

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARACTERIZACIÓN DE LA CAPA DE GALVANIZADO EN ACERO ASTM A36 APLICADO SOBRE PERFILES CON 45° Y 90° DE APERTURA

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

FRANCISCO XAVIER JÁCOME RUANO

francisco.jacome01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE M.Sc.

carlos.diaz@epn.edu.ec

DMQ, enero de 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Francisco Xavier Jácome Ruano 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.



Francisco Xavier Jácome Ruano

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Francisco Xavier Jácome Ruano, bajo mi supervisión.

ING. Carlos Wime Díaz Campoverde M.Sc.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos 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.



Francisco Xavier Jácome Ruano

Ing. Carlos Wime Díaz Campoverde

DEDICATORIA

Este estudio va dedicado a mis padres José y Martha por todo su amor, su ejemplo, su esfuerzo, sus valores y su sabiduría que me inculcaron para ser una persona de bien, todo lo que soy es gracias a ustedes. A mis hermanos Lore y Santy por todas las cosas compartidas, por sus enseñanzas y por ser ese ejemplo de lucha. A mi sobrino Sebas por ser la alegría del hogar que de a poco se va convirtiendo en un gran hombre. A Kimberly M. por todo el amor, el cariño incondicional de tantos años, y ese aliento de cada día para no darme por vencido. A Francis Aitana la mujer por la que voy a luchar para darle todo lo mejor. Finalmente, a todos los familiares, amigos, y conocidos que me guiaron y me brindaron su apoyo durante todo mi crecimiento profesional.

Francisco Jácome R.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar esta etapa, no puedo dejar pasar por alto el agradecer a las personas que me acompañaron y me guiaron para poder culminar este sueño. A mis padres que todos los días velaron por el bienestar de sus hijos, por ser un ejemplo de familia e inculcar que la unión de la familia puede superar cualquier adversidad. A mis hermanos y mi sobrino por ayudarme en cada obstáculo que se presentó.

No puede faltar el agradecer a mis profesores por haber impartido todo su conocimiento durante toda mi carrera universitaria, en especial al Ing. Carlos Díaz M.Sc. por haber contribuido con sus conocimientos y su paciencia para finalizar esta investigación. A la Escuela Politécnica Nacional por recibirme como uno de sus estudiantes para forjarme como profesional.

Agradecer a la familia Lozada Auz, en especial a Jimmy por ayudarme en la parte práctica de este estudio.

Por último, a todos mis amigos por estar en los momentos buenos y malos, y por hacer esta etapa universitaria una de las mejores.

Francisco Jácome R.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
INDICE DE ANEXOS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
2 METODOLOGÍA	10
2.1 Caracterización del material base	10
2.2 Obtención de perfiles	14
2.3 Galvanizado por inmersión en caliente de perfiles	15
2.4 Ensayo de pull off (adherencia)	16
2.5 Ensayo metalográfico	19
2.6 Medición de espesores	22
2.7 Ensayo de micro dureza	23
2.8 Rugosidad superficial	24
3 RESULTADOS	25
3.1 Caracterización de material base	25
3.2 Ensayo de pull off	26
3.3 Ensayo metalográfico y medición de espesores	28
3.4 Ensayo de micro dureza	32
3.5 Ensayo de rugosidad superficial	35
4 ANALISIS DE RESULTADOS	37
4.1 Caracterización del material base	37
4.2 Medición de adherencia de recubrimiento galvanizado	37
4.3 Análisis de ensayo metalográfico y medición de espesores	37

4.4	Análisis ensayo micro dureza.....	38
4.5	Análisis ensayo de rugosidad superficial.....	38
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1	Conclusiones.....	40
5.2	Recomendaciones.....	41
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
7	ANEXOS.....	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Composición química materias primas laminadas en caliente.	11
Tabla 2.2	Especificaciones técnicas del espectrómetro de chispa.	11
Tabla 2.3	Propiedades mecánicas para aceros laminados en caliente	12
Tabla 2.4	Especificaciones técnicas de máquina universal de ensayos.....	13
Tabla 2.5	Especificaciones técnicas de máquina plegadora.....	14
Tabla 2.6	Características de medidor de adherencia.....	17
Tabla 2.7	Especificaciones técnicas de probetas para análisis metalográfico y medición de espesores	20
Tabla 2.8	Especificaciones técnicas equipo automático de desbaste	20
Tabla 2.9	Parámetros para el proceso de pulido de probetas.....	21
Tabla 2.10	Especificaciones técnicas del microscopio para ensayo metalográfico	22
Tabla 2.11	Equipo utilizado para ensayo de micro dureza.....	23
Tabla 2.12	Especificaciones técnicas medidor automático adherencia.....	24
Tabla 3.1	Composición química del material base (Laboratorio de Fundición)	25
Tabla 3.2	Ensayo de tracción a material base (Laboratorio LAEV)	25
Tabla 3.3	Resultados de Pull Off lote de probetas dobladas a 90°	27
Tabla 3.4	Resultados de Pull Off lote de probetas dobladas a 45°	27
Tabla 3.5	Metalografías de perfil doblado a 45° y galvanizado	28
Tabla 3.6	Metalografías de perfil doblado a 90° y galvanizado	30
Tabla 3.7	Medición 1 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 45°	32
Tabla 3.8	Medición 2 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 45°	32
Tabla 3.9	Medición 1 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 45°	33
Tabla 3.10	Medición 2 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 45°	33
Tabla 3.11	Medición 1 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 90°	33
Tabla 3.12	Medición 2 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 90°	34
Tabla 3.13	Medición 1 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 90°	34
Tabla 3.14	Medición 2 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 90°	34
Tabla 3.15	Medición de rugosidad perfil doblado a 45°	35
Tabla 3.16	Medición de rugosidad perfil doblado a 90°	36

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Cuadro sinóptico de los procedimientos de conformación metálica (Molera Solá, 2009)	3
Figura 1.2	Temperatura de recristalización y fusión para varios metales y sus aleaciones.	4
Figura 1.3	Perfiles doblados a 90° (Fuente Cintac)	4
Figura 1.4	Especificaciones y geometría general del perfil en "L" (Fuente DIPAC)	5
Figura 1.5	Catálogo nacional de perfiles doblados (Fuente DIPAC)	5
Figura 1.6	Objetivo del proceso de galvanizado (Fuente ANDI)	6
Figura 1.7	Procesos de galvanizado y sus aplicaciones (Fuente ACESCO)	7
Figura 1.8	Procedimiento del galvanizado por inmersión en caliente (Fuente NG Galvanizing HandBook)	7
Figura 2.1	Diagrama de flujo del proceso de análisis de la influencia de recubrimiento en perfiles. (Fuente propia)	10
Figura 2.2	Dimensiones en mm de la probeta para ensayo de espectrometría por chispa (Fuente propia)	11
Figura 2.3	Dimensiones de la probeta de material base (Fuente propia)	12
Figura 2.4	Lote de probetas para ensayo de tracción (Fuente propia)	13
Figura 2.5	Dimensiones de corte de probetas para realizar el doblado (fuente propia)	14
Figura 2.6	Lote de perfiles doblados a 45 a 90 grados (fuente propia)	15
Figura 2.7	Perfiles a 45 y 90 grados galvanizados (Fuente propia)	16
Figura 2.8	Dimensiones en mm de la probeta para ensayo de pull off (Fuente propia)	16
Figura 2.9	Adhesivo epóxico utilizado para ensayo de Pull-off (Fuente propia)	17
Figura 2.10	Muñecas utilizadas para el ensayo de pull-off (Fuente propia)	18
Figura 2.11	Probetas y muñecas listas para el ensayo de pull-off (Fuente propia)	19
Figura 3.1	Diagrama esfuerzo-deformación del sustrato de acero utilizado en el presente estudio	26
Figura 3.2	Rugosidades en perfil doblado a 45°	35
Figura 3.3	Rugosidad en perfil doblado a 90°	36

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I	Certificado de calidad del material utilizado	44
ANEXO II	Datos obtenidos del ensayo espectrometría	45
ANEXO III	Resultados obtenidos de ensayo de Pull-off	46
ANEXO IV	Resultados del ensayo de micro dureza	52

RESUMEN

El presente estudio se analizó la relación que existe entre el ángulo de doblado y el depósito de la capa de galvanizado cuando este es colocado en perfiles de acero estructural a bajo contenido de carbono, conocido como, ASTM A36. Este tipo de tratamiento superficial se aplicó en perfiles de acero de dimensiones 40x40mm de alma, 5mm de espesor y 400mm de longitud, que previamente fueron sometidos a un tipo conformación metálica en frío, llamado doblado, a una apertura de 45 y 90 grados. Luego se procede con la metodología especificada para realizar la medición de adherencia en el recubrimiento mediante el ensayo de pull-off; posteriormente se realizó el ensayo metalográfico, tanto del material base como al galvanizado, con el fin de analizar el comportamiento del recubrimiento en la zona del doblado. Se realizó medición de espesores para observar si existe una variación de la capa de galvanizado entre las dos zonas de doblado especificadas. Adicional, se somete a ensayos de micro dureza y rugosidad superficial para, de esa manera, valorar el nivel de adherencia existente del recubrimiento en cada uno de los perfiles. Se presentan resultados que nos muestra la influencia que presenta el ángulo de apertura de los perfiles a 45° si pueden influenciar en el depósito de la capa de galvanizado. Adicionalmente, se concluye que la velocidad de enfriamiento es un factor importante que determina el espesor del recubrimiento.

PALABRAS CLAVE: galvanizado, perfiles, doblado.

ABSTRACT

The present study analyzed the relationship that exists between the bending angle and the deposit of the galvanized layer when it is placed in structural steel profiles with low carbon content, known as ASTM A36. This type of surface treatment was applied to steel profiles with dimensions of 40x40mm web, 5mm thick and 400mm long, which were previously subjected to a type of cold metal forming, called bending, at an opening of 45 and 90 degrees. Then we proceed with the specified methodology to perform the adhesion measurement on the coating by means of the pull-off test; Subsequently, the metallographic test was carried out, both on the base material and on the galvanized material, in order to analyze the behavior of the coating in the bending area. Thickness measurements were made to see if there is a variation of the galvanized layer between the two specified bending areas. Additionally, it is subjected to micro-hardness and surface roughness tests to, in this way, assess the existing level of adhesion of the coating in each of the profiles. Results are presented that show us the influence of the opening angle of the profiles at 45° if they can influence the deposit of the galvanized layer. Additionally, it is concluded that the cooling rate is an important factor that determines the thickness of the coating.

KEYWORDS: galvanized, profiles, bent.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El acero es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial para diversas aplicaciones, ya que su producción y características nos permite modificarlo de manera a la que queramos dependiendo al campo de aplicación que se desee utilizar. En el campo de las estructuras, cada año se ha ido reemplazando el hormigón convencional por estructuras metálicas, ya se son más resistentes a cargas mixtas que se generan. Uno de los perfiles más utilizados en la industria de la construcción es el perfil angular doblado en “L”, ya que presenta buena resistencia a cargas mecánicas.

La corrosión es el principal problema que tienen los aceros para poder mantener todas sus propiedades, tanto químicas como mecánicas, es por eso que se ha desarrollado métodos y aplicaciones que protegen al metal de este fenómeno que pretende que el material ferroso regrese a su estado inicial. Principalmente las industrias que producen este tipo de metales ferrosos se han enfocado en crear métodos de protección, catalogados como recubrimientos los cuales se los aplica dependiendo de la función del metal a recubrir.

El proceso de galvanizado por inmersión en caliente es un método de recubrimiento más conocido y más económico que se puede aplicar en metales que requieren una alta protección contra la corrosión. Pero a pesar de que brinda una buena protección del acero, no se ha hecho más esfuerzos por entender o comprobar si los procesos de conformado en frío de los metales realmente influye en el galvanizado aplicado en él. Existen estudios en los cuales se enfocan al mejoramiento de parámetros durante el proceso de galvanizado, pero existe muy poca información sobre si los ángulos de apertura de los perfiles doblados realmente afectan al depósito de la capa de galvanizado en metales.

A lo largo de los años se ha presentado problemas del recubrimiento en la zona de doblez de perfiles estructurales, lo que provoca que el acero se corroa de forma acelerada. Es por esto que surge la necesidad de realizar un estudio en el cual se evalúen varios factores tanto del material base como del recubrimiento, para establecer cuales influyen cuando se realiza una variación del ángulo de apertura en perfiles estructurales de 45° y 90°. El estudio suscitado proporciona una información adecuada que puede servir a la industria en métodos y nuevas aplicaciones esenciales que permitan una mejor aplicabilidad de los perfiles de acero galvanizados.

1.1 Objetivo general

Caracterizar la relación existente entre la apertura del ángulo de doblez 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 cómo influyen la deformación plástica en el comportamiento del recubrimiento, cuando este alcanza aperturas de 45 y 90 grados.
2. Analizar las respuestas generadas por las muestras deformadas en la pérdida de recubrimiento.
3. Analizar los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las diferentes muestras.

1.3 Alcance

El presente trabajo busca analizar el comportamiento en perfiles metálicos cuando se los deforma de manera plástica con ángulos de 45 y 90 grados, los cuales posteriormente serán galvanizados por el proceso de inmersión en caliente. La finalidad de este estudio es valorar el comportamiento de la capa de recubrimiento en la zona de doblez. Para ello se recurrirá a varios ensayos para estudiar de forma concreta las propiedades del recubrimiento sobre el acero que actúa como material base.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Conformado Mecánico de acero

1.4.1.1 Generalidades

El conformado mecánico de metales o conformación metálica es un grupo de procedimientos en el que se obtiene la pieza en la forma deseada (Molerá, 2009). Existen varias formas como, a partir de un metal líquido, dando una preforma metálica, o a partir de polvos metálicos. Si se trata de dar forma a un cuerpo sólido por deformación plástica se tiene dos procesos especiales como el conformado en caliente y en frío. En la FIGURA 1.1 se puede apreciar de mejor manera la distribución de los procedimientos de conformación metálica.

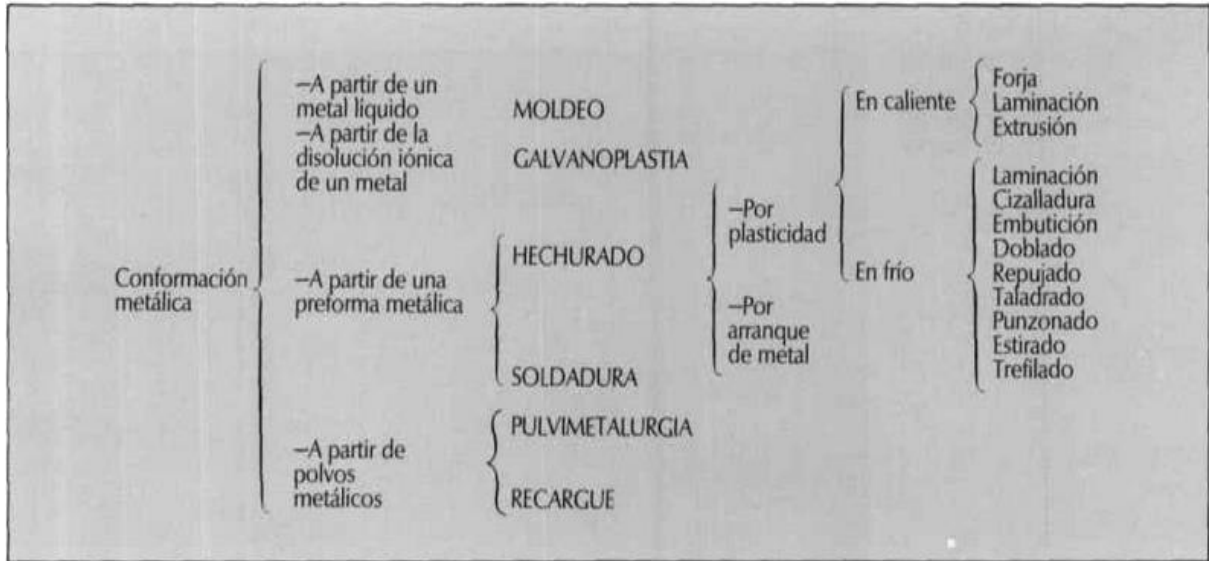


Figura 1.1 Cuadro sinóptico de los procedimientos de conformación metálica (Molera Solá, 2009)

La conformación plástica se encarga de dar forma a la pieza en estado sólido, ya sea en frío y el caliente, sin embargo, se debe tomar en cuenta el tipo de metal al que se lo quiere deformar, ya que todos los metales tienen diferente aleación. Algunos metales solo se pueden trabajar en frío, ya que si se trabaja en caliente estos se agrietan y presentan defectos que afectan las características de la pieza. (Molera Solá, 2009)

1.4.1.2 Parámetros para conformado en frío

El conformado en frío es la que se realiza a temperatura inferior a la de recristalización. No quiere decir, por tanto, que no se pueda utilizar energía térmica junto con la mecánica: basta con que su efecto no provoque cambios esenciales en la estructura cristalina. La Figura 1.2 se muestra las temperaturas de recristalización y de fusión de diferentes metales.

Metal	T recristalización (°C)	T fusión (°C)
Plomo	-4	327
Estaño	-4	232
Cinc	10	420
Aluminio (99,999% en peso)	80	660
Cobre (99,999 % en peso)	120	1085
Latón (60%Cu-40% Zn)	475	900
Níquel (99,999 % en peso)	370	1455
Hierro	450	1538
Tungsteno	1200	3410

Figura 1.2 Temperatura de recristalización y fusión para varios metales y sus aleaciones.

1.4.1.3 Métodos de fabricación de perfiles

La fabricación de un componente metálico es un proceso que requiere de un número elevado de operaciones con diferente grado de dificultad, pero con el pasar de los años y la revolución de la tecnología, esta fabricación ha mejorado.

El método de fabricación de piezas metálicas que se va a tratar en este estudio va direccionado especialmente a la conformación por deformación, en la cual tiene varios métodos como: laminación, cizalladura, embutición, doblado, repujado, taladrado, punzonado, estirado, y trefilado.

Específicamente para fabricación de perfiles tenemos el método de laminación y de doblado, en el cual, este último se obtiene mediante la conformación de planchas planas, con la ayuda de plegadoras que tienen capacidad de longitud entre 3 a 6 metros, y pueden plegar espesores hasta 12mm. En la figura 1.3 se puede observar la producción de perfiles doblados a 90 grados.



Figura 1.3 Perfiles doblados a 90° (Fuente Cintac)

Su característica geométrica principal es que los cantos y vértices de los perfiles son redondeados. Comúnmente se producen perfiles en “L”, “C”, y “U” que también se les

conoce como perfiles abiertos. En la figura 1.4 se presenta las especificaciones y geometría general de un perfil doblado a 90°, y en la figura 1.5 se presenta el catálogo de perfiles doblados a 90°.

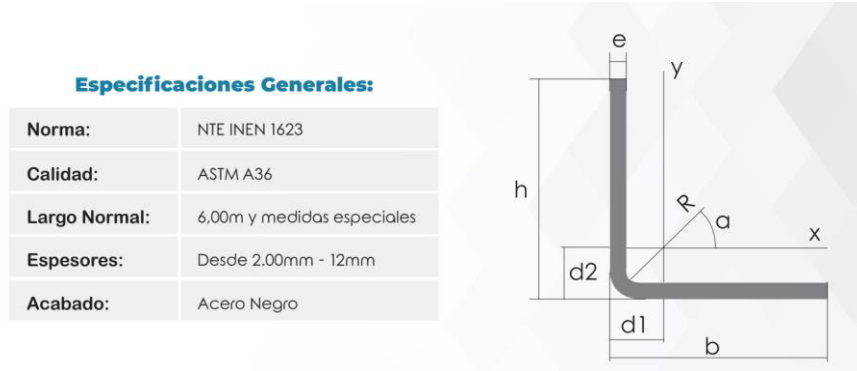


Figura 1.4 Especificaciones y geometría general del perfil en “L” (Fuente DIPAC)

Descripción	Ángulos de alas iguales																			
	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo a	Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
mm	mm	mm	Kg/m	cm ²	cm	cm	(°)	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,60	1,27	0,90	0,75
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,80	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,93	1,35	1,35	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,85	2,22	2,02	1,85	1,05	0,98
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96
L 50x 4	50	50	4	2,90	3,70	1,45	1,45	45,00	9,01	2,54	1,56	9,01	2,54	1,56	14,76	4,18	2,00	3,25	1,84	0,94
L 50x 5	50	50	5	3,56	4,54	1,50	1,50	45,00	10,84	3,10	1,55	10,84	3,10	1,55	17,89	5,06	1,99	3,79	2,14	0,91
L 60x 3	60	60	3	2,69	3,43	1,65	1,65	45,00	12,34	2,84	1,90	12,34	2,84	1,90	20,03	4,72	2,42	4,65	2,19	1,16

Figura 1.5 Catálogo nacional de perfiles doblados (Fuente DIPAC)

1.4.2 Tratamiento Superficial

De manera general se conoce a un tratamiento superficial como un proceso en el cual se aplica una característica determinada que modifica la superficie de las piezas, con el fin de mejorar las propiedades tanto químicas como mecánicas.

Existe una amplia variedad de tratamientos superficiales, en el cual se debe aplicar para el uso al que se desee, entre las más generales tenemos:

- Tratamientos superficiales que no alteran la composición de material base. (temple, fosfatizado, granallado, pulido).

- Tratamientos superficiales que alternan la composición del material base. (nitruración, cementación, sulfinización)
- Tratamientos superficiales de revestimiento. (deposición física, solapado térmico, niquelado, galvanizado, pintura)

1.4.2.1 Galvanizado

Es un tipo de tratamiento superficial de revestimiento en el cual se cubre un metal con otro tipo de metal, con el fin de que el ambiente, la abrasión, o la corrosión lo afecte. El principal elemento metálico que se utiliza en el galvanizado es el Cinc, en el cual se aplica mediante un baño a la pieza a proteger. La figura 1.6 representa el objetivo principal del galvanizado.

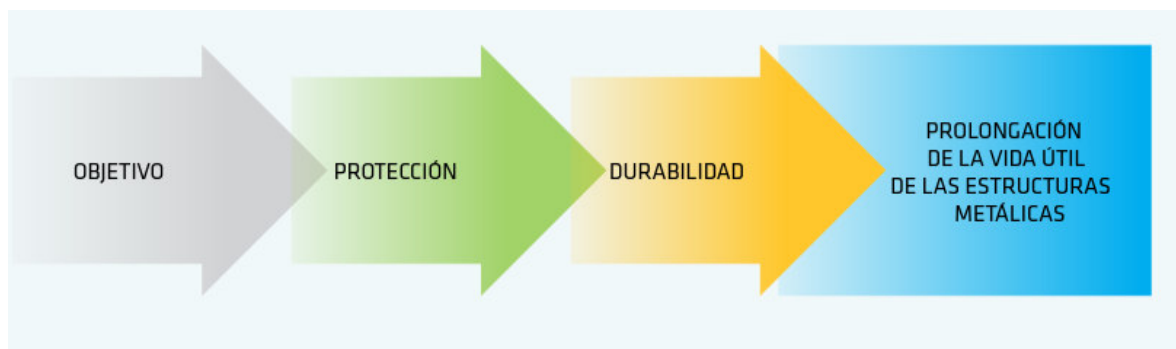


Figura 1.6 Objetivo del proceso de galvanizado (Fuente ANDI)

1.4.2.2 Procesos de galvanizado

Los recubrimientos de Cinc brindan una alta protección catódica sobre las piezas metálicas a las que se aplican. Este método de recubrimiento se ha venido aplicando desde hace décadas, pero con el transcurso de los años se va desarrollando varios métodos o procesos de galvanizado dependiendo de la aplicación en la que se vaya a usar el metal. A continuación, en la figura 1.7 se describe los procesos de galvanizado y sus aplicaciones.

PROCESO	APLICACIONES
Galvanizado tradicional (99% zinc)	Lámina para techos, industria de refrigeración y aire acondicionado, carrocerías, vallas y múltiples usos adicionales.
Galvano-recocido con recubrimiento Fe-Zn	Industria automotriz. También se utiliza en la fabricación de elementos eléctricos y materiales para construcción.
Con recubrimiento Zn al 45% y Al 55% (Galvalum) ó Zn 95% y Al 5% (Galfan).	Productos para techos y cerramientos exteriores
Con otros recubrimientos (Zn-Ni), (Zn-Ni-Co), (Zn-Co-Cr), (Zn-Co-Mo)	Para uso automotriz.
Electro galvanización	Divisiones interiores, paneles decorativos, partes de automóviles, electrodomésticos y muebles metálicos.

Figura 1.7 Procesos de galvanizado y sus aplicaciones (Fuente ACESCO)

1.4.2.3 Galvanizado por inmersión en caliente

Este tipo de galvanizado es un procedimiento que protege a la pieza contra la corrosión. Consiste en sumergir las piezas en un baño de Cinc fundido que se mantiene a una temperatura de 450 °C, con esta temperatura el material base y el Cinc entran en proceso de difusión en el cual crea aleaciones de Cinc-hierro en la superficie de la pieza. Actualmente este método es el más utilizado para recubrir piezas que se desea proteger de ambientes propensos a la corrosión. En la figura 1.8 se presenta el procedimiento a seguir del galvanizado por inmersión en caliente.

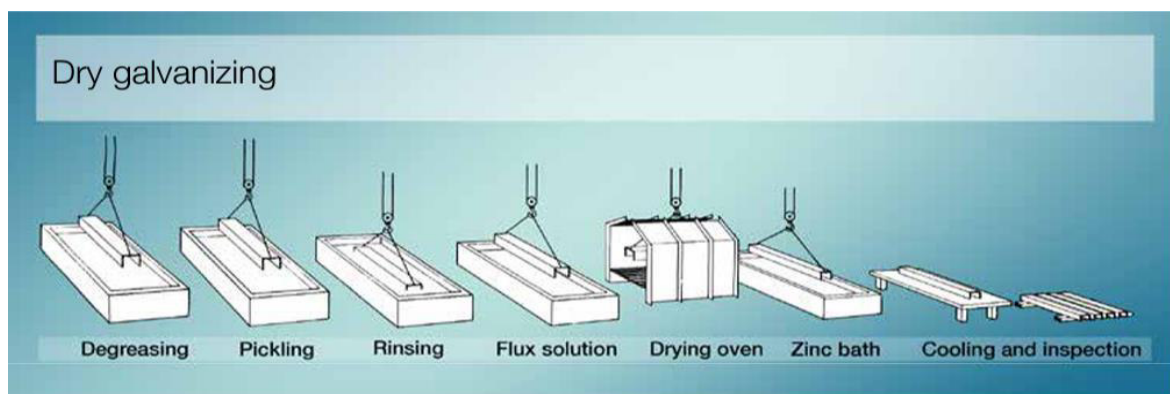


Figura 1.8 Procedimiento del galvanizado por inmersión en caliente (Fuente NG Galvanizing HandBook)

1.4.2.4 Corrosión del galvanizado

El acero es el material más común en uso hoy en día. Sin embargo, el acero tiene una gran desventaja que es la alta tasa de corrosión. La mejor protección contra la corrosión para el acero se obtiene con zinc. Los recubrimientos de zinc sobre acero protegen contra la corrosión de dos maneras:

- Por un efecto barrera, es decir, impiden que el oxígeno y humedad llegue a la superficie del acero.
- Brindando protección catódica contra rayones, astillas, bordes, etc.

Sin embargo, el recubrimiento de Cinc también puede ser afectado por varios factores que deterioren la vida útil del mismo. A continuación, se detallan ciertos defectos o alteraciones que afectan al galvanizado.

Corrosión excesiva en el ambiente: El aire exterior contiene mayor o menor cantidad de elementos corrosivos como los sulfatos y sulfitos de cinc que son solubles en agua y tienen poca adherencia a la superficie de cinc. Por lo tanto, son arrastrados fácilmente por la lluvia. Por lo tanto, la corrosión en aire que contiene óxidos de azufre es mayor que en aire limpio, y suele presentarse como una decoloración en el recubrimiento. El origen de la decoloración es la corrosión de la aleación Zn-Fe para formar óxido junto con el aire húmedo o el agua de lluvia. El óxido tiene una gran capacidad para manchar e incluso pequeñas cantidades pueden causar una decoloración considerable. (Galvanizers,2019)

Corrosión excesiva en líquidos: los líquidos pueden ser ácidos o alcalinos y pueden contener partículas disueltas o sólidas de sustancias agresivas. La temperatura y el caudal del líquido también son importantes. Todo esto significa que la capa protectora puede tener una composición muy variable o no formarse en absoluto. La extensión de la corrosión electroquímica depende de la conductividad eléctrica del líquido, que afecta la influencia protectora de la capa de zinc en áreas más grandes o más pequeñas. (Galvanizers,2019)

Corrosión en suelos: Las condiciones de corrosión en el suelo son muy complicadas y las variaciones pueden ser grandes entre diferentes lugares, incluso aquellos que se encuentran muy cerca unos de otros. El suelo puede contener productos de meteorización, sales libres o ligadas, ácidos y álcalis, mezclas de sustancias orgánicas, hongos oxidantes o reductores, microorganismos, etc. Dependiendo de su estructura, el suelo tiene diferentes grados de permeabilidad al aire y la humedad. (Galvanizers,2019)

Corrosión galvánica: Si se conectan dos metales o aleaciones diferentes, total o parcialmente rodeados por un electrolito, se crea una celda galvánica. El metal que se

convierte en ánodo o cátodo está determinado por sus potenciales de electrodo en el electrolito en cuestión. Si se conecta acero con cobre o latón, el acero se convierte en el ánodo de la celda y se corroe. Sin embargo, si el acero se conecta con cadmio, aluminio, zinc o magnesio, se convierte en el cátodo y se protege contra la corrosión, mientras que el metal del ánodo se consume. (Galvanizers,2019)

Galvanizado en contacto con materiales de construcción: El mortero húmedo y el yeso atacan el zinc. El ataque cesa cuando el material se seca. La madera seca o moderadamente húmeda, tanto impregnada como sin impregnar, se puede clavar con clavos galvanizados en caliente con buenos resultados.

El hormigón armado es un material de construcción importante, en muchos casos, su refuerzo de acero no necesita ninguna protección externa contra la corrosión para evitar la corrosión. El entorno altamente alcalino del hormigón forma una fina capa de óxido sobre la superficie del acero que protege o “pasiva” el acero contra una mayor corrosión.

Pero, en algunos casos, la pasivación no funciona lo suficientemente bien, o incluso no funciona en absoluto. Esto puede ocurrir cuando:

- El concreto tiene grietas, hendiduras, bolsas de arena o muy poca cobertura.
- El ambiente alcalino ha sido neutralizado (carbonatación).
- Los cloruros han penetrado en el hormigón (ambiente marino, carreteras preparadas para el invierno)

Embalaje y transporte de acero galvanizado: Aunque un revestimiento galvanizado en caliente es capaz de soportar un tratamiento bastante rudo, debe manipularse con cuidado durante el almacenamiento y el transporte. En el caso de mercancías largas, el embalaje simple y el atado en paquetes no solo protegen contra daños mecánicos, sino que a menudo facilitan el transporte.

Sin embargo, el embalaje y el encuadernado deben realizarse de forma que se evite el riesgo de tensión durante el almacenamiento en húmedo. Se deben usar espaciadores para prevenir tales ataques. (Galvanizers,2019)

2 METODOLOGÍA

En el presente capítulo se hará una revisión de los procesos seguidos para la obtención de la materia prima que servirán para la caracterización del material base, así como la preparación de las probetas con aperturas de 45 y 90 grados, esto con el fin de utilizarlas para el proceso de galvanizado y posteriormente para la ejecución de los diferentes ensayos que se van a realizar. La figura 2.1 muestra la distribución de trabajos a ser llevados a cabo.

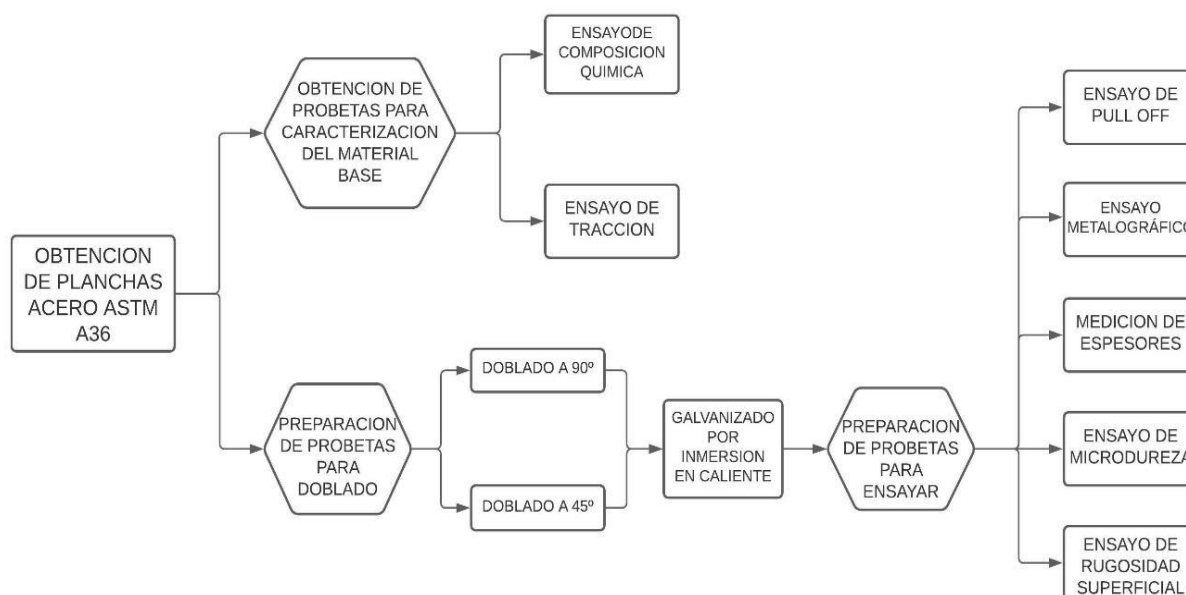


Figura 2.1 Diagrama de flujo del proceso de análisis de la influencia de recubrimiento en perfiles. (Fuente propia)

2.1 Caracterización del material base

2.1.1 Composición química del acero

La materia prima adquirida corresponde a planchas de acero de 5mm de espesor, que se encuentran con frecuencia para realizar perfiles estructurales, y sus características principales del acero se lo puede encontrar en el anexo I.

Para poder evaluar químicamente la materia prima obtenida, se toma como referencia la norma ASTM A1011, literal 7, tabla 2 (composición química) en el cual establece los requisitos químicos que debe cumplir la materia prima laminada en caliente. Ver tabla 2.1

Tabla 2.1 Composición química materias primas laminadas en caliente.

Designación	Carbono %max	Manganeso %max	Fósforo %max	Azufre %max	Aluminio %max	Silicio %max	Níquel %max
Grado 36 [250]	0,25	0,90	0,035	0,04	--	--	0,20

(Fuente Norma ASTM A 1011)

Procedimiento:

1. Las probetas para el análisis de composición química se obtienen mediante corte con sierra de cinta y enfriamiento por agua. Además,
2. Las superficies de análisis deben ser desbastadas para el respectivo análisis. Las medidas de las probetas se especifican en la figura 2.1.

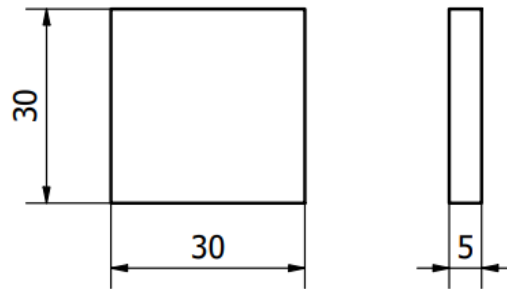


Figura 2.2 Dimensiones en mm de la probeta para ensayo de espectrometría por chispa (Fuente propia)

El equipo se encuentra en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, se denomina Espectrómetro de chispa y sus características se detallan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del espectrómetro de chispa.

Descripción	Especificación	IMAGEN
Marca	BRUKER	
Modelo	Q2 ION	
Voltaje	100/240 V	
Frecuencia	50/60 Hz	
Potencia	200 W (50 W en modo espera)	
Cámara de chispeo	Argón de calidad 4,8 con un consumo de 2,5 l/min	

(Fuente: BRUKER, s.f.)

2.1.2 Ensayo de tracción del material base

De igual manera que en la composición química, la norma ASTM A1011 Literal 8, tabla 4 (propiedades mecánicas), especifica los requisitos mecánicos mínimos que debe cumplir el material base laminado en caliente con espesor $e < 6\text{mm}$, en el cual se evalúa las propiedades como: límite de fluencia, resistencia a la tracción, y elongación. Los valores mínimos se pueden apreciar en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas para aceros laminados en caliente

Designación	Límite de fluencia min. Ksi [MPa]	Resistencia a la tracción min ksi [MPa]	Elongación mínima en 50mm [%] $2,5 \leq e < 6$
Grado 36 [250]	36 [250]	53 [365]	22

(Fuente norma ASTM A 1011)

Procedimiento:

1. Las probetas para ensayo de tensión fueron obtenidas de acuerdo a las especificaciones de la norma ASTM E8/E8M-21. Ver figura 2.3 y 2.4
2. Marcar las probetas a través de dos puntos de referencia, los cuales se encuentran distanciados 5cm (2 plg).
3. Configurar la máquina universal con la velocidad de carga que se aplicara a las probetas.
4. Se realiza el montaje y el ajuste de la máquina para realizar el ensayo.
5. Realizar el ensayo y toma de datos.

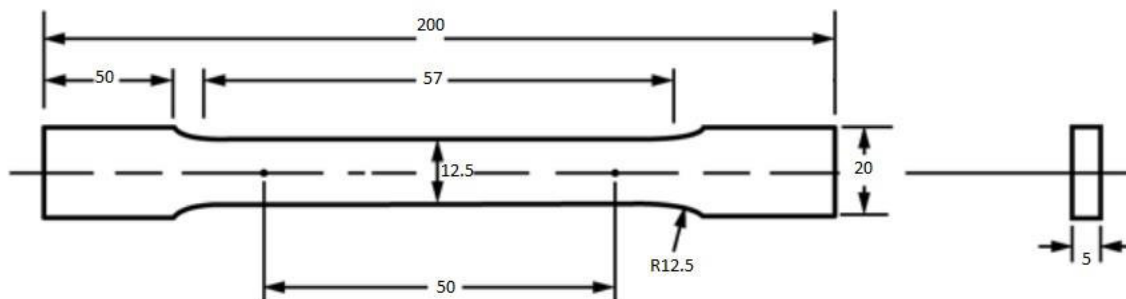


Figura 2.3 Dimensiones de la probeta de material base (Fuente propia)



Figura 2.4 Lote de probetas para ensayo de tracción (Fuente propia)

Para realizar este tipo de ensayo, en el cual se desea saber las propiedades mecánicas del material base, se utiliza la máquina universal de ensayos perteneciente al laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones, de la cual las especificaciones se detallan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas de máquina universal de ensayos.

DESCRIPCION	ESPECIFICACION	IMAGEN
MARCA	TINIUS OLSEN	
MODELO	SUPER L	
SERIE	130495	
CAPACIDAD	3000 KN	
SISTEMA DE CARGA	SIST HIDRAULICO	

(Fuente propia)

2.2 Obtención de perfiles

Para obtención de los perfiles se parte de la materia prima (acero ASTM A36), para lo cual se utiliza un proceso de deformación plástica en frío para obtener la apertura de 45° y 90°. Para la obtención de las secciones que serán dobladas, se utiliza una máquina de cizalla, donde posterior al corte se elimina cualquier tipo de rebaba que pudiera estar presente. Ver figura 2.5.

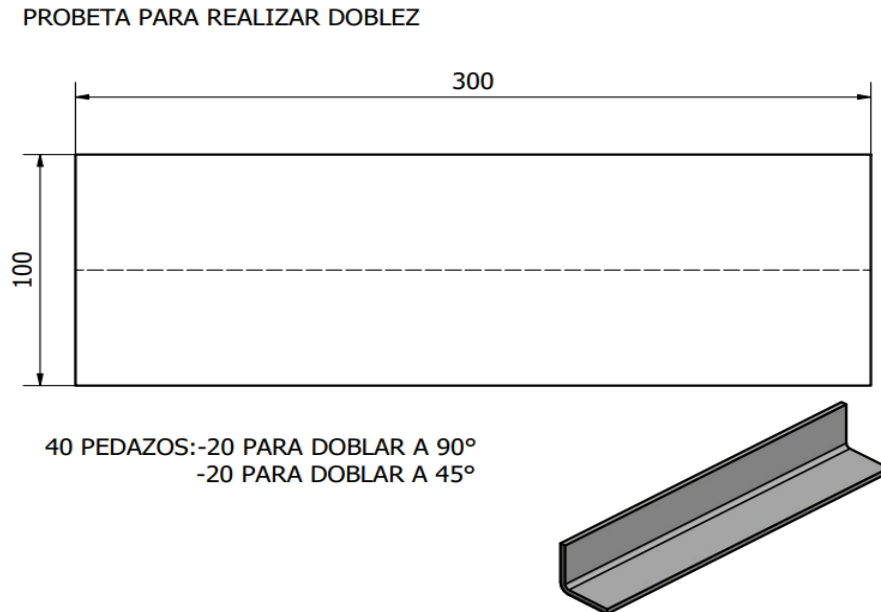


Figura 2.5 Dimensiones de corte de probetas para realizar el doblar (fuente propia)

La máquina plegadora utilizada para la obtención de las probetas se muestra en la tabla 2.5, y en la figura 2.6 se presenta los perfiles obtenidos.

Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de máquina plegadora.

DESCRIPCION	ESPECIFICACION	IMAGEN
MARCA	PEARSON	
PAIS DE ORIGEN	EEUU	
CAPACIDAD	175 Tn	
SISTEMA DE CARGA	SIST HIDRAULICO	
DIMENSIONES	3,5m DE LONGITUD	

(Fuente propia)



Figura 2.6 Lote de perfiles doblados a 45 a 90 grados (fuente propia)

2.3 Galvanizado por inmersión en caliente de perfiles

Una vez que ya se obtiene los perfiles angulares a 45 y 90 grados prepara un lote de los perfiles para realizar el respectivo galvanizado, los mismos que deben tener un acabado superficial adecuado. El proceso de galvanizado por inmersión en caliente se gestiona mediante una empresa llamada Galvanorte, la cual realiza el siguiente proceso para la obtención de perfiles con recubrimientos:

1. Los perfiles se someten a un baño en tina con desengrasante ácido, durante el periodo de 20 a 30 minutos.
2. De igual manera, se someten a tinas de decapado con el fin de remover el óxido de hierro que puede tener las piezas a galvanizar.
3. Se enjuaga las piezas para eliminar el exceso de ácido, ya que luego será sometido a un proceso donde existe la presencia de sales minerales.
4. Luego se somete a un baño de flux en donde se logra evitar que las piezas se sometan a choques térmicos que puedan afectar las características de las piezas a galvanizar, y se ambienta a la pieza para ser sumergida en cinc.
5. A continuación, las piezas son sometidas al baño de zinc las cuales, para el espesor que tenemos de 5mm, se dejan sumergido aproximadamente 2 minutos, ya que si se pasa de ese tiempo el material puede tender a fragilizarse y tiende a tener muchos desprendimientos del recubrimiento.

6. Por último, se pasa a la zona de secado en donde se dejan las piezas enfriar al ambiente aproximadamente de 2 a 3 minutos, y se eliminan los excesos de cinc que puedan quedar en las piezas.

La figura 2.7 muestra los perfiles galvanizados por el proceso de inmersión en caliente.



Figura 2.7 Perfiles a 45 y 90 grados galvanizados (Fuente propia)

2.4 Ensayo de pull off (adherencia)

Las probetas para el ensayo de *Pull-Off*, se obtienen a partir de los especímenes previamente galvanizados, los cuales se cortan en secciones cuadradas totalmente planas y libres de distorsión con las dimensiones que se muestran en la Figura 2.8.

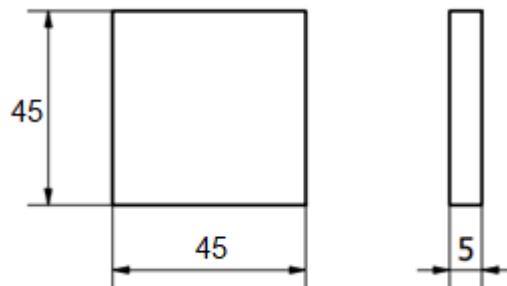


Figura 2.8 Dimensiones en mm de la probeta para ensayo de pull off (Fuente propia)

Para el desprendimiento del galvanizado se utiliza un adhesivo epóxico de un solo componente que requiere ser curado a través de calor para producir enlaces rígidos, contracciones mínimas dimensionales y alta resistencia a la tensión. Ver figura 2.9.



Figura 2.9 Adhesivo epóxico utilizado para ensayo de Pull-off (Fuente propia)

La tabla 2.6 muestra las características técnicas del equipo utilizado para la medición de adherencia por arranque.

Tabla 2.6 Características de medidor de adherencia

ESPECIFICACIONES		IDENTIFICACIÓN GRÁFICA
Marca	ELCOMETER	
Modelo	510	
Almacenaje	60.000 lecturas	
	2.500 lotes alfanuméricos	
Rango de medición	Ajustable por el usuario	
Índice de arranque ajustable	0,1 – 1,4 MPa/s 15 – 203 psi	
Rango de medición	Hasta 100 MPa (144000 psi)	

(Fuente propia)

Las muñecas (dados) para el medidor automático de adherencia, se mecanizan hasta un diámetro de 10 mm debido a que es la dimensión en la que el equipo permite trabajar en un rango más amplio. Este elemento puede ser observado en la Figura 2.10.



Figura 2.10 Muñecas utilizadas para el ensayo de pull-off (Fuente propia)

Procedimiento

1. Se inicia el proceso preparando la muñeca y la superficie de la probeta con una lija para tener mayor contacto entre estas y que el pegamento se adhiera de forma correcta. Se debe tener en cuenta que no se remueva mucho material del recubrimiento al momento de lijar la superficie de la probeta.
2. Luego se procede a limpiar la superficie de la probeta con desengrasante para que no exista ningún tipo de componente que afecte con el pegamento.
3. Las probetas y las muñecas se someten a un precalentamiento de 150°C durante 30 min.
4. Luego se procede a aplicar el pegamento sobre la muñeca para colocarla en la superficie de la probeta, se debe asegurar que en el pegamento no quede alguna burbuja de aire dando unos golpes en la muñeca.
5. Una vez pegadas las probetas se las coloca cuidadosamente en el horno a 150°C de temperatura durante 90 minutos, para luego apagar el horno y dejar que las probetas se enfríen en el mismo durante 24 horas.

6. Se prepara la máquina universal de ensayos y se alista un archivo para la toma de datos del conjunto de probetas que se puede ver en la figura 2.11.
7. Se coloca la mordaza de la máquina de forma correcta en la parte de la muñeca y se aplica una carga de tracción incremental uniforme de de 0.8 Mpa/s.
8. La muñeca se debe desprender de la superficie de la probeta y se toma datos del esfuerzo de rotura, y se realiza una inspección visual del recubrimiento desprendido. Este proceso se puede realizar las veces que sean necesarias para en otras probetas o en otra zona de la superficie de la probeta.



Figura 2.11 Probetas y muñecas listas para el ensayo de pull-off (Fuente propia)

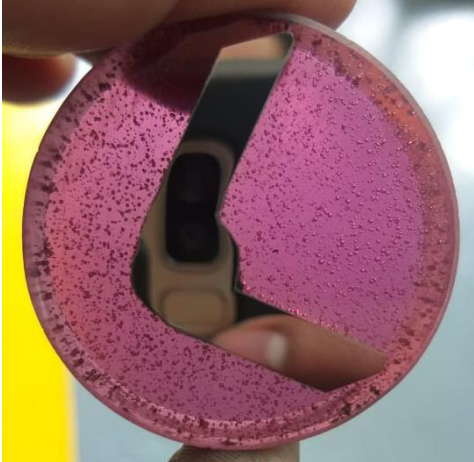
2.5 Ensayo metalográfico

Las probetas para el análisis metalográfico se obtienen a partir del material de estudio previamente galvanizado en donde se aplica el proceso de corte con sierra de cinta y enfriamiento por agua. Se tomó 4 tipos de probetas, dos perfiles a 45 y 90 grados sin galvanizado y dos perfiles a 45 y 90 grados con galvanizado. El procedimiento aplicado para el ensayo metalográfico es el siguiente:

1. Montaje de la probeta para análisis en resina poliéster el cual contiene, estireno monómero en una solución del 10%, octoato de cobalto al 12%, al cual finalmente se le agrega el catalizador MEKP.
2. Se coloca la muestra dentro del molde de montaje, y posteriormente se vierte la resina preparada.

3. Se espera un tiempo de 2 horas hasta que la reacción termine y se procede a desmontar las probetas. Las especificaciones y dimensiones se detallan en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Especificaciones técnicas de probetas para análisis metalográfico y medición de espesores

Descripción	Especificación	Imagen
Materiales	Resina poliéster insaturada Estireno monómero Octoato de cobalto al 12% p/p Peróxido de metil-etil cetona (MEKP)	
	Probeta de acero galvanizado	
Dimensiones del perfil galvanizado	Ala de perfil: 20 mm	
	Espesor: 5 mm	
Dimensiones de la probeta	Diámetro: 37 mm	

(Fuente propia)

Las probetas, una vez colocadas en la resina, se proceden a realizar el proceso de desbaste grueso en la máquina desbastadora de disco. Para el proceso de desbaste fino y pulido de cada una, se realiza en el equipo automático de desbaste, que se encuentra en el laboratorio de metalografía. Las especificaciones del equipo utilizado se describen en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Especificaciones técnicas equipo automático de desbaste

Descripción	Especificación	Imagen
Marca	FORCIMAT	
Modelo	FORCIPOL 2V	
Serie	N20161076	
Voltaje	230 V	
Frecuencia	50/60 Hz	
Potencia del motor	0,75 hp	
Capacidad de probetas	6	
Dimensiones	Ancho: 695 mm	
	Profundidad: 685 mm	
	Altura: 655 mm	

(Fuente propia)

A continuación, se describe el procedimiento de desbaste grueso, desbaste fino, y pulido de las probetas a analizar:

1. Se realiza el proceso de desbaste grueso con el fin de que las probetas queden uniformes entre la sección transversal con la resina aplicada.
2. Una vez que se vea que la probeta esta uniforme se procede a realizar el desbaste fino con las diferentes lijas del grano más grueso al grano más fino.
3. De la lija numero 150 hasta la lija número 600 se desbasta durante 2 minutos todas las probetas. De la lija 1200 hasta la 4000 se desbasta durante un minuto. Todos estos pases se lo realizan con agua ya que este actúa como lubricante refrigerante.
4. Una vez realizado el proceso anterior se verifica que las probetas no tengan ninguna ralladura y que su contorno no esté redondeado ya que es la zona donde se va a realizar el análisis.
5. 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 2.9. Para cambiar el sentido de giro, no se retiran las probetas del equipo.

Tabla 2.9 Parámetros para el proceso de pulido de probetas

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

(Fuente propia)

6. Por ultimo las probetas se las lava con agua y se enjuaga con alcohol que contiene el 99% de concentración.

Una vez obtenidas las probetas se las coloca en el microscopio para las primeras tomas de imagen en la zona de doblez. Para la evaluación se utiliza una secuencia de aumentos de 100X y 500X, analizando el comportamiento del recubrimiento en dicha zona del material. Las especificaciones del microscopio utilizado se detallan en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Especificaciones técnicas del microscopio para ensayo metalográfico

DESCRIPCION	ESPECIFICACION	IMAGEN
MARCA	OLYMPUS	
MODELO	GX41F	
SERIE	4D41167	
CAPACIDAD	5X-10X-20X-50X-100X	

(Fuente propia)

Una vez obtenidas las imágenes necesarias para el análisis se realiza el ataque químico de las probetas ensayadas, con el fin de obtener un mejor contraste y así diferenciar las distintas fases presentes, tanto del material base como del recubrimiento en la zona de doblez. Para el ataque químico se utiliza Nital al 10% durante un periodo de 3 segundos y se enjuaga con agua y alcohol. Luego se vuelve a analizar las probetas en el microscopio con la secuencia de aumentos de 100X y 500X.

2.6 Medición de espesores

En este análisis se utilizan las mismas probetas de 45° y 90° que se usaron para el ensayo metalográfico, las cuales fueron pulidas y preparadas en la máquina pulidora automática.


Procedimiento:

1. Una vez realizado el ataque químico y obtenidas las capturas para el análisis metalográfico se procede a copiar las imágenes para la medición de espesores.
2. Las capturas se importan en el software AutoCAD, el cual ayuda a medir el espesor trazando líneas de referencia.
3. Una vez obtenidas las líneas se realiza la medición teniendo en cuenta la escala a la que está tomada la imagen.
4. Se repite el proceso en diferentes partes del recubrimiento con el fin de realizar un promedio de la capa existente en la zona de doblez.

2.7 Ensayo de micro dureza

Para el siguiente análisis se utilizan las mismas probetas de 45° y 90° que se prepararon para el análisis metalográfico. Se toma como referencia la norma ASTM E384, y se utiliza el equipo especificado en la tabla 2.11 que se encuentra en el laboratorio de metalografía de la EPN.

Tabla 2.11 Equipo utilizado para ensayo de micro dureza

Descripción	Especificación	Imagen
Marca	Metkon	
Modelo	DUROLINE M	
Carga para los ensayos	10 gf, 25gf, 50, gf, 100 gf, 200 gf, 300 gf, 500 gf, 1000 gf	
Magnificación del microscopio	400x	
	100x	
Escala de medición de dureza	HV (Vickers)	
	HK (Knoop)	

(Fuente propia)


Procedimiento:

1. Se identifica visualmente cuál de los lados fue preparado para colocarlo en el soporte del durómetro.
2. Se enciende el equipo, se ilumina correctamente la probeta, y se elige el indentador adecuado.
3. Enfocar el microscopio y escoger el área adecuada para realizar la indentación.
4. Se prepara el indentador, tal que la distancia entre dos mediciones sea 2.5 veces la longitud de la diagonal.
5. Ajustar la carga a unos 100gf y el tiempo de duración de carga de 10 segundos.
6. Realizar la indentación para luego observar, y medir con el equipo las diagonales formadas.
7. Se realiza esta indentación de nuevo en otra zona de la superficie y se toma las medidas para hacer un promedio de las mismas, luego de que se hayan realizado por lo menos 5 mediciones.

2.8 Rugosidad superficial

En el presente análisis se utilizan los perfiles completos de 45° y 90° tal como se muestra en la figura 2.7. Se utiliza un equipo denominado medidor digital automático de adherencia de superficie que se encuentra en el laboratorio de metalografía de la EPN, cuyas especificaciones se detallan en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Especificaciones técnicas medidor automático adherencia

Descripción	Especificación	Imagen
Marca	Elcometer	
Modelo	224	
Precisión	± 5%	
Rango de medición	0-500 µm	
Nivel de lecturas	50 lecturas/min	
Tipo de punta de la sonda	Carburo de tungsteno	
Tipo de superficies	Superficies planas y convexas	

(Fuente propia)

Procedimiento:

1. Colocar los perfiles galvanizados sobre una superficie plana en la que la sonda quede en posición perpendicular a la superficie de análisis.
2. Se procede a encender el equipo, se escoge el tipo de sonda adecuado, y se crea un archivo donde se guarden los datos.
3. Colocar correctamente la sonda en la superficie de la zona de doblez y tomar las mediciones necesarias.
4. Repetir el mismo proceso anterior pero esta vez en la superficie plana del perfil y tomar las mediciones.
5. Realizar un promedio de todas las medidas tomadas y analizar los mínimos y máximos de las lecturas tomadas.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterización de material base

Composición química

Una vez realizado el ensayo de composición química del sustrato de acero se pueden observar los resultados descritos en la tabla 3.1, en el cual se realiza una comparación con los requerimientos de la norma ASTM A 1011 descrito en la tabla 2.1.

Tabla 3.1 Composición química del material base (Laboratorio de Fundición)

		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

(fuente propia)

Ensayo de tracción material base

La plancha de acero aplicado en este estudio pertenece a perfiles estructurales conformados en frío, lo cual debe cumplir con las especificaciones mecánicas descritas en la norma ASTM A 1011 descritas en la tabla 2.3.

Tabla 3.2 Ensayo de tracción a material base (Laboratorio LAEV)

Probeta	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
M21.026.04	12,48	4,99	6 340	28 200	65,7	454,0	39,9

(fuente propia)

Adicionalmente, con los resultados obtenidos se puede graficar el diagrama esfuerzo-deformación del material base utilizado. El comportamiento del material se aprecia en la figura 3.1

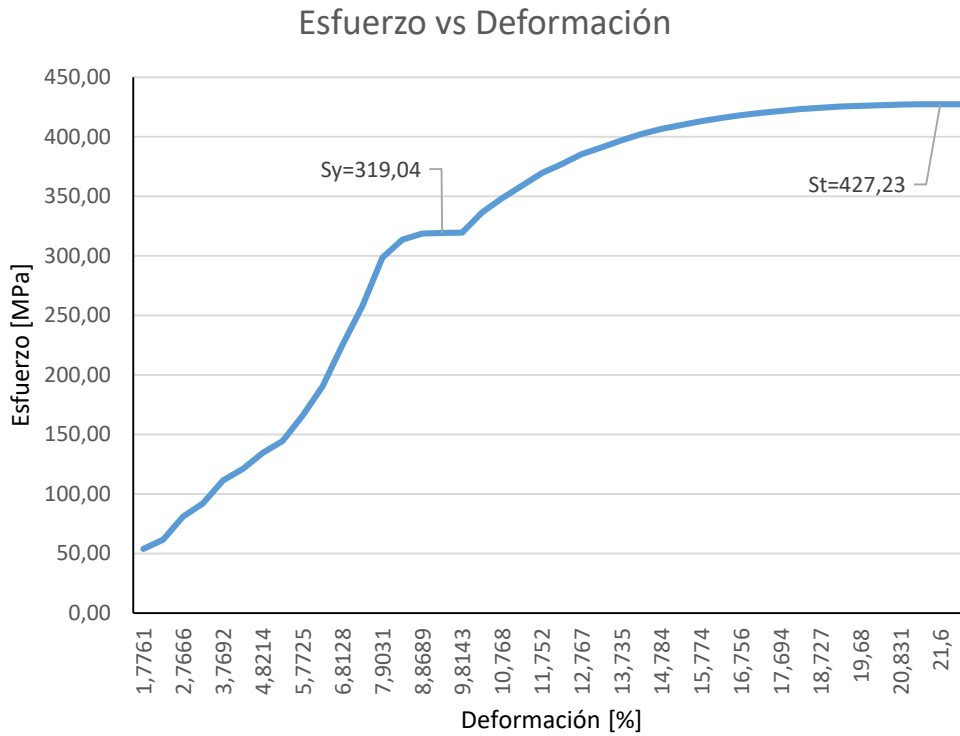


Figura 3.1 Diagrama esfuerzo-deformación del sustrato de acero utilizado en el presente estudio

3.2 Ensayo de pull off

Una vez realizado este ensayo, también conocido como ensayo de adhesividad mecánica, se presentan los resultados adjuntos en el anexo II, y a continuación se tabulan los resultados del ensayo en las probetas dobladas a 90° en la tabla 3.3, y probetas dobladas a 45° en la tabla 3.4, en las cuales se muestra el esfuerzo a la fractura con un área de 78,539 [mm²] (correspondiente al área del dado), la carga que se aplica y el tiempo que se demoró hasta llegar a la fractura del recubrimiento. Para el cálculo del tiempo se toma una constante del incremento de la carga equivalente a 0,80 [MPa/s].

Tabla 3.3 Resultados de Pull Off lote de probetas dobladas a 90°

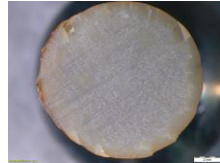


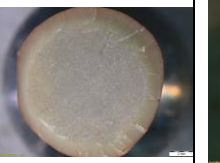
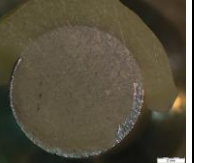

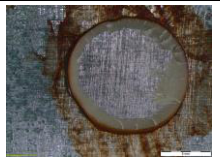

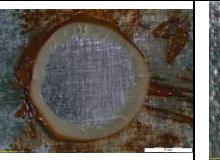


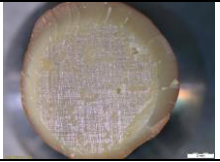
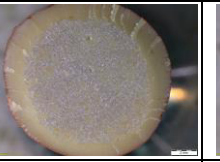
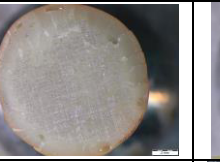
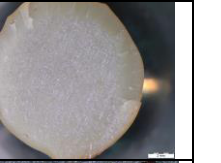

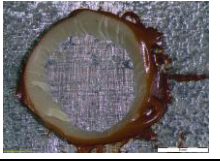
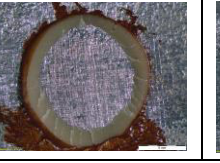


PROBETA	ESFUERZO FRACTURA [MPa]	CARGA FRACTURA [N]	TIPO DE FRACTURA	TIEMPO HASTA FRACTURA [S]
AP1	36,1	2833,85	100% B/Y	45,13
AP2	37,25	2924,13	100% B/Y	46,56
AP3	40,34	3166,69	100% B/Y	50,43
AP4	29,81	2340,09	100% B/Y	37,26
AP5	28,23	2216,06	100% B/Y	35,29
Desprendimiento del adhesivo				
AP1	AP2	AP3	AP4	AP5
				
				

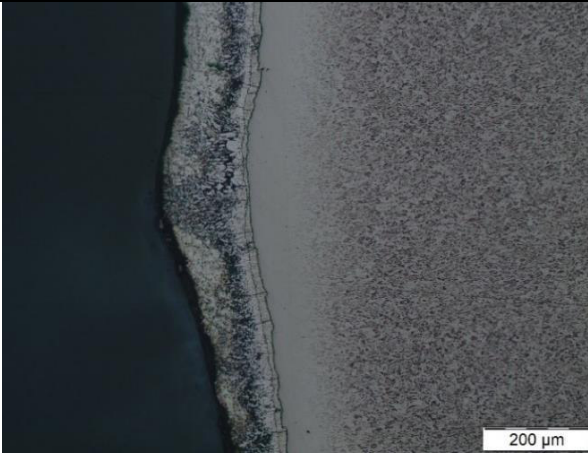
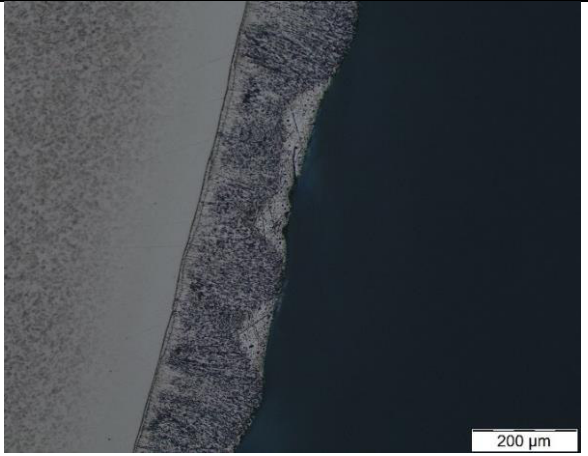
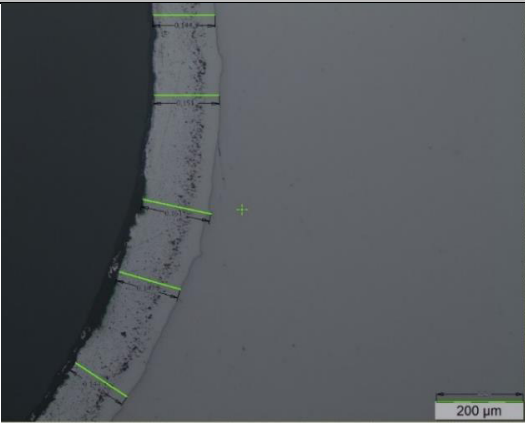
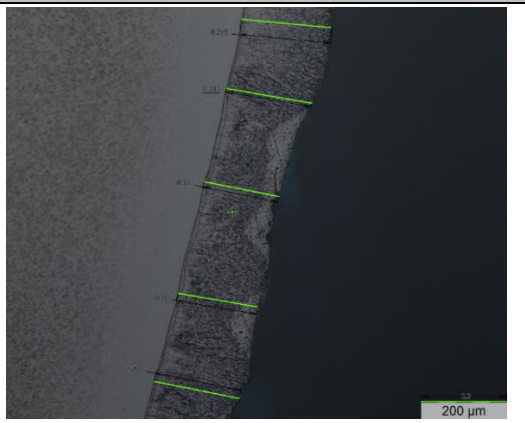
Tabla 3.4 Resultados de Pull Off lote de probetas dobladas a 45°

PROBETA	ESFUERZO FRACTURA [MPa]	CARGA FRACTURA [N]	TIPO DE FRACTURA	TIEMPO HASTA FRACTURA [S]
CP1	40,1	3147,85	100% B/Y	50,13
CP2	29,49	2314,97	100% B/Y	36,86
CP3	27,07	2125,00	100% B/Y	33,84
CP4	32,08	2518,28	100% B/Y	40,10
CP5	29,76	2336,16	100% B/Y	37,20
Desprendimiento del adhesivo				
CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
				
				

3.3 Ensayo metalográfico y medición de espesores

En esta sección se detallan algunas de las metalografías de las probetas de los perfiles a 45° y 90°. Se muestra tanto la parte interna como externa de cada una de ellas con las ampliaciones especificadas. Mediante la ayuda del Software Autodesk Inventor Professional se realizan cinco mediciones correspondientes al recubrimiento de galvanizado de cada uno de los perfiles. Así mismo con el software descrito anteriormente se trazan las líneas correspondientes a las fases que posee el recubrimiento. Todos estos resultados se resumen en la tabla 3.5 para el perfil de 45° y en la tabla 3.6 para el perfil de 90°.

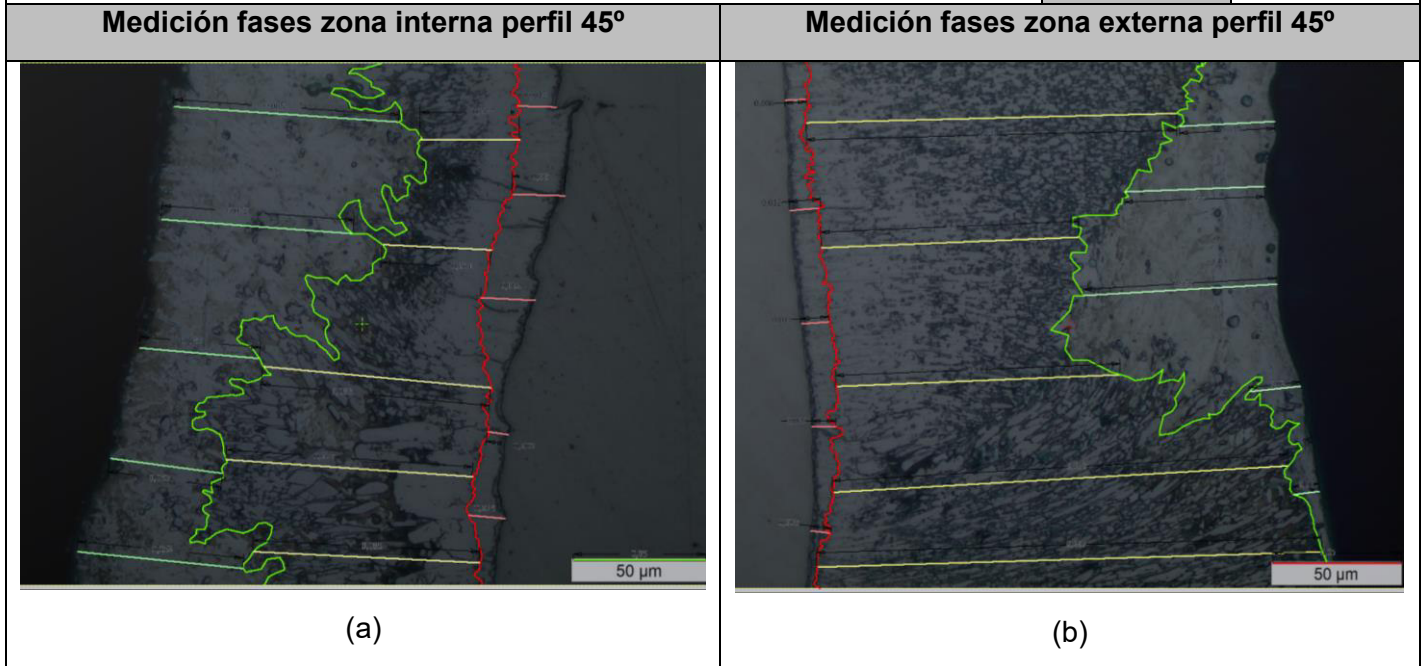
Tabla 3.5 Metalografías de perfil doblado a 45° y galvanizado

Zona interna perfil 45°	Zona externa perfil 45°
 <p data-bbox="432 1290 472 1328">(a)</p>	 <p data-bbox="1144 1290 1184 1328">(b)</p>
<p>En esta sección se tiene una imagen de la parte interna (a) y una imagen de la parte externa (b) del perfil doblado a 45°, cada una con ampliación de 100X, en donde se puede observar una uniformidad más pronunciada de la parte externa entre el material base y el recubrimiento.</p>	
Medición zona interna perfil 45°	Medición zona externa perfil 45°
	

(a)	(b)
-----	-----

Estas imágenes corresponden a la parte interna del perfil doblado a 45° (a) con una ampliación de 100X, y la parte externa del perfil doblado a 45° (b) con una ampliación de 100X, en la cual se pudo obtener varias mediciones del espesor del galvanizado descritas a continuación.

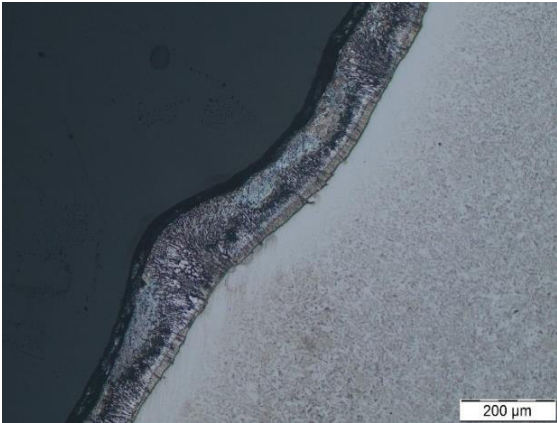
ZONA	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	M5 [μm]	PROMEDIO [μm]	
Externa	107,5	101,5	90	95	102,5	99,3	
Interna	73	69	81,5	66,5	53	68,6	
						Diferencia %	30,92



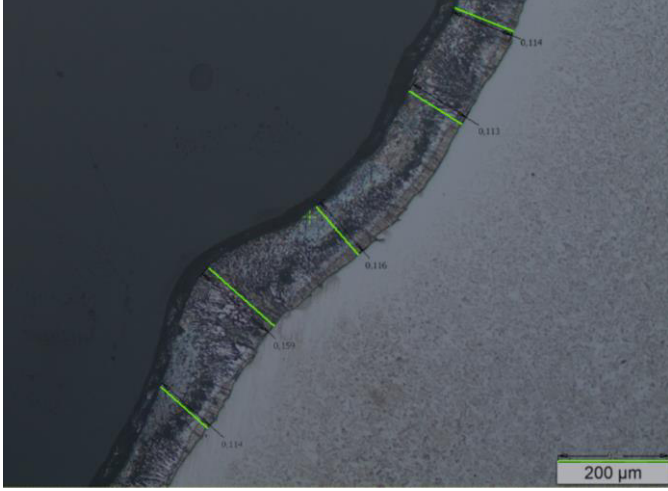
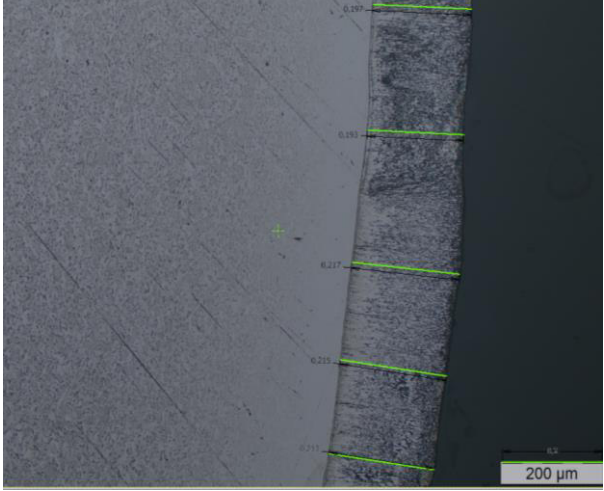
Las imágenes corresponden a la parte interna (a) y externa (b) del perfil doblado a 45° con una ampliación de 500X, en la cual se pudo trazar las líneas de separación entre fases del galvanizado. La fase delta tiene una distribución muy regular comparada con la fase zeta en el cual su distribución es más irregular, y por último se observa que la fase eta presenta inclusiones o porosidades.

Medición de espesores por fases del galvanizado zona interna						
FASE	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	M5 [μm]	PROMEDIO [μm]
Delta	7,5	10	10,5	4	7	7,8
Zeta	18,5	20,5	43	46,5	42,5	34,2
eta	42,5	36	22,5	21,5	31,5	30,8
Medición de espesores por fases del galvanizado zona externa						
FASE	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	M5 [μm]	PROMEDIO [μm]
Delta	4	6	5,5	4,5	4	4,8
Zeta	72,5	50	55,5	89	98,5	73,1
Eta	18,5	27,5	37,5	10	5	19,7

Tabla 3.6 Metalografías de perfil doblado a 90° y galvanizado

Zona interna perfil 90°	Zona externa perfil 90°
 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(b)</p>

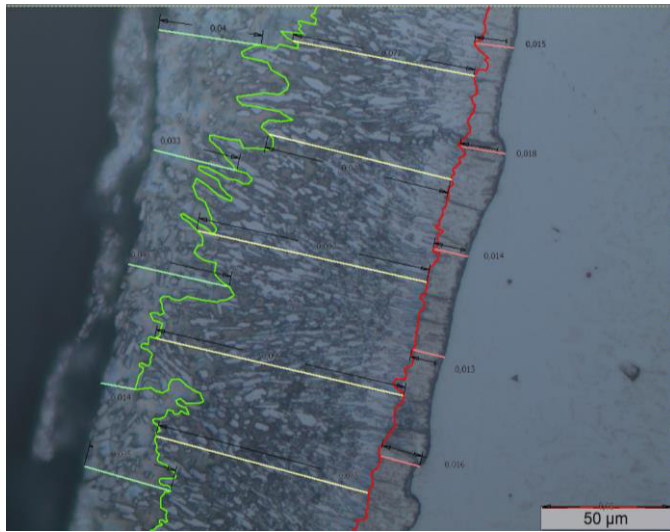
En esta sección se tiene una imagen de la parte interna (a) y una imagen de la parte externa (b) del perfil doblado a 90°, cada una con un incremento de 100X, en donde se puede observar una uniformidad más pronunciada de la parte externa entre el material base y el recubrimiento.

Medición zona interna perfil 90°	Medición zona externa perfil 90°
 <p style="text-align: center;">(a)</p>	 <p style="text-align: center;">(b)</p>

Estas imágenes corresponden a la parte interna del perfil doblado a 90° (a) con una ampliación de 100X, y la parte externa del perfil doblado a 90° (b) con una ampliación de 100X, en la cual se pudo obtener varias mediciones del espesor del galvanizado descritas a continuación.

ZONA	M1 [μm]	M2 [μm]	M3 [μm]	M4 [μm]	M5 [μm]	PROMEDIO [μm]
Externa	98,5	96,5	108,5	107,5	106,5	103,5
Interna	57	56,5	58	79,5	57	61,6
Diferencia %						40,48

Medición fases zona interna perfil 90°



(a)

Medición fases zona externa perfil 90°



(b)

Las imágenes corresponden a la parte interna (a) y externa (b) del perfil doblado a 90° con una ampliación de 500X, en la cual se pudo trazar las líneas de separación entre fases del galvanizado. La fase delta tiene una distribución bastante regular a comparación a la fase zeta en el cual su distribución va en diferentes direcciones, y por último se observa que la fase zeta presenta inclusiones o porosidades.

Medición de espesores por fases del galvanizado zona interna

FASE	M1 [µm]	M2 [µm]	M3 [µm]	M4 [µm]	M5 [µm]	PROMEDIO [µm]
Delta	7,5	9	7	6,5	8	7,6
Zeta	36	36,5	46	49,5	42,5	42,1
Eta	20	16,5	20	7	17,5	16,2

Medición de espesores por fases del galvanizado zona externa

FASE	M1 [µm]	M2 [µm]	M3 [µm]	M4 [µm]	M5 [µm]	PROMEDIO [µm]
Delta	3,5	3,5	4,5	4	1,5	3,4
Zeta	77	76	60	91	100,5	80,9
Eta	13,5	18,5	26	12	8,5	15,7

3.4 Ensayo de micro dureza

La norma especifica que una vez realizada la medición de micro dureza se deben considerar que la mitad de una de las diagonales no debe ser más larga del 5% de la mitad de la otra diagonal. Por lo cual, los resultados que estén sobre el 5% se descartan automáticamente. A continuación, se detalla los resultados de los perfiles evaluados de la tabla 3.7 hasta la tabla 3.14.

Tabla 3.7 Medición 1 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 45°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	142,29	37,66	34,53	36,1	8,311
2	239,57	28,07	27,57	27,82	1,781
3	254,23	26,65	27,35	27	2,559




Tabla 3.8 Medición 2 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 45°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	107,08	43,92	39,3	39,3	10,519
2	234,96	27,67	28,51	28,51	2,946
3	243,87	27,45	27,69	27,69	0,867

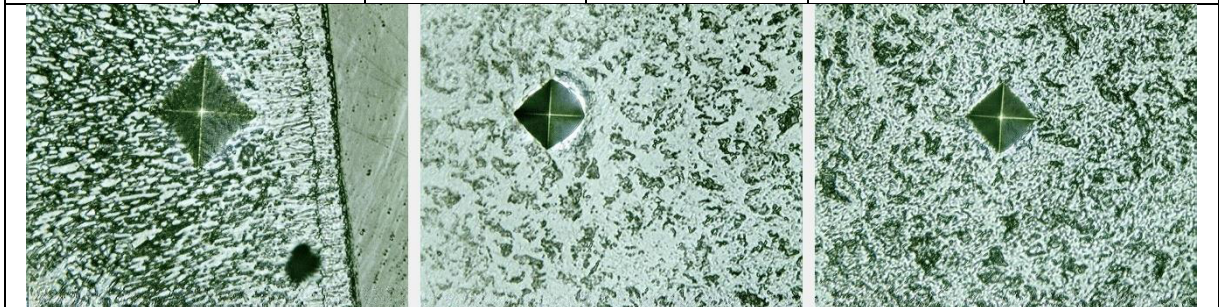


Tabla 3.9 Medición 1 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 45°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	58,5	54,93	57,66	56,3	4,735
2	248	27,47	27,21	27,34	0,946
3	252,61	27,78	26,4	27,09	4,968




Tabla 3.10 Medición 2 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 45°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	57,43	57,56	56,08	56,82	2,571
2	234,83	27,69	28,51	28,1	2,876
3	235,48	27,96	28,16	28,06	0,710

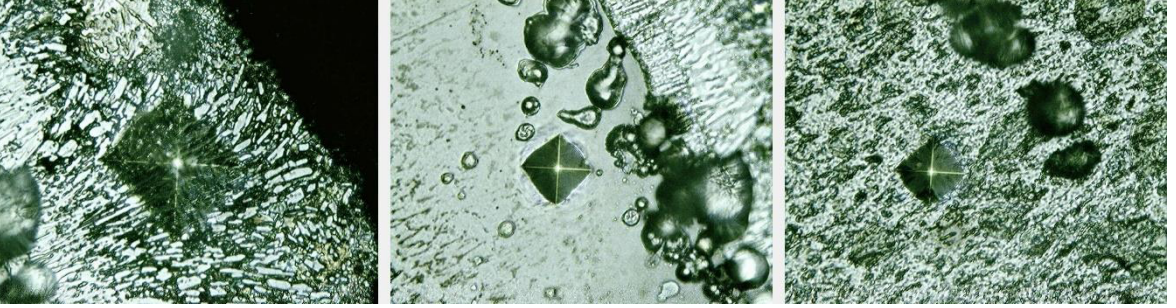


Tabla 3.11 Medición 1 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 90°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	185,59	34,22	28,99	31,61	15,283
2	250,86	27,12	27,25	27,19	0,477
3	239,84	27,69	27,91	27,8	0,788




Tabla 3.12 Medición 2 micro dureza en parte externa de probeta doblada a 90°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	100,6	44,96	40,9	42,93	9,030
2	249,87	27,24	27,24	27,24	0,000
3	239,89	26,87	28,73	27,8	6,474

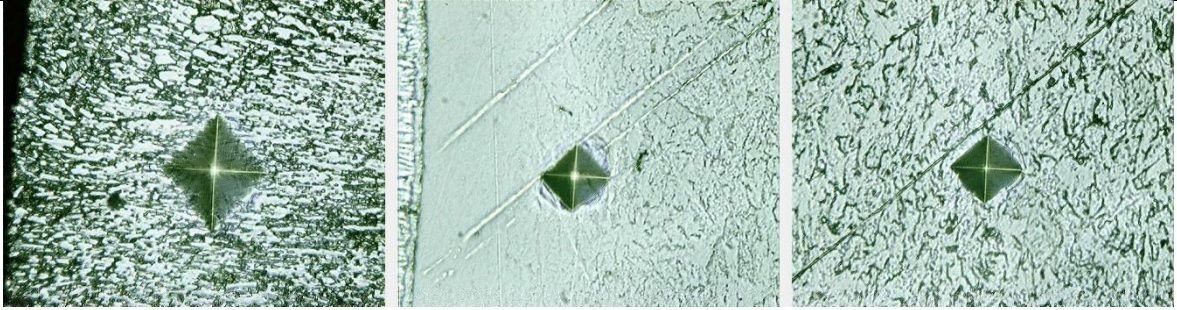


Tabla 3.13 Medición 1 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 90°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	45,64	63,48	64	63,74	0,813
2	248,74	28,28	26,32	27,3	6,931
3	246,25	27,52	27,35	27,44	0,618

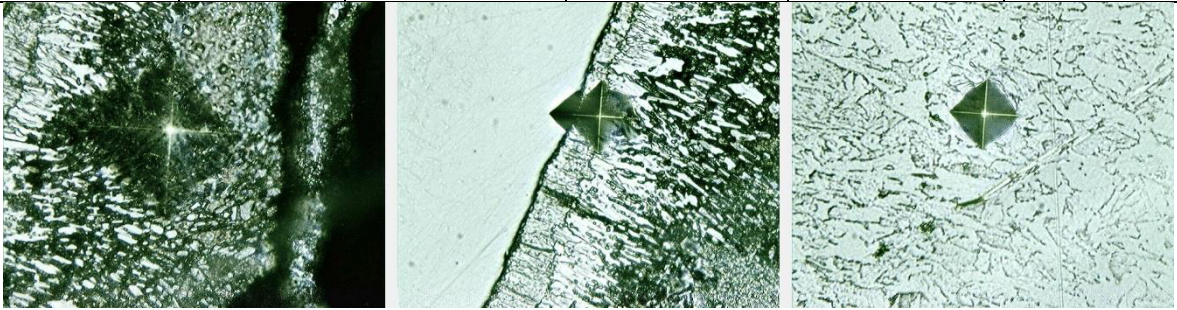
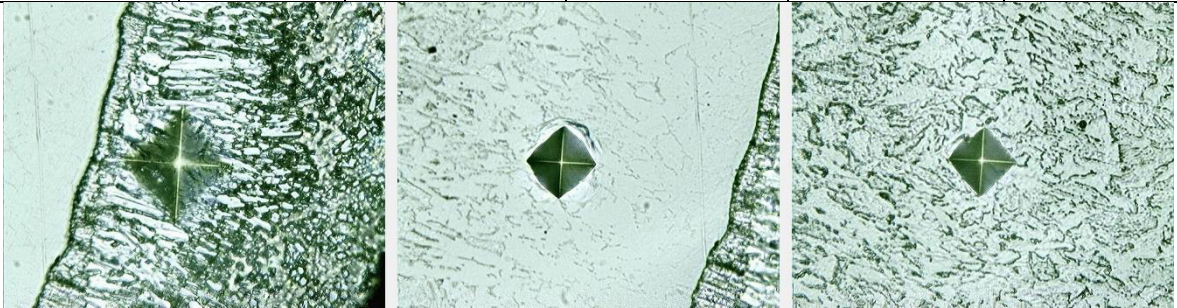


Tabla 3.14 Medición 2 micro dureza en parte interna de probeta doblada a 90°

Medición	Dureza [HV]	Diagonal 1 [μm]	Diagonal 2 [μm]	Promedio [μm]	Diferencia [%]
1	102,12	44,88	40,34	42,61	10,116
2	230,02	29,09	27,69	28,39	4,813
3	257,59	27,12	26,54	26,83	2,139



3.5 Ensayo de rugosidad superficial

La medición de rugosidad se realizó en los dos perfiles doblados a 45° y 90° en la superficie externa, y se tomaron muestras tanto de la parte de dobléz como en la parte del ala del perfil. En las tablas 3.15 y 3.16 se muestran los resultados obtenidos de la rugosidad de cada perfil galvanizado.

Tabla 3.15 Medición de rugosidad perfil doblado a 45°

Probeta: Doblada 45°	
Medición	Rugosidad (μm)
1	101
2	116
3	75
4	81
5	128
6	86
7	107
8	102
9	82
10	125
11	101
12	91
13	121
14	64
15	102

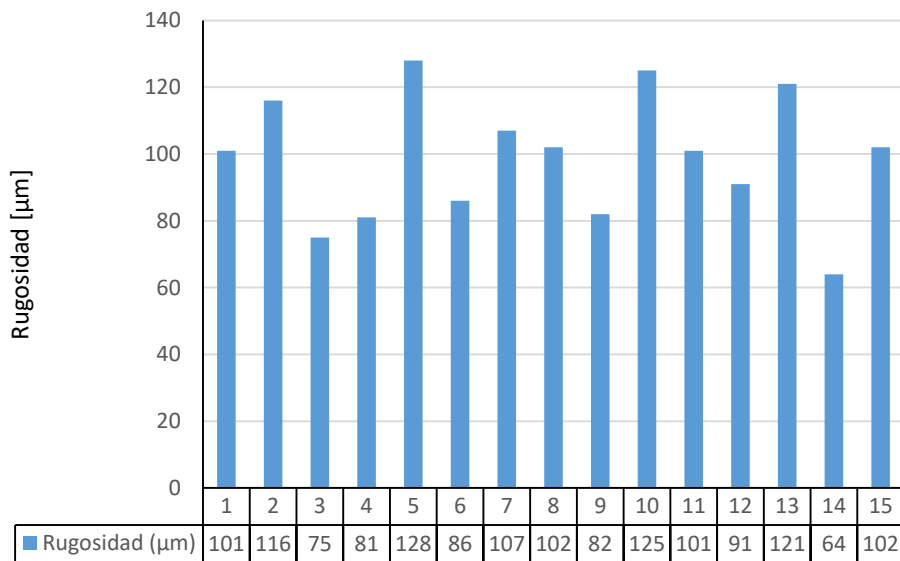


Figura 3.2 Rugosidades en perfil doblado a 45°

Tabla 3.16 Medición de rugosidad perfil doblado a 90°

Probeta: Doblada 90°	
Medición	Rugosidad (μm)
1	119
2	88
3	102
4	129
5	67
6	114
7	122
8	70
9	115
10	65
11	73
12	176
13	202
14	103
15	67

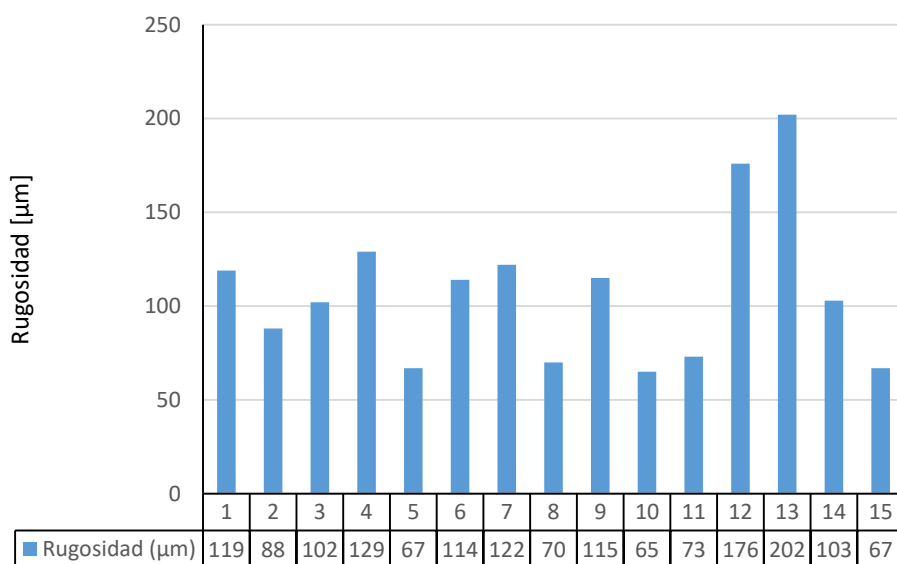


Figura 3.3 Rugosidad en perfil doblado a 90°

4 ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Caracterización del material base

A partir de los resultados obtenidos y mostrados en las tablas 3.1 y 3.2 correspondiente a la composición química y de tensión del material base, y comparando con lo especificado en la norma descrita en la tabla 2.1 y 2.3, se establece que el acero utilizado corresponde al tipo ASTM A36.

4.2 Medición de adherencia de recubrimiento galvanizado

En el ensayo realizado de Pull-Off, los valores especificados en las tablas 3.3 y 3.4 muestran que el esfuerzo de fractura del adhesivo utilizado en la parte plana de las probetas a 90° presenta un incremento del 7,7% con respecto del esfuerzo de fractura del adhesivo en las probetas a 45°. Este incremento se debe a que, en el apartado 3.5 de este estudio, presenta una mayor rugosidad en las muestras de 90° que en las de 45°, y esto puede influir al momento de la adherencia del pegamento en la superficie del sustrato.

De los datos obtenidos y analizados se establece que las muestras tuvieron una falla de naturaleza adhesiva, ya que el pegamento no pudo adherirse de manera correcta en el galvanizado, y no se presentó desprendimiento de recubrimiento en ninguna de las muestras. Tal como se muestra en el trabajo realizado por (Agila, 2021). El porcentaje de pegamento adherido al sustrato es del 99%.

4.3 Análisis de ensayo metalográfico y medición de espesores

Mediante las metalografías obtenidas en el presente estudio, se realiza una comparación entre la parte interna y externa de las probetas dobladas a 45° y 90°, respectivamente, lo cual se puede evidenciar que la parte externa se sometió a tensión y la parte interna a compresión lo cual genera esfuerzos residuales. En concordancia con el trabajo realizado por (Kamran Tayyebi, 2020) existen esfuerzos residuales en metales conformados en frío, que bajo el método de galvanizado en caliente se pueden atenuar, ya que el metal se somete a un tratamiento térmico en el baño de galvanizado. Pero también se menciona que estos esfuerzos residuales pueden generar micro grietas en la superficie del sustrato que, al momento del galvanizado, también generan micro grietas en la fase delta (δ) y pueden extenderse hacia la superficie externa del galvanizado y producir un desprendimiento del mismo.

De acuerdo con lo especificado en las tablas 3.5 y 3.6 se evidencia que el espesor del galvanizado es menor en la parte interna que en la externa de ambos perfiles doblados a

45° y 90°. Teniendo una diferencia del 30,92% en el perfil doblado a 45° y de 40,48% para el perfil doblado a 90°. Adicionalmente, los espesores de ambos perfiles internos no cumplen con lo establecido en la norma (ASTM A123) que establece un mínimo de 75µm de espesor de galvanizados para placas estructurales. Esto se debe a que en el proceso de galvanizado las probetas se las colocaron en forma de “V” invertida, lo cual, al momento del secado, en la superficie externa del perfil influyo más rápido la velocidad de enfriamiento que la parte interna, y eso evita de que haya escurrimiento de galvanizado como ocurrió en la parte interna.

Mediante la medición de espesores de cada fase de ambas probetas, tanto a 45° y 90° se evidencia que la fase zeta (ζ) del galvanizado es la que mayor espesor tiene con respecto a las otras fases (delta y eta), teniendo un promedio del 66,67% de la fase zeta con respecto al espesor total del galvanizado. Esto puede deberse a que el contenido de silicio del presente estudio presenta un 0,039% y según el estudio realizado por (Kuklik, Kudlacek, 2015), los aceros que presenten silicio en porcentajes mayores al 0,03% tienden a tener mayor espesor de galvanizado de lo normal, a este fenómeno se le conoce como efecto sandelin.

4.4 Análisis ensayo micro dureza

Mediante los resultados obtenidos y descritos en las tablas 3.7 hasta la tabla 3.14 se puede observar que las mediciones fueron realizadas en la zona de galvanizado y en la zona del material base para establecer una comparación de durezas y analizar su efecto. Por una parte, se muestra que las mediciones realizadas en el galvanizado se tienen una dureza promedio de 65,92[HV] en la parte interna y 133,9[HV] en la parte externa. Esto se debe a que, en la parte interna del perfil, la fase eta (η) del recubrimiento se desarrolló en mayor proporción; esta fase contiene cinc puro lo cual su dureza es menor que las otras fases que contienen hierro-cinc.

La mayoría de las durezas presentadas en el galvanizado fueron descartadas ya que no cumplía el con el 5% descrito en la norma ASTM E348, debido a que el indentador cae al inicio de la fase zeta (ζ) y los cristales formados en esa fase (hierro-cinc) se van abriendo o alargando y deja espacios donde solo se concentra cinc puro, y produce que la dureza cambie donde las diagonales del indentador es más pronunciada que en otra.

4.5 Análisis ensayo de rugosidad superficial

De acuerdo con lo mostrado en las figuras 3.1 y 3.2 de medición de rugosidad de perfiles a 45° y 90°, respectivamente, muestra valores en el cual los de mayor valor pertenecen a

la superficie del perfil que tienen una tonalidad más plateada oscura, mientras que los de menor valor pertenecen a una superficie más lisa y plateado claro. Según el estudio presentado por (Kuklik, 2011) los aceros galvanizados que presentan estos tipos de coloración se debe a varios factores:

1. La cantidad de silicio presente en el sustrato entre 0.03% a 0.12%, hace que en la fase zeta (ζ) exista una mayor difusión entre los átomos del hierro del metal base y el cinc fundido, hasta alcanzar una saturación de hierro-cinc, y luego empieza a crear finos cristales de cinc duro con una masa blanda muy viscosa.
2. Durante la laminación del acero, la capa superficial puede contaminarse con impurezas que se quedan impregnadas en el sustrato laminar, provocando la aparición de estructuras mixtas que se extienden hasta la superficie exterior del recubrimiento.

Estos factores son los que pueden influir en este estudio, ya que se evidenció en la, composición química, la presencia de silicio; y en el metal base no se realizó un pulido o una limpieza por lo que pudo tener pequeñas impurezas presentes en la superficie.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante composición química y ensayo de tracción se logró establecer que el material utilizado para este estudio, pertenece a un acero ASTM A36. Y adicionalmente, se encuentran otros tipos de componentes en el acero que pueden influir en el galvanizado como, por ejemplo, el silicio.

La cantidad de silicio presente en el acero (0,039%) influyó en la cantidad de galvanizado depositado, ya que este componente genera el efecto Sandelin, en el cual indica que mientras mayor sea la cantidad de silicio, mayor será el espesor del recubrimiento.

La medición de adherencia en el sustrato galvanizado no logró los resultados esperados. Aunque si existieron valores altos de esfuerzo de fractura, no hubo desprendimiento de galvanizado ya que el pegamento utilizado para este estudio no se adhirió de la manera adecuada con la superficie lijada del sustrato.

La rugosidad de las probetas galvanizadas influyo en el montaje del dado, pasta adhesiva, y sustrato, ya que en todas las probetas hubo un fallo del tipo adhesivo en la cual el pegamento no presentaba recubrimiento desprendido del sustrato.

El galvanizado pudo actuar como un atenuador de esfuerzos residuales generados por el dobléz al que fue sometido el metal. Estos esfuerzos residuales que se generan en la esquina de perfil pueden originar micro grietas en la superficie del metal.

Las micro grietas confinadas del galvanizado, que se evidencian en las metalografías, pueden ser un efecto del agrietamiento del sustrato al momento del dobléz; estas micro grietas pueden extenderse si el perfil es sometido a mas cargas cuando ya este sea utilizado en las diferentes aplicaciones industriales.

Se concluye que la posición ("V" invertida) en la que entraron al baño de galvanizado los perfiles, influyó en la velocidad de enfriamiento, por ende, en la variación del espesor de cada una de las zonas internas y externas, ya que existió el efecto de escurrimiento en la parte interna por no tener una buena solidificación.

En la generación de las fases del galvanizado se determina que la fase zeta (ζ) es la predominante, ya que es el 66,67% del total del espesor del recubrimiento, los valores de mayor espesor se presentaron en la zona externa de ambos perfiles doblados a 45° y 90°.

Mediante este estudio se comprueba que la dureza del galvanizado siempre va a ser menor en la fase η (η), ya que en esta fase se tiene cinc puro que es de menor dureza que las fases que contienen hierro cinc y el sustrato.

La limpieza de las piezas o un acabado superficial más fino influyen en la rugosidad superficial del recubrimiento, ya que evita que se queden impurezas impregnadas en el material base que afecten en la solidificación del galvanizado.

Los perfiles doblados a 45° pueden ser más propensos a defectos de galvanizado lo cual pueden ser susceptibles a la corrosión y al deterioro acelerado de las piezas recubiertas.

5.2 Recomendaciones

Se debe tener en cuenta la composición química con la que está fabricado el acero a recubrir, ya que por eso se puede establecer los parámetros de galvanizado para garantizar una buena formación del recubrimiento.

Para el ensayo de pull-off se recomienda preparar el sustrato, el pegamento, y el dado de la mejor manera, ya que cualquiera de estos factores puede influir en el resultado final del ensayo. Adicionalmente se debe realizar este ensayo en una parte completamente plana del sustrato para que el equipo pueda tener un buen agarre del dado y se ejecute correctamente.

Si se va a galvanizar perfiles angulares a 45° se recomienda que se utilicen perfiles producidos por otro método de conformado, ya que al doblar el acero a 45° genera una variación superficial en la zona interna del doblado, lo cual puede producir distorsión en el galvanizado, y mayor rugosidad superficial.

Para el proceso de galvanizado por inmersión en caliente se recomienda colocar las piezas de tal forma en la que la velocidad de enfriamiento sea uniforme en toda la pieza, para que así no se presente variaciones de espesores que puedan afectar al recubrimiento.

Se recomienda tener un mayor control en proceso de galvanizado, como tiempo de inmersión y temperatura del baño, ya que así podemos controlar la formación homogénea de fases para poder lograr una buena dureza del recubrimiento.

Se recomienda tener un buen acabado superficial y una buena limpieza de la pieza a galvanizar, para evitar que impurezas se queden impregnadas en el material base y esto provoque defectos internos del galvanizado.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACURA. (s.f.). *GRUPO ACURA*. (TRATAMIENTOS SUPERFICIALES: TIPOS, EQUIPO ESPECIALIZADO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD) Obtenido de <https://grupoacura.com/blog/soluciones-y-tecnologia/tratamientos-superficiales/>
- Askeland, D., P., F., & W., & W. (2011). *The science and engineering of materials*. Canadá: Nelson Education.
- ASM Handbook Committee. (2004). *Metallography and Microstructures* (Vol. 9). (G. F. Voort, Ed.)
- ASTM A1011/A1011M-18a. (2018). *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, and Ultra-High Strength*. Obtenido de https://www.astm.org/a1011_a1011m-18a.html
- ASTM A123/A123M-17, ASTM. (2017). *Standard Specification for Zinc (Hot-Dip Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products*. Obtenido de https://www.astm.org/a0123_a0123m-17.html
- ASTM E384-17. (2017). *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials*. Obtenido de <https://www.astm.org/e0384-17.html>
- B., A., & J., C. (2021). *CARACTERIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DE ZINC SOBRE ACERO A-36, AL VARIAR LA CALIDAD SUPERFICIAL Y SER TRATADO TÉRMICAMENTE*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21620>
- Cañar, M. J., & Reinoso, I. (02 de Julio de 2016). *issuu*. Obtenido de Construcciones Vernáculas: https://issuu.com/majocanar/docs/ca__ar_reinoso
- DIPAC. (2021). *DIPAC MANTA PRODUCTOS DE ACERO*. (Productos de acero, Ángulo doblado) Obtenido de <https://www.dipacmanta.com/angulos-nacionales>
- Galvanizers, N. (Junio de 2019). *GALVANIZING HANDBOOK*. Obtenido de www.nordicgalvanizers.com
- J., C. (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*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19358>
- K., T., & M., S. (December de 2019). Stub column behaviour of heat-treated and galvanized RHS. *Elsevier*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2019.105910>

- K., T., M., S., & K., K. (Junio de 2020). Residual stresses of heat-treated and hot-dip galvanized RHS cold-formed by different methods. *Journal of Constructional Steel Research*, 169. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106071>
- M., S., & J., P. (2017). *Hot-dip galvanizing of cold-formed steel hollow sections: a state-of-the-art review*. *Front. Struct. Civ. Eng.* Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11709-017-0448-0>
- Molera Solá, P. (1991). *Conformación Metálica*. Barcelona, España: Marcombo.
- O., R., E., C., & J., M. (2019). «Evaluación de propiedades mecánicas en recubrimientos galvanizados por doble inmersión en caliente sobre acero al carbono. *INGENIUS*(22). Obtenido de <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/22.2019.08>
- S., A., M., M., K., H., & S., M. (2021). Fatigue Properties of Hot-Dip Galvanized AISI 1020. *Materials*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ma14237480>
- V., K. (2012). Selected examples of rough structures of zinc coatings produced in hot dip galvanizing process in accordance with EN ISO 1461. *18th Hot Dip Galvanizing Conference*, 7. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/305720447>
- V., K., & Kudláček. (2016). *Hot-Dip Galvanizing of Steel Structures*. New York: Elsevier.
- Y., R., & E., C. (2017). Efecto de la composición química en el comportamiento mecánico de recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente: una revisión. *INGENIUS*(18). Obtenido de <https://revistas.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/18.2017.04>

7 ANEXOS

ANEXO I Certificado de calidad del material utilizado


本钢板材股份有限公司
BENGANG STEEL PLATES CO., LTD

产品质量证明书
PRODUCT QUALITY CERTIFICATE

辽宁省本溪市平山区钢铁路18号
No. 18, Gangtie Road, Pingshan District
Benxi Liaoning Province P. R. China
电话: 024-42224200 邮编: 117000
TEL: 024-42224200 PC: 117000

产品名称: HRP
商业发票号码: E017033528
客户编号: H K00022
交货日期: 2017/03/22
客户采购案号: R1702BC082

证明编号: 170322H0399
订单编号: EHI7020004001
证明日期: 2017/03/23



质量管理中心: JL-014

客户名称 SOLD TO	产品名称 PRODUCT		数量 QTY	长度 LENGTH	宽度 WIDTH	厚度 THICK	等级 CLASS	炉号 HEAT NO.	钢卷编号 COIL NO.	项目 ITEM NO.	备注 REMARKS
	商业发票号码 INVOICE NO.	证明编号 CERTIFICATE NO.									
本钢板材股份有限公司	E017033528	170322H0399									
标准 STANDARD	客户编号 CUSTOMER NO.	订单编号 ORDER NO.									
牌号 Grade	交货日期 SHIPPING DATE	证明日期 ISSUE DATE									
检验 INSP.	客户采购案号 CUST ORDER NO.										
尺寸及规格 MATERIAL DESCRIPTION											
SPECIFICATION											
03	X170201971J11	1740808	1	4.960	20	12	25	18	5	20	32
03	X170201971J2	1740808	1	4.940	20	12	25	18	5	20	32
03	X170201971J3	1740808	1	4.950	20	12	25	18	5	20	32
03	X170201971J4	1740808	1	4.340	20	12	25	18	5	20	32
03	X170201972J1	1740808	1	4.970	20	12	25	18	5	20	32
			TOTAL:	5	24.160						
屈服强度 YIELD STRENGTH 抗拉强度 TENSILE STRENGTH 伸长率 ELONGATION 弯曲 BENDING 等级 1=合格品 CLASS 1=ELIGIBILITY VISUAL INSPECTION (SURFACE) AND DIMENSION CHECK : OK											
兹证明本表所列产品, 均按标准进行制造及试验, 并且符合规范之要求, 本产品品质证明书盖章有效, 复印无效。 WE HEREBY CERTIFY THAT MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN MANUFACTURED AND TESTED WITH SATISFACTORY RESULTS IN ACCORDANCE WITH THE STANDARD TECHNIQUE. EFFECTIVELY SEAL THE PRODUCT QUALITY CERTIFICATE, COPY INVALID.											
本钢板材质量管理中心 BX Steel Quality Management Center MADE IN CHINA											

ANEXO II Datos obtenidos del ensayo espectrometría

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

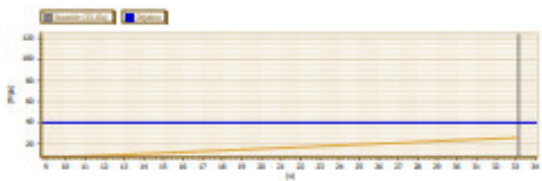
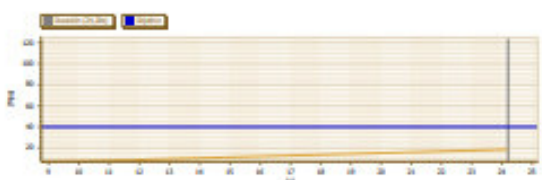





Ing. Oscar Sotomayor

**Jefe del Laboratorio de
Fundición:**



ANEXO III Resultados obtenidos de ensayo de Pull-off

Fecha & Hora	#	Atributo	Adherencia (Mpa)	Gráfico de arranque/Foto
2/3/2021 9:00:15	6	Ninguno ajustado	25,74	
2/3/2021 9:01:31	7	Ninguno ajustado	18,47	
2/3/2021 9:02:37	8	Ninguno ajustado	14,16	
2/3/2021 9:03:11	9	Ninguno ajustado	6,52	
2/3/2021 9:04:14	10	Ninguno ajustado	17,70	

Continuación anexo III

Fecha & Hora	#	Atributo	Adherencia (Mpa)	Gráfico de arranque/Foto
2/3/2021 9:05:00	11	Ninguno ajustado	8,08	
2/3/2021 9:05:43	12	Ninguno ajustado	6,78	
2/3/2021 9:07:06	13	Ninguno ajustado	17,06	
2/3/2021 9:07:49	14	Ninguno ajustado	14,84	
2/3/2021 9:08:37	15	Ninguno ajustado	15,44	

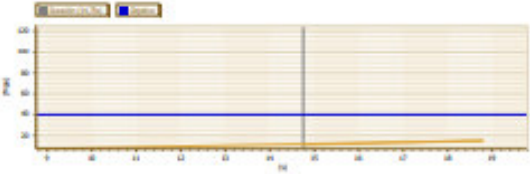
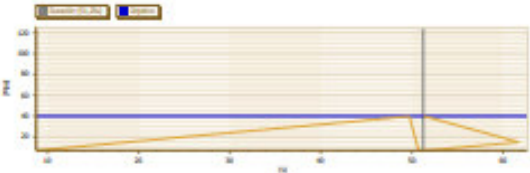
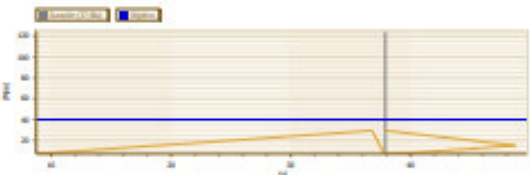
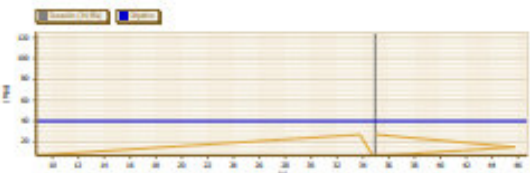
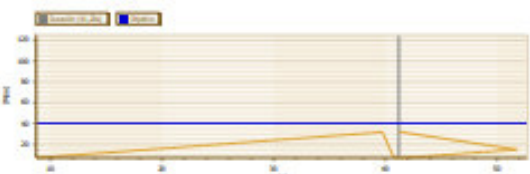
Continuación anexo III

Fecha & Hora	#	Atributo	Adherencia (Mpa)	Gráfico de arranque/Foto
2/3/2021 9:09:30	16	Ninguno ajustado	21,89	
2/3/2021 9:10:24	17	Ninguno ajustado	14,68	
2/3/2021 9:11:16	18	Ninguno ajustado	14,65	
2/3/2021 9:12:14	19	Ninguno ajustado	17,65	
8/3/2021 9:39:17	20	Ninguno ajustado	25,62	

Continuación anexo III

Fecha & Hora	#	Atributo	Adherencia (Mpa)	Gráfico de arranque/Foto
8/3/2021 9:40:43	21	Ninguno ajustado	28,26	
8/3/2021 9:43:57	22	Ninguno ajustado	29,81	
8/3/2021 9:49:25	23	Ninguno ajustado	34,11	
8/3/2021 9:51:10	24	Ninguno ajustado	13,37	
8/3/2021 9:54:22	25	Ninguno ajustado	16,36	

Continuación anexo III

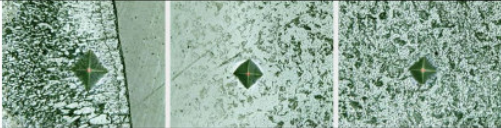
Fecha & Hora	#	Atributo	Adherencia (Mpa)	Gráfico de arranque/Foto
8/3/2021 9:55:12	26	Ninguno ajustado	11,09	
8/3/2021 9:56:48	27	Ninguno ajustado	40,10	
8/3/2021 9:58:15	28	Ninguno ajustado	29,49	
8/3/2021 9:59:41	29	Ninguno ajustado	27,07	
8/3/2021 10:01:24	30	Ninguno ajustado	32,08	

Continuación anexo III

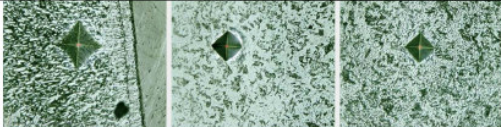
Fecha & Hora	#	Atributo	Adherencia (Mpa)	Gráfico de arranque/Foto
8/3/2021 10:02:38	31	Ninguno ajustado	29,76	
8/3/2021 10:04:04	32	Ninguno ajustado	31,15	
8/3/2021 10:06:01	33	Ninguno ajustado	19,93	
8/3/2021 10:08:10	34	Ninguno ajustado	38,09	
8/3/2021 10:12:16	35	Ninguno ajustado	37,53	


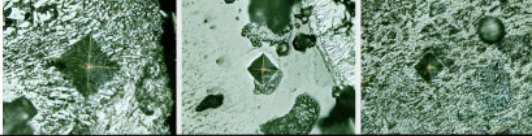
ANEXO IV Resultados del ensayo de micro dureza


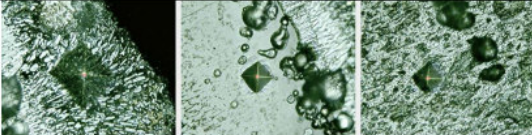
Sample		D45.2-EXT-1		Date	07/12/2021	
Material				Load	100	
Reported by				Eht	1	
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	142,29	37,66	34,53	36,10	
O2	-	239,57	28,07	27,57	27,82	
O3	24	254,23	26,65	27,35	27,00	
Mean	8,00	212,03	30,79	29,82	30,31	0,00
Signed by:			Unit	µm		



Sample		D45.2-EXT-2		Date	07/12/2021	
Material				Load	100	
Reported by				Eht	1	
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	107,08	43,92	39,30	41,61	
O2	-	234,96	27,67	28,51	28,09	
O3	22	243,87	27,45	27,69	27,57	
Mean	7,33	195,30	33,01	31,83	32,42	0,00
Signed by:			Unit	µm		


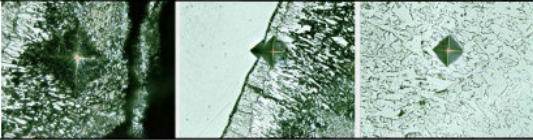



 Micro Hardness Analysis Report						
Sample	D45.2.-INT-1	Date	07/12/2021			
Material		Load	100			
Reported by		Eht	1			
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	58,50	54,93	57,66	56,30	
O2	22	248,00	27,47	27,21	27,34	
O3	23	252,61	27,78	26,40	27,09	
Mean	15,00	186,37	36,73	37,09	36,91	0,00
Signed by:			Unit	µm		
						

 Micro Hardness Analysis Report						
Sample	D45.2.-INT-2	Date	07/12/2021			
Material		Load	100			
Reported by		Eht	1			
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	57,43	57,56	56,08	56,82	
O2	-	234,83	27,69	28,51	28,10	
O3	-	235,48	27,96	28,16	28,06	
Mean	0,00	175,91	37,74	37,58	37,66	0,00
Signed by:			Unit	µm		
						

Micro Hardness Analysis Report						
Sample	D90.3-EXT-1		Date	07/12/2021		
Material			Load	100		
Reported by			Eht	1		
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	185,59	34,22	28,99	31,61	
O2	23	250,86	27,12	27,25	27,19	
O3	-	239,84	27,69	27,91	27,80	
Mean	7,67	225,43	29,68	28,05	28,87	0,00
Signed by:			Unit	μm		

Micro Hardness Analysis Report						
Sample	D90.3-EXT-2		Date	07/12/2021		
Material			Load	100		
Reported by			Eht	1		
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	100,60	44,96	40,90	42,93	
O2	23	249,87	27,24	27,24	27,24	
O3	-	239,89	26,87	28,73	27,80	
Mean	7,67	196,79	33,02	32,29	32,66	0,00
Signed by:			Unit	μm		

 Micro Hardness Analysis Report						
Sample	D90.3-INT-1		Date	07/12/2021		
Material			Load	100		
Reported by			Eht	1		
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	45,64	63,48	64,00	63,74	
O2	23	248,74	28,28	26,32	27,30	
O3	22	246,25	27,52	27,35	27,44	
Mean	15,00	180,21	39,76	39,22	39,49	0,00
Signed by:			Unit	µm		
						

 Micro Hardness Analysis Report						
Sample	D90.3-INT-2		Date	07/12/2021		
Material			Load	100		
Reported by			Eht	1		
Label	HRC	HV	D1	D2	Mean Diagonal	Depth
O1	-	102,12	44,88	40,34	42,61	
O2	-	230,02	29,09	27,69	28,39	
O3	24	257,59	27,12	26,54	26,83	
Mean	8,00	196,58	33,70	31,52	32,61	0,00
Signed by:			Unit	µm		
