



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARACTERIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA APERTURA DEL ÁNGULO DE SOLDADURA, EN EL DEPÓSITO DE LA CAPA DE GALVANIZADO SOBRE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

YORMAN RENATO SANTANA YÉPEZ

yorman.santana@epn.edu.ec

DIRECTOR: CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE

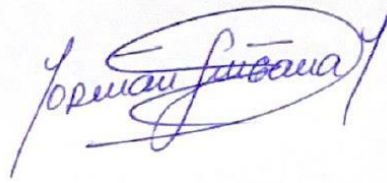
carlos.diaz@epn.edu.ec

DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

FEBRERO - 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Yorman Renato Santana Yépez declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



Yorman Renato Santana Yépez

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Yorman Renato Santana Yépez, bajo mi supervisión.

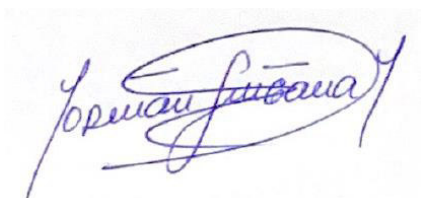


Ing. Carlos Wime Díaz Campoverde

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmo que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto, las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.



Yorman Renato Santana Yépez



Ing. Carlos Wime Díaz Campoverde

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres y mi hermana, quienes me motivan a mejorar cada día; de manera similar al resto de mi familia, sin los cuales no estaría en el lugar y momento en el que me encuentro.

Dedicar también este trabajo a todos aquellos que esperaron ver que lo culmine y a quienes por azares del destino no pueden compartir estos gratos momentos junto a mí, pero que nunca han desaparecen de mis pensamientos.

Yorman Renato Santana Yépez

AGRADECIMIENTO

De manera especial, agradezco a mis padres, Francisco y Tania por todo el apoyo y la guía brindados, su perseverancia en que me convierta en profesional ha dado sus frutos; a mi hermana Misshelly, que supo darme su opinión en aquellas decisiones tomadas a lo largo de la realización de este trabajo, esos comentarios hicieron una diferencia.

Al culminar esta etapa debo agradecer a mi familia; a mis abuelos Alberto y Silvia, Carlos y Gloria; a todos mis tíos, tías, primos y primas; a mis padrinos, con sus buenos deseos y consejos hicieron que mi estancia lejos de casa tenga un propósito.

Agradecerles a mis amigos, a todos; no sería justo nombrarlos ya que la premura de este momento haría que deje de lado a alguien sin merecerlo. Son todos ustedes quienes me han acompañado en clases, paseos, fiestas, campeonatos, momentos buenos y malos a lo largo de estos años, y por ello, siempre contarán con mi gratitud. A la Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería Mecánica; de no haber ingresado, a la mejor facultad del mundo, no habría logrado lo que tengo, no habría conocido a todas esas increíbles personas que pude conocer, no sería la persona que soy.

Por último, y no menos importante, quiero agradecerme a mí; a pesar de todo lo vivido, he sido capaz de mantenerme y terminar esta etapa.

Yorman Renato Santana Yépez

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. CARACTERIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA APERTURA DEL ÁNGULO DE SOLDADURA, EN EL DEPÓSITO DE LA CAPA DE GALVANIZADO SOBRE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE.....	4
1.4 MARCO TEÓRICO	4
1.4.1 GENERALIDADES.	4
1.4.2 ACEROS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES ESTRUCTURALES.	5
1.4.3 ASTM A36	6
1.4.4 FABRICACIÓN DE PERFILES ANGULARES	8
1.4.5 PROCESO DE SOLDADURA GMAW	8
1.4.6 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN.....	10
1.4.7 RECUBRIMIENTOS NO METÁLICOS.....	10
1.4.8 RECUBRIMIENTOS METÁLICOS.....	11
1.4.9 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE (H.D.G.)	12
1.4.10 FORMACIÓN DE LA CAPA DE GALVANIZADO	14
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL	16
2.1.1 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	16
2.1.2 ENSAYO DE TRACCIÓN	17
2.2 OBTENCIÓN DE PERFILES	19
2.3 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE	20
2.4 MEDICIÓN DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO.	22
2.4.1 ENSAYO DE EFRIAMIENTO BRUSCO	22

2.4.2	ENSAYO DE PULL-OFF	24
2.5	ANÁLISIS METALOGRÁFICO.....	27
2.6	ANÁLISIS DE MICRO DUREZAS	30
2.7	MEDICIÓN DE ESPESORES	31
2.8	MEDICIÓN DE RUGOSIDAD	32
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
3.1	RESULTADOS OBTENIDOS.....	33
3.1.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	33
3.1.2	ENSAYO DE TRACCIÓN	34
3.1.3	ENSAYO DE ENFRIAMIENTO BRUSCO.....	34
3.1.4	ENSAYO DE PULL OFF.....	36
3.1.5	ANÁLISIS METALOGRÁFICO Y MEDICIÓN DE ESPESORES DE LA CAPA DE GALVANIZADO	39
3.1.6	ENSAYO DE MICRO DUREZAS	43
3.1.7	MEDICIÓN DE RUGOSIDAD	46
3.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48
3.2.1	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE.....	48
3.2.2	ADHERENCIA DEL GALVANIZADO AL SUSTRATO DE ACERO	48
3.2.3	ANÁLISIS METALOGRÁFICO Y MEDICIÓN DE ESPESORES DEL RECUBRIMIENTO GALVANIZADO.....	49
3.2.4	MEDICIÓN DE MICRO DUREZAS	50
3.2.5	MEDICIÓN DE RUGOSIDAD	51
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
4.1	CONCLUSIONES.....	52
4.2	RECOMENDACIONES.....	53
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos de Tensión en aceros ASTM A36.	6
Tabla 2. Requerimientos de composición química en aceros ASTM A36.....	6
Tabla 3. Parámetros de espesor de galvanizado para placas de acero.	13
Tabla 4. Características de las fases hierro-cinc.	14
Tabla 5. Especificaciones del espectrómetro de chispa utilizado.	16
Tabla 6. Probetas generadas para el ensayo de tracción.....	17
Tabla 7. Especificaciones de la Máquina Universal de Ensayos utilizada.	18
Tabla 8. Dimensiones de las probetas tracción.	18
Tabla 9. Especificaciones del equipo de soldadura utilizado para el proceso de soldadura.	20
Tabla 10. Especificaciones del horno utilizado para el ensayo de Enfriamiento Brusco.	23
Tabla 11. Parámetros para el ensayo de Enfriamiento Brusco.....	23
Tabla 12. Especificaciones del medidor de adherencia utilizado.....	25
Tabla 13. Especificaciones del equipo utilizado para desbaste fino y pulido.	28
Tabla 14. Especificaciones del microscopio utilizado.	29
Tabla 15. Parámetros del proceso de desbaste.	29
Tabla 16. Parámetros del proceso de pulido.	30
Tabla 17. Especificaciones del durómetro Vickers.	30
Tabla 18. Especificaciones del Rugosímetro utilizado.....	32
Tabla 19. Denominación de la Muestra para Caracterización del Material	33
Tabla 20. Componentes presentes en la muestra del material base.	33
Tabla 21. Resultados del ensayo de tensión en probetas de material base.	34
Tabla 22. Resultados del pesaje en ensayo de Enfriamiento brusco.....	34
Tabla 23. Macros de probeta soldada a 45º.....	35
Tabla 24. Macros de probeta soldada a 90º.....	35
Tabla 25. Resultados del ensayo de pull off.....	36
Tabla 26. Probetas soldadas a 45º y sufrideras, después del ensayo de pull off.....	37
Tabla 27. Probetas soldadas a 90º y sufrideras, después del ensayo de pull off.....	38
Tabla 28. Probetas para ensayos metalográficos, medición de espesores y micro durezas.....	39

Tabla 29. Análisis metalográfico y medición de espesores de la probeta soldada a 45°.	39
Tabla 30. Análisis metalográfico y medición de espesores de la probeta soldada a 90°.	41
Tabla 31. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 45°.	44
Tabla 32. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 45°.	44
Tabla 33. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 90°.	45
Tabla 34. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 90°.	45
Tabla 35. Medición de rugosidad en perfil angular soldado a 45° y galvanizado.	46
Tabla 36. Medición de rugosidad en perfil angular soldado a 90° y galvanizado.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfiles más comunes encontrados en la industria.	4
Figura 2. Catálogo de perfiles importados.	5
Figura 3. Designación de los aceros según la ASTM.....	6
Figura 4. Diagrama Esfuerzo-Deformación para varias designaciones de acero estructural. 7	
Figura 5. Esquema general del proceso de soldadura GMAW.....	8
Figura 6. Diagrama del Galvanizado por Inmersión en Caliente.	13
Figura 7. Diagrama de flujo para efectuar ensayos.....	15
Figura 8. Dimensiones de la probeta M1, para Caracterización de Material.	16
Figura 9. Dimensiones de probeta para ensayo de tracción.	17
Figura 10. Posición de soldadura para obtención de perfiles angulares.	19
Figura 11. Perfiles Angulares Galvanizados por Inmersión en Caliente.....	21
Figura 12. Probetas para ensayo de enfriamiento brusco.....	22
Figura 13. Dimensiones de probetas para Enfriamiento brusco.....	22
Figura 14. Dimensiones de probetas para Pull Off.....	24
Figura 15. Pasta adhesiva utilizada para el ensayo de Pull-Off.	25
Figura 16. Probetas y sufrideras utilizadas en el ensayo de pull off.....	25
Figura 17. Conjunto Probeta-Pasta Adhesiva-Sufridera.....	26
Figura 18. Dimensiones de probetas para Análisis Metalográfico.....	27
Figura 19. Montaje de probetas galvanizadas, dentro de moldes para resina.....	27
Figura 20. Montaje de probetas para desbaste fino y pulido previo al análisis metalográfico.	28
Figura 21. Comparación de rugosidades en [μm], del perfil soldado a 45°.....	47
Figura 22. Comparación de rugosidades en [μm], del perfil soldado a 90°.....	47

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I. Informe Técnico: Espectrometría por Chispa	57
ANEXO II. Informe LAEV M21.026.....	60
ANEXO III. Informe de Adherencia.....	62
ANEXO IV. Informe de Rugosidad	64

RESUMEN

Este trabajo de investigación se desarrolla en torno a la influencia que ejerce el ángulo de apertura entre las placas de un perfil estructural tipo "L", y la capa de recubrimiento galvanizado que se deposita en dicha apertura. Para establecer la relación entre estos parámetros, se practicarán ensayos mecánicos y metalográficos sobre probetas extraídas de perfiles soldados a 45° y 90°, posteriormente galvanizados.

Para empezar, se catalogará la adherencia de la capa de recubrimiento mediante ensayos destructivos acorde a la norma INEN 950. Mediante el análisis metalográfico, se establecerá la incidencia de los parámetros del baño de galvanizado, sobre la microestructura y formación de las fases del recubrimiento galvanizado. La medición de espesores de la capa de recubrimiento, logrados en las zonas externa e interna del perfil angular, permitirán catalogar su concordancia con la norma ASTM A123.

El contenido de silicio es un factor importante, mismo que fue detectado en la composición química del material base, y tiene relación directa con la conformación de las fases del recubrimiento galvanizado, la micro dureza de las mismas, e incluso, la rugosidad superficial que se presenta en los perfiles angulares.

Los resultados serán comparados con investigaciones enfocadas en la en la capa de recubrimiento galvanizado, logrando establecer que mientras el ángulo de apertura entre placas de un perfil angular es menor, se compromete su preparación superficial previa al baño de galvanizado, lo cual dificulta y/o impide que la capa de cinc fundido logre adherirse a toda la superficie del elemento en cuestión.

Palabras clave: Perfil estructural, recubrimiento galvanizado, ensayos mecánicos, análisis metalográfico, fases del galvanizado, ángulo de apertura.

ABSTRACT

This research work is developed around the influence exerted by the opening angle between the plates of an "L" type structural profile, and the galvanized coating layer that is deposited in said opening. To establish the relationship between these parameters, mechanical and metallographic tests will be carried out on specimens extracted from profiles welded at 45° and 90°, subsequently galvanized.

Starting with the adhesion of the coating layer will be cataloged by means of destructive tests according to the INEN 950 standard. Through the metallographic analysis, the incidence of the parameters of the galvanizing bath will be established, on the microstructure and formation of the phases of the galvanized coating. The measurement of the thickness of the coating layer, achieved in the external and internal zones of the angular profile, will allow cataloging its concordance with the ASTM A123 standard.

The silicon content is an important factor, which was detected in the chemical composition of the base material, and is directly related to the conformation of the phases of the galvanized coating, their microhardness, and even the surface roughness that occurs. present in the angular profiles.

The results will be compared with research focused on the galvanized coating layer, establishing that while the opening angle between plates of an angular profile is smaller, its surface preparation prior to the galvanizing bath is compromised, which makes it difficult or may prevent the layer of molten zinc from adhering to the entire surface of the element in question.

Key words: Structural profile, galvanized coating, mechanical tests, metallographic analysis, galvanizing phases, opening angle.

1. CARACTERIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA APERTURA DEL ÁNGULO DE SOLDADURA, EN EL DEPÓSITO DE LA CAPA DE GALVANIZADO SOBRE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la relación existente entre la apertura del ángulo soldado y el depósito de la capa de galvanizado en el acero ASTM A36.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Valorar el grado de adherencia de la capa de galvanizado para determinar la influencia del proceso de soldadura, con aperturas de 45 y 90 grados, en la obtención de perfiles estructurales soldados a partir de placas de acero ASTM A36.
- 2) Analizar las respuestas generadas por las muestras a los diferentes ensayos de adherencia y superficiales, con el fin de identificar los factores influyentes en la difusión del recubrimiento.
- 3) Analizar las metalografías, y determinar el comportamiento del recubrimiento galvanizado sobre los perfiles angulares.

1.3 ALCANCE

El desprendimiento de la capa de galvanizado en aceros estructurales ha creado la necesidad de investigar la relación que puede existir entre el ángulo de apertura y la capa de recubrimiento, especialmente en la zona donde se ha efectuado la soldadura.

Una de las mayores preocupaciones en el uso de elementos galvanizados es el agrietamiento de la capa de zinc cuando éste se somete a esfuerzos deformantes. El agrietamiento puede tener como consecuencia la fisuración y pérdida de adherencia de la capa galvanizada al sustrato, que puede llegar a afectar la protección del elemento. (Alonso, Recio, Sánchez, Reaney, & Fullea, 2006)

El galvanizado expuesto a la intemperie en ambientes corrosivos se deteriora con el tiempo. (Raichev, Veleva, & Valdez, 2009)

Los escasos estudios relacionados con la influencia del galvanizado sobre perfiles estructurales son muy limitados, y el conocimiento del comportamiento de la capa de recubrimiento al variar el ángulo de soldadura, con el cual se obtiene el perfil estructural, es una debilidad que se ha visto en la industria del galvanizado.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 GENERALIDADES.

Los perfiles estructurales son elementos utilizados generalmente en el campo de la construcción. Uno de sus usos más comunes es como soporte de otros elementos constructivos o como elementos estructurales. Para su fabricación, se toma como base acero laminado en caliente o en frío. Siendo los utilizados con mayor frecuencia, para miembros en tensión, los mostrados en la figura 1.

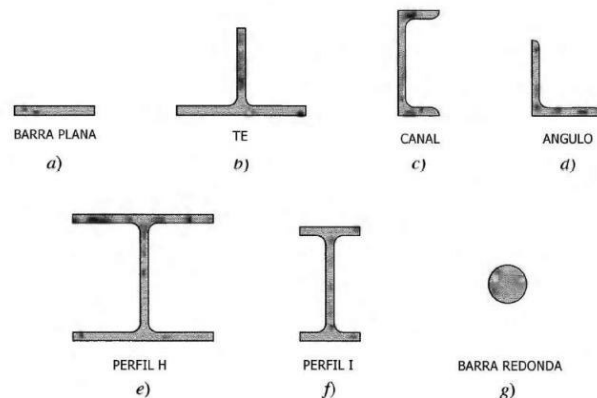
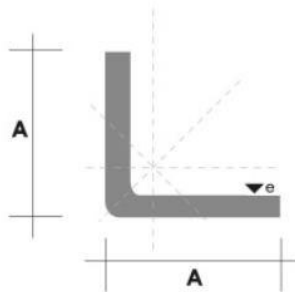


Figura 1. Perfiles más comunes encontrados en la industria.

Fuente: (Manrique)

Para denominar los perfiles angulares se utilizan sus dimensiones de altura y espesor; un ejemplo de ello es la denominación que utiliza la comercializadora DIPAC, tal como se muestra en la figura 2, en donde un perfil importado de 20 milímetros de altura y 2 milímetros de espesor se denominará como AL20X2.



Denominación	Dimensiones		Peso		Área
	mm		kg/m	kg/6m	cm ²
	A	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	54.84	11.60

Figura 2. Catálogo de perfiles importados.

Fuente: (DIPAC, 2021)

En la industria se pueden encontrar perfiles fabricados mediante doblez o soldadura, dependiendo del uso o demanda comercial a los que están sujetos.

1.4.2 ACEROS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PERFILES ESTRUCTURALES.

Los aceros estructurales disponibles en perfiles estructurales laminados en caliente, placas y barras pueden clasificarse como aceros con carbono, aceros de alta resistencia y baja aleación, aceros resistentes a la corrosión, aceros de baja aleación enfriados y templados.

En Estados Unidos, la American Society for Testing and Materials (ASTM) desarrolla y mantiene los estándares de materiales relevantes para estos aceros.

La designación de los aceros según la ASTM, especifica dichos requerimientos para ser utilizados por el fabricante o cliente final, como se observa en la figura 3.

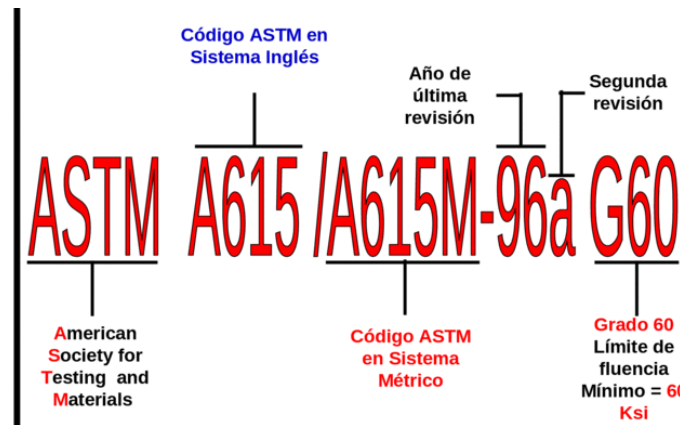


Figura 3. Designación de los aceros según la ASTM.
Recuperado de: vdocuments.site/designacion-astm-de-aceros.html

1.4.3 ASTM A36

Esta designación abarca los aceros que presentan un esfuerzo de fluencia de 250 Mpa (36ksi), y es apropiado para soldadura. Son conocidos como aceros de propósitos generales.

Los parámetros de tensión correspondientes a esta designación se pueden observar en la tabla 1, mientras que la tabla 2 muestra los requerimientos químicos que debe cumplir.

Tabla 1. Requerimientos de Tensión en aceros ASTM A36.

Producto	Esfuerzo de tensión	Límite elástico	Elongación en 8 in, [200 mm] %min.	Elongación en 2 in, [50 mm] %min.
Placas, Formas y Barras	58 – 80 ksi 400 – 550 Mpa	36 ksi 250 Mpa	-----	-----
Placas y Barras	-----	-----	20	23

Fuente: (ASTM A36/A36M, 2014)

Tabla 2. Requerimientos de composición química en aceros ASTM A36.

Producto	Formas	Placas > 380[mm]	Barras, Placas ≤ 380[mm]
Espesor [mm]	Todos	Hasta 20 [mm]	Hasta 20 [mm]
Carbono, %max.	0,26	0,25	0,26
Fósforo, %max.	0,04	0,03	0,04
Azufre, %max.	0,05	0,03	0,05
Silicio, %max.	0,40	0,40	0,40

Fuente: (ASTM A36/A36M, 2014)

Las propiedades mecánicas de los aceros dependen de su composición química, elementos aleantes, procesos de conformado, métodos de enfriamiento y tratamientos térmicos realizados. En la figura 4 se puede observar el diagrama esfuerzo - deformación de varias designaciones de acero estructural.

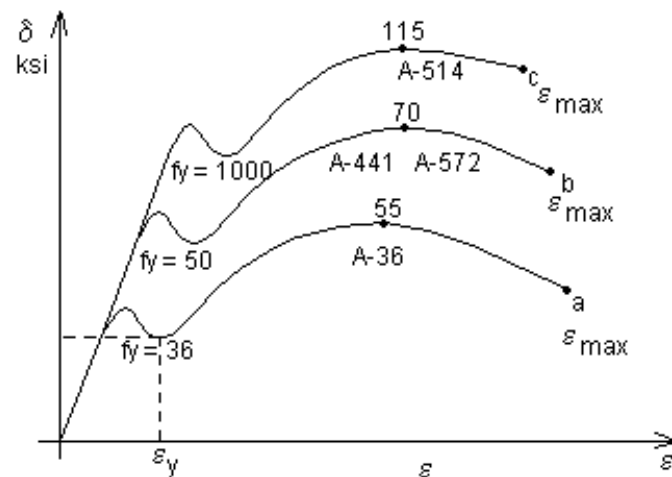


Figura 4. Diagrama Esfuerzo-Deformación para varias designaciones de acero estructural.
Recuperado de: www.construaprende.com/docs/apuntes/317-apuntes-estructuras-metalicas?start=2

VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL.

- ❖ Alta resistencia en comparación al peso de las estructuras fabricadas.
- ❖ Uniformidad en las propiedades durante largos períodos de tiempo.
- ❖ Mayor durabilidad de las estructuras, con ejecución de mantenimientos periódicos.
- ❖ Los elementos de acero son capaces de resistir grandes cargas y de soportar deformaciones, es decir, absorber grandes cantidades de energía.

DESVENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

- ❖ Debido a que requiere mantenimientos periódicos, el elevado costo de los mismos los convierte en un gasto necesario dentro de los presupuestos de obra.
- ❖ La resistencia de los elementos de acero baja considerablemente al estar expuestos al fuego.
- ❖ Cuanto más largos y esbeltos son los elementos de acero, incrementa la posibilidad de pandeo.

1.4.4 FABRICACIÓN DE PERFILES ANGULARES

Las principales tecnologías de producción de perfiles angulares son por laminación en caliente o por doblado. Los perfiles laminados en caliente presentan mayor resistencia mientras que los perfiles doblados son utilizados para aplicaciones que no implican cargas serias.

Dependiendo de las dimensiones y el peso al cual serán sometidos, los perfiles angulares tendrán dimensiones y pesos diferentes. El ángulo de apertura también puede variar.

Los perfiles angulares se clasifican en dos grupos:

- ❖ Perfiles angulares de lados iguales, aptos para diversos usos.
- ❖ Perfiles angulares de lados desiguales, aplicados en usos específicos.

1.4.5 PROCESO DE SOLDADURA GMAW

Según la American Welding Society (AWS), se establece el proceso de soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) mediante un acro eléctrico protegido producido entre un alambre, que es alimentado continuamente, y el material base a soldar. La protección del arco se realiza de dos formas:

- ❖ A través de gas inerte (Ar o He), que se denomina MIG (Metal Inert Gas).
- ❖ A través de gas activo (O₂, CO₂ o Ar-Co₂), que se denomina MAG (Metal Active Gas).

Otros parámetros a considerar durante el proceso de soldadura son la alimentación continua del alambre macizo, corriente continua y tensión constante. (MIPSA, 2022)

La figura 5 muestra los componentes que involucra el proceso de soldadura GMAW.

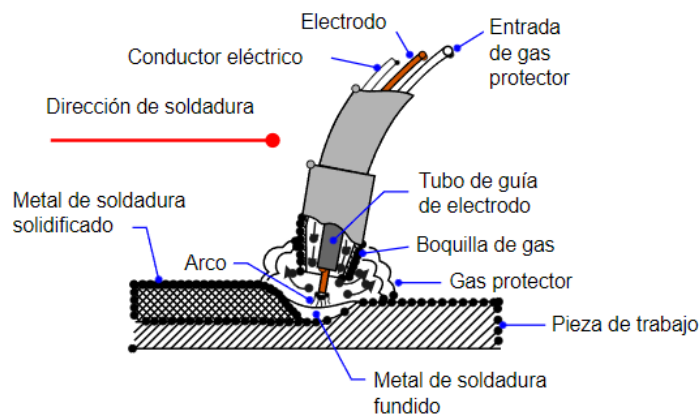


Figura 5. Esquema general del proceso de soldadura GMAW.

Fuente: (MIPSA, 2022)

La transferencia del alambre en la soldadura se produce de tres formas:

- ❖ Corto Circuito. Transfiere el metal a la pieza al producirse el contacto entre ambas, se produce en voltajes y corrientes bajas, ocasionando un bajo aporte de calor.
- ❖ Globular. Transfiere el metal en gotas, cuyo diámetro es mayor que el diámetro del alambre, se produce con CO₂ como gas de protección y únicamente en posición plana; se utiliza a mayores voltaje y corriente, lo cual genera mayor penetración y por ende mayores salpicaduras.
- ❖ Spray. Transfiere el metal en gotas a mayor velocidad y en diámetros más pequeños, entre 100 y 300 gotas por segundo; se produce con gas Argón o la mezcla Ar-CO₂, con elevados valores de corriente y voltaje.

VENTAJAS DEL PROCESO DE SOLDADURA GMAW

- ❖ Proceso de soldadura más rápido en comparación al SMAW y GTAW.
- ❖ Mayor tasa de deposición horaria.
- ❖ Requiere mínima limpieza luego de realizar la suelda.
- ❖ En transferencia Corto-Circuito, se puede soldar en todas las posiciones.
- ❖ Se pueden realizar soldaduras de grandes longitudes si que se produzcan empalmes entre cordones.

DESVENTAJAS DEL PROCESO DE SOLDADURA GMAW

- ❖ El equipo de suelda para este proceso es complejo y no es portátil.
- ❖ Mayor costo en equipamiento.
- ❖ El arco debe estar protegido de las fuertes corrientes de aire, lo cual lo limita a ser realizado en talleres o lugares protegidos.
- ❖ Difícil de utilizar en juntas de difícil acceso.

El proceso de soldadura GMAW permite soldar metales ferrosos y no ferrosos, y se puede producir de manera automática (avance producido mecánicamente) o semiautomática (avance manual por parte del soldador). (ESAB, 2021)

1.4.6 PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

La corrosión es un fenómeno natural que al iniciar no siempre es perceptible a simple vista, iniciando como óxido superficial pero su conclusión es siempre la misma, termina por desintegrar el material afectado.

Corrosión es un término utilizado para describir el proceso de deterioro de los metales y sus aleaciones, mediante reacciones químicas y electroquímicas. (Revie & Uhlig, 2008)

Los metales y sus aleaciones presentan cambios físicos y químicos al estar expuestos al medio ambiente durante su aplicación en los diversos campos en los que son usados.

Existen varios métodos de prevenir y/o proteger a los materiales contra la corrosión:

- ❖ Diseño. Un adecuado diseño de productos y sus posteriores aplicaciones puede minimizar los efectos de la corrosión.
- ❖ Recubrimientos. Aíslan al material y mejoran su aspecto, así también, pueden mejorar su resistencia al desgaste, corrosión, incluso su ciclo de vida.
- ❖ Inhibidores. Un inhibidor es un producto químico que se agrega sobre el material con el fin de aislarlo para evitar la corrosión.
- ❖ Protección Catódica. Suministra electrones al material para forzarlo a convertirse en un cátodo, se realiza con el uso de un ánodo de sacrificio con el que se forma un circuito electroquímico.
- ❖ Protección Anódica. Consiste en recubrir el material con una fina capa de óxido que evita que se corra, se realiza exponiendo al material a soluciones oxidantes altamente concentradas que producen una fuerte polarización anódica.
- ❖ Tratamiento y Selección de Materiales. Es posible minimizar o retardar el proceso de corrosión mediante la selección de materiales con alta resistencia a ésta, seleccionando tratamientos adecuados e incluso, respetando las restricciones de su aplicación.

Un recubrimiento se entiende como una barrera física que rodea a otro material para impedir que entre en contacto con elementos del medio ambiente, como pueden ser la luz, agua, humedad, oxígeno del aire.

1.4.7 RECUBRIMIENTOS NO METÁLICOS

Los polímeros presentan buenas cualidades para proteger la superficie de otros materiales, razón por la cual, se los denomina recubrimientos no metálicos, y su base es una capa formada por pintura.

Este tipo de recubrimientos se clasifican como:

- ❖ Orgánicos. Se aplican como líquidos o en polvo para formar una capa fina.
- ❖ Inorgánicos. Son esmaltes y resinas inorgánicas que forman una capa vidriada.

Entre los recubrimientos no metálicos producidos a nivel industrial, destacan: pinturas, plásticos, esmaltes, grasas y aceites.

Entre las propiedades que destacan con la aplicación de Recubrimientos No Metálicos tenemos las siguientes:

- Otorga propiedades que mejoran las resistencias contra corrosión, ataques químicos, inmersión en agua, exposición a rayos ultravioletas, exposición a altas temperaturas, proliferación de bacterias.
- Mejora la resistencia de propiedades mecánicas superficiales como fricción, impacto, adhesión, flexibilidad, abrasión.
- Aísla la superficie para evitar daños relacionados con la humedad, calor, radiación, electricidad, exposiciones a gases.
- Facilita la adherencia entre el material base y la capa final.
- Adicionan acabados de textura, color, presentación.

1.4.8 RECUBRIMIENTOS METÁLICOS.

Los Recubrimientos Metálicos hacen referencia a la formación de capas metálicas producidas por la deposición de un componente sobre la superficie de otro metal, de esta forma se logra aislarlo del medio al cual se ve expuesto. El metal que se utiliza para crear esta capa, debe tener mayor resistencia a la corrosión para lograr que se deteriore en lugar del material base.

De acuerdo al método de deposición, este tipo de recubrimientos se puede clasificar de la siguiente manera:

- Por Difusión: aluminizado, cromizado, silicación, galvanizado en seco (sherardising).
- Por Electrodeposición: niquelado, cromado, dorado, plateado, cincado, cobrizado.
- Por Inmersión: galvanizado.

Las características y propiedades que adquirirán los materiales recubiertos, dependerán del metal utilizado. Una de las características de este tipo de recubrimientos es que forma capas de aleación o protección catódica.

Entre las propiedades que se adquieren por el uso de este tipo de recubrimientos tenemos las siguientes:

- ❖ Con la aplicación de recubrimientos como el zinc, cromo, níquel, estaño; se adquiere un aumento en la resistencia a la corrosión.
- ❖ Con la aplicación de recubrimientos de cromo duro se aumenta la dureza superficial.
- ❖ Con la aplicación de cromo como recubrimiento, se aumenta la resistencia al desgaste.
- ❖ Para mejorar la apariencia del material recubierto, se puede aplicar oro, plata, níquel, cromo, platino, o algunos otros.
- ❖ Los recubrimientos de hierro se utilizan para regenerar dimensiones desgastadas.
- ❖ Al utilizar recubrimientos de cobre, se mejora la adherencia con otros materiales.

1.4.9 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE (H.D.G.)

El galvanizado es un recubrimiento de cinc que está unido metalúrgicamente al acero base proporcionándole una eficaz y duradera protección contra la corrosión. (GALVANORTE Cia. Ltda., 2021)

El Galvanizado por Inmersión en Caliente (H.D.G. por sus siglas en inglés) consiste en sumergir completamente, piezas o elementos, en un baño metálico conformado principalmente por cinc, esto garantiza que la superficie queda completamente recubierta y protegida contra los efectos corrosivos del medio ambiente.

Este proceso permite su utilización en elementos de diferentes dimensiones o con geometrías complejas ya que éstas son sumergidas por completo, permitiendo que el recubrimiento fundido llegue a cubrir superficies internas y externas.

El proceso del H.D.G. debe cumplir varias fases para garantizar que el elemento sometido sea recubierto en su totalidad, sin la interferencia de agentes externos o residuos que alteren la uniformidad del recubrimiento, como se muestra en la figura 6.

- 1) Desengrase. La pieza se sumerge en una solución desengrasante para remover aceites o grasas incrustadas en el mecanizado u otros procesos previos.
- 2) Enjuague. Se retira el desengrasante utilizando agua.
- 3) Decapado. La pieza es sumergida en una solución ácida que removerá impurezas superficiales para lograr una superficie químicamente limpia.
- 4) Enjuague. La pieza es sumergida en agua limpia, para eliminar rastros de la solución ácida u otros elementos presentes en el paso anterior.

- 5) Flux. La pieza es recubierta por una solución de sales que evitan que la pieza se oxide antes de ser galvanizada.
- 6) Secado. La pieza se calienta para eliminar rastros de humedad.
- 7) Baño de Zinc. La pieza es sumergida en un baño de zinc fundido, hasta que se alcanza la aleación zinc-hierro y las capas inter metálicas.
- 8) Enfriamiento. La pieza es sumergida en agua a temperatura ambiente.
- 9) Inspección. La pieza es sometida a una verificación de espesores, adherencia y apariencia.

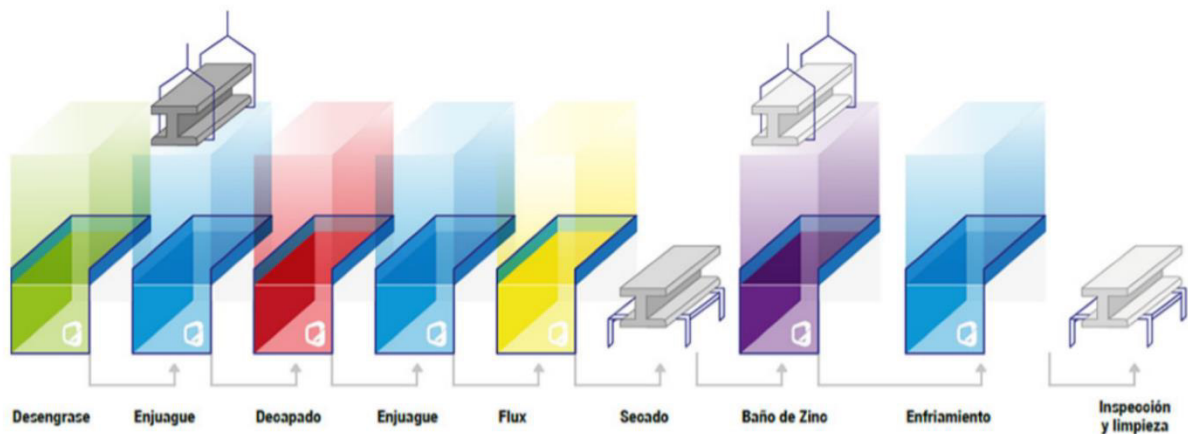


Figura 6. Diagrama del Galvanizado por Inmersión en Caliente.
Fuente: (GALVANORTE Cia. Ltda., 2021)

Los parámetros a los que se rige el espesor de galvanizado, están dispuestos en la norma ASTM A123: Especificación estándar para recubrimientos de zinc (galvanizado en caliente) en productos de hierro y acero, que se muestra en el Anexo 8.

De este anexo se rescata la tabla 3 a continuación, misma que detalla los parámetros que se involucran con la presente investigación.

Tabla 3. Parámetros de espesor de galvanizado para placas de acero.

Categoría del material	Rango de espesor del acero	Espesor del recubrimiento	
		µm	g/m ²
Placas	≥4,8 a <6 [mm]	75	530

Fuente: (ASTM A123, 2017)

1.4.10 FORMACIÓN DE LA CAPA DE GALVANIZADO

El proceso de formación de capas en el galvanizado se basa en las reacciones entre el hierro y el cinc; esta reacción siempre procede hacia el equilibrio termodinámico, lo cual revela una dependencia entre la composición química con la temperatura. La razón de esta fuerte dependencia, entre otras, es la reacción del hierro α con el cinc, donde a temperaturas de hasta 490°C se forman capas compactas de aleación que se adhieren firmemente al sustrato, estas capas consisten en una fase gamma (Γ) muy delgada y difícil de ver; una fase delta (δ) superpuesta más gruesa, y una fase zeta (ζ) adyacente; se completa con la fase eta (η) que corresponde a cinc fundido. (Maaß & Peißker, 2011)

A parte del tiempo de inmersión, y la temperatura de fusión; el crecimiento de la capa depende del tipo de acero. El factor dominante es el contenido de silicio (Si), en particular con contenidos por debajo del 0,035%. (Maaß & Peißker, 2011)

Tabla 4. Características de las fases hierro-cinc.

Fase	Dureza Vickers [HV]
Hierro α	104
Gamma (Γ)	326
Delta (δ)	358
Zeta (ζ)	208
Eta (η)	52

Fuente: (Maaß & Peißker, 2011)

EFEECTO SANDELIN

Se trata de un crecimiento acelerado de las fases (aleaciones Fe-Zn), lo cual se produce cuando el sustrato presenta un contenido de silicio comprendido entre 0,04% y 0,012%; y también por encima de 0,25%. (GALVATEK)

2. METODOLOGÍA

El presente capítulo aborda el proceso seguido para la obtención de muestras que se utilizarán en la caracterización del material base, así también, se abordará el proceso de obtención de dos grupos de perfiles angulares soldados con ángulos de apertura de 45° y 90°, de los cuales, uno será sometido al proceso de galvanizado por inmersión en caliente, mientras que el segundo no se someterá al proceso mencionado.

A partir de estos grupos de perfiles se extraerán probetas para realizar los ensayos de adherencia por enfriamiento brusco y pull-off; ensayos metalográficos, micro durezas, espesor del recubrimiento y medición de rugosidad; además de los equipos y normas inmersos en cada uno de los ensayos antes mencionados. La figura 7 muestra el diagrama de flujo seguido en el presente estudio.

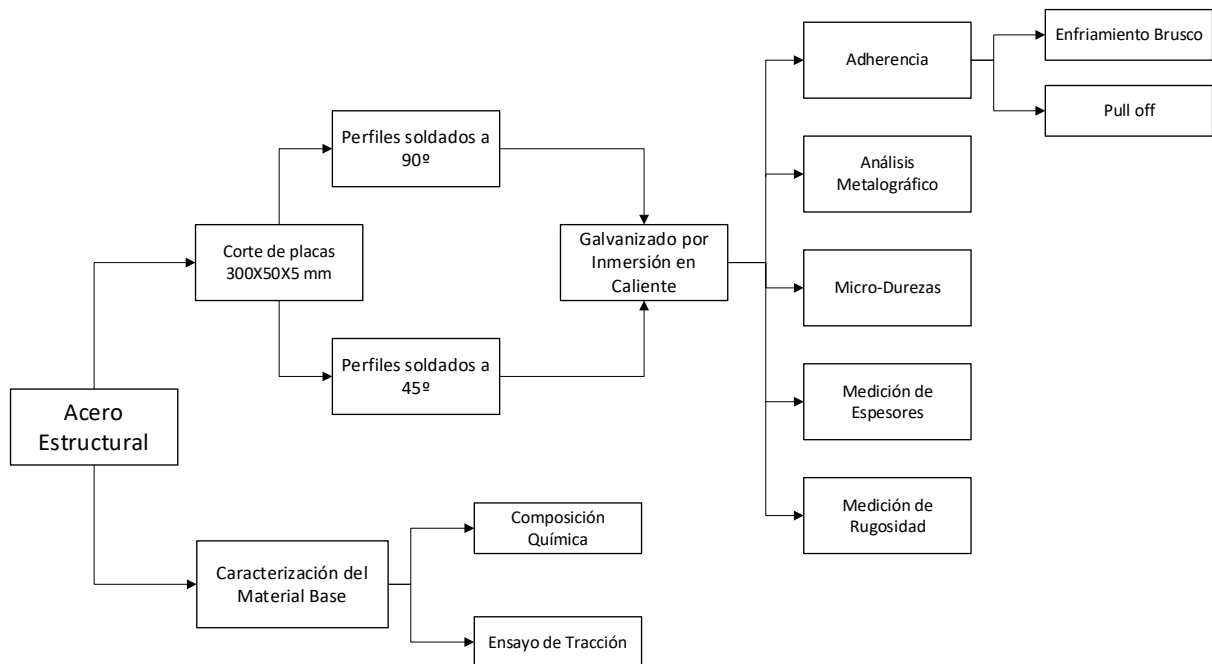


Figura 7. Diagrama de flujo para efectuar ensayos.

Fuente: Propia

2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

2.1.1 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

Una vez adquirida la plancha de acero con denominación ASTM A36, se procede a cortar una muestra de 300x300x5 [mm] como se muestra en la figura 8, misma que se utilizó para ser analizada mediante la prueba de espectrometría por chispa, utilizando el equipo mostrado en la tabla 5.

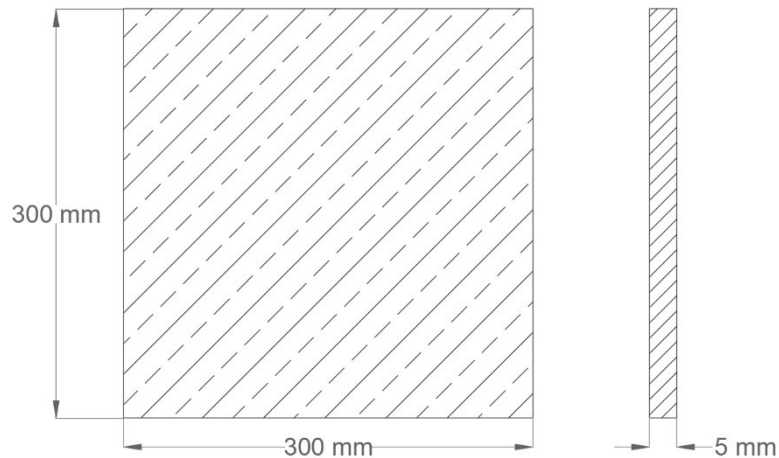
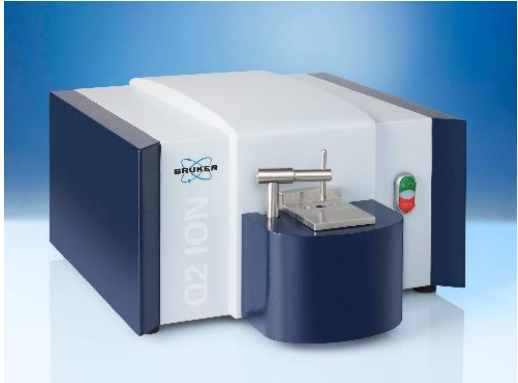


Figura 8. Dimensiones de la probeta M1, para Caracterización de Material.

Fuente: Propia.

Tabla 5. Especificaciones del espectrómetro de chispa utilizado.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	BRUKER	
Modelo	Q2 ION	
Voltaje	100/240 V	
Frecuencia	50/60 Hz	
Potencia	200 W durante la medida 50W en reposo	
Dimensiones	Anchura = 440 mm	
	Altura = 220 mm	
	Profundidad = 390 mm	

Fuente: (Bruker, 2021)

El ensayo para determinar la composición química del material se realizó con maquinaria y dirección del Laboratorio de Fundición de la Facultad de Ingeniería Mecánica, como se puede ver en el Anexo 1.

PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA

- 1) El proceso inicia con la preparación de la probeta, que comprende una limpieza superficial acorde a la norma ASTM E415-17.
- 2) Encendido del equipo, mostrado en la tabla 3, y apertura de la válvula de argón a 3 bar de presión.
- 3) Colocar la probeta M1 en la cámara de chispeo dentro del equipo.
- 4) El análisis toma aproximadamente 30 segundos en realizarse.
- 5) Repetimos el análisis 2 veces.
- 6) Los resultados obtenidos son promediados.

2.1.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Las probetas necesarias para ejecutar este ensayo, se extrajeron de perfiles angulares, compuestos de placas de 300X50X5 mm, estos perfiles no han sido sometidos al galvanizado por inmersión en caliente.

Según lo dispuesto en la norma ASTM E8, se determinaron las dimensiones para las probetas usadas en el ensayo de tracción, mismas que se observan en la figura 9.

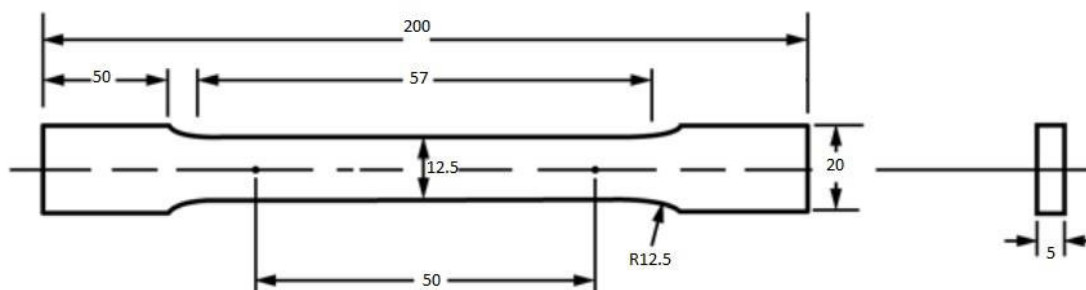


Figura 9. Dimensiones de probeta para ensayo de tracción.

Fuente: Propia

La tabla 6 muestra las denominaciones de las probetas y su procedencia.

Tabla 6. Probetas generadas para el ensayo de tracción.


Procedencia	Denominación
Perfil angular soldado a 45°	M21.026.05
Perfil angular soldado a 90°	M21.026.06

Fuente: Anexo 2: Informe LAEV M21.026

El mecanizado de las probetas para el ensayo de tracción, con las dimensiones mostradas anteriormente, se realizó en el Laboratorio de Máquinas Herramientas de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

El equipo empleado para realizar el ensayo de tracción es la Máquina Universal de Ensayos que se muestra en la tabla 7, misma que se encuentra disponible en el Laboratorio de Esfuerzos y Deformaciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Tabla 7. Especificaciones de la Máquina Universal de Ensayos utilizada.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	TINIUS OLSEN	
Modelo	SUPER L	
Carga Máxima	3000 KN	
Carga Aplicada	Hidráulica	
Software Empleado	NAVIGATOR	
Dimensiones	Anchura = 920 mm	
	Altura = 1020 mm	
	Profundidad = 790 mm	

Fuente: Propia

En la tabla 8, se muestran las dimensiones de las probetas de tracción, con sus designaciones según lo descrito en la norma ASTM E8 y la figura 9.

Tabla 8. Dimensiones de las probetas tracción.

Dimensión	Valor
T	5 mm
G	50 mm
W	12,5 mm
R	12,50 mm
L	200 mm
A	57 mm
B	50 mm
C	20 mm

Fuente: Propia

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

- 1) Se inicia con la preparación de las probetas, con las dimensiones mostradas en la figura 11 y según lo descrito en la norma ASTM E8.
- 2) Se marcan los puntos de referencia en el centro de la probeta, que corresponde a la dimensión G de la tabla 6.
- 3) Se prepara el equipo mostrado en la tabla 7, colocando las mordazas adecuadas para este tipo de probetas y se configura la velocidad de carga
- 4) Se coloca la probeta en las mordazas del equipo.
- 5) Se coloca el equipo en su posición inicial, encerrando las cargas a suministrar.
- 6) Se inicia el ensayo.
- 7) El ensayo concluye una vez producida una fractura en la probeta.
- 8) Se guardan los datos recolectados por el software del equipo.
- 9) La probeta ensayada es retirada de las mordazas y se toman medidas en las secciones que presentan elongación.

2.2 OBTENCIÓN DE PERFILES

Para la fabricación de perfiles angulares partiremos de placas de 300X50X5 mm, mismas que serán soldadas una a otra por el proceso de soldadura GMAW-MAG, con CO₂ al 100%, con electrodo de alambre ER70S-6, equivalente a un electrodo 7018, cuya aplicación es 70 lb/in, en posición 1F, con junta a tope, como muestra la figura 10.

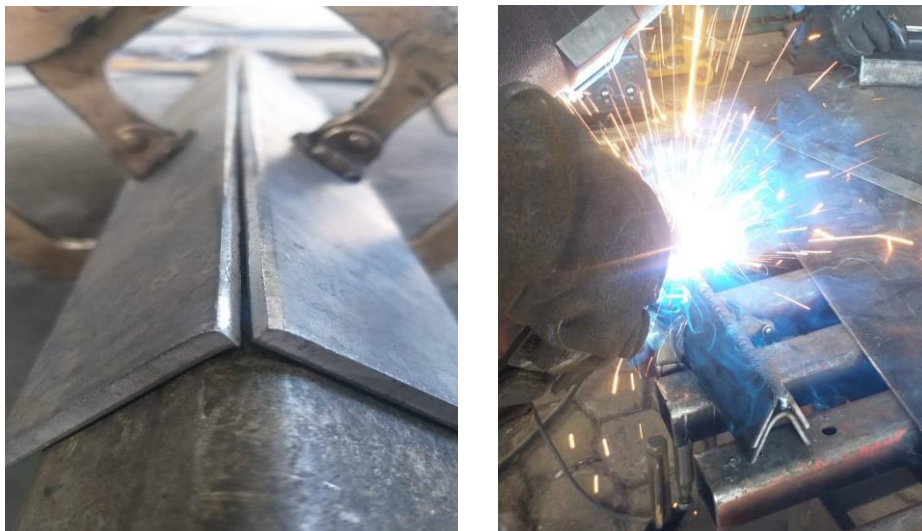


Figura 10. Posición de soldadura para obtención de perfiles angulares.

Fuente: Propia

En la tabla 9 podemos observar las especificaciones del equipo de soldadura utilizado para la fabricación de los perfiles angulares.

Tabla 9. Especificaciones del equipo de soldadura utilizado para el proceso de soldadura.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	ELITE	
Modelo	Elite MIG 300	
Voltaje de entrada	220 V	
Frecuencia	50/60 Hz	
Voltaje en vacío	55 V	
Gas de Protección	CO ₂	
Rango de corriente	30 – 300Amp @30V	
Ciclo de trabajo	60%	

Fuente: Propia

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE PERFILES ANGULARES SOLDADOS

- 1) Una vez obtenida la plancha de acero, se procede a cortar placas rectangulares de 300X50X5 milímetros.
- 2) Estas placas fueron sometidas a una limpieza superficial.
- 3) Previo al proceso de suelda se prepararon los bordes para una junta a tope.
- 4) El proceso de soldadura utilizado fue GMAW-MAG, en posición 1F, con gas de protección CO₂ al 100% y alambre ER70S-6.
- 5) Se realizó un pase de raíz y un pase de refuerzo, en la sección exterior del perfil angular.
- 6) No se realizó limpieza del cordón de soldadura, debido al proceso de suelda realizado que utiliza CO₂ al 100%.

2.3 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE

Una vez fabricados los perfiles angulares con aperturas de 90° y 45° entre placas, se procedió a dividirlos en dos grupos, el primero se mantendrá sin recubrimiento, mientras que el segundo será sometido al Galvanizado por Inmersión en Caliente.

Para realizar el proceso de aplicación del recubrimiento antes mencionado, se acudió a la empresa ecuatoriana GALVANORTE, a la cual fueron entregados 10 perfiles soldados a 90° y 10 perfiles soldados a 45° para ser sometidos al proceso de Galvanizado por Inmersión en Caliente.

En la figura 11 se pueden observar los perfiles soldados a 45° y 90°, luego haber aplicado el recubrimiento galvanizado.



Figura 11. Perfiles Angulares Galvanizados por Inmersión en Caliente.
Fuente: Propia

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

- 1) Los perfiles son sumergidos en un desengrasante ácido por 25 minutos.
- 2) Una vez que salen de la tina de desengrasado, se sumergen en la tina de decapado, la cual también es una solución ácida, durante 20 minutos.
- 3) Luego de salir de la tina de decapado, los perfiles se sumergen en una tina con agua limpia para enjuagarse por un lapso de 1 minuto.
- 4) Los perfiles enjuagados son sumergidos en la tina de Flux, por aproximadamente 1 minuto.
- 5) Luego de salir del Flux, son precalentados para evitar choques térmicos cuando son sumergidos en la tina de zinc.
- 6) Los perfiles se sumergen en un baño de Zinc fundido al 99% de pureza, por 2 minutos.
- 7) Una vez aplicado el recubrimiento, los perfiles pasan a enfriarse a temperatura ambiente por un período de entre 2 a 3 minutos.
- 8) Finalmente se remueven los excesos de zinc de los perfiles galvanizados.

2.4 MEDICIÓN DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO.

Para determinar la adherencia del recubrimiento aplicado (G.I.C.) se tomará como referencia la norma NTE INEN 950, en la cual se describen los ensayos permitidos, siendo el Enfriamiento Brusco el ensayo que se detalla a continuación.

2.4.1 ENSAYO DE ENFRIAMIENTO BRUSCO

Las probetas para este ensayo serán extraídas del grupo de perfiles angulares sometidos al galvanizado por inmersión en caliente, pero a diferencia del ensayo de pull-off visto a continuación, estas probetas involucran la sección soldada de los perfiles. La figura 12 muestra las probetas extraídas, mientras que la figura 13 muestra las dimensiones de las probetas.



Figura 12. Probetas para ensayo de enfriamiento brusco.

Fuente: Propia

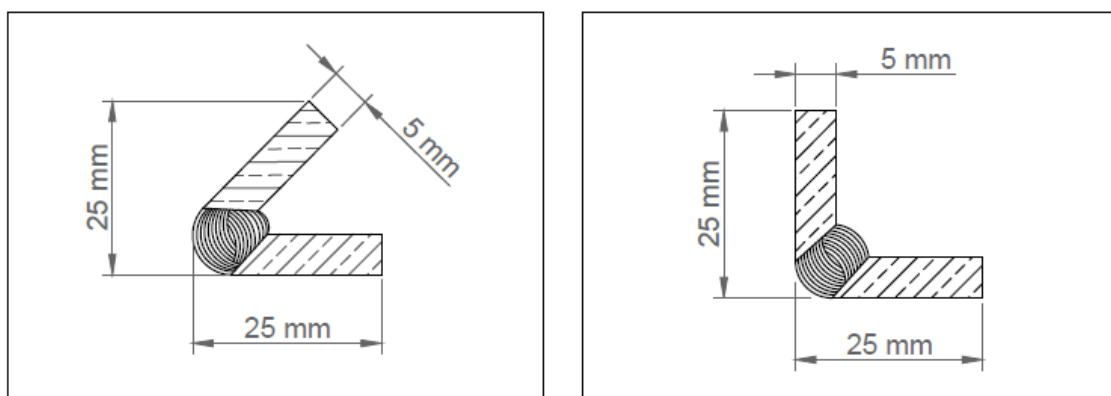


Figura 13. Dimensiones de probetas para Enfriamiento brusco.

Fuente: Propia

Según lo descrito en la NTE INEN 950, este ensayo consiste en calentar estas probetas en un horno hasta alcanzar cierta temperatura, por un período de tiempo de entre 30 a 60 minutos dentro de un horno como el especificado en la tabla 10, para finalmente, enfriar las probetas en agua a temperatura ambiente.

Tabla 10. Especificaciones del horno utilizado para el ensayo de Enfriamiento Brusco.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	LINFBERG	
Modelo	51828	
Voltaje de entrada	220/240 V	
Frecuencia	50/60 Hz	
Temperatura	1000°C máx.	
Aislante interno	Cerámico	
Dimensiones	Anchura = 730 mm	
	Altura = 630 mm	
	Profundidad = 700 mm	

Fuente: Propia

La temperatura a la cual se calentarán las probetas depende del tipo de material base utilizado y el tipo de material que compone el recubrimiento aplicado.

Los tipos de configuraciones disponibles serán tomados del Anexo 9: NTE INEN 950, Tabla N°1. Temperaturas de enfriamiento brusco; los datos utilizados se muestran en la tabla 11.

Tomando en cuenta que el material base es un acero y que el recubrimiento está compuesto principalmente por zinc, la temperatura de calentamiento será de 200°C.

Tabla 11. Parámetros para el ensayo de Enfriamiento Brusco.

Temperatura máxima	200°C
Tiempo de permanencia	60 minutos
Pendiente	15°C/minuto
Tipo de enfriamiento	Agua a temperatura ambiente

Fuente: Propia

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE ENFRIAMIENTO BRUSCO.

- 1) Se extraerán probetas que involucren la sección central (sección soldada) de los perfiles angulares, como se muestra en la figura 13.
- 2) Se tomará una medida inicial de peso de las probetas a las que se realizará el ensayo.
- 3) Las probetas serán introducidas dentro del horno, separadas prudencialmente unas de otras, con el horno apagado.
- 4) Se enciende el horno y se programa el software con los datos mostrados en la tabla 9.
- 5) Luego de transcurridos 60 minutos, las probetas se retiran del horno y son sumergidas inmediatamente en agua a temperatura ambiente por aproximadamente 5 minutos.
- 6) Una vez enfriadas las probetas, se retiran del agua y se dejan escurrir por otros 10 minutos.
- 7) Finalmente se registra el peso de cada probeta que ha sido sometida al ensayo.

2.4.2 ENSAYO DE PULL-OFF

Las probetas utilizadas en este ensayo, serán extraídas del grupo de perfiles angulares sometidos al galvanizado por inmersión en caliente. Estas probetas serán cortadas con dimensiones de 45X45X5 mm, de la sección plana de los perfiles, como muestra la figura 14.

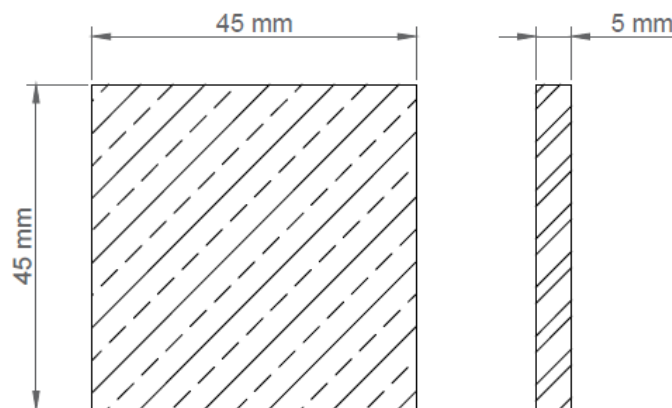


Figura 14. Dimensiones de probetas para Pull Off.

Fuente: Propia

La tabla 12 muestra las especificaciones del medidor de adherencia por arranque, que se utilizó para este ensayo.

La figura 15 muestra la pasta adhesiva utilizada para fijar las sufrideras (dados) a las probetas.

Las probetas y sufrideras (dados) utilizados para este ensayo se muestran en la figura 16.

Tabla 12. Especificaciones del medidor de adherencia utilizado

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	ELCOMETER	
Modelo	510	
Almacenaje	60.000 lecturas	
	2.500 lotes alfanuméricos	
Rango de medición	Ajustable por el usuario	
Precisión	1% de la escala	
Índice de arranque ajustable	0,1 – 1,4 MPa/s	
	15 – 203 psi	
Rango de medición	Hasta 100 MPa (144000 psi)	

Fuente: (Elcometer, 2021)



Figura 15. Pasta adhesiva utilizada para el ensayo de Pull-Off.

Fuente: Propia



Figura 16. Probetas y sufrideras utilizadas en el ensayo de pull off.

Fuente: Propia

En la figura 17 se muestran el conjunto probeta-pasta adhesiva-sufridera, montados para realizar este ensayo.



Figura 17. Conjunto Probeta-Pasta Adhesiva-Sufridera.
Fuente: Propia

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE PULL OFF

- 1) Una vez obtenidas las probetas para el ensayo, como se muestra en la figura 14, preparamos la superficie raspando una sección con papel lija número 100, en esta sección se colocará la sufridera.
- 2) Se prepara la base de una sufridera, raspándola con papel lija número 100.
- 3) Colocamos una pequeña cantidad de pasta adhesiva en la base de la sufridera, para luego posicionarlos sobre la probeta, en la sección preparada, como se observa en la figura 17.
- 4) Una vez colada la sufridera con la pasta adhesiva, sobre la probeta, damos pequeños golpes sobre la sufridera, para eliminar posibles bolsas de aire en la pasta adhesiva y removemos los excesos cuidadosamente.
- 5) Los conjuntos formados por probetas, pasta adhesiva y sufridera, son colocados en un horno por 90 minutos a 150°C.
- 6) Una vez concluidos los 90 minutos, el horno se apaga y se deja que los conjuntos se enfríen dentro de él por 24 horas.
- 7) Se enciende el medidor de adherencia creando un archivo específico para el grupo analizado.
- 8) Colocamos la mordaza sobre la sufridera de uno de los conjuntos retirados del horno e iniciamos el ensayo, a 0.8 Mpa/s.
- 9) El ensayo se efectúa hasta que la mordaza desprende la sufridera de la probeta.
- 10) Se repite el ensayo por dos ocasiones más, cambiando la sección de la probeta en la cual se colocará la sufridera y la pasta adhesiva.

2.5 ANÁLISIS METALGRÁFICO

Para efectuar este ensayo, cortaremos muestras extraídas en la zona de soldadura de los perfiles angulares; una de cada tipo de perfil galvanizado y sin galvanizar, es decir, una muestra del perfil soldado a 45° galvanizado, otra del perfil soldado a 90° galvanizado, y de la misma forma con los perfiles que no fueron galvanizados; estas muestras tendrán dimensiones como se aprecia en la figura 18 y la figura 19 muestra el montaje de las probetas en los moldes.

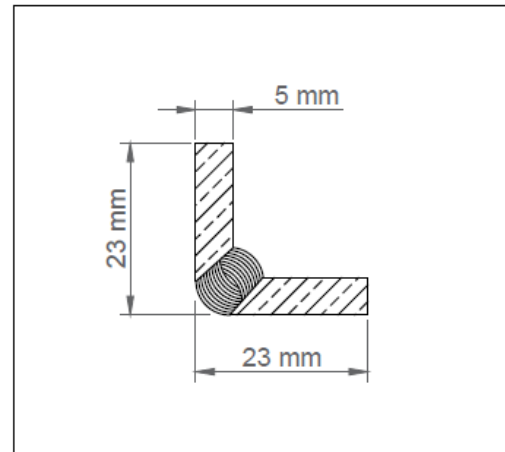
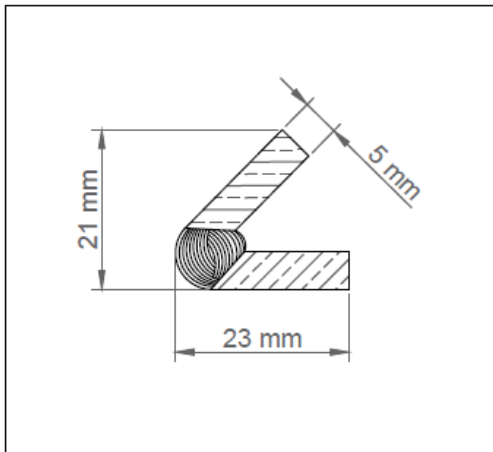


Figura 18. Dimensiones de probetas para Análisis Metalográfico.

Fuente: Propia

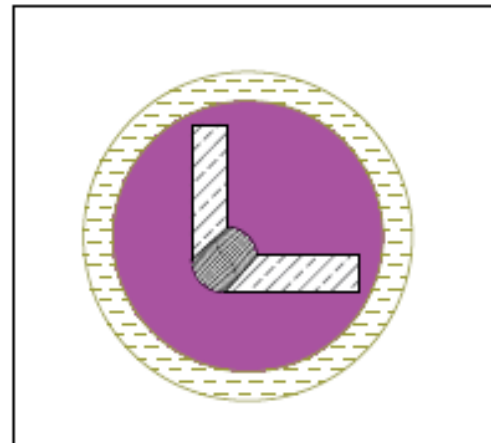
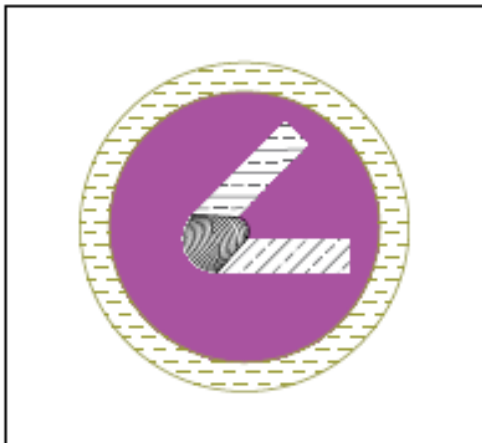



Figura 19. Montaje de probetas galvanizadas, dentro de moldes para resina.

Fuente: Propia

Para realizar el desbaste fino y pulido de las probetas montadas, se utilizó el equipo descrito en la tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones del equipo utilizado para desbaste fino y pulido.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	FORCIMAT	
Modelo	FORCIPOL 2V	
Voltaje	230 V	
Frecuencia	50/60 HZ	
Potencia	0,75 Hp	
Capacidad	6 elementos	
Dimensiones	Anchura = 700 mm	
	Altura = 660 mm	
	Profundidad = 690 mm	

Fuente: Propia

El montaje de las probetas consiste en recubrir las muestras con resina poliéster dentro de un molde circular como se observa en la figura 20, de tal forma que puedan ser introducidas en la máquina de desbaste fino y pulido automático.




Figura 20. Montaje de probetas para desbaste fino y pulido previo al análisis metalográfico.

Fuente: Propia

Para el registro de metalografías se utilizó el microscopio, cuyas características de detallan en la tabla 14.

Tabla 14. Especificaciones del microscopio utilizado.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	OLYMPUS	
Modelo	GX41F	
Voltaje	100 - 120 V 230 - 240 V	
Frecuencia	50/60 HZ	
Potencia	85 VA / 40 W	
Dimensiones	Anchura = 240 mm	
	Altura = 410 mm	
	Profundidad = 630 mm	

Fuente: Propia

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO METALGRÁFICO

- 1) Se extraen muestras de los perfiles angulares galvanizados y sin galvanizar, desde la sección soldada.
- 2) Las muestras deben caber dentro de los moldes para resina, que tienen un diámetro de 25 milímetros, por lo que fueron reducidas hasta alcanzar las dimensiones mostradas en la figura 18.
- 3) Las muestras son colocadas dentro del molde y se vierte resina poliéster hasta cubrir las, como se muestra en la figura 20, y se deja endurecer por 15 minutos.
- 4) Luego de los 15 minutos se retiran los moldes, se enjuagan con alcohol y se elimina el exceso con una secadora.
- 5) Se inicia el proceso de desbaste fino en la máquina descrita en la tabla 12, para lo cual se utilizan las lijas y tiempos que se detalla en la tabla 15 a continuación. Al cambiar de lija se enjuagan las probetas montadas con alcohol al 99% de concentración.

Tabla 15. Parámetros del proceso de desbaste.

Lija N°	Duración (min.)	Lubricante
150	2	Agua a temperatura ambiente
240	2	
400	2	
600	2	
1200	1	
2000	1	
4000	1	

Fuente: Propia

- 6) Una vez terminado el proceso de desbaste, se procede a iniciar el pulido de las probetas con el fin de conseguir una superficie espejo, para lo cual se cumple lo detallado en la tabla 16. Para cambiar el sentido de giro, no retiramos las probetas del equipo.

Tabla 16. Parámetros del proceso de pulido.

Paño (micras)	Duración (min.)	Presión en el cabezote (N)	RPM del cabezote	RPM del plato	Lubricante	Sentido de giro
3	2	15	75	200	Solución de plata	CW
3	1	15	75	200		Reversa

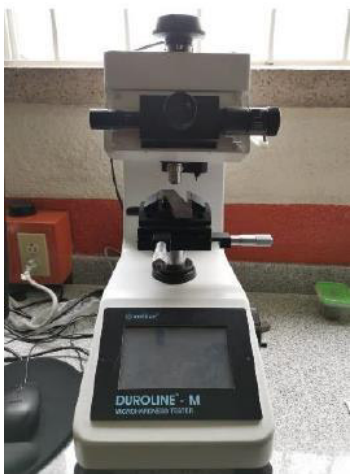
Fuente: Propia

- 7) Las probetas se retiran del equipo y se enjuagan con alcohol al 99% de concentración.
- 8) Se realiza un primer análisis en un microscopio, tomando capturas a 100x y 500x en las zonas que muestren la soldadura y el recubrimiento.
- 9) Posteriormente se realiza el ataque químico de la superficie desbastada y pulida, utilizando Nital 2% por aproximadamente 3 segundos.
- 10) Luego de lo cual se analizan las probetas con un microscopio y se toman capturas a 100x y 500x, en las zonas que muestren la soldadura y el recubrimiento.

2.6 ANÁLISIS DE MICRO DUREZAS

Este ensayo se realizó utilizando las probetas montadas que fueron sometidas al análisis metalográfico, por lo cual, su proceso es una continuación del ensayo anteriormente descrito. El equipo utilizado para este ensayo, se describe en la tabla 17 a continuación.

Tabla 17. Especificaciones del durómetro Vickers.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	METKON	
Modelo	DUROLINE M	
Software	KAMEKAM	
Cargas	10gf, 25gf, 50gf, 100gf, 200gf, 300gf, 500gf, 1000gf	
Tiempo de carga	5 – 99 segundos	
Magnificación del microscopio	400x en mediciones 100x en mediciones	
Escala de medición	Vickers (HV) Knoop (HK)	

Fuente: Propia

Para realizar el ensayo de micro durezas, se tomará como base, la norma ASTM E384.

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE MICRO DUREZAS

- 1) Colocar una a una las probetas en el soporte del durómetro, asentando la superficie que fue preparada para el ensayo anterior.
- 2) Se enciende la iluminación del equipo y su fuente.
- 3) Se selecciona el indentador adecuado.
- 4) Se enfoca el microscopio sobre la superficie a ser ensayada.
- 5) Se ubica el indentador sobre el área a ser medida de tal forma que el indentador mantenga una distancia equivalente a 2,5 veces la longitud de la diagonal de la indentación.
- 6) Se ajustan las aperturas del microscopio y la iluminación.
- 7) Se ajustan los parámetros de fuerza en 100[gf] y tiempo de permanencia de carga en 10 segundos.
- 8) Se da inicio al ensayo, y con el software del equipo se midieron las diagonales de indentación para ser promediadas.

2.7 MEDICIÓN DE ESPESORES

Este es un ensayo complementario al análisis metalográfico ya que se tomarán como base las capturas generadas por las metalografías, a partir de las cuales se tomarán las medidas de espesor en varios puntos de la imagen, utilizando el software AutoCAD.

PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE ESPESORES.


- 1) Importar las capturas, generadas en el análisis metalográfico, al software AutoCAD.
- 2) Trazar líneas que delimiten las zonas sujetas a medición.
- 3) Trazar líneas que determinen el espesor total del recubrimiento.
- 4) Utilizando la herramienta de medición, se calculará el valor del recubrimiento.
- 5) Calcular el valor dado por el software con las unidades de escala de la imagen analizada.
- 6) Repetir el proceso en varios puntos de cada captura.

2.8 MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Para este ensayo se utilizaron los perfiles angulares galvanizados, sin realizarles modificaciones o extracción de probetas para ensayos anteriores.

En la tabla 18 podemos observar el equipo utilizado para la medición de rugosidad.

Tabla 18. Especificaciones del Rugosímetro utilizado.

Especificaciones		Identificación gráfica
Marca	ELCOMETER	
Modelo	224	
Sonda	Punta de carburo de tungsteno	
	Radio de 50µm	
	Ángulo de 60°	
Rango	0 – 500 µm	
Lecturas	50 por minuto	
Resolución	1 µm	
Precisión	±5%	
Superficies de análisis	Planas	
	Convexas	

Fuente: (Elcometer, 2021)

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

- 1) Se colocan los perfiles angulares galvanizados, dos a 45° y dos a 90°, sobre una superficie plana y estable.
- 2) Se enciende el equipo de medición y se crea un archivo específico para este ensayo.
- 3) Se escoge la sonda adecuada para medir rugosidad.
- 4) Se realiza una calibración con bloques patrón propios del equipo.
- 5) Se toman varias medidas en las secciones planas de los perfiles angulares
- 6) se toman medidas a lo largo de la zona soldada en los perfiles angulares.
- 7) Se repite el proceso en los otros perfiles a ser ensayados.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se recopilarán los datos, valores e imágenes obtenidos por los ensayos efectuados, mismos que fueron descritos en el capítulo anterior.


Una vez se encuentren tabulados dichos resultados, junto a imágenes y figuras pertinentes, se realizarán comparaciones que ayuden a sustentar un posterior análisis.

3.1 RESULTADOS OBTENIDOS

3.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La tabla 19, detalla la codificación utilizada para nombrar a la probeta que fue sometida al espectrómetro de chispa.

Tabla 19. Denominación de la Muestra para Caracterización del Material

NOMBRE	IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA	IDENTIFICACIÓN GRÁFICA
Muestra Metálica	21-004-M1	

Fuente: Anexo 1. Informe Técnico: Espectrometría por Chispa

Una vez realizado el procedimiento descrito en el capítulo anterior, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 20.

Tabla 20. Componentes presentes en la muestra del material base.

Elemento	Valor [%]
Carbono [C]	0,118
Silicio [S]	0,039
Manganeso [Mn]	0,176
Fósforo [P]	0,024
Cromo [Cr]	0,227
Níquel [Ni]	0,025
Aluminio [Al]	0,012
Hierro	99,34
TOTAL	99,97

Fuente: Anexo 1. Informe Técnico: Espectrometría por Chispa

3.1.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

La tabla 21 muestra la identificación de la probeta utilizada para este ensayo, mismo que fue realizado en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

Tabla 21. Resultados del ensayo de tensión en probetas de material base.

Id. LAEV	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Máxima carga registrada		Resistencia a la Tracción		% de elongación en 50mm
	[mm]	[mm]	lbf	N	ksi	Mpa	
M21.026.02	12,47	4,98	6 151	27 362	63,9	441,6	41,4
M21.026.03	12,66	4,95	6 240	27 755	64,2	444,0	37,0

Fuente: Anexo 2. Informe LAEV M21.026

3.1.3 ENSAYO DE ENFRIAMIENTO BRUSCO

Los resultados del pesaje de probetas, antes y después de realizar el ensayo de enfriamiento brusco en agua, se muestran en la tabla 22.

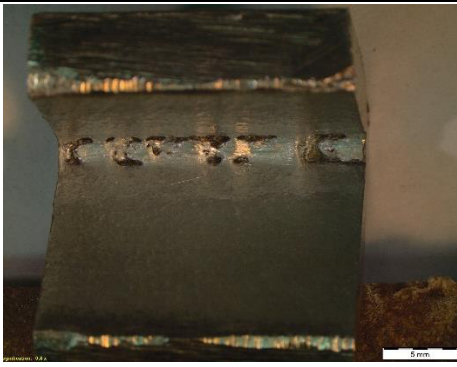
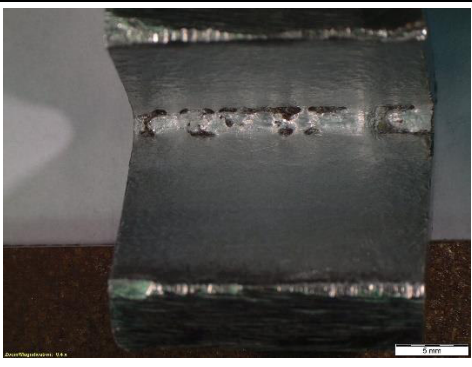
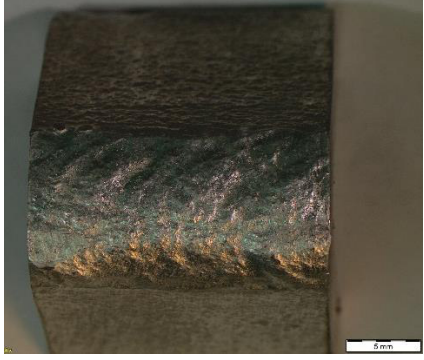
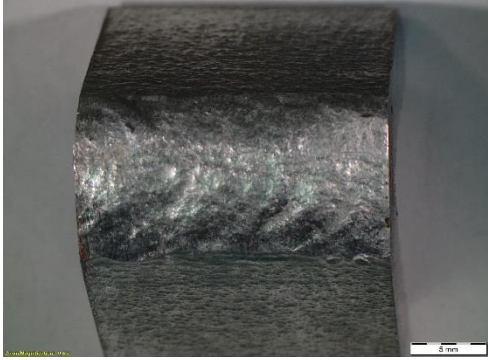
Tabla 22. Resultados del pesaje en ensayo de Enfriamiento brusco

Identificación	Peso Inicial [gr]	Peso Final [gr]
21-004-S45-1	41,14	41,12
21-004-S45-2	42,15	42,10
21-004-S90-1	34,82	34,81
21-004-S90-2	35,28	35,25

Fuente: Propia

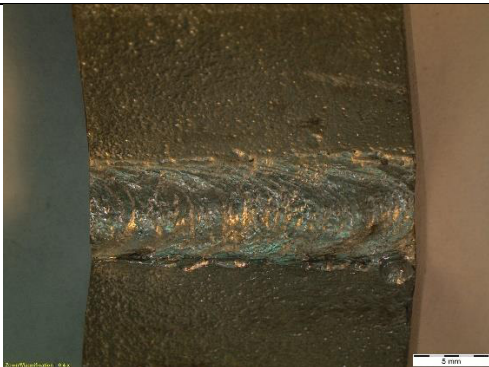
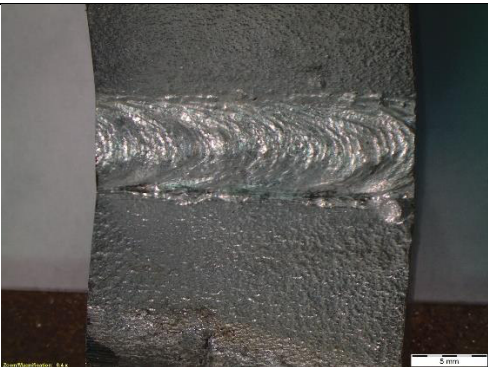
Las probetas se analizaron con el microscopio para verificar si se produjo desprendimiento del recubrimiento, las imágenes se muestran en la tabla 23 y tabla 24 que corresponden a perfiles soldados a 45° y 90° respectivamente.

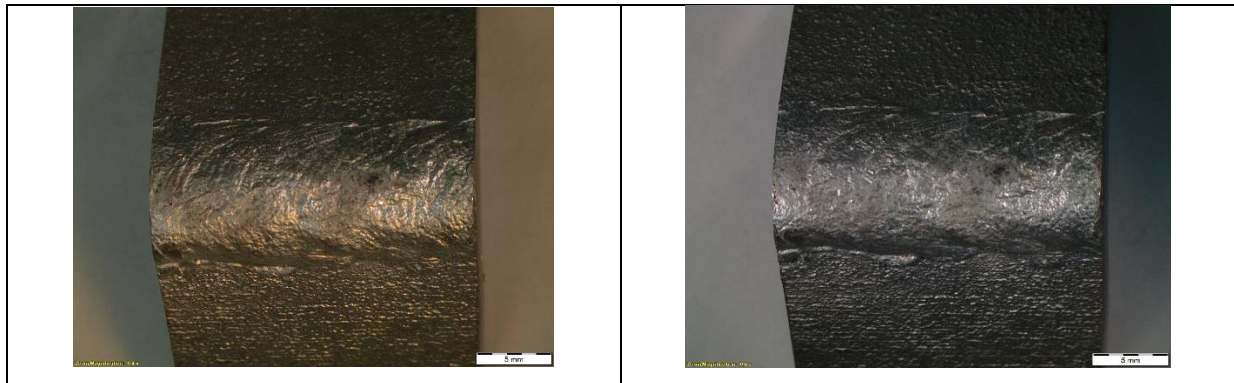
Tabla 23. Macros de probeta soldada a 45°

Probeta: 21-004-S45	
Antes del Ensayo	Después del Ensayo
	
	
<p>No se observo la existencia de grietas o fisuras en la capa de recubrimiento galvanizado de las probetas soldadas a 45°.</p>	

Fuente: Propia

Tabla 24. Macros de probeta soldada a 90°

Probeta: 21-004-S90	
Antes del Ensayo	Después del Ensayo
	



No se observó la existencia de grietas o fisuras en la capa de recubrimiento galvanizado de las probetas soldadas a 90°.

Fuente: Propia

3.1.4 ENSAYO DE PULL OFF

Una vez que las probetas han sido montadas con la pasta adhesiva y la sufridera (dado), y llevadas al horno, se realiza el ensayo, mismo que arrojó los resultados mostrados en la tabla 25.

Para calcular la carga se tomó el área de la base de la sufridera (dado), la cual es $78,539[mm^2]$, y para calcular el tiempo se tomó el valor del incremento de carga de $0,80[MPa/s]$.

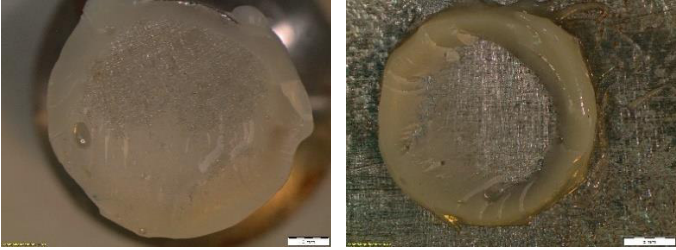


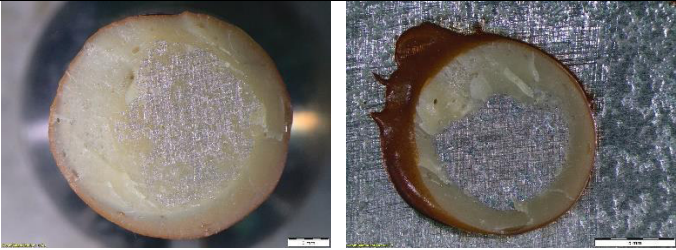

Tabla 25. Resultados del ensayo de pull off.

Identificación	Esfuerzo [MPa]	Carga [N]	Tiempo [s]
21-004-S45-1	37,80	2968,81	47,25
21-004-S45-2	34,11	2678,99	42,64
21-004-S45-3	22,37	1759,94	27,96
21-004-S45-4	16,36	1284,91	20,45
21-004-S45-5	31,95	2509,35	39,94
Promedio	28,52	2240,40	35,65
21-004-S90-1	31,15	2446,52	38,94
21-004-S90-2	27,89	2190,47	34,86
21-004-S90-3	38,09	2991,58	47,61
21-004-S90-4	30,03	2358,55	37,54
21-004-S90-5	37,53	2947,59	46,91
Promedio	32,94	2586,94	41,17
Diferencia	13,42%	13,39%	13,41%

Fuente: Anexo 3. Informe de Adherencia.



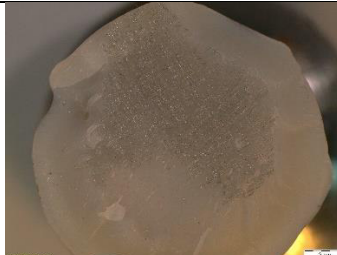







El tipo de fractura que se presenta durante el ensayo, se muestra en la tabla 26 y tabla 27.

Tabla 26. Probetas soldadas a 45° y sufrideras, después del ensayo de pull off.

21-004-S45-1		Tipo de Fractura
		100% B/Y
		Desprendimiento del adhesivo
		50%
21-004-S45-2		Tipo de Fractura
		100% B/Y
		Desprendimiento del adhesivo
		50%
21-004-S45-3		Tipo de Fractura
		100% B/Y
		Desprendimiento del adhesivo
		60%
21-004-S45-4		Tipo de Fractura
		100% B/Y
		Desprendimiento del adhesivo
		50%
21-004-S45-5		Tipo de Fractura
		100% B/Y
		Desprendimiento del adhesivo
		40%
Promedio de desprendimiento del adhesivo		50%

Fuente: Propia

Tabla 27. Probetas soldadas a 90° y sufrideras, después del ensayo de pull off.

21-004-S90-1		
		Tipo de Fractura
		100% B/Y
Desprendimiento del adhesivo		65%
21-004-S90-2		
		Tipo de Fractura
		100% B/Y
Desprendimiento del adhesivo		40%
21-004-S90-3		
		Tipo de Fractura
		100% B/Y
Desprendimiento del adhesivo		40%
21-004-S90-4		
		Tipo de Fractura
		100% B/Y
Desprendimiento del adhesivo		60%
21-004-S90-5		
		Tipo de Fractura
		100% B/Y
Desprendimiento del adhesivo		52%
Promedio de desprendimiento del adhesivo		51%

Fuente: Propia

3.1.5 ANÁLISIS METALOGRAFICO Y MEDICIÓN DE ESPESORES DE LA CAPA DE GALVANIZADO

La identificación de las probetas utilizadas para el análisis metalográfico, medición de espesores y micro durezas de la capa de galvanizado se muestra en la tabla 28.

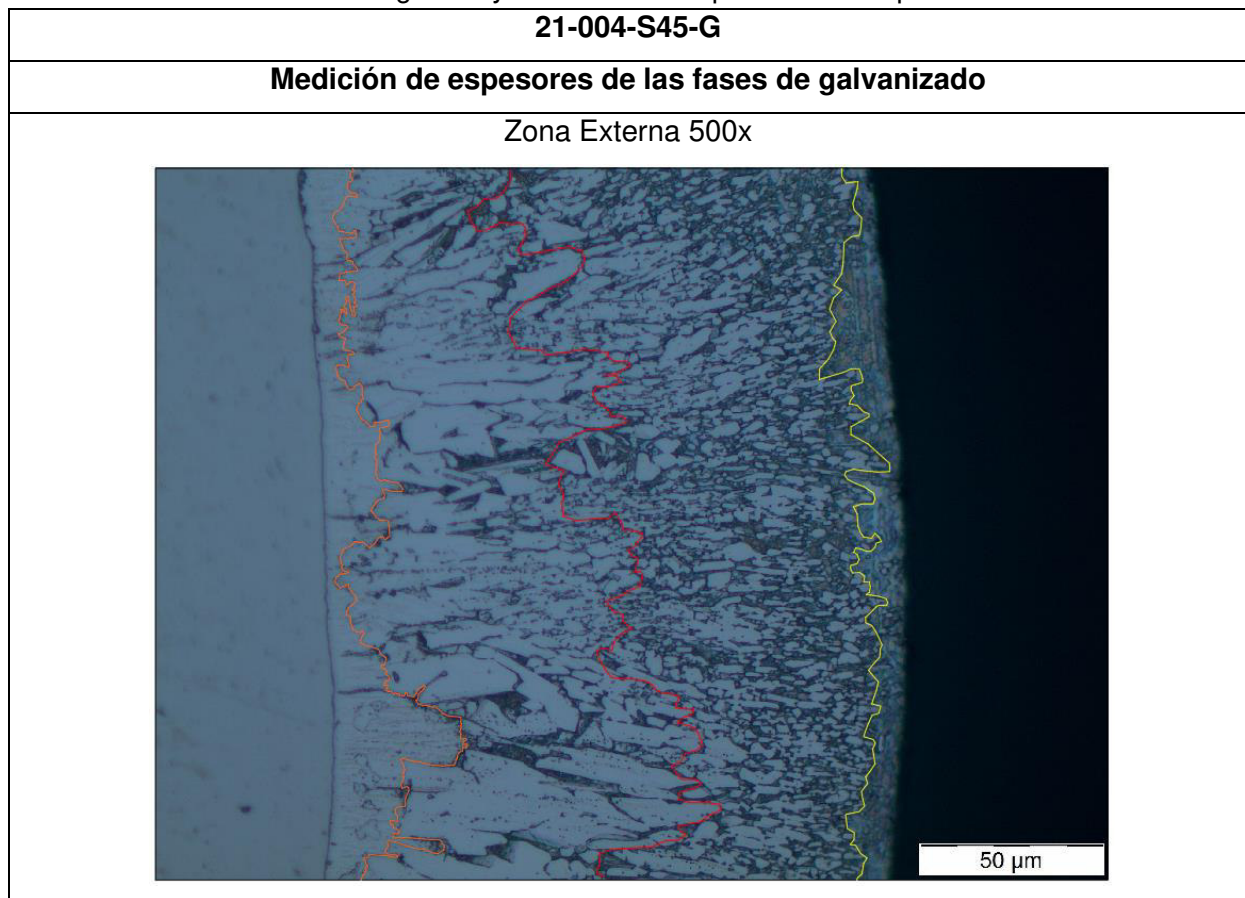
Tabla 28. Probetas para ensayos metalográficos, medición de espesores y micro durezas.

Origen de la probeta	Identificación de la Probeta
Perfil soldado a 45°	21-004-S45-B
Perfil soldado a 45° y galvanizado	21-004-S45-G
Perfil soldado a 90°	21-004-S45-B
Perfil soldado a 90° y galvanizado	21-004-S90-G

Fuente: Propia

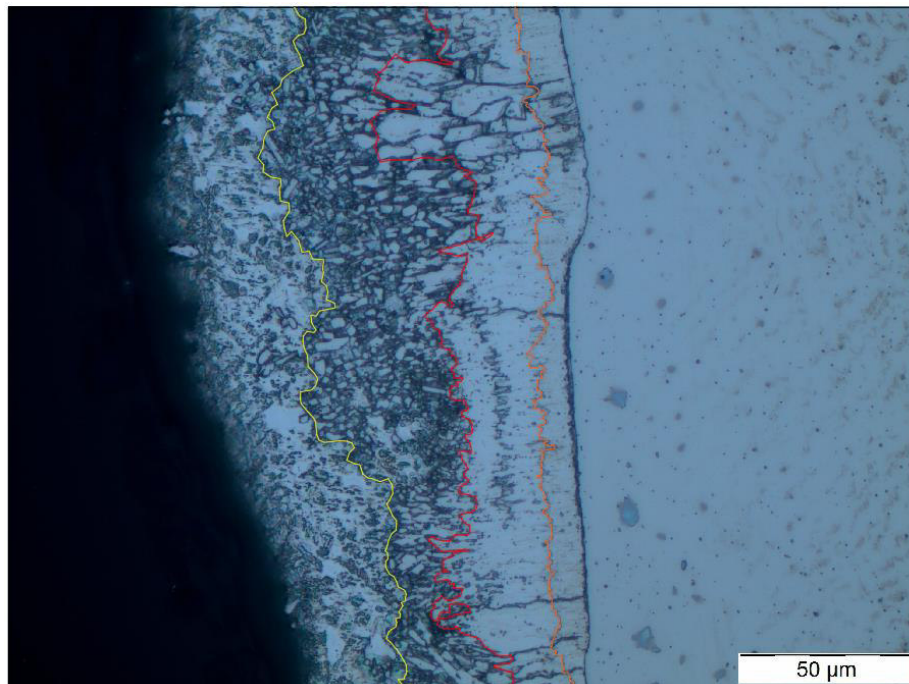
Las tablas 29 y 30 muestran los resultados obtenidos en la medición de espesores de la capa de recubrimiento y fases del galvanizado.

Tabla 29. Análisis metalográfico y medición de espesores de la probeta soldada a 45°.



Fase en zona externa	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	Promedio [μm]	Relación con espesor total
Gamma (Γ)	5,64	4,98	1,26	17,69	7,39	9,39%
Delta (δ)	18,91	38,61	26,34	30,65	28,63	36,37%
Zeta (ζ)	45,87	34,76	33,17	26,38	35,05	44,52%
Eta (η)	5,18	4,62	6,12	6,57	5,62	7,14%

Zona Interna 500x

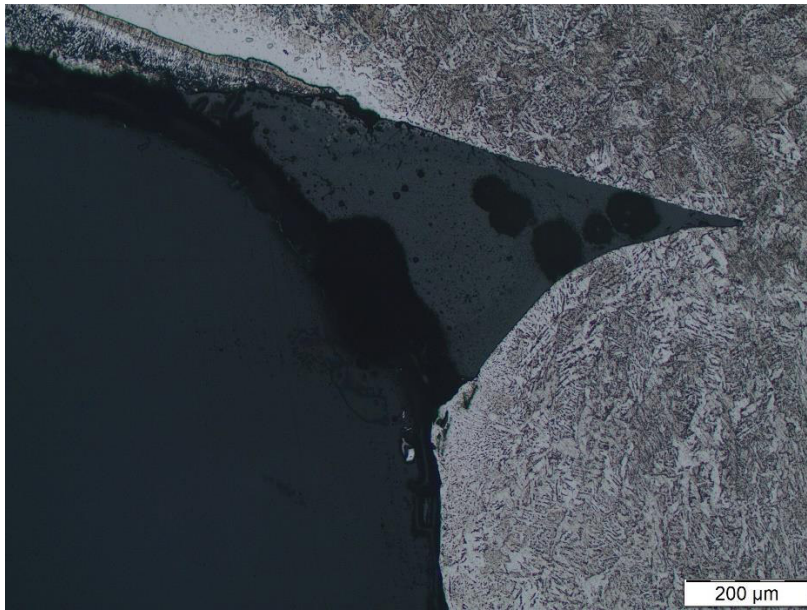


Fase en zona interna	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	Promedio [μm]	Relación con espesor total
Gamma (Γ)	6,38	3,29	5,47	4,15	4,82	9,07%
Delta (δ)	23,75	14,18	11,83	12,28	15,51	29,18%
Zeta (ζ)	12,52	18,61	21,08	13,23	16,36	30,78%
Eta (η)	14,78	21,92	16,99	14,41	17,03	32,04%

Medición de espesores del recubrimiento galvanizado

Espesor total	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	M5 [μm]	Promedio [μm]
Externo	78,14	78,32	79,62	79,63	77,87	77,72
Interno	57,42	62,47	53,53	49,53	42,82	53,15
Diferencia entre espesor externo e interno de la capa de galvanizado						31,61%

Zona Interna a 100x



La capa de recubrimiento galvanizado, no logró adherirse completamente en la zona interna del cordón de soldadura.

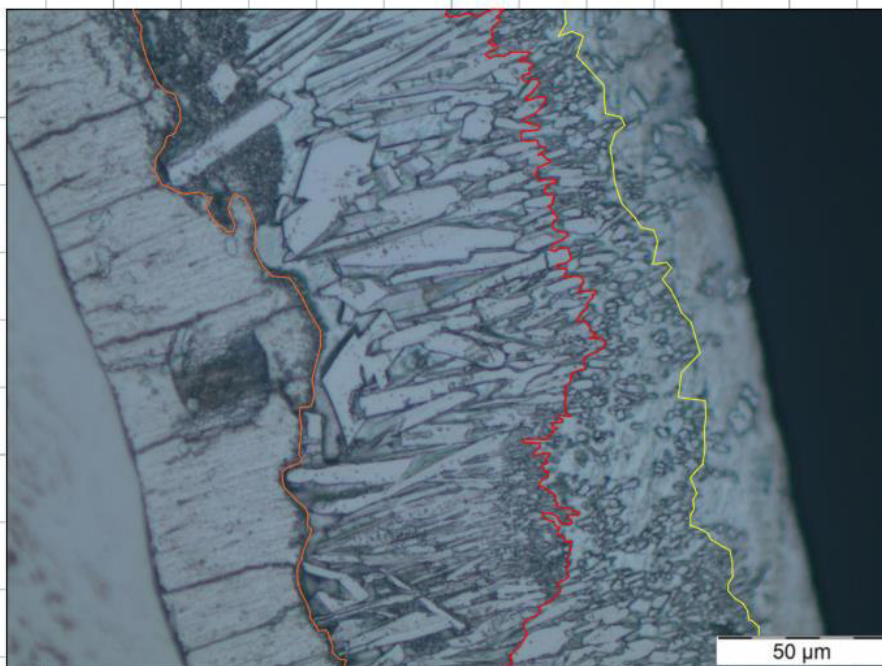
Fuente: Propia

Tabla 30. Análisis metalográfico y medición de espesores de la probeta soldada a 90°.

21-004-S90-G

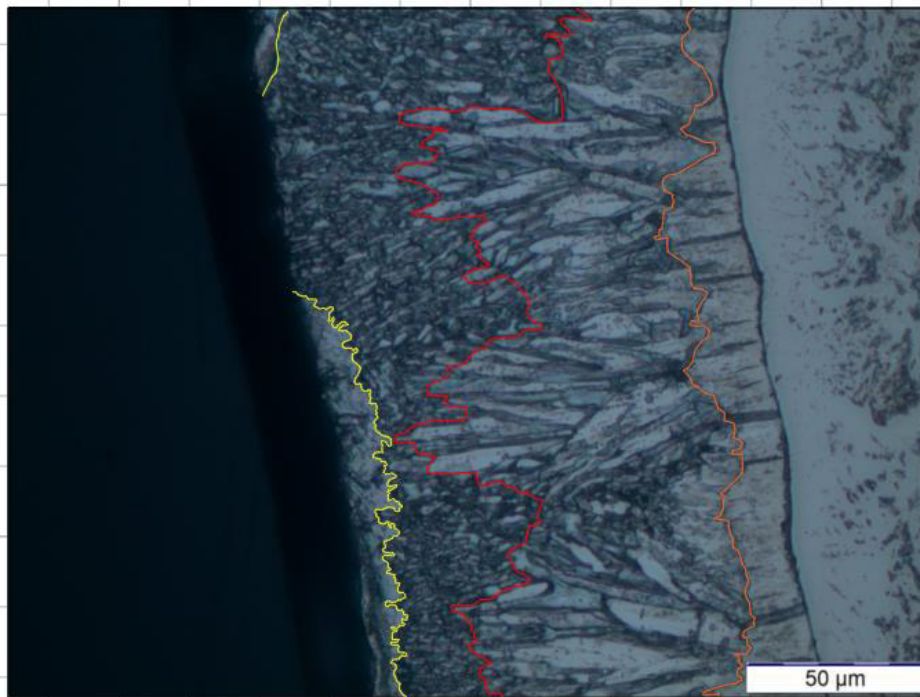
Medición de espesores de las fases de galvanizado

Zona Externa 500x



Fase en zona externa	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	Promedio [μm]	Relación con espesor total
Gamma (Γ)	18,14	31,56	21,39	20,53	22,91	24,04%
Delta (δ)	49,08	39,70	41,58	38,50	42,22	44,29%
Zeta (ζ)	9,92	12,93	17,02	32,35	18,06	18,95%
Eta (η)	11,25	12,52	12,51	11,02	11,83	12,41%

Zona Interna 500x

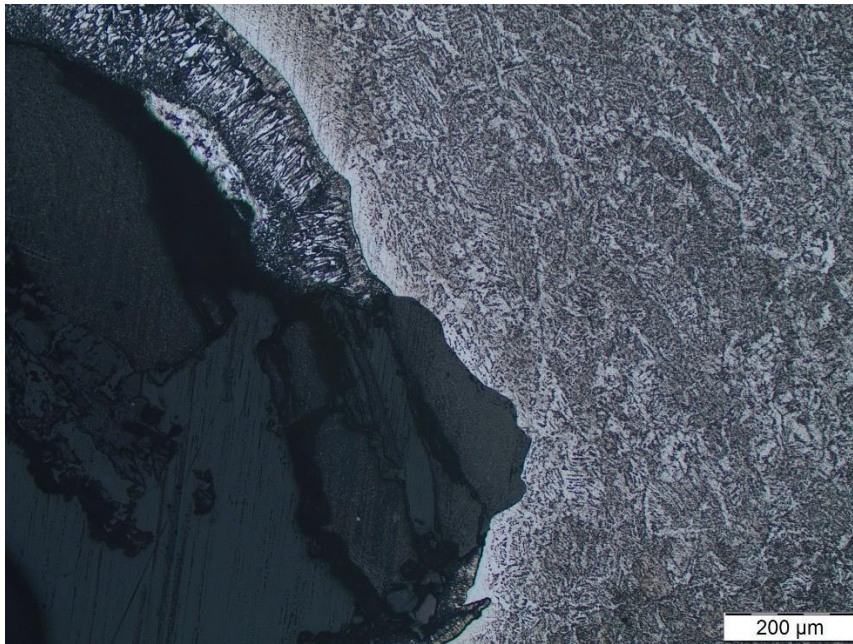


Fase en zona interna	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	Promedio [μm]	Relación con espesor total
Gamma (Γ)	6,39	7,61	7,72	9,52	7,81	12,33%
Delta (δ)	13,50	45,49	36,36	30,30	31,41	49,58%
Zeta (ζ)	40,52	19,28	26,39	7,09	23,32	36,81%
Eta (η)	5,07	4,05	5,08	3,45	4,41	6,96%

Medición de espesores del recubrimiento galvanizado

Espesor total	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	M5 [μm]	Promedio [μm]
Externo	97,09	95,75	94,59	94,72	94,41	95,31
Interno	65,09	64,79	62,59	63,09	61,21	63,35
Diferencia entre espesor externo e interno						33,53%

Zona Interna a 100x



En la sección interna de la soldadura, la capa de recubrimiento galvanizado no logró adherirse por completo al sustrato.

Fuente: Propia

3.1.6 ENSAYO DE MICRO DUREZAS

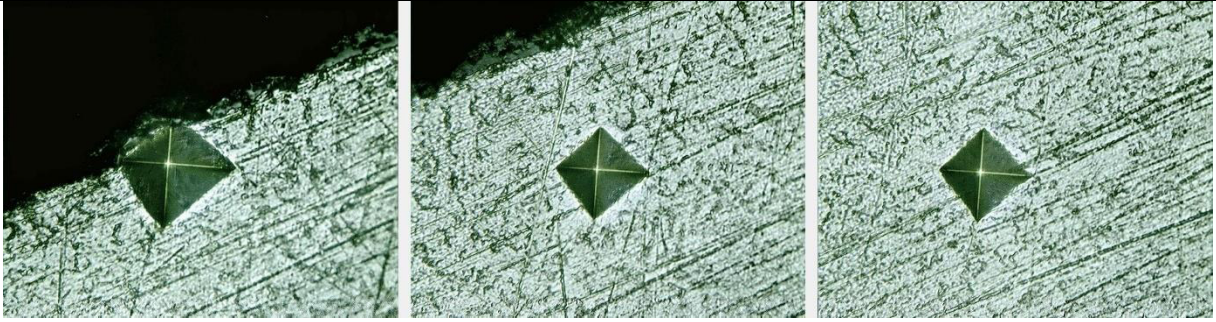
Según lo estipulado en la norma ASTM E384, la diferencia entre la mitad de una diagonal del indentador comparada con la mitad de otra diagonal, no debe superar el 5%; para realizar este cálculo se utilizará la ecuación 1 a continuación:

$$Diferencia[\%] = \frac{(D_a - D_b)}{D_a} * 100\%$$

Ecuación 1. Diferencia porcentual.

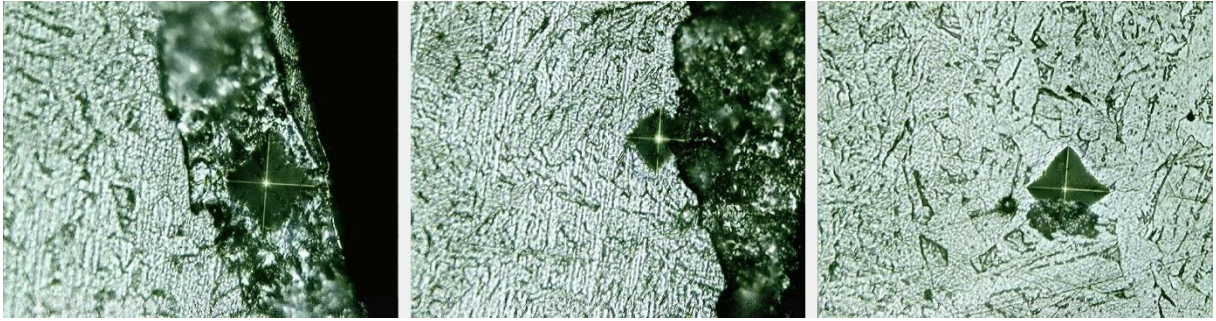
La tabla 31 y tabla 32 muestran los resultados del ensayo de micro durezas, realizado en probetas soldadas a 45°; mientras que la tabla 33 y tabla 34 muestran los resultados del ensayo de micro durezas, realizado en probetas soldadas a 90°.

Tabla 31. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 45°.

Zona interna: 21-004-S45-G					
					
Medida	Dureza [HV]	Diagonal D1 [μm]	Diagonal D2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	92,79	43,39	46,01	44,70	5,69
2	148,75	35,03	35,58	35,31	1,55
3	149,18	35,61	34,90	35,25	1,99
Promedio [HV]	148,96				
No es posible realizar el ensayo en la zona interna de la capa de recubrimiento galvanizado, debido a la existencia de secciones carentes del mismo.					

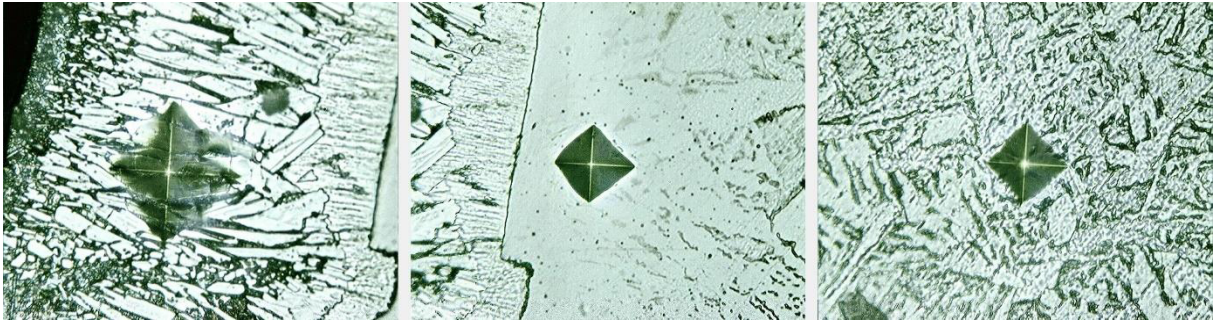
Fuente: Propia

Tabla 32. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 45°.

Zona externa: 21-004-S45-G					
					
Medida	Dureza [HV]	Diagonal D1 [μm]	Diagonal D2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	146,80	35,95	35,13	35,54	2,28
2	323,63	24,45	23,42	23,93	4,21
3	187,04	31,44	31,53	31,48	0,28
La medida 1, recae en la fase delta (δ); la medida 2 se ubica en la sección del sustrato que entra en contacto con el recubrimiento galvanizado; La medida 3 se ubica en el sustrato.					


Fuente: Propia

Tabla 33. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 90°.

Zona externa: 21-004-S90-G					
					
Medida	Dureza [HV]	Diagonal D1 [μm]	Diagonal D2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	250,86	27,27	27,10	27,19	0,623
2	203,45	30,13	30,25	30,19	0,396
3	178,84	32,33	32,07	32,20	0,804
La medida 1 se ubica en la fase delta (δ) del recubrimiento galvanizado; las medidas 2 y 3 se ubican en el sustrato.					

Fuente: Propia.

Tabla 34. Resultados de micro durezas en la probeta soldada a 90°.

Zona interna: 21-004-S90-G					
					
Medida	Dureza [HV]	Diagonal D1 [μm]	Diagonal D2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	215,74	29,21	29,42	29,31	0,71
2	199,81	30,47	30,45	30,46	0,06
3	195,99	30,72	30,80	30,76	0,26
Promedio [HV]	203,45				
Las medidas se ubican en el sustrato debido a que no se localizan secciones de recubrimiento galvanizado suficientes para realizar el ensayo.					

Fuente: Propia

3.1.7 MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Para este ensayo se utilizaron perfiles angulares galvanizados, de los cuales no se extrajeron probetas para ensayos anteriores.

Los resultados obtenidos por el equipo de medición se muestran en la tabla 35 para la probeta soldada a 45°; y tabla 36 para la probeta soldada a 90°.

Tabla 35. Medición de rugosidad en perfil angular soldado a 45° y galvanizado.

21-004-S45-R				
Medición	Valor [μm]		Medición	Valor [μm]
1	104,0		11	338,0
2	94,0		12	167,0
3	61,0		13	464,0
4	83,0		14	268,0
5	68,0		15	515,0
6	53,0			
7	69,0			
8	91,0			
9	108,0			
10	90,0			

Fuente: Anexo 4. Informe de Rugosidad

Tabla 36. Medición de rugosidad en perfil angular soldado a 90° y galvanizado.

Probeta: 21-004-S90-R				
Medición	Valor [μm]		Medición	Valor [μm]
1	127,0		11	280,0
2	112,0		12	222,0
3	56,0		13	265,0
4	98,0		14	119,0
5	87,0		15	394,0
6	107,0			
7	88,0			
8	114,0			
9	94,0			
10	89,0			

Fuente: Anexo 4. Informe de Rugosidad

La diferencia entre la zona plana y la zona soldada de la probeta se muestran en las figuras 21 y 22 respectivamente.

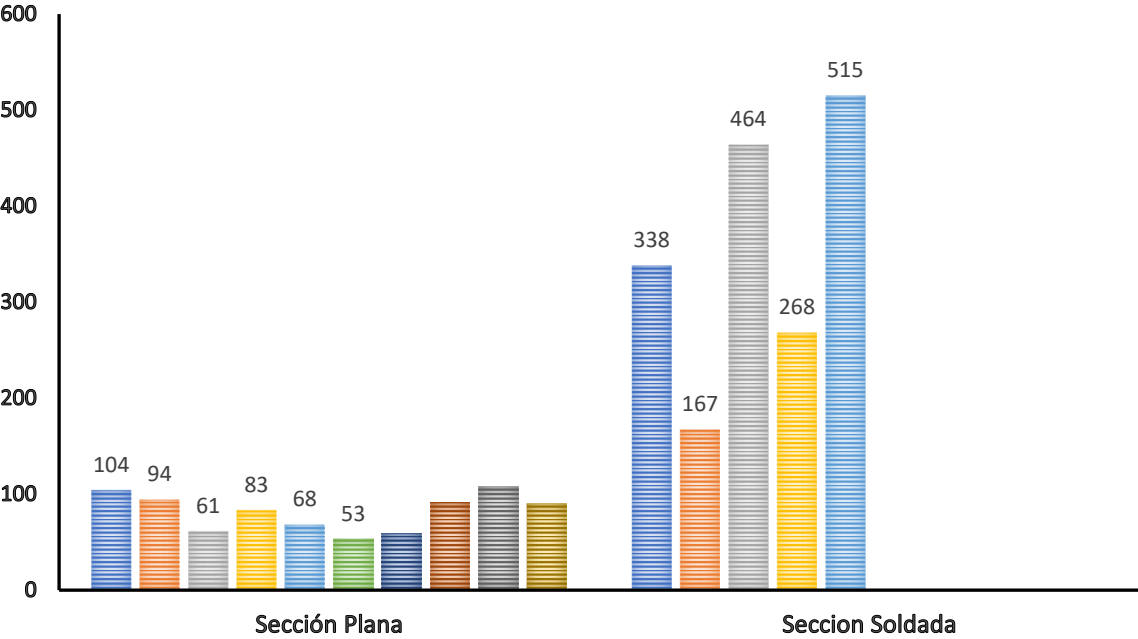


Figura 21. Comparación de rugosidades en [μm], del perfil soldado a 45°. Fuente: Propia

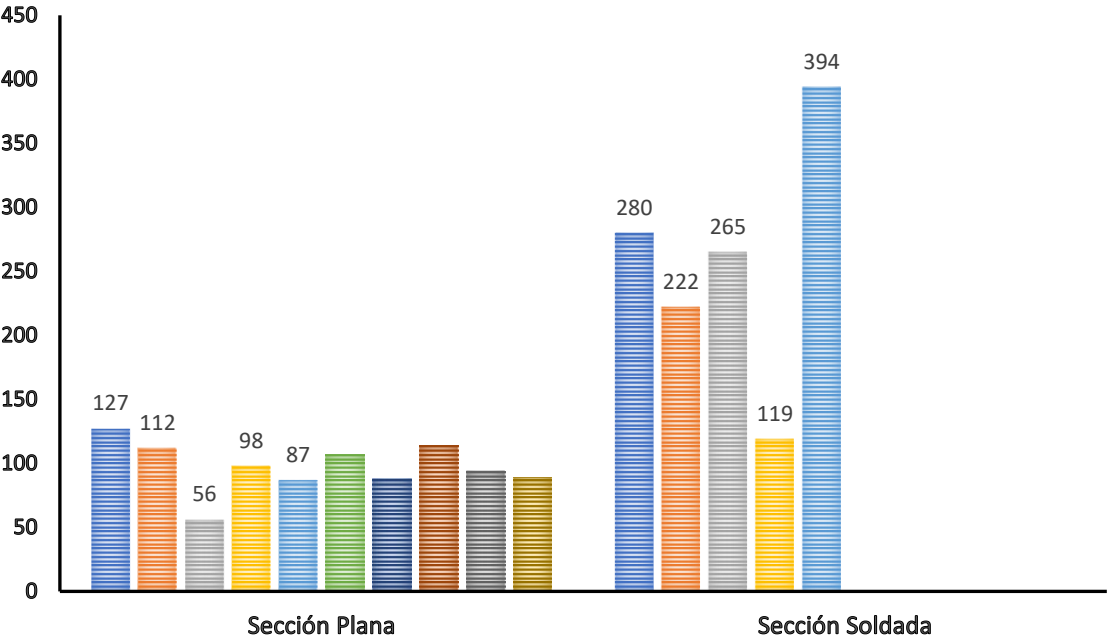


Figura 22. Comparación de rugosidades en [μm], del perfil soldado a 90°. Fuente: Propia

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL BASE

Los resultados obtenidos en el análisis de composición química, mostrados en la tabla 20; junto a los resultados obtenidos del ensayo de tracción (tabla 21), se determina que el material base utilizado para el presente estudio, corresponde a un acero ASTM grado A36. (ASTM A36/A36M, 2014)

3.2.2 ADHERENCIA DEL GALVANIZADO AL SUSTRATO DE ACERO

En base a los resultados recabados por los ensayos de enfriamiento brusco en agua y pull off, se determina que la adherencia de la capa de recubrimiento galvanizado sobre el sustrato de acero es aceptable.

En el ensayo de enfriamiento brusco no se evidenció desprendimiento de la capa de galvanizado, incluso, no se produjeron agrietamientos al enfriar las probetas en agua.

En el ensayo de pull off se determina que el esfuerzo de fractura alcanzado por la pasta adhesiva con las probetas soldadas a 90° es mayor al esfuerzo alcanzado con las probetas soldadas a 45°, en un 13,42%; de esto se puede acotar que los valores promedio de esfuerzo presentados en cada uno de los tipos de probetas son 32,94 [MPa] y 28,52 [MPa] respectivamente. Estos datos se pueden corroborar con la tabla 24.

Para cada tipo de probeta se tiene que los valores máximos que alcanzó el esfuerzo de fractura son de 37,80 [Mpa] (probetas soldadas a 45°), y 38,09 [MPa] (probetas soldadas a 90°).

Lo mostrado en las tablas 25 y 26, evidencia que se produjo una falla del pegamento, debido a que no se registra desprendimiento del revestimiento galvanizado en ninguna de las probetas ensayadas.

Las tablas 29 y 30 muestran ausencia de recubrimiento en algunas secciones del cordón de soldadura, específicamente en la zona interna del perfil angular, la presencia de escoria resultante del proceso de soldadura genera que el recubrimiento galvanizado no se adhiera a la totalidad de la superficie del perfil angular.

3.2.3 ANÁLISIS METALOGRAFICO Y MEDICIÓN DE ESPEORES DEL RECUBRIMIENTO GALVANIZADO

La tabla 3 fue extraída de la norma ASTM A123, (2017), misma que determina el espesor de galvanizado que debe presentar un elemento de acero con espesor de 5[mm]; esto se compara con los resultados registrados en las tablas 29 y 30; y se determina que los perfiles angulares presentan espesores mayores a 75[μm] en la zona externa, mientras que la zona interna presenta espesores alrededor de 53[μm] y 63[μm]. Esto se debe a la mayor velocidad de enfriamiento que se presentó en la zona externa del galvanizado de los perfiles angulares; logrando mayores espesores que los obtenidos en la superficie interna con menor velocidad de enfriamiento. Esta diferencia en la velocidad de enfriamiento, se explica con la disposición de los elementos al ingresar en el baño de galvanizado, ya que, al ser colocados con la abertura angular hacia abajo, esta sección estará menos expuesta al ambiente en el que se enfriaron los perfiles luego del baño de galvanizado.

El contenido de silicio en el acero, es un factor que influye en el desarrollo de las fases presentes en la capa de galvanizado; como se observa en la tabla 20, el sustrato utilizado para este estudio entra en el rango del efecto Sandelin, con lo cual se observa la presencia de las fases: gamma (Γ), delta (δ), zeta (ζ) y eta (η). Según lo descrito por Maaß & Peißker, (2011), el desarrollo de las fases también depende de la temperatura del baño de cinc, tiempo de permanencia en el baño y velocidad de enfriamiento; al comparar las metalografías obtenidas en este estudio con lo estipulado en el trabajo de Maaß & Peißker, (2011), el recubrimiento presenta una estructura semejante a la de un elemento galvanizado a 450°C durante 60[s] a 120[s]; consistente al proceso utilizado por la empresa Galvanorte encargada de realizar la aplicación del recubrimiento galvanizado.

Las fases delta (δ) y zeta (ζ) representan más del 50% del espesor total del recubrimiento galvanizado en todas las probetas analizadas; el crecimiento de las fases varía según la zona analizada, siendo la fase delta (δ), la que presenta mayor crecimiento en las probetas soldadas a 45°, mientras que la fase zeta (ζ) presenta mayor crecimiento en las probetas soldadas a 90°. En todas las probetas analizadas, la fase eta (η) registra los menores valores de espesor y su apariencia presenta incrustaciones cristalinas, lo cual difiere con el trabajo de Maaß & Peißker, (2011), donde se estipula que esta fase es prácticamente cinc puro, sin incrustaciones. El trabajo realizado por Agila & Chávez, (2021) presenta resultados que se apegan a la investigación de Maaß & Peißker, (2011).

3.2.4 MEDICIÓN DE MICRO DUREZAS

Los resultados de este ensayo se muestran en las tablas 31 a 34, en la cual se recopilan resultados de micro-indentaciones realizadas en el sustrato y en la capa de recubrimiento galvanizado de las probetas 21-004-S45-G y 21-004-S90-G. Las marcas que se realizaron en el recubrimiento, se localizan entre las fases delta (δ), zeta (ζ) y eta (η) de la sección externa de las probetas. La sección interna de las probetas no proporciona un espesor de recubrimiento uniforme en el cordón de soldadura, por lo cual no se realizaron medidas que puedan ser utilizadas.

Los valores registrados por las micro-indentaciones entre las fases delta, zeta y eta son de 146,80[HV] en la probeta 21-004-S45-G y 250,86[HV] en la probeta 21-004-S90-G; al compararlos con la tabla 4, extraída de la investigación de Rico & Carrasquero, (2017), que muestra 358[HV] en la fase delta, 208[HV] en la fase zeta y 52[HV] en la fase eta; se determina que la medida de la probeta 21-004-S90-G se ubica entre las fases delta (δ) y zeta (ζ), ($358 > 250,86 > 208$)[HV]; mientras que la probeta 21-004-S45-G ubica su medida entre las fases zeta (ζ) y eta (η), ($208 > 146,80 > 52$)[HV].

Considerando las metalografías mostradas en las tablas 29 y 30, se determina que la fase delta (δ) presenta cristales alargados más gruesos y uniformes; la fase zeta (ζ) presenta cristales en forma de granos delgados que van reduciendo su tamaño; mientras que la fase eta (η) es la de menor espesor y presenta incrustaciones.

El tiempo de permanencia del elemento dentro del baño de galvanizado ocasiona los bajos espesores en la fase eta, mientras que la presencia de impurezas en la superficie ocasiona la presencia de incrustaciones en esta fase.

La microestructura en forma de cristales, que presentan las fases delta y zeta, se relacionan con los valores altos de dureza registrados en las tablas 31 a 34; mismos que se mantienen dentro de los parámetros aceptados por la norma ASTM E384, (2017), al presentar menos del 5% de diferencia entre las diagonales que deja la marca del micro indentador.

3.2.5 MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

Las figuras 22 y 23 muestran la variación de rugosidad presentada entre la sección plana y el cordón de soldadura de los perfiles angulares, lo cual se explica con la formación de escurrimientos (sección plana) y grumos (cordón de soldadura), los cuales se forman cuando el elemento es extraído del baño de galvanizado.

Los valores de rugosidad en la sección plana del presente estudio, se relacionan con el contenido de silicio (Si) en el sustrato de acero, mismo que se ubica dentro del rango del efecto Sandelin, esto puede producir escurrimientos, explicados como el aumento de átomos de hierro liberados por el sustrato, mismos que se difunden en el cinc fundido que rodea los elementos, una vez que se alcanza cierto grado de saturación en la fusión de hierro y cinc, se forman cristales finos y se genera una materia pastosa viscosa, que se adhiere a la superficie del elemento galvanizado y generalmente también se cubre por cinc puro, esta materia blanda es la que produce los escurrimientos cuando se extrae el elemento galvanizado del baño de cinc. (Maaß & Peißker, 2011)

Mientras que, en el cordón de soldadura externo, se presentan los valores más altos para los perfiles angulares, esto se puede explicar por grumos que se pudieron producir en la extracción de los perfiles del baño de galvanizado ya que, si los perfiles están en posición horizontal durante la extracción del baño, los cristales de escoria libres pueden quedar atrapados en dicha superficie y luego permanecer encapsulados en la capa de zinc puro adherido, esto de acuerdo al estudio realizado por Maaß & Peißker, (2011).

En aquellas zonas donde no se produjo el galvanizado, se puede deber a la presencia de burbujas de aire atrapadas en la zona del cordón de soldadura interno, dado que los perfiles fueron sumergidos con la abertura angular hacia abajo, provocando el atrapamiento del aire.

En comparación con los resultados mostrados en el trabajo de Agila & Chávez, (2021) que logra rugosidades entre 1,74[μm] y 3,68[μm]; los datos recabados por la presente investigación muestran una diferencia superior al 90%.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

En el presente estudio se logró alcanzar el objetivo general y objetivos específicos propuestos.

Se determinó que el sustrato de acero utilizado para este trabajo de investigación, corresponde a un acero ASTM A36, además, se lo considera un acero Sandelin debido a su contenido de silicio (Si).

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de enfriamiento brusco determinan que la capa de galvanizado se mantiene firme, ya que no se produjo desprendimiento o alguna muestra de agrietamiento.

El ensayo de adherencia por pull off no es concluyente, debido a que se presentó falla de pegamento en cada una de las probetas ensayadas, a pesar de que se alcanzaron valores altos; esto puede ser consecuencia del montaje de probeta-pasta adhesiva-sufridera.

La preparación de superficies, tanto de la probeta como de la sufridera (dado), es un factor que afecta directamente en la adherencia del conjunto, por ende, afecta la correcta realización del ensayo.

El análisis metalográfico muestra la formación de cuatro fases dentro de la capa de galvanizado, de las cuales la fase delta y zeta representan más del 50% del espesor total del recubrimiento.

Las metalografías muestran que la zona interna del cordón de soldadura presenta secciones carentes de galvanizado, debido a la presencia de burbujas de aire atrapadas durante el proceso de galvanizado, lo cual confirma una relación directa entre la apertura angulas de un perfil soldado y su capa de galvanizado.

La velocidad de enfriamiento de la zona externa es mayor a la zona interna, lo cual genera mayor espesor de la capa de galvanizado, esto produce que el espesor externo sea mayor al espesor interno en un 30% aproximadamente.

En aquellas zonas donde se tiene presencia de salpicaduras, generadas por la soldadura de las placas, el valor de rugosidad en el galvanizado es mayor.

Valores altos de rugosidad no son deseables, dado que permiten el depósito de impurezas sobre la superficie del galvanizado, beneficiando a los procesos de corrosión.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda conocer la composición química del sustrato de acero utilizado, ya que el porcentaje de elementos aleantes puede determinar el comportamiento de la capa de recubrimiento analizado.

Se recomienda estimar el número de probetas a utilizar, en base a los ensayos que se prevén realizar, tomando en cuenta que un mismo grupo de probetas pueden ser sometidas a varios ensayos de forma secuencial.

Es importante realizar ensayos destructivos para determinar la adherencia de la capa de galvanizado al sustrato de acero.

Al realizar el ensayo de adherencia por pull off, se debe lograr superficies de contacto, de la probeta y de la sufridera (dado), con la menor rugosidad posible, sin comprometer la integridad del recubrimiento galvanizado.

Es necesario repetir los ensayos de pull off, medición de espesores, micro durezas y medición de rugosidad superficial; en varias secciones de una probeta, de esta forma se logra cubrir una mayor zona que ayudará al análisis.

Se recomienda realizar una limpieza superficial de las placas de acero previas a la obtención de los perfiles angulares, para eliminar posibles depósitos de escoria que queden atrapados en el cordón de soldadura y posteriormente, afecten el proceso de galvanizado.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Agila, B., & Chávez, J. (2021). *Caracterización del Recubrimiento de Zinc sobre Acero A-36 SOBRE ACERO A-36, al variar su calidad superficial y ser tratado térmicamente*. Quito.
- Alonso, C., Recio, F., Sánchez, M., Reaney, D., & Fullea, J. (2006). CORROSIÓN DE ARMADURAS GALVANIZADAS EXPUESTAS A SOLICITACIONES FÍSICO-MECÁNICAS. *Anales de Mecánica de la Fractura Vol. II*. Obtenido de <https://gef.es/images/publicaciones/23/4-9.pdf>
- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. International Thomson Editores S.A.
- ASM HANDBOOK Committe. (1994). Volume 5. Surface Engineering. En ASM.
- ASTM A123. (2017). Especificación Estándar para Recubrimientos de Zinc (galvanizados en caliente) sobre productos de hierro y acero . *ASTM International* .
- ASTM A36/A36M. (2014). Standard Specification for Carbon Structural Steel . *ASTM International*.
- ASTM E384. (2017). Standard Thets Methods for Microindentation Hardness of Materials. *ASTM International*.
- ASTM E8/E8M. (2016). Standard Thest Methods for Tension Testing of Metallic Materials. *ASTM International*.
- ASTM International. (s.f.). NORMA ASTM PARA ACEROS ESTRUCTURALES. *ASTM International*. Obtenido de <https://vdocuments.site/designacion-astm-de-aceros.html>
- ATSA. (2021). *ATSA ACEROS TORICES*. Obtenido de <https://www.losacero.mx/perfiles-estructurales/>
- ATSA. (2021). *ATSA ACEROS TORICES*. Obtenido de <https://www.losacero.mx/perfiles-estructurales/>
- Bello, C., & Bersani, O. (2009). Tratamientos Térmicos del Acero. *Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Escuela de Diseño*. Obtenido de https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fllamados.ancap.com.uy%2Fdocs_concursos%2FARCHIVOS%2F1%2520LLAMADOS%2520EN%2520TR%25C3%2581MITE%2F2018%2FREF.%252017-2018%2520-%2520OFICIAL%2520TALLER%2520B%2520-%2520PLANTA%2520MINAS%2520-%25

- Bruker. (2021). *Bruker*. Obtenido de Bruker Corporation: www.bruker.com
- Chico, J. (2018). *Caracterización del Grado de Adherencia y Difusión de la Capa de Aleación Hierro-Zinc para Perfiles Galvanizados de Acero Estructural de Bajo Contenido de Carbono*. Quito.
- CINCO S.A.S. (11 de 2021). *CINCO S.A.S.* Obtenido de <https://www.cinco.com.co/2021/11/22/la-soldadura-gmaw-mig-mag/>
- DIPAC. (2021). *DIPAC Productos de Acero*. Obtenido de <https://www.dipacmanta.com/perfiles/perfiles-estructurales/angulo-importado>
- Elcometer. (2021). *Elcometer*. Obtenido de Equipos de Inspección: www.elcometer.com
- ESAB. (2021). *ESAB*. Obtenido de https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso_soldadura_gmaw.cfm
- GALVANORTE Cia. Ltda. (2021). *Galvanorte Cia. Ltda.* Obtenido de galvanorte.ec: <https://galvanorte.ec/content/10-servicio-de-galvanizado>
- GALVATEK. (s.f.). RECOMENDACIONES DEL DISEÑO DE ARTICULOS A GALVANIZAR. *GALVATEK*. Obtenido de <http://galvatek.com.mx/problemass.htm>
- Kuklík, V., & Kudláček, J. (2016). *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*. Elsevier.
- Maaß, P., & Peißker, P. (2011). *Handbook of Hot-dip Galvanization*. Wiley-VCH.
- Manrique, A. (s.f.). *Diseño Simplificado en Acero Estructural*.
- MIPSA. (2022). *MIPSA Expertos Procesando Metales*. Obtenido de <https://www.mipsa.com.mx/procesos/soldadura/por-arco-de-metal-y-gas-gmaw/>
- MIPSA. (2022). *MIPSA Expertos Procesando Metales*. Obtenido de <https://www.mipsa.com.mx/2021/07/14/recubrimientos-metalicos-proteccion-funcionalidad-y-decorado-de-las-superficies/>
- NTE INEN 950. (2013). RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA. MÉTODOS DE ENSAYO. *INEN Norma Técnica Ecuatoriana*.
- Raichev, R., Veleva, L., & Valdez, B. (2009). *Corrosión de metales y degradación de materiales. Principios y prácticas de laboratorio*. Mérida: CINVESTAV. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/261323513_CINVESTAV-_MERIDA_UABC-_MEXICALI

- Ramírez, E. (18 de 4 de 2018). *AMEGAC*. Obtenido de http://amegac.org/wp-content/uploads/2018/04/18_04_06_Los-aceros-y-el-galvanizado_IMELEC.pdf
- Revie, R., & Uhlig, H. (2008). *Scientific Research*. Obtenido de An Academic Publisher: [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1624001](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1624001)
- Rico, Y. (2012). ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS. *Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre"*. Obtenido de https://www.bing.com/search?q=ESTRUCTURA+Y+CARACTERIZACION+DE+LOS+RECUBRIMIENTOS+GALVANIZADOS+POR+INMERSION+EN+CALIENTE+SOBRE+ACEROS.&qs=n&form=QBRE&msbsrank=0_0_0&sp=1&pq=rico+y+2012&sc=0-13&sk=&cvid=C59DC9467D104539A2FFC799C03414ED
- Rico, Y., & Carrasquero, E. (2017). EFECTO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE RECUBRIMIENTOS GALVANIZADOS POR INMERSIÓN EN CALIENTE: UNA REVISIÓN. *INGENIUS*. Obtenido de <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/ing/n18/1390-650X-ing-18-00030.pdf>
- Tratamiento Térmico del Acero. (2019). *Atlantic International University*. Obtenido de <https://cursos.aiu.edu/Procesos%20Industriales/PDF/Tema%202.pdf>

ANEXO I. Informe Técnico: Espectrometría por Chispa



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

DEPARTAMENTO DE MATERIALES

LABORATORIO DE FUNDICIÓN

INFORME TÉCNICO



Solicitado por: Ing. Carlos Wime Díaz Msc.

Tipo de Trabajo: Espectrometría por chispa

Fecha: 09 de marzo del 2021

Realizado por: Ing. Oscar Sotomayor/Ing. Luis G. Huilca

Descripción: Muestra de material metálico


1. ANTECEDENTES.

Se recibe en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional una probeta de material metálico.

Se solicita realizar la prueba de espectrometría con la finalidad de determinar los componentes presentes en la muestra entregada.

2. IDENTIFICACIÓN DE LA PROBETA.

La probeta para el análisis correspondiente es identificada como se muestra a continuación:

Nombre	Identificación de la probeta	Identificación Gráfica
MUESTRA METÁLICA	Sample M1	

3. ANTECEDENTES TÉCNICOS

3.1. Limpieza Superficial: Según norma ASTM E415 – 17 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry

3.2. Método: Fe 110 Low alloy

4. VALORES OBTENIDOS

El análisis de espectrometría por chispa se realiza empleando el espectrómetro marca BRUKER modelo Q2 ION. Para el análisis se tomaron 3 mediciones en el área del espécimen y finalmente se promedió su valor.

		Muestra M1
Elemento		Valor [%]
Carbono	[C]	0,118
Silicio	[Si]	0,039
Manganeso	[Mn]	0,176
Fósforo	[P]	0,024
Cromo	[Cr]	0,227
Níquel	[Ni]	0,025
Aluminio	[Al]	0,012
Hierro	[Fe]	99,34
Total		99,97



Ing. Luis G. Huilca

Técnico Responsable



Ing. Óscar Sotomayor

**Jefe del Laboratorio de
Fundición**



Con la finalidad de mejorar nuestros servicios, solicitamos de la manera más comedida se llene la encuesta mediante la captura del código QR adjunto, agradecemos su colaboración.



Sample: Muestra M1

Analysis Time: 09.03.2021 11:55:10

Method: Fe110

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
∅	0,118	0,039	0,176	0,024	<0,0030
	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Cu [%]	Al [%]
∅	0,227	<0,0050	0,025	0,0069	0,012
	Co [%]	Nb [%]	Ti [%]	V [%]	W [%]
∅	0,0085	0,0087	<0,0020	<0,0030	<0,020
	B [%]	Sn [%]	Fe [%]		
∅	0,0050	0,0072	99,34		

ANEXO II. Informe LAEV M21.026



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

F01-PE-LAEV-01 Rev.00

INFORME

LAEV – M21.026

Quito, 17 de marzo de 2021

Solicitado por: Msc. Carlos Díaz
Persona de contacto: Francisco Jácome, Yorman Santana
Teléfono: 0984483616
Correo: francisco.jacome01@epn.edu.ec
Fecha de recepción: 15/03/2021
Fecha de ejecución: 15/03/2021

ORDEN DE TRABAJO Nº: DM-OTI0003-2021

1. MUESTRAS: Seis (6) probetas planas de material base para ensayo de tracción.

2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN:

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: CARACTERIZACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA APERTURA DEL ÁNGULO DE DOBLEZ O SOLDADO, PARA EL DEPÓSITO DE LA CAPA DE GALVANIZADO EN ACERO ASTM A36

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras

Id. cliente	Id. LAEV
(D90, S45, S90) Probetas Galvanizadas	M21.026.01 - M21.026.03
(D90, S45, S90) Probetas sin Galvanizar	M21.026.04 - M21.026.06

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $17,3 \pm 0,9$ °C

Humedad relativa: $68,0 \pm 3,1$ %


4. ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIAL BASE

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de tracción.

Tabla 2. Ensayo de tracción a material base

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	lbf	N	ksi	MPa	
M21.026.01	12,64	5,25	6 389	28 422	62,1	429,5	39,5
M21.026.02	12,34	5,21	6 358	28 281	63,8	441,1	37,0
M21.026.03	12,56	5,19	6 422	28 568	63,6	439,5	40,1
M21.026.04	12,48	4,99	6 340	28 200	65,7	454,0	39,9
M21.026.05	12,47	4,98	6 151	27 362	63,9	441,6	41,4
M21.026.06	12,66	4,95	6 240	27 755	64,2	444,0	37,0

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV). Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre.

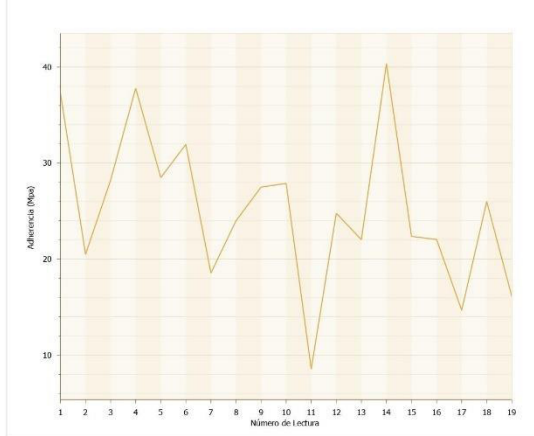
	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	 <small>Firmado digitalmente por</small> JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO	WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO <small>Firmado digitalmente por</small> WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2021.03.17 11:11:04 -05'00'
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABORATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

ANEXO III. Informe de Adherencia

Informe de Inspeccion - Adherencia

Example Data\
21-004-1

Tabla Individuos / Correr



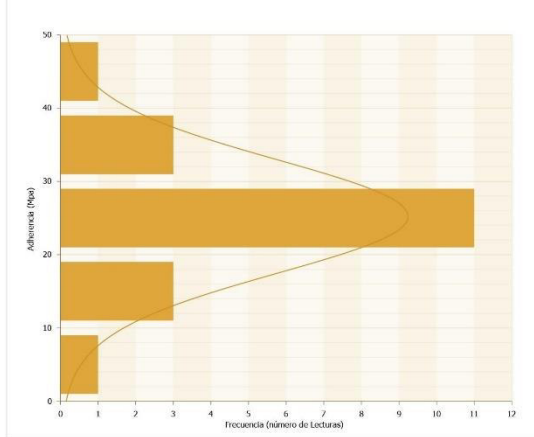
Proyecto	
Nombre	Example Data

Medidor	
Tipo	Elcometer 510
PCB Serie #	RE08738
Numero de Serie #	RF27992
Nombre de Usuario	

Lote	
Nombre en Medidor	21-004-1
Nombre de Usuario	21-004-1
Fecha de Creacion	15/3/2021 11:22:01
Actualizar Fecha	15/3/2021 11:22:25
Fecha de primera lectura	15/3/2021 11:24:03
Fecha de Ultima Lectura	15/3/2021 12:26:38
Tamaño de sufridera	10mm
Arranque hacia	Maximo
Límite	40,00 Mpa
Capas	Apagar
Tiempo de espera	0,50s
Objetivo indicativo	0,80 Mpa/s
tipo de camisa	Delgada de 14,2mm (I/D:16.3mm O/D:40.
Cortador	Ninguno

Estadísticas	
# Lecturas	19
Media	25,214 Mpa
Maximo	40,34 Mpa
Minimo	8,55 Mpa
Desviación Estandar	8,092 Mpa
Media + 3σ	49,489 Mpa
Media - 3σ	0,938 Mpa
Coefficiente de Variacion	32,1%

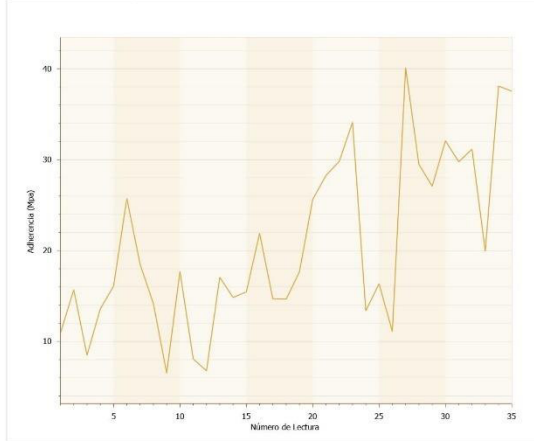
Histograma



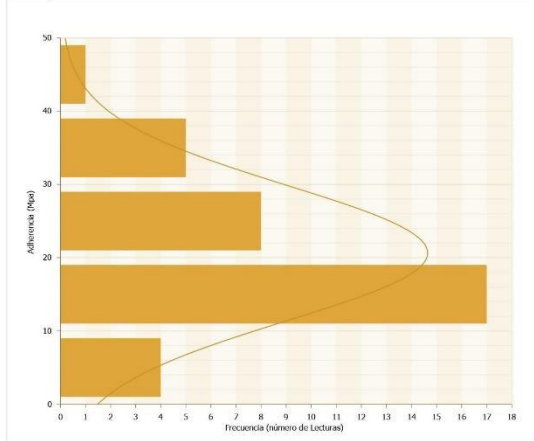
Informe de Inspeccion - Adherencia

Example Data\
21-004

Tabla Individuos / Correr



Histograma



Proyecto	
Nombre	Example Data

Medidor	
Tipo	Elcometer 510
PCB Serie #	RE08738
Numero de Serie #	RF27992
Nombre de Usuario	

Lote	
Nombre en Medidor	21-004
Nombre de Usuario	21-004
Fecha de Creacion	2/3/2021 8:52:49
Actualizar Fecha	2/3/2021 8:52:49
Fecha de primera lectura	2/3/2021 8:54:43
Fecha de Ultima Lectura	8/3/2021 10:12:16
Tamaño de sufridera	10mm
Arranque hacia	Maximo
Límite	40,00 Mpa
Capas	Apagar
Tiempo de espera	0,50s
Objetivo indicativo	0,80 Mpa/s
tipo de camisa	Delgada de 14,2mm (I/D:16.3mm O/D:40.
Cortador	Ninguno

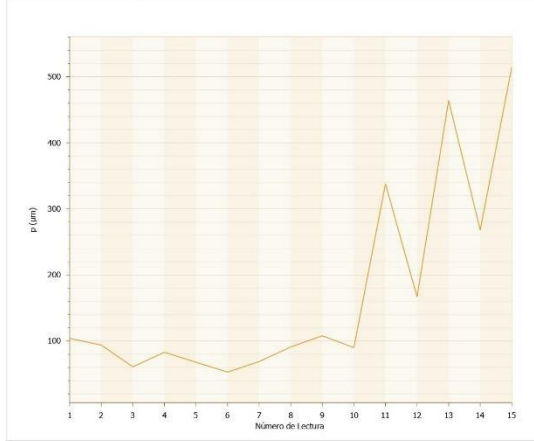
Estadísticas	
# Lecturas	35
Media	20,636 Mpa
Maximo	40,10 Mpa
Minimo	6,52 Mpa
Desviación Estandar	9,466 Mpa
Media + 3σ	49,035 Mpa
Media - 3σ	-7,763 Mpa
Coefficiente de Variacion	45,9%

ANEXO IV. Informe de Rugosidad

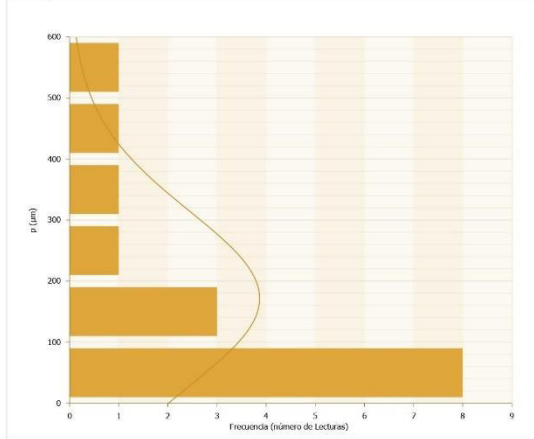
Informe de Inspeccion - Perfil

Example Data\
21-04-S45

Tabla Individuos / Correr



Histograma



Proyecto	
Nombre	Example Data

Medidor	
Tipo	Elcometer 224/2
Numero de Serie #	NA00000

Sonda	
Tipo	P1
Numero de Serie #	TD01359

Calibración	
Método de calibración	Cero
Tipo	P1
Fecha	17/9/2021 12:46
Galga Espesa	N/A
Galga Fina	0,0

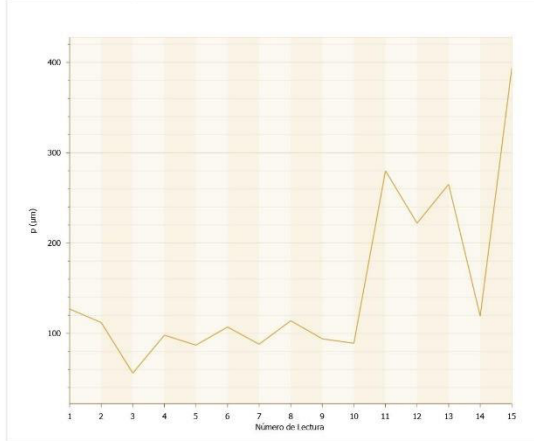
Lote	
Tipo	p
Nombre en Medidor	21-04-S45
Nombre de Usuario	21-04-S45
Fecha de Creacion	17/9/2021 12:51:25
Actualizar Fecha	17/9/2021 12:51:25
Fecha de primera lectura	17/9/2021 12:52:10
Fecha de Ultima Lectura	17/9/2021 12:53:33

Estadísticas	
# Lecturas	15
Media	171,53 µm
Maximo	515,0 µm
Minimo	53,0 µm
Desviación Estandar	152,04 µm
Media + 3σ	627,65 µm
Media - 3σ	-284,58 µm
Coefficiente de Variacion	88,6%

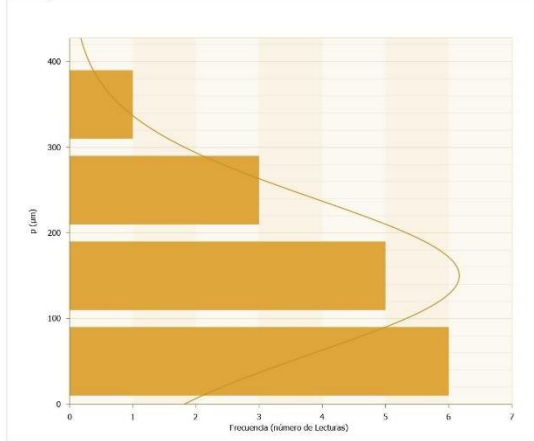
Informe de Inspeccion - Perfil

Example Data\
21-04-S90

Tabla Individuos / Correr



Histograma



Proyecto	
Nombre	Example Data

Medidor	
Tipo	Elcometer 224/2
Numero de Serie #	NA00000

Sonda	
Tipo	P1
Numero de Serie #	TD01359

Calibración	
Método de calibración	Cero
Tipo	P1
Fecha	17/9/2021 12:46
Galga Espesa	N/A
Galga Fina	0,0

Lote	
Tipo	p
Nombre en Medidor	21-04-S90
Nombre de Usuario	21-04-S90
Fecha de Creacion	17/9/2021 12:53:48
Actualizar Fecha	17/9/2021 12:53:48
Fecha de primera lectura	17/9/2021 12:54:29
Fecha de Ultima Lectura	17/9/2021 12:55:31

Estadísticas	
# Lecturas	15
Media	150,13 µm
Maximo	394,0 µm
Minimo	56,0 µm
Desviación Estandar	95,29 µm
Media + 3σ	436,02 µm
Media - 3σ	-135,75 µm
Coefficiente de Variacion	63,5%