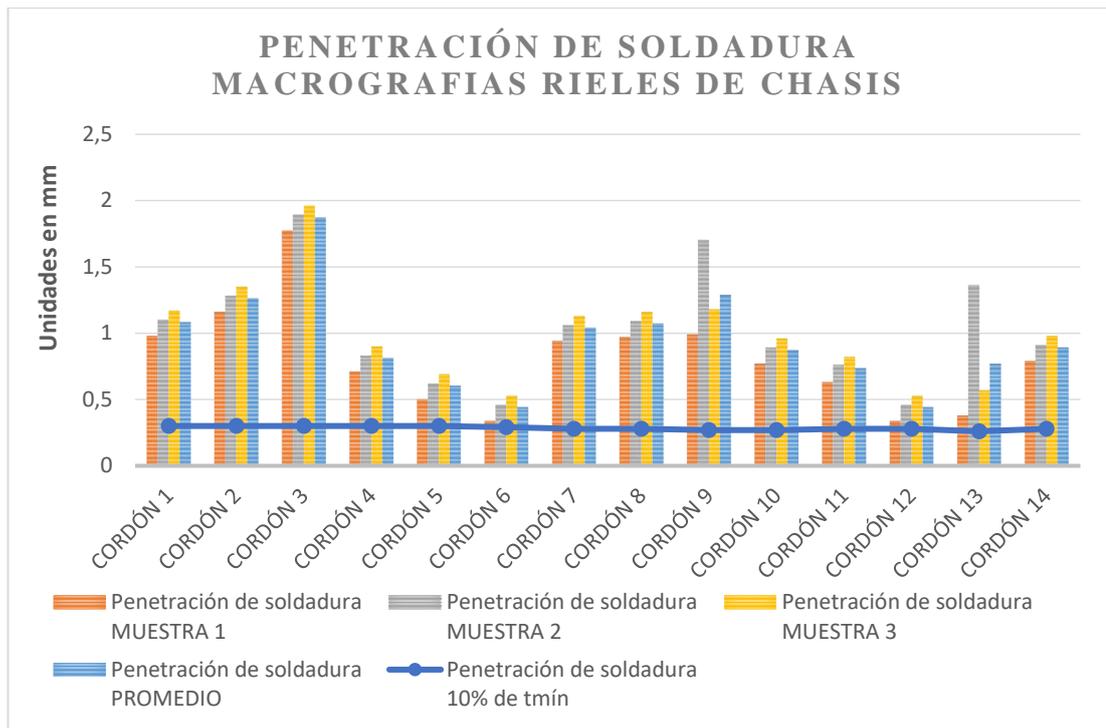
En el análisis realizado en el cordón a pesar de cumplir el criterio de la Norma GMW-14058 se puede concluir que están muy por encima de los mínimos requeridos cerca del 300% sobre el mínimo necesario para ser aprobado por lo que se podrían mejorar los parámetros del equipo utilizado y analizar las diferentes variables entre diámetro del material de aporte y la velocidad con la que sale el mismo en el proceso de soldadura.



Gráfica 3. Longitud de Pierna 2 rieles de chasis

Elaborado por: Víctor Places

El cordón de soldadura al aplicarse sobre dos caras o más que forma la unión de las placas o material soldado es necesario realizar la medición de longitud de pierna en cada cara como indica la Gráfica 3, la misma que tabula la longitud de pierna 2 en los ensayos realizados en los cordones de soldadura de las rieles de chasis donde se puede observar que el promedio de longitud de pierna está por arriba de la línea que representa el mínimo requerido por lo que todos los cordones analizados cumplen con este parámetro de la norma empleada para su estudio.



Gráfica 4. Penetración de soldadura rieles de chasis

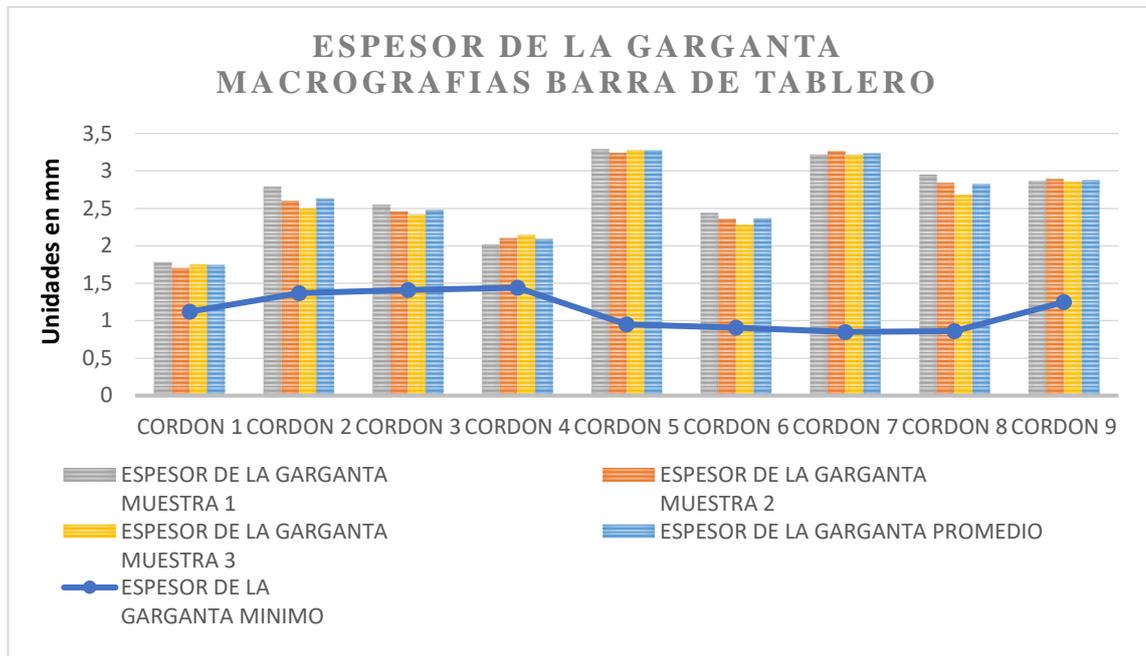
Elaborado por: Víctor Places

La profundidad de la Fusión de soldadura conocida como penetración de soldadura representada en la Gráfica 4, esta es uno de los principales factores por el que se realiza este tipo de ensayos ya que del mismo se puede concluir diferentes características y analizar la calidad del cordón de soldadura y si será óptimo en las funciones que va a desempeñar esta unión, en la industria de autopartes este parámetro según la norma técnica la longitud de penetración debe ser de mínimo el 10% del espesor del material mínimo utilizado.

En la Tabla se observa que todos los cordones cumplen al estar sobre la línea que representa el mínimo requerido para la aprobación.

En el cordón N°3 se nota que existe un exceso de penetración del cual se podría realizar un análisis extra para obtener los elementos que influyeron en que este muy por encima del mínimo la norma no estipula valores máximos mientras estos no afecten la funcionalidad de las partes por lo que la penetración de soldadura en los rieles de chasis analizadas cumple con este parámetro estipulado en la Norma GMW-14058.

4.6.2 Tabla de parámetros evaluados en los cordones de soldadura de la barra de tablero

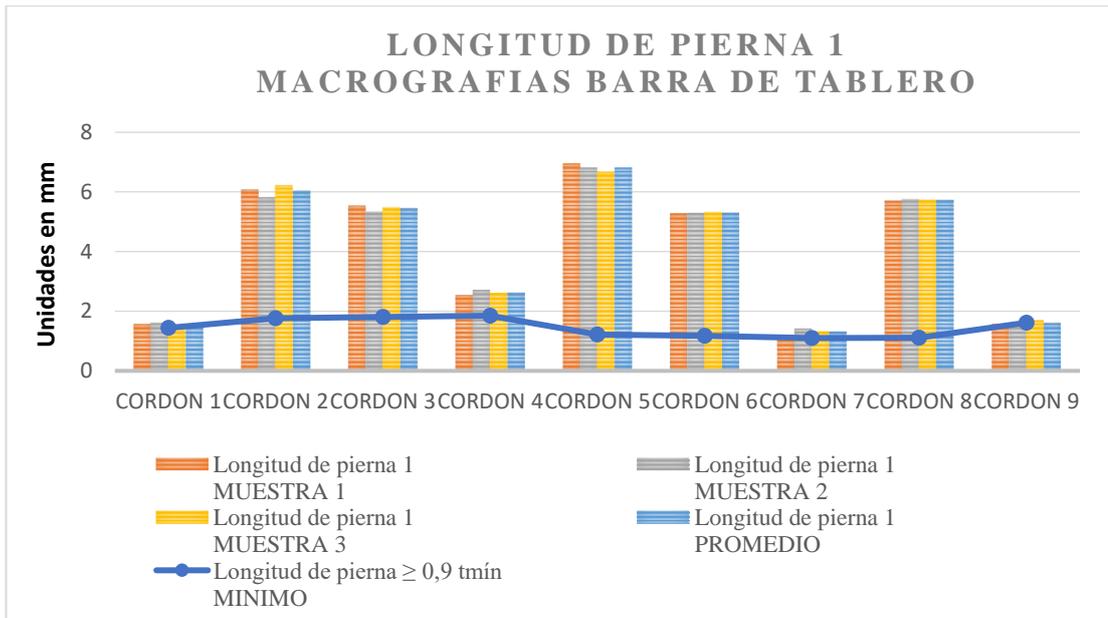


Gráfica 5. Espesor de la garganta barra de tablero

Elaborado por: Víctor Places

En la Gráfico 5, obtenido a través de la tabulación de datos del espesor de garganta medidos en los cordones de soldadura del conjunto de elementos y piezas denominado barra de tablero, se observa que todos los cordones analizados están por encima del mínimo requerido para la aprobación manteniéndose en un promedio de 1,12 mm como longitud del espesor de garganta siendo este el 70% del espesor del material más delgado donde los diferentes partes que forman este conjunto de partes está fabricado de diferentes materiales con diversos espesores, en esta autoparte los parámetros son menores en longitud en comparación a los parámetros de las rieles de chasis debido a que es directamente proporcional al espesor de los materiales empleados en la rieles.

Los espesores de la lámina de acero en la fabricación de brackets que componen la barra de tablero van desde 1,1mm a 2mm.

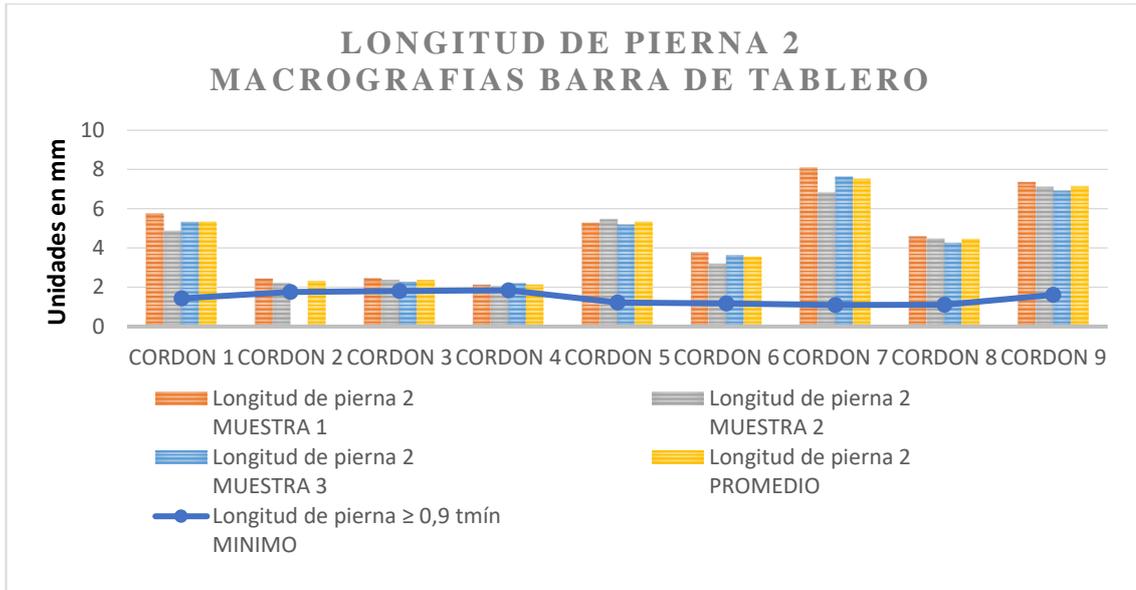


Gráfica 6. Longitud de Pierna 1 barra de tablero

Elaborado por: Víctor Places

Las longitudes tabuladas muestran que los parámetros de longitud de pierna se superan al mínimo requerido por lo que cumplen para obtener la aprobación según los parámetros establecido por la Norma.

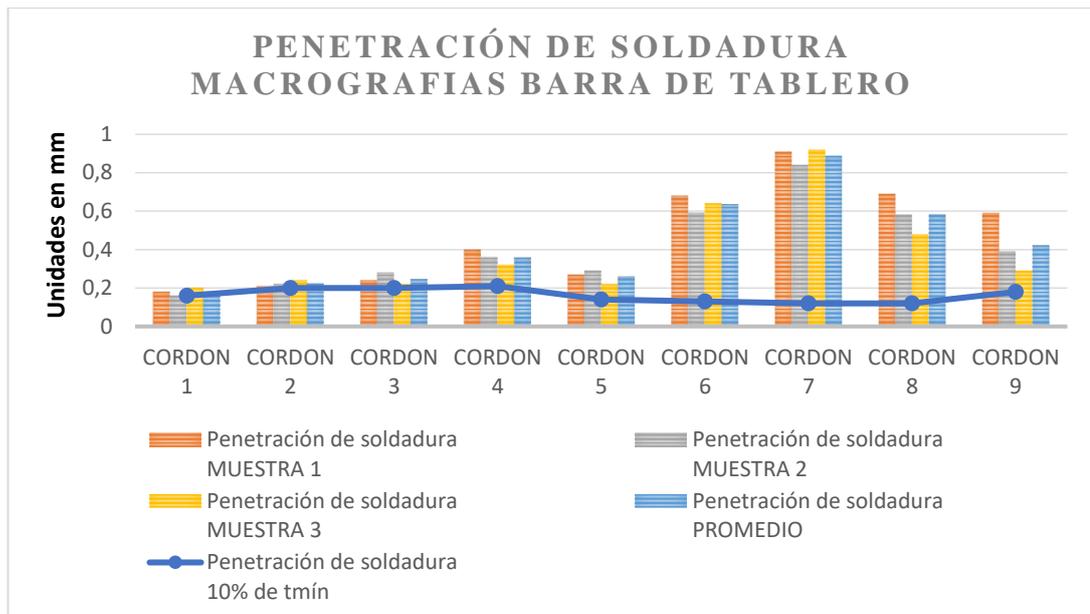
El cordón N°5 denominado bracket airbag 1Lh supera el en 4 veces al mínimo requerido para la aprobación y otros cordones como el N°9 perteneciente al subensamble lateral RH supera con el 5% al mínimo requerido, pero cumple con los criterios de aprobación.



Gráfica 7. Longitud de Pierna 2 barra de tablero

Elaborado por: Víctor Places

La longitud de pierna 2 tiene relación con la longitud de pierna 1 como podemos ver el cordón N°7 se dispara mientras que la Figura 58, se observa que el mismo punto supera levemente el mínimo requerido lo que se puede concluir que se puede mejorar la ubicación del cordón de soldadura para que el mismo quede centrado entre las paredes que albergan al cordón sin embargo como se detalla por los datos tabulados en la gráfica que observa que todos los cordones analizados superan la línea que representa el mínimo por tal motivo los resultados cumplen los criterios de aprobación en la evaluación de este parámetro.



Gráfica 8. Penetración de soldadura barra de tablero

Elaborado por: Víctor Places

La penetración de la soldadura es primordial en este subensamble de elementos que conforman la barra de tablero debido que es el encargado de colocar y anclar diferentes elementos en un vehículo como en este caso los cordones N°5 al N°8 estos cuatro cordones tienen relación directa en la seguridad del vehículo debido a que estos cordones son los que unen los bracket que posicionan los airbag en un vehículo para el conductor y el pasajero delantero, por lo que es importante que cumplan como una sujeción adecuada mediante los cordones de soldadura que garantice su funcionalidad con el transcurso del tiempo.

Se observa que estos puntos superan ampliamente el rango de aceptabilidad por lo que se garantiza que su rendimiento será óptimo.

El cordón N°7, se observa que tiene un exceso de penetración de soldadura el cual mientras no afecte su funcionalidad no contempla un máximo en la norma GMW-14058 sin embargo con estos resultados se podría analizar con parámetros del equipo y operario que influyen en este resultado.

Los parámetros de grietas y porosidad que también pide sean medibles por la norma GMW-14058 al tener rangos mínimos de aceptación fueron ausentes, tanto en los

análisis macrográfico realizados a los 14 cordones de las riles de chasis y a los 9 cordones de la barra de tablero en las diferentes muestras utilizadas para la aplicación del ensayo destructivo lo que es positivo debido a que estos parámetros describen o representan una mala calidad de soldadura la cual afectaría la funcionalidad de las uniones con un desgaste prematuro de las uniones.

4.6.3 Evaluación en puntos críticos de la barra de tablero

Todas las uniones de soldadura de los ensambles de las autopartes tales como los rieles de chasis y la barra de tablero deben aprobar con los criterios de aceptación de la Norma técnica GMW-14058.

En la barra de tablero existe puntos críticos en los cuales aparte de garantizar la posición de estos para un adecuado ensamble con los demás componentes del vehículo intervienen en funciones de suma importancia, tales como los brackets que son los encargados de sujetar a los airbags para el conductor y el copiloto los cuales deben tener una unión por soldadura adecuada para que de ocurrir un accidente estos respondan adecuadamente para la función que fueron creados.

En las siguientes gráficas evaluamos los siguientes parámetros especificados por la norma entre los cuales están los siguientes.

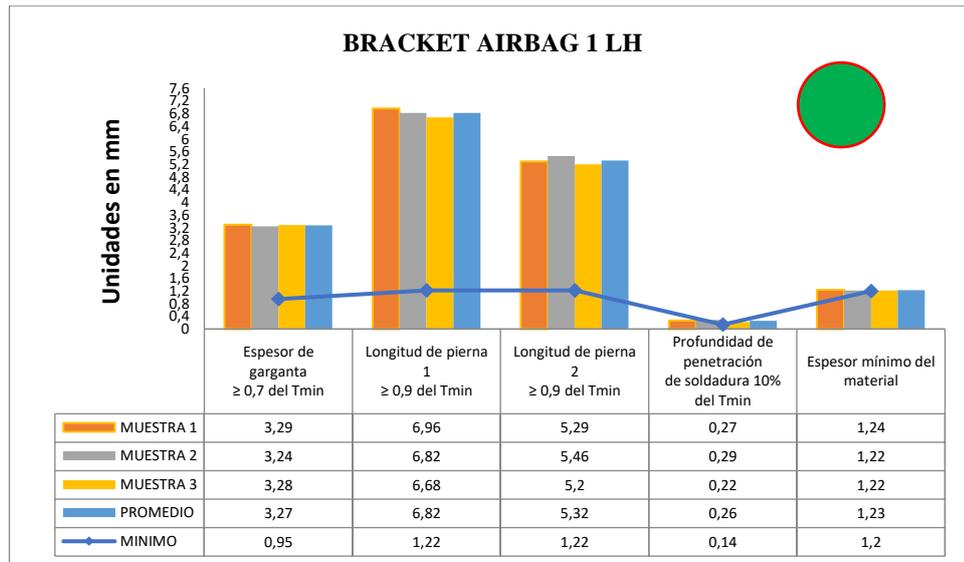
Donde:

L1= espesor de garganta $\geq 0,7$ del T_{min}

L2 y L3= Longitud de pierna $\geq 0,9$ del T_{min}

L4= Profundidad de penetración de soldadura 10% del T_{min}

T_{min}=Espesor mínimo del material

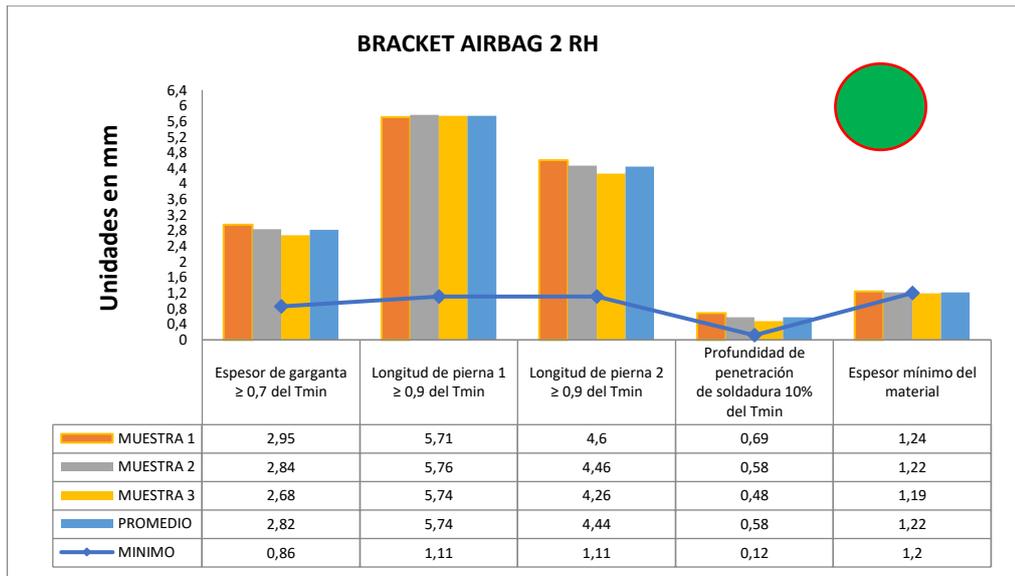


Gráfica 9. Evaluación de parámetros Bracket airbag 1 LH

Elaborado por: Víctor Places

La Gráfica 9, muestra los resultados tabulados indica los parámetros controlados mediante macrografía estipulados por la Norma GMW-14058 en una solo pieza denominado bracket airbag 1 LH, en esta se observa que estos parámetros superan el mínimo requerido por la norma para estar en los rangos de aprobación.

En la Gráfica 9, se observa que el parámetro de mayor longitud es el espesor de garganta y la longitud de pierna 1, estos superan en casi el 100% del mínimo requerido el cuál se podría controlar de mejor manera y analizar los elementos que influyen en estos parámetros y como corregirlos para tener un mejor aprovechamiento del material de aporte y el rendimiento del equipo de soldadura.



Gráfica 10. Evaluación de parámetros Bracket airbag 1 RH

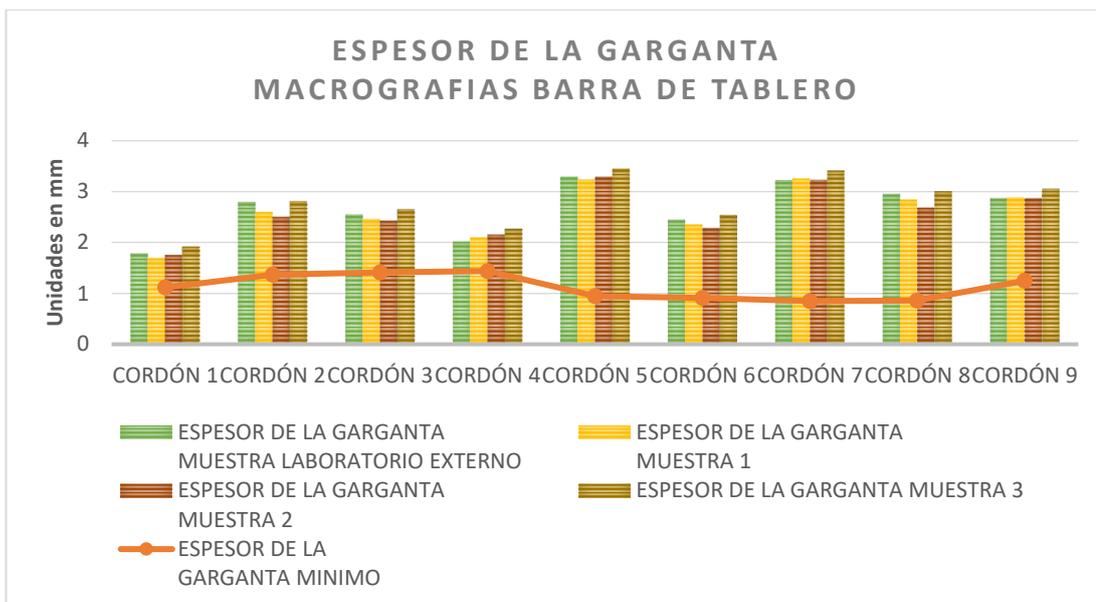
Elaborado por: Víctor Places

En la Gráfica 10, recopila los datos obtenidos en el cordón de soldadura perteneciente al bracket airbag 1RH los cuales mantienen la tendencia descrita por la figura donde se distingue que estos dos parámetros evaluados se mantienen muy por encima del mínimo lo cual como se detalla en el análisis de la norma no existen máximos siempre y cuando estos no influyan con otros aspectos, ya sean visuales y de funcionamiento de las autopartes.

Es importante llevar un resultado grafico del análisis para facilitar su comprensión y notar los posibles parámetros que se podrían mantenerlos o mejorarlos para tener una mejor eficiencia y garantizar productos automotrices de calidad.

4.7 Comparación de resultados internos contrastados con los de un laboratorio externo

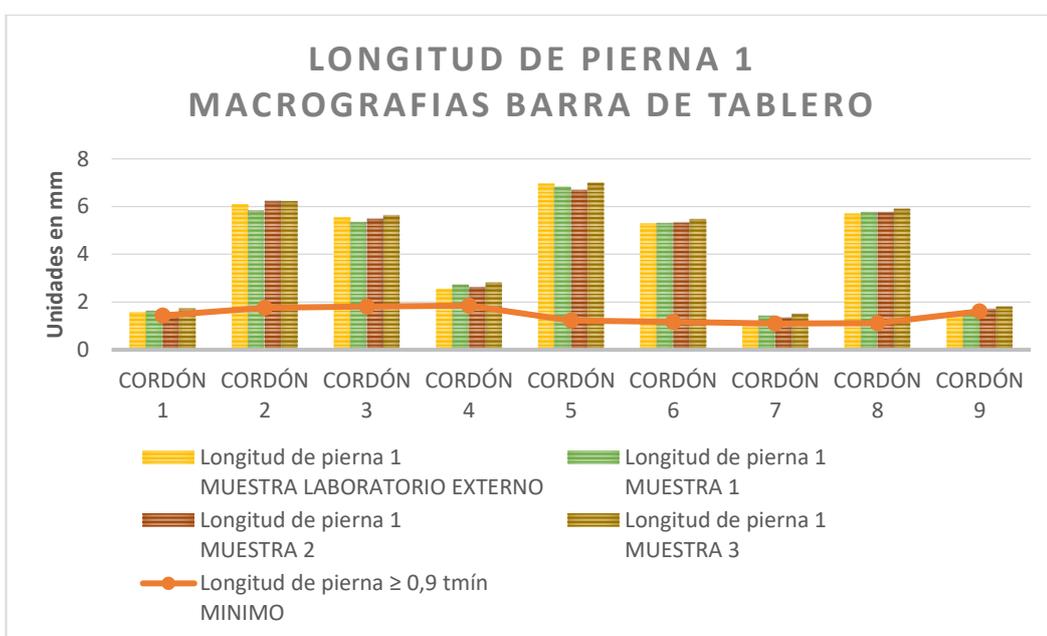
Los ensayos metalográficos se realiza en un laboratorio externo, por lo cual la empresa decidió ampliar en alcance de su laboratorio interno incluyendo como método de control ensayos metalográficos para determinar la calidad de soldadura contrastado con los parámetros de la Norma GMW-14058, por lo que en esta parte se aplica un análisis de la diferencia obtenida entre resultados del laboratorio interno con los entregados por el laboratorio externo en las mismas zonas de rieles de chasis y barra de tablero.



Gráfica 11. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida del espesor de garganta

Elaborado por: Víctor Places

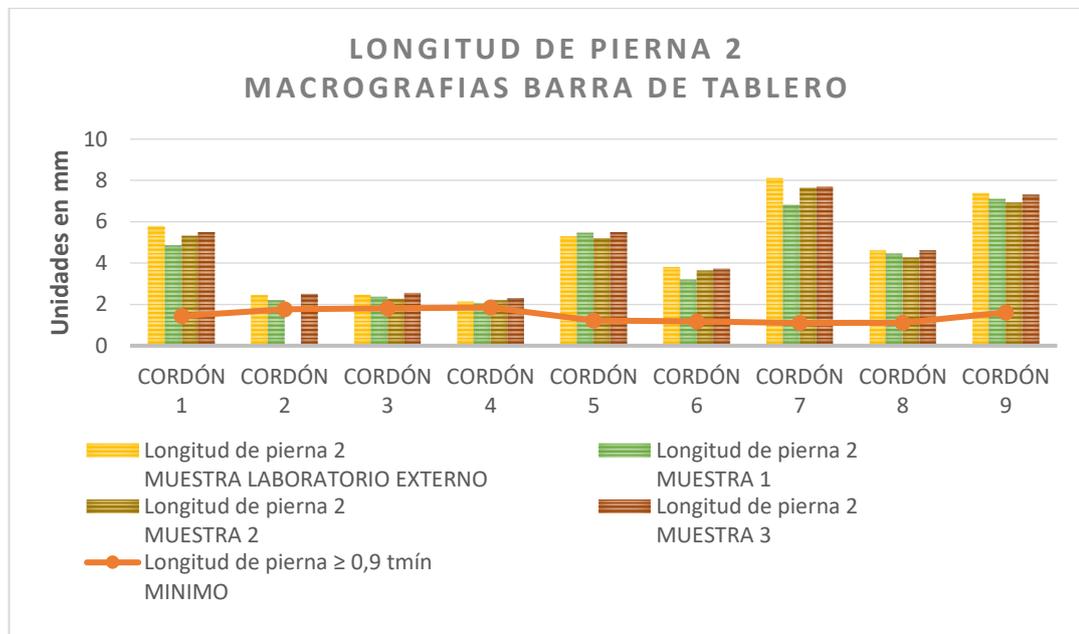
En la Gráfica 11, compara los resultados obtenidos con respecto al espesor de garganta donde la columna verde marca la medida obtenida en el laboratorio externo y la columna amarilla, roja y dorada representan las tres muestras analizadas en el laboratorio interno.



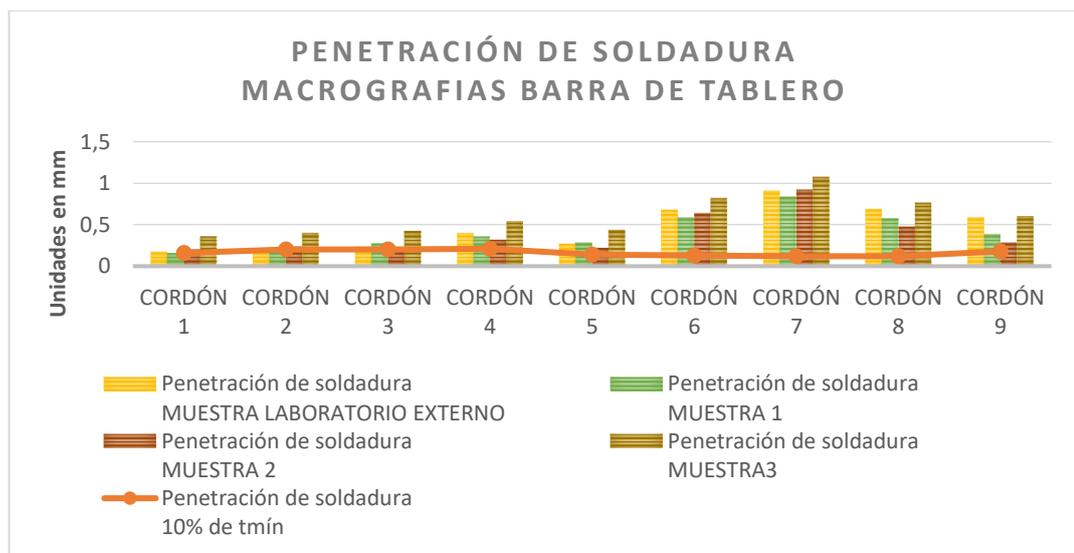
Gráfica 12. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida de la longitud de pierna 1

Elaborado por: Víctor Places

En la Gráfica 12 y Gráfica 13, representa los resultados obtenidos con respecto a la longitud de pierna 1 y longitud de pierna 2, donde la columna verde marca la medida obtenida en el laboratorio externo y la columna amarilla, roja y dorada representan las tres muestras analizadas en el laboratorio interno.



Gráfica 13. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida de la longitud de pierna 2
Elaborado por: Víctor Places



Gráfica 14. Comparación de resultados del laboratorio interno con laboratorio externo medida de la penetración de soldadura
Elaborado por: Víctor Places

En la Gráfica 14, detalla los resultados obtenidos con respecto penetración de soldadura, donde el resultado obtenido del laboratorio externo comparada con el laboratorio interno no tiene una diferencia mayor al 10%, esto se debe a que la preparación de la probeta fue similar con la aplicación de normas técnicas.

4.8 Costos

Tabla 23: Costos del Producto para los Ensayos Destructivos.

PRODUCTO	COSTO [USD]	CANTIDAD	TOTAL [USD]
RIEL POSTERIOR	55,00	3	165,00
RIEL DELANTERA	76,00	3	228,00
RIEL CENTRAL	18,00	3	54,00
BARRA DE TABLERO	90,00	3	270,00
		TOTAL	717,00

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 24: Costos de Equipo y Materiales.

EQUIPO Y MATERIAL	COSTO [USD]	CANTIDAD	TOTAL [USD]
BANCO DE DESBASTE Y PULIDO	350,00	1	350,00
AMOLADORA	130,00	1	130,00
ENTENALLA DE BANCO	75,00	1	75,00
MICROSCOPIO DIGITAL	80,00	1	80,00
PAPEL ABRASIVO	1,20	20	24,00
DISCOS DE CORTE	2,50	10	25,00
NITAL (alcohol y ácido nítrico)	18,00	1	18,00
NORMAS TÉCNICAS ACTUALIZADAS	92,00	1	92,00
		TOTAL	794,00

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 25: Costos Externos.

PARAMETROS	COSTO [USD]	CANTIDAD	TOTAL [USD]
TRASPORTE	10,00	2	20,00
LABORATORIO EXTERNO	30,00	23	690,00
		TOTAL	710,00

Elaborado por: Víctor Places

Tabla 26. Costo Total.

	COSTO [USD]
PRODUCTOS	717,00
EQUIPOS Y MATERIALES	794,00
LABORATORIO EXTERNO	710,00
COSTO TOTAL	2221,00

Elaborado por: Víctor Places

Después de varios ensayos destructivos así de como de varias configuraciones del equipo el costo que se empleó en el estudio del “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PENETRACIÓN DE SOLDADURA GMAW MEDIANTE ENSAYOS METALGRÁFICOS EN AUTOPARTES RIELES DE CHASIS Y BARRA DE TABLERO PRODUCIDOS POR LA EMPRESA METALTRONIC S. A.” es de un aproximado de 2.221 dólares, pero como se planea realizar 3 veces al año el costo real seria de 6.663 dólares, estos costos incluyen el valor de laboratorios tanto internos y externos. Así pues, también se toma el costo del material otorgado por la empresa METALTRONIC S.A. como se detalla en las Tablas 23, 24, 25, y 25.

4.9 Análisis financiero del proyecto

4.9.1 Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es un parámetro de inversión que se basa en actualizar los cobros y pagos de un proyecto, teniendo presente la inversión para saber la cantidad

que se va a ganar o perder con esa inversión y se calcula aplicando la ecuación (1). De la misma manera se tiene como Valor neto actual (VNA), al valor actualizado neto o valor presente neto (VPN).

$$VAN = I_0 + \sum_{\Omega=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^\Omega} \quad (1)$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial.

Ω : Períodos.

n : Número de períodos.

F_t : Flujos de dinero en cada periodo.

i : Interés para la inversión

Tabla 27. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) al 5%.

AÑO	FNE [USD]	Flujo Activo [USD]
0	-4380,00	-4380
1	2950,00	2809,52
2	1500,00	1360,54
3	800,00	691,07
4	800,00	658,16
5	800,00	626,82
	VAN	1766,12

Elaborado por: Víctor Places

Se obtiene un valor positivo en el VAN para el periodo estipulado, el cual es un indicador que representa que va a existir ganancias en este periodo de tiempo.

4.9.2 Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno o por sus siglas TIR, proporciona el conocimiento sobre la viabilidad de realizar una inversión en un tipo de negocio, teniendo presente otras posibilidades de inversión de menor riesgo. La TIR es un porcentaje que es medible sobre la viabilidad de un proyecto o empresa, calculando la rentabilidad de los cobros y pagos actualizados obtenidos por una inversión.

Tabla 28: Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

AÑO	FNE [USD]	Flujo Acumulado [USD]
0	-4380,00	-4380,00
1	2950,00	-1430,00
2	1500,00	70,00
3	800,00	870,00
4	800,00	1670,00
5	800,00	2470,00
TIR		24.08%

Elaborado por: Víctor Places

4.9.3 Período de recuperación de la inversión (PRI)

El lapso de tiempo de recuperación de inversión denominado “payback period” es un parámetro que calcula el tiempo que se tardara para que retorne el dinero de la inversión inicial del proyecto, el cual se obtiene mediante la aplicación de la Ecuación (2).

Donde:

N: Número de meses donde se presentó flujo negativo.

FA: Flujo acumulado de N.

FT: Flujo acumulado total.

$$PRI = N + \frac{|FA|}{FT} \quad (2)$$

$$PRI = 2 + \frac{|-1430|}{2470} = 2.578 \text{ años} \approx 3 \text{ años}$$

El periodo de recuperación de la inversión será de 3 años, donde la suma del TIR hasta ese momento entrega un flujo positivo de 870,00 USD.

Teniendo presente que en la industria automotriz al ser cambiante un modelo de vehículo y por ende sus autopartes tiene la proyección de durar de 5 a 8 años. Por lo que el VAN y el TIR se lo hace para un periodo de 5 años que es mínimo que durará la autoparte.

El valor que ahorra la Empresa será mayor debido a que al también al ser fabricante de otras autopartes y motopartes este ensayo es aplicable para estos componentes también, en el cuál al contar con los equipos y los demás elementos el ensayo metalográfico se lo realizará en las propias instalaciones de la empresa lo que implica mejor manejo de los recursos económicos y a la vez permite incrementar la frecuencia con la que se realiza el ensayo para mantener un adecuado control de la calidad de los productos realizados.

CONCLUSIONES

- Los ensayos metalográficos, actualmente, son realizados en un laboratorio externo y tienen un costo aproximado de 30USD, por cada probeta analizada, el tiempo de entrega de resultados varía entre 3 a 7 días, por este inconveniente se decidió ampliar el alcance del laboratorio interno de la empresa incluyendo los ensayos metalográficos como método de evaluación.
- Se estandarizó el proceso para realizar los ensayos metalográficos, mediante la creación del instructivo de ensayos metalográficos con código IV2-25, el mismo que es de manejo interno de la empresa, en el cual detalla los cordones a ser evaluados, aplicación de métodos técnicos descritos en la norma ASTM E3-11 en complemento con la norma ASTM E-340 y obtención de resultados mediante la norma GMW-14058.
- Se evaluó los resultados obtenidos del análisis metalográfico los cuales muestran que el 100% de los cordones analizados cumplen los estándares mínimos de aprobación de la norma GMW-14058, donde existe la variación de parámetros que superan al mínimo necesario de aprobación hasta en un 500%, lo que en unidades es de alrededor de 4 mm, por lo que se debe analizar y controlar los parámetros del equipo de soldadura.
- Los resultados obtenidos en los análisis y los criterios de la norma especificados en la norma GMW-14058, muestran que existe relación directa con el espesor del material que es soldado, la penetración de soldadura en la barra de tablero en promedio supera al especificado en la norma en un 15% que representa una penetración adicional de 0,2 mm y en los rieles de chasis supera en promedio el 50% con una penetración adicional de 0,6 mm.
- Con la tabulación de los resultados se concluye que existe diferencias entre cada parámetro evaluado de cada probeta obtenida de la misma sección, los cuales tienen una variación de entre en 3% al 8% en cada parámetro, esto se debe a cambio en parámetros de soldadura y habilidades del operario.

- Los resultados son equivalentes a los de en un laboratorio externo, debido a que se utilizó normas técnicas como la GMW-14058 para contrastar los resultados y se aplicó los criterios de las normas ASTM E3-11 Y ASTM E-340, en la cual la variación de los ensayos internos con los externos en un 90% de los cordones analizados no supera en 10% de diferencia entre los parámetros evaluados.
- El costo y el tiempo de entrega se redujo en 300%, en comparación al laboratorio externo.

RECOMENDACIONES

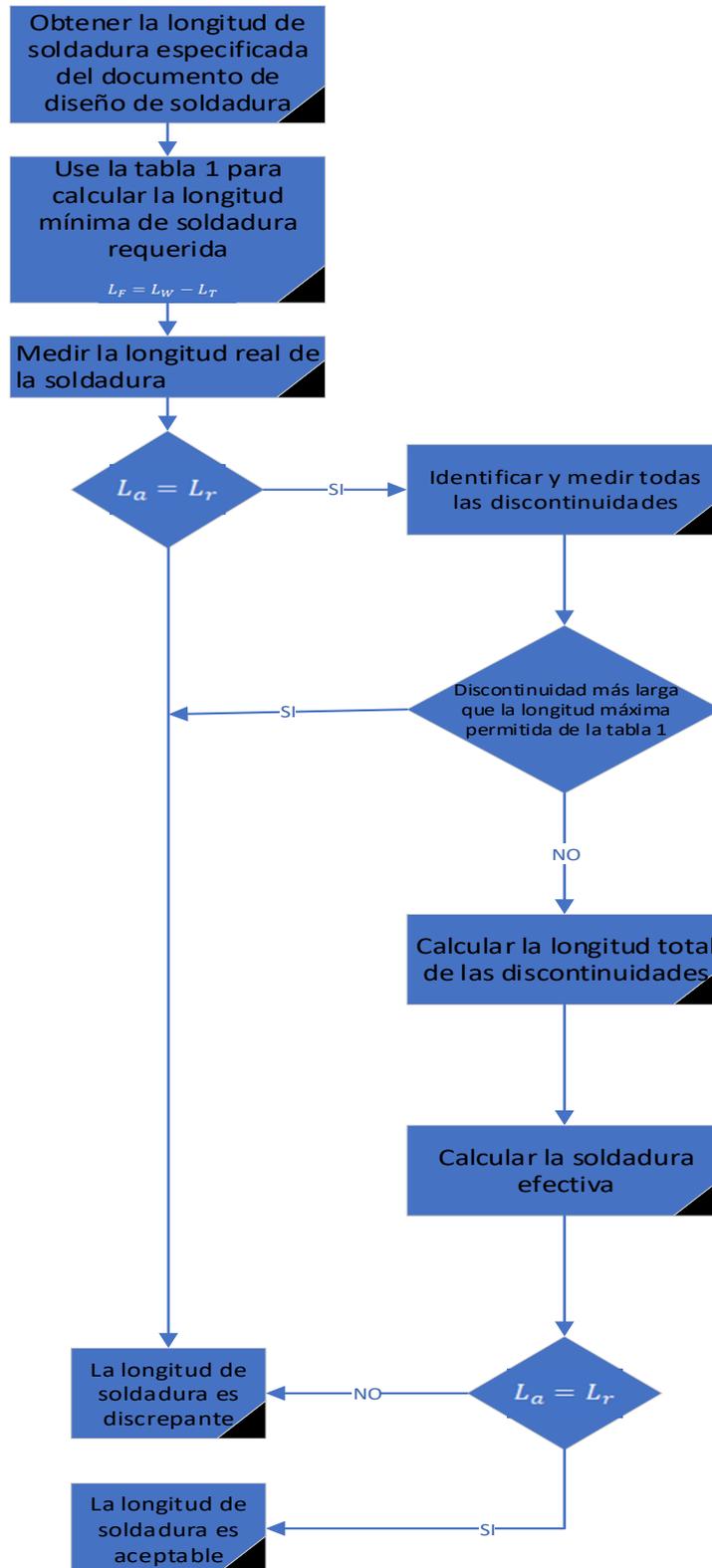
- Debido a que los costos y tiempos de los ensayos metalográficos reducen drásticamente se puede incrementar la frecuencia del análisis y aplicarlo a otras autopartes y moto partes fabricadas en la empresa o incrementando la frecuencia de este tipo de ensayos para garantizar la calidad del producto.
- Se recomienda analizar las razones por las cuales varía las dimensiones de cada parámetro, evaluando que tiene una mayor incidencia sea del equipo de soldadura utilizado o las habilidades del operador.
- Debido a la extensión del alcance del laboratorio interno se recomienda realizar el análisis económico y técnico para certificar el laboratorio por un ente de control para realizar ensayos metalográficos certificados.

BIBLIOGRAFÍA

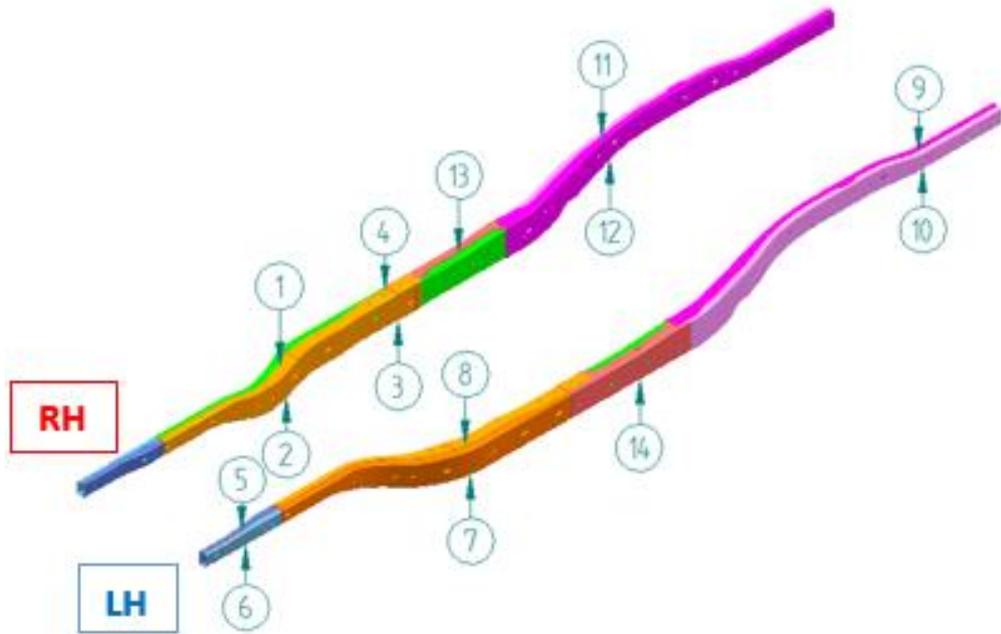
- [1] AWS, “AWS D1.1 STRUCTURAL WELDING - STEEL,” 2019. [Online]. Available: <https://www.aws.org/certification/detail/aws-d11-structural-welding-steel>.
- [2] Mipsa, “Mipsa expertos procesando metales,” 03, 2019. [Online]. Available: <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Soldadura-GMAW>.
- [3] C. Llano Uribe, “Soldadura G.M.A.W - MIG/MAG,” pp. 18–25, 2014.
- [4] ASTM, “Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens,” 2017. [Online]. Available: <https://www.astm.org/Standards/E3>.
- [5] A. H. Committee, *Metallography and Microstructures*. 2004.
- [6] Ingeniería Metaltronic S.A, “Autopartes locales,” Quito, 2018.
- [7] M. Specification, “WORLDWIDE ENGINEERING Weld Acceptance Criteria and Repair Methods : Arc Welded and Arc Brazed Joints,” 2019.
- [8] E. Telegrafo, “Las empresas autopartistas trabajan a medio gas,” 2018. [Online]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/empresas-autopartistas-ecuador>.
- [9] IATF, “www.en-standard.eu,” 2016. [Online]. Available: https://www.en-standard.eu/iatf-16949-2016-quality-management-system-for-organizations-in-the-automotive-industry/?gclid=EAIaIQobChMI6o-ek-iS4QIVwR-GCh1Y7A6FEAAAYASAAEgINiPD_BwE.
- [10] M. S.A., “Metaltronic S.A.,” 05, 2017. [Online]. Available: <http://www.metaltronic.com.ec/>.
- [11] Soldexa, “Smaw Contenido General.”
- [12] O. Rodríguez, *Metalurgia de la soldadura*. Editorial Universitaria, 2013.
- [13] E. P. Soldador, “Historia de la Soldadura Soldadura Por Forja : Usos y,” *Coloq. Chil. Sold. Hist.*, pp. 1–10, 2015.
- [14] U. P. O. R. Soldadura, “Uniones por soldadura 30 2.1. SOLDADURA AUTOGENA,” pp. 29–56.
- [15] G. M. Company, “GMW-14058 Weld Acceptance Criteria and Repair Methods,” [1] G. M. Company, “GMW-14058 Weld Acceptance Criteria and Repair Methods,” 2018., 2018.
- [16] “Departamento de Formación Lincoln-KD, S.A.”

- [17] I. A. Ibrahim, S. A. Mohamat, A. Amir, and A. Ghalib, “The effect of Gas Metal Arc Welding (GMAW) processes on different welding parameters,” *Procedia Eng.*, vol. 41, no. Iris, pp. 1502–1506, 2012.
- [18] “Penetration and Defect Formation in High-Current Arc Welding,” no. October, pp. 296–306, 2003.
- [19] D. R. & P. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 2016.
- [20] W. . Callister, *Materials science and engineering*. 2007.
- [21] A. P. Guliáev, “ecured Metalografía,” 2016. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Metalografía>.
- [22] ILPM, “No Title,” 2019. [Online]. Available: <http://www.ilpm-ec.com/web/index.php/servicios/inspeccion-de-soldadura>.
- [23] ASTM International, “ASTM E3-11(2017) Preparation of Metallographic Specimens 1,” *Area*, vol. 03, no. July, pp. 1–17, 2001.
- [24] Escuela Colombiana De Ingenieros, “Metalografía Protocolo,” *Met. Protoc.*, vol. 2, no. 1, p. 22, 2011.
- [25] ASTM International, “ASTM E340-15. Standard Practice for Macroetching Metals and Alloys,” *Annu. B. ASTM Stand.*, pp. 1–11, 2016.

Anexo 2. Diagrama de flujo de aceptabilidad de soldadura [23]

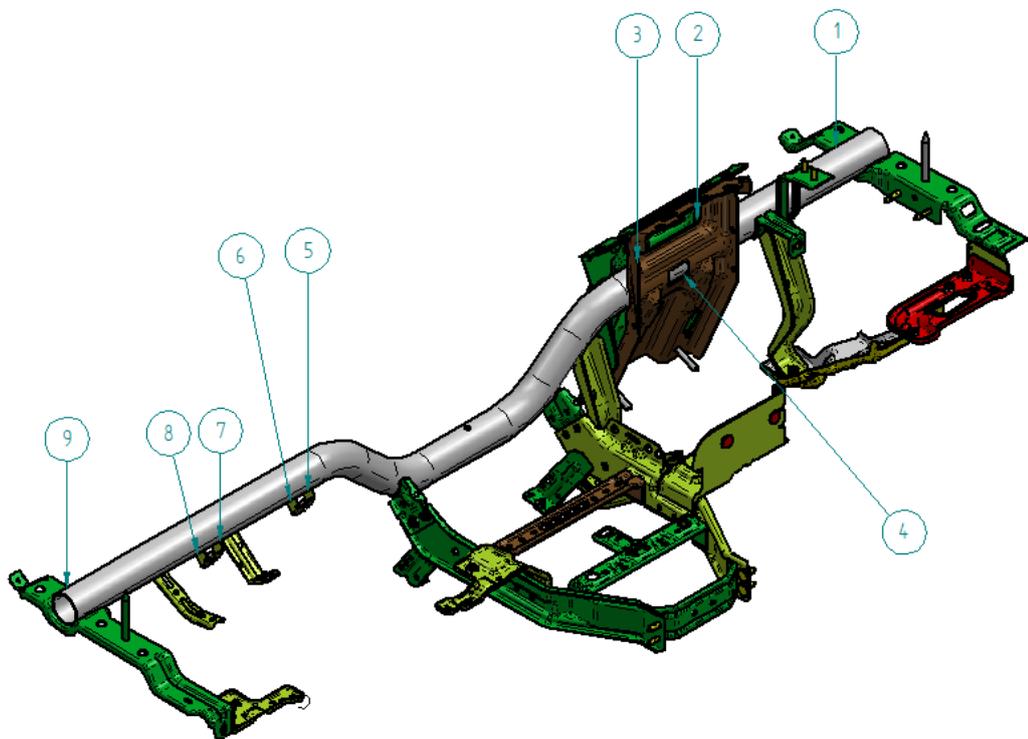


Anexo 3. Lugar referencial de cordones de evaluación en rieles de chasis



Elaborado por: Víctor Places

Anexo 4. Lugar referencial de cordones de evaluación en la barra de tablero



Elaborado por: Víctor Places

Anexo 5. Adaptación de equipo metalográfico



Elaborado por: Víctor Places

Anexo 6. Extracción de probetas



Elaborado por: Víctor Places

Anexo 7. Selección de productos a evaluarse.



Elaborado por: Víctor Places