

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)

---

---

**TEMA:** “ESTUDIO DEL CROMADO METÁLICO EN SUPERFICIES DE AROS PARA BUSES BAJO NORMAS INEN Y SU INCIDENCIA EN LA ADHERENCIA SUPERFICIAL”

---

---

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de Magister en  
Diseño Mecánico

**AUTOR:** Ing. Mario Alcides Lara Núñez

**DIRECTOR:** Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

Ambato – Ecuador

2017

**A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.**

El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ing. Mg. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, e integrado por los señores: Ing. Mg. Francisco Agustín Peña Jordán, Ing. Mg. Gustavo David Patín Manobanda, Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas inen, y su incidencia en la adherencia superficial”, elaborado y presentado por el señor Ing. Mario Alcides Lara Núñez para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

-----  
Ing. Mg. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes.  
Presidente del Tribunal

-----  
Ing. Mg. Francisco Agustín Peña Jordán,  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing. Mg. Gustavo David Patín Manobanda  
Miembro del Tribunal

-----  
Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano  
Miembro del Tribunal

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas inen, y su incidencia en la adherencia superficial”, le corresponde exclusivamente a: Ing. Mario Alcides Lara Núñez, Autor bajo la Dirección de Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Mario Alcides Lara Núñez

c.c.1801751981

**AUTOR**

---

Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg.

c.c.0501500771

**DIRECTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

-----  
Ing. Mario Alcides Lara Núñez  
c.c. 1801751981

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Índice general de contenidos.....	v
Índice de figuras.....	x
Índice de tablas.....	xv
Agradecimiento.....	xxi
Dedicatoria.....	xxii
Resumen Ejecutivo.....	xxiii
Executive Abstract.....	xxiv
Introducción.....	1
Capítulo I.....	2
Problema de Investigación.....	2
1.1 Tema:.....	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.2.1 Contextualización.....	2
1.2.2 Análisis Crítico.....	4
1.2.3 Prognosis.....	4
1.2.4 Formulación del Problema.....	4
1.2.5 Preguntas Directrices.....	5
1.2.6 Delimitación del Problema.....	5
1.3 Justificación.....	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	7
Capítulo II.....	8
Marco Teórico.....	8
2.1 Antecedentes Investigativos.....	8

2.2 Fundamentación Filosófica.....	9
2.3 Fundamentación Legal.....	9
2.4 Categorías Fundamentales.....	11
2.4.1 Ingeniería de Materiales.....	11
2.4.2 Fundamentos de galvanotecnia.....	12
2.4.3 Recubrimientos Electrolíticos.....	16
2.4.4 Fundamentación de los aros.....	16
2.4.5 Preparación para el proceso de cromado.....	20
2.4.6 Baños electrolíticos.....	22
2.4.7 Elementos del proceso de galvanotecnia.....	25
2.4.8 Factores que intervienen en la calidad del acabado.....	29
2.5 Mejoras del acabado superficial e indicadores del recubrimiento del cromo metálico a los aros para buses.....	33
2.5.1 Normas ASTM e INEN de adherencia del cromo al acero.....	33
2.5.2 Normas ASTM e INEN de espesor de recubrimiento.....	34
2.5.3 Normas ASTM e INEN de dureza de recubrimiento.....	35
2.5.4 Normas ASTM e INEN de brillo del recubrimiento.....	36
2.5.6 Normas ASTM e INEN de la resistencia a la corrosión.....	37
2.6 Hipótesis.....	37
2.7 Señalamiento de Variables.....	37
2.7.1 Variable Independiente.....	37
2.7.2 Variable Dependiente.....	38
2.7.3 Término de Relación.....	38
Capítulo III.....	39
Metodología.....	39
3.1 Enfoque.....	39

3.2 Modalidad básica de la investigación .....	40
3.2.1 De campo .....	40
3.2.2 Bibliográfico .....	40
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	40
3.3.1 Exploratorio.....	40
3.3.2 Descriptivo .....	40
3.3.3 Experimental .....	41
3.4 Población y muestra .....	41
3.4.1 Población.....	41
3.4.2 Muestra.....	41
3.5 Operacionalización de variables .....	43
3.6 Recolección de la información.....	45
3.7 Plan de recolección de la información .....	45
Capítulo IV.....	46
Análisis e interpretación de resultados.....	46
4.1 Análisis de los resultados .....	46
4.1.1 Obtención de los aros y determinación del tipo de material .....	49
4.1.2 Trazado y obtención de probetas.....	49
4.1.3 Preparado de las probetas.....	49
4.1.4 Despintado de las probetas.....	50
4.1.5 Decapado de las probetas .....	51
4.1.6. Proceso de pulido. ....	51
4.1.7 Limpieza de piezas .....	52
4.1.8 Desengrase electrolítico .....	52
4.1.9 Niquelado .....	53
4.1.10 Cromado.....	55

4.1.11 Evaluación de probetas, pruebas y ensayos .....	56
4.2 Interpretación y análisis de los resultados de las pruebas realizadas. ....	110
4.2.1 Interpretación de las mediciones de adherencia.....	110
4.2.2 Interpretación de las mediciones de dureza. ....	113
4.2.3 Interpretación de las mediciones de espesores.....	115
4.3. Verificación de la hipótesis.....	120
Capítulo V .....	126
Conclusiones y Recomendaciones .....	126
5.1 Conclusiones .....	126
5.2 Recomendaciones.....	127
Capítulo VI.....	129
Propuesta.....	129
6.1 Datos Informativos.....	129
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	130
6.3 Justificación.....	130
6.4 Objetivos .....	131
6.4.1 Objetivo general .....	131
6.4.2 Objetivos específicos .....	131
6.5 Análisis de factibilidad.....	131
6.6 Fundamentación .....	132
6.7 Metodología .....	132
6.7.1 Despintado del aro.....	134
6.7.2 Decapado del aro.....	134
6.7.3 Pulido. ....	135
6.7.4 Limpieza del aro.....	136
6.7.5 Desengrase .....	136

6.7.6 Cobreado alcalino.....	137
6.7.7 Niquelado electrolítico.....	140
6.7.8 Cromado electrolítico.....	145
6.7.9 Medición de la adherencia. ....	148
6.7.10 Medición de la dureza. ....	154
6.7.11 Resultados de las pruebas realizadas.....	158
6.7.12 Evaluación de las pruebas de corrosión. ....	159
6.8 Administración.....	165
6.8.1 Costos del recubrimiento.....	165
6.8.2 Costo de las pruebas.....	166
6.9 Conclusiones de la propuesta.....	166
Anexos.....	169

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Red de categorías fundamentales.....	11
Figura 2.2 Celda electroquímica .....	12
Figura 2.3 Aro para bus.....	17
Figura 2.4 Partes de un aro.....	18
Figura 2.5 Designación del aro .....	19
Figura 2.7 Tanque para procesos electrolíticos.....	25
Figura 2.8 Tanque para procesos de niquelado .....	26
Figura 2.9 Ánodos de Níquel .....	27
Figura 2.10 Resistencias de inmersión fabricadas en titanio, acero inoxidable, cuarzo, teflón (PTFE).....	28
Figura 2.11 Rectificador de corriente para procesos galvánicos.....	29
Figura 2.12 Micrografía de recubrimiento de níquel sobre el cobre.....	30
Figura 2.13 Medidor de adherencia por trama cruzada.....	31
Figura 2.14 Separación de cuchillas en función del espesor de capa.....	31
Figura 2.15 Medida de reflexión especular.....	32
Figura 2.16 Brillo: ángulos de iluminación.....	32
Figura 2.17 Influencia del acabado superficial sobre el brillo. ....	32
Figura 4.1 Diagrama de Procesos para el cromado de probetas .....	48
Figura 4.2 Obtención de probetas de los aros .....	49
Figura 4.3 Preparación de probetas.....	50
Figura 4.4 Despintado de probetas.....	50
Figura 4.5 Piezas decapadas.....	51
Figura 4.6 Proceso de pulido.....	52
Figura 4.7 Desengrase electrolítico en una piscina de (3 X 1.5 X1.5) m.....	53
Figura 4.8 Baño de níquel en una piscina de (3.5 X1.25X1.5) m.....	54

Figura 4.9 Baño de Cromo en una piscina de (3X1.5X1.5) m.....	55
Figura 4.10 Partes del cortador .....	57
Figura 4.12 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 6V .....	61
Figura 4.13 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 7V .....	63
Figura 4.14 Comparación de la adherencia considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 8V .....	64
Figura 4.15 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 6V .....	66
Figura 4.16 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 7V .....	67
Figura 4.17 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 8V .....	69
Figura 4.18 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 6V .....	70
Figura 4.19 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 7V .....	72
Figura 4.20 Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm <sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 8V .....	73
Figura 4.21 Medición de dureza.....	74

Figura 4.22 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 6V con el valor de la norma INEN 1058.....	77
Figura 4.23 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30° C con tensión 7V con la de la norma INEN 1058. ....	78
Figura 4.24 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C con tensión 8V con la de la norma INEN 1058 .....	79
Figura 4.25 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C con tensión 6V la de la norma INEN 1058. ....	80
Figura 4.26 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C con tensión 7V y la de la norma INEN 1058. ....	81
Figura 4.27 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C con tensión 8V y la de la norma INEN 1058. ....	82
Figura 4.28 Comparación de la dureza obtenida bajo con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C, tensión 6V con la de la norma INEN 1058. ....	83
Figura 4.29 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C , tensión 7V con la de la norma INEN 1058 .....	84
Figura 4.30 Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C, tensión 8V con la de la norma INEN 1058. ....	85
Figura 4.31 Equipo de medición de espesores .....	86
Figura 4.32 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 6V .....	90
Figura 4.33 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 7V .....	92
Figura 4.34 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954. bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 8V .....	94

Figura 4.35 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 °C y tensión 6V .....	96
Figura 4.36 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 7V .....	98
Figura 4.37 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 8V .....	100
Figura 4.38 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 6V .....	102
Figura 4.39 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 7V .....	104
Figura 4.40 Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 4 ° C y tensión 8V .....	106
Figura 4.41 Cámara de pruebas de corrosión.....	108
Figura 4.42 Disposición de las probetas en la cámara .....	109
Figura 4.43 Curvas de análisis de adherencia de la capa níquel + cromo a la superficie del aro. ....	111
Figura 4.44 Análisis comparativo por medio de barras de la adherencia .....	111
Figura 4.45 Comparación del valor promedio de la adherencia con el valor de la norma INEN 950. ....	113
Figura 4.46 Curvas de análisis de dureza de la capa níquel + cromo a la superficie del aro.....	114
Figura 4.47 Análisis comparativo de la dureza por medio de barras .....	114

Figura 4.48 Curvas de análisis del espesor de la capa níquel + cromo a la superficie del aro.....	116
Figura 4.49 Análisis comparativo por medio de barras de los espesores de la capa niquelada + cromada .....	116
Figura 4.50 Análisis comparativo por medio de barras de los espesores que están dentro de la norma INEN 954 para un índice de trabajo 1.....	118
Figura 4.51 Análisis de los defectos de corrosión.....	119
Figura 4.52 Grafica de valores en la curva T- student. ....	123
Figura 4.53 Grafica de valores en la curva T- student. ....	125
Figura 6.1 Diagrama de procesos de cromado .....	133
Figura 6.2 Aros despintados.....	134
Figura 6.3 Pulido del aro.....	136
Figura 6.4 Proceso de desengrase del aro .....	137
Figura 6.5 Determinación del área lateral del aro .....	138
Figura 6.6 Aro cubierto por una capa de cobre .....	140
Figura 6.7 Piscina para el proceso de niquelado .....	141
Figura 6.8 Piscina para el proceso de cromado.....	146
Figura 6.9 Probetas testigo de los aros para los ensayos.....	149
Figura 6.10 Probetas, cortador y manual para realizar la prueba de adherencia.....	149
Figura 6.11 Cámara de corrosión acelerada.....	159
Figura 6.12 Aro de bus recubierto de (Cu+Ni+Cr).....	164

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Potenciales de electrodo estándar a 25°C.....	14
Tabla 2.2 Características químicas del baño alcalino. ....	22
Tabla 2.3 Condiciones de trabajo del baño alcalino. ....	22
Tabla 2.4 Características químicas del baño de níquel. ....	23
Tabla 2.5 Condiciones de trabajo del baño de níquel. ....	23
Tabla 2.6 Condiciones de trabajo del baño de cromo. ....	24
Tabla 2.7 Tratamiento térmico después de la electrodeposición. ....	25
Tabla 2.8 Espesores del recubrimiento de cromo ( $\mu m$ ) ....	34
Tabla 2.9 Dureza de recubrimiento de cromo. ....	35
Tabla 2.10 Grado de brillo. ....	36
Tabla 2.11 Ensayos de resistencia a la corrosión. ....	37
Tabla 2.12 Operacionalización de la variables independientes ....	43
Tabla 2.13 Operacionalización de la Variable dependiente.....	44
Tabla 4.1 Características químicas del baño de níquel. ....	54
Tabla 4.2 Condiciones de trabajo del baño de níquel. ....	54
Tabla 4.3 Condiciones de trabajo del baño de cromo. ....	55
Tabla 4.4 Selección de la cuchilla para el cortador.....	58
Tabla 4.5 Evaluación de resultados.....	59
Tabla 4.6 Prueba de adherencia a temperatura de 30°C y tensión de 6 V.....	60
Tabla 4.7 Transformación a porcentajes ....	60
Tabla 4.8 Pruebas de adherencia en porcentajes a temperatura de 30°C y tensión 6V .....	61
Tabla 4.9 Prueba de adherencia a temperatura de 30°C y tensión de 7 V.....	62
Tabla 4.10 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 30°C y tensión 7V .....	62

Tabla 4.11 Prueba de adherencia a temperatura de 30°C y tensión de 8 V.....	63
Tabla 4.12 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 30°C y tensión 8V .....	64
Tabla 4.13 Prueba de adherencia a temperatura de 35°C y tensión de 6 V.....	65
Tabla 4.14 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 35°C y tensión 6V .....	65
Tabla 4.15 Prueba de adherencia a temperatura de 35°C y tensión de 7 V.....	66
Tabla 4.16 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 35°C y tensión 7V .....	67
Tabla 4.17 Prueba de adherencia a temperatura de 35°C y tensión de 8 V.....	68
Tabla 4.18 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de trabajo 35°C y tensión 8V .....	68
Tabla 4.19 Prueba de adherencia a temperatura de 40°C y tensión de 6 V.....	69
Tabla 4.20 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 40°C y tensión 6V .....	70
Tabla 4.21 Prueba de adherencia a temperatura de 40°C y tensión de 7 V.....	71
Tabla 4.22 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 40 ° C y tensión 7V .....	71
Tabla 4.23 Prueba de adherencia a temperatura de 40°C y tensión de 8 V.....	72
Tabla 4.24 Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 40 ° C y tensión 8V .....	73
Tabla 4.25 Escala de dureza del recubrimiento .....	74
Tabla 4.26 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 30°C y tensión de 6V .....	76
Tabla 4.27 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 30°C y tensión de 7V .....	77
Tabla 4.28 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 30°C y tensión de 8V .....	78
Tabla 4.29 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 35°C y tensión de 6V .....	79
Tabla 4.30 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 35°C y tensión de 7V .....	80

Tabla 4.31 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 35°C y tensión de 8V .....	81
Tabla 4.32 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 40°C y tensión de 6V .....	82
Tabla 4.33 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 40°C y tensión de 7V .....	83
Tabla 4.34 Dureza Vickers a temperatura de trabajo 40°C y tensión de 8V .....	84
Tabla 4.35 Espesores de recubrimiento níquel + cromo ( $\mu\text{m}$ ), [9] .....	87
Tabla 4.36 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	88
Tabla 4.37 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	89
Tabla 4.38 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	89
Tabla 4.39 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	90
Tabla 4.40 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	91
Tabla 4.41 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	91
Tabla 4.42 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	92
Tabla 4.43 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	93
Tabla 4.44 Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	94
Tabla 4.45 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	95
Tabla 4.46 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	95

Tabla 4.47 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	96
Tabla 4.48 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	97
Tabla 4.49 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	97
Tabla 4.50 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	98
Tabla 4.51 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	99
Tabla 4.52 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	99
Tabla 4.53 Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	100
Tabla 4.54 Temperatura de trabajo 40°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min.....	101
Tabla 4.55 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	101
Tabla 4.56 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	102
Tabla 4.57 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	103
Tabla 4.58 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	103
Tabla 4.59 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	104
Tabla 4.60 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 30 min .....	105

Tabla 4.61 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 60 min .....	105
Tabla 4.62 Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 90 min .....	106
Tabla 4.63 Tiempo de ensayos de resistencia a la corrosión. [9].....	109
Tabla 4.64 Resumen de las mediciones de adherencia .....	110
Tabla 4.65 Valores de la adherencia de las probetas que está enmarcadas en la norma INEN 950. ....	112
Tabla 4.66 Resumen de las mediciones de dureza .....	113
Tabla 4.67 Resumen de las mediciones de espesores .....	115
Tabla 4.68 Espesores de capa niquelada + cromada que están dentro de la norma INEN 954 para un índice de trabajo 1 .....	117
Tabla 4.69 Resultados de los ensayos de corrosión .....	119
Tabla 4.70 Patrones para comparar los niveles de adherencia de acuerdo a la norma ASTM .....	121
Tabla 4.71 Adherencia a 60 min 40°C 6V .....	122
Tabla 4.72 Verificación de la hipótesis de adherencia, condición 1 .....	123
Tabla 4.73 Adherencia a 60 min 30°C 7V .....	124
Tabla 4.74 Verificación de la hipótesis de adherencia, condición 2.....	124
Tabla 6.1 Espesores de la capa de niquela en función de la densidad de corriente y el tiempo (basados en 95.5% de eficacia catódica).....	144
Tabla 6.2 Determinación de los parámetros para el ensayo de adherencia.....	148
Tabla 6.3 Procedimiento para medir la adherencia de acuerdo a la norma ASTM. ....	150
Tabla 6.4 Pruebas de adherencia de acuerdo a la norma INEN 954 .....	153
Tabla 6.5 Determinación de los parámetros para el ensayo de dureza .....	154
Tabla 6.6 Procedimiento para el ensayo de dureza .....	155
Tabla 6.7 Ensayo de dureza de acuerdo a la norma INEN 1058.....	157

Tabla 6.8 Resultados de adherencia y dureza realizados a las probetas recubiertas de una capa metálica de (Cu+Ni+Cr).....	158
Tabla 6.9 Determinación de los parámetros para el ensayo de corrosión .....	160
Tabla 6.10 Procesos para el ensayo de corrosión.....	161
Tabla 6.11 Pruebas de Resistencia a la corrosión .....	163
Tabla 6.12 Resultados para obtener el recubrimiento una capa metálica de (Cu+Ni+Cr) bajo la norma INEN 955 con un índice de trabajo 3.....	164
Tabla 6.13 Valores de comparación de las capas Ni +Cr y Cu + Ni +Cr .....	165
Tabla 6.14 Determinación del costo del recubrimiento (Cu+Ni+Cr) .....	165
Tabla 6.15 Costos para la determinación de la propuesta.....	166

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios, ser supremo que me dio la vida y la fuerza para seguir adelante con esta investigación, a mi esposa Beatriz, a mis hijos Andrea, Luis y Esteban por haberme prestado su tiempo y permitirme realizar este trabajo, a la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a la Dirección de Posgrado y a su cuerpo Docente por haberme abierto las puertas para seguir esta Maestría, a la Empresa I.L.N. por permitirme realizar la investigación en su planta de cromado, a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), por permitirme utilizar su laboratorio de materiales para realizar las pruebas, al Ing. Segundo Espín por su acertada dirección , y a todas aquellas personas e Instituciones que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de esta investigación, muchas gracias.*

*Mario*

## DEDICATORIA

*A Dios por darme la fuerza y optimismo para seguir adelante en este sendero de la vida.*

*A mis padres Olmedo y Leonor (+), quienes fueron el pilar fundamental dentro de mis estudios.*

*A mi esposa Beatriz y a mis hijos Andrea, Luis y Esteban, a quienes amo y son fuente de mi inspiración.*

*A mis docentes, amigos, compañeros de estudio y trabajo por su ayuda incondicional en el logro de este sueño.*

*Mario*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO (II COHORTE)**

**TEMA:**

“ESTUDIO DEL CROMADO METÁLICO EN SUPERFICIES DE AROS PARA BUSES BAJO NORMAS INEN, Y SU INCIDENCIA EN LA ADHERENCIA SUPERFICIAL“

**AUTOR:** Ing. Mario Alcides Lara Núñez

**DIRECTOR:** Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg

**FECHA:** 1<sup>o</sup> de Febrero de 2017

**RESUMEN EJECUTIVO**

La presente investigación tiene por objetivo realizar el estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas INEN, y su incidencia en la adherencia superficial, para lo cual la investigación fue de modalidad experimental, variando parámetros del proceso de recubrimiento, como: El tiempo, la temperatura y el voltaje, para determinar las propiedades de adherencia, dureza y espesor de capa, donde se pudo obtener que el parámetro óptimo para un proceso de níquel + cromo es de 60 min. 40<sup>o</sup>C y 7V. Por los resultados obtenidos de los experimentos de resistencia a la corrosión se determinó que es baja y es por esta razón que se plantea la propuesta para adicionar una capa de cobreado alcalino y de esta manera tener un recubrimiento de tres capas, de cobre + níquel +cromo, que luego de realizar los experimentos respectivos se pudo observar su mejora de esta propiedad y la adherencia de la capa. Así mismo luego de análisis de costos para implementar este recubrimiento se determinó que el mismo es accesible para el consumo de las empresas del transporte.

**Descriptor:** Cromado metálico, adherencia, tiempo, temperatura, voltaje, dureza, espesor de capa, corrosión, cobreado alcalino, recubrimiento

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING FACULTY**  
**POSGRADUATE DIRECTION**  
**MASTER'S DEGREE IN MECHANICAL DESIGN (II COHORTE)**

**THEME:** "STUDY OF METALLIC CHROME IN ROOF SURFACES FOR BUSES UNDER INEN STANDARDS, AND ITS INCIDENCE IN SURFACE ADHERENCE"

**AUTHOR:** Ing. Mario Alcides Lara Núñez

**DIRECTOR:** Ing. Segundo Manuel Espín Lagos, Mg

**DATE :** February 1, 2017

**EXECUTIVE ABSTRACT**

The main objective of this research is to study the metallic chromium on bushing surfaces under INEN standards, and its incidence on surface adhesion, the research was carried out on experimental modality, varying parameters of the coating process, such as: Time, temperature and voltage, to determine the properties of adhesion, hardness and layer thickness, the optimal parameter for a nickel + chromium process was obtained at 60 min. 400C and 7V. From the results obtained from the corrosion resistance experiments it was determined that it is low and for this reason the proposal is put forward to add an alkaline copper layer and in this way to have a coating of three layers, copper + nickel + Chromium, after finishing the respective experiments its improvement of this property and the adhesion of the layer were observed. After that, the cost of the analysis to implement this coating was determined that it is accessible for the consumption of transport companies.

**Key words:** Metallic chromium, adhesion, weather, temperature, voltage, hardness, layer thickness, corrosion, alkaline copper, coating.

## INTRODUCCIÓN

El creciente uso del recubrimiento metálico sobre la superficie de los aros para buses, como lo es el cromado electrolítico y su finalidad de protección y embellecimiento del metal base, nos permite hacer un estudio sobre su adherencia con el fin de garantizar estas cualidades.

En vista que este elemento soporta altas exigencias ambientales y es parte fundamental en el desempeño del transporte, es necesario hacer este tipo de estudio que garantice bajo normas técnicas su desempeño.

En el capítulo I, contextualiza el problema referente a la adherencia del cromado metálico de la superficie de los aros bajo normas técnicas y se definen los objetivos a estudiar.

El capítulo II, referente al marco teórico, se fundamenta en conceptos del recubrimiento electrolítico y de la misma manera se detallan las normas técnicas que permitirán llegar a los objetivos planteados, así mismo se plantea la hipótesis a donde se desea llegar con la investigación.

En capítulo III, enfoca la metodología que se llevó a cabo para realizar la investigación, así como la operacionalización de las variables y la determinación de las muestras.

El desarrollo de la investigación se realiza en el capítulo IV, en el cual se hace un análisis del proceso de recubrimiento electrolítico variando los parámetros de tiempo, temperatura y voltaje, para luego comprobar la hipótesis propuesta.

En el capítulo V se encuentra las conclusiones y recomendaciones producto de los objetivos propuestos, que nos sirve de base para la propuesta que se desarrolla en el capítulo VI en el cual en base a la adición de una capa metálica de cobreado alcalino logrando mejorar las cualidades de adherencia y de resistencia a la corrosión

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 TEMA:**

“ESTUDIO DEL CROMADO METÁLICO EN SUPERFICIES DE AROS PARA BUSES BAJO NORMAS INEN, Y SU INCIDENCIA EN LA ADHERENCIA SUPERFICIAL“

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 Contextualización**

El cromado metálico en superficies de aros para buses es un trabajo que se realiza en todo el mundo con el fin de proteger y embellecer este elemento. El cromado decorativo son finas capas que se depositan sobre una base de cobre o níquel para mejorar la protección y apariencia de algunos objetos. El niquelado consiste en una capa de níquel con un flash de cromo. El cromado tiene un color azulado y resiste a la corrosión ya que forma una capa de óxido que protege al metal base.

El cromo tiene poco poder cubriente ya que se depositan finas capas a la superficie en el orden de decimas de micras. Por esta razón la base debe estar bien preparada ya que el cromo no cubre ninguna imperfección. Es por esto que se recomiendan que antes de cromar se cubra la base con cobre y níquel.

El doctor Rubén Vásquez Medrano, académico de la Universidad Iberoamericana (UIA), dijo que en el caso de Estados Unidos, de los 138 billones de dólares de pérdidas por corrosión que se tuvieron en 1998, 21.5 % de ellos fueron por daños en transporte (aviones, barcos, autos), 16.4% en infraestructura (vías ferroviarias,

puertos, aeropuertos, ductos de gas) y 12.8 % en producción y manufactura (exploración y explotación de petróleo y gas), agricultura, procesamiento de alimentos, electrónica) [1].

Por otro lado, la corrosión podría prevenirse si se aplicaran algunos conocimientos de electroquímica, un área de la química que estudia las reacciones donde hay intercambio de electrones, que ocurren sobre una superficie electrificada. Pero “si la gente no entiende electroquímica, no entiende cómo prevenir la corrosión” [1].

Según un informe elaborado en 2006, por el Ministerio del Medio Ambiente y la Red de Soluciones Empresariales Fundes, en Colombia hay aproximadamente 2.500 talleres dedicados a procesos galvánicos, de los cuales la gran mayoría se encuentran concentrados en Bogotá (alrededor de 325 industrias de carácter formal y por lo menos 400 informales). La industria incluye un gran número de empresas que prestan servicios de recubrimientos de cromado y cincado, con excepción de algunas pocas que manufacturan totalmente sus piezas, ya sea integrada a los procesos productivos metalmecánicos o en plantas exclusivas para esto [2].

En Ecuador, la aplicación de cromados en la superficie de los aros no se ha dado la importancia que se merece, es muy común encontrar estos elementos deteriorados, corroídos y de una mala apariencia. Se podría indicar que una de las principales causas es la mala aplicación de la capa cromada a la superficie por falta de control en el proceso, la dosificación de los baños, y la rectificación de la corriente. En la actualidad se está tratando de mejorar este proceso, pero sin normas técnicas por lo que en Ambato se creó el Centro de Fomento Carrocero en el cual se espera que los buses cumplan con los requerimientos de seguridad y estándares de calidad. Este aporte obligará que los proveedores de servicio de cromado para los aros de los buses trabajen bajo normas técnicas de calidad.

En las Industrias de Tungurahua, dedicadas a dar servicios de recubrimientos metálicos se realiza también el cromado de aros para buses en el mismo que pese a los controles que se lo hace no hay un buen acabado superficial el mismo que puede ser ocasionado por algunos factores como: el desconocimiento del proceso

por los trabajadores, la falta de capacitación, el desconocimiento en el manejo de materiales, ocasiona deficiencia en el proceso.

### **1.2.2 Análisis Crítico**

No es fácil determinar la preferencia de los clientes en el servicio de cromado, no se sabe si se orienta por precios o por la calidad. En las Industrias de Tungurahua, dedicadas a dar los servicios de recubrimientos metálicos de cromado de aros para buses no existen estudios sobre las propiedades mecánicas en el recubrimiento de las superficies.

La geometría del aro, el peso, el material que está conformado, el comportamiento dinámico de funcionamiento y los diferentes ambientes donde va trabajar lo han hecho que este proceso sea analizado con más atención. El estudio de la adherencia de la capa cromada a los aros de los buses aportara de gran forma a la mejora del recubrimiento de las superficies de estos elementos y la apariencia de los mismos y de esta manera aportar a un mejor conocimiento sobre este proceso.

Procurará disminuir los índices de pérdida económica por devoluciones, reprocesamiento y reparaciones de los elementos con defectos. Así también servirá como aporte bibliográfico para las empresas dedicadas al cromado de aros para buses para mejorar la calidad de este producto y garantizar su servicio.

### **1.2.3 Prognosis**

Al no efectuar este estudio los problemas dentro de las empresas que dan este servicio persistirán, en los índices de devolución y reparación de aros cromados, lo que produciría una pérdida económica considerable dentro de las mismas, que podría desembocar en problemas financieros. Así también podría crecer la desconfianza en el cliente ocasionando pérdidas económicas.

### **1.2.4 Formulación del Problema**

¿El estudio de adherencia de la capa cromada a la superficie de los aros para buses permitirá mejorar el acabado de estos elementos?

### **1.2.5 Preguntas Directrices**

¿Cómo determinar el grado de adherencia de la capa cromada a la superficie de los aros?

¿Cómo comprobar la adherencia adecuada de la capa cromada a la superficie de los aros para buses?

¿Cómo solucionar los problemas de cromado de aros en las empresas dedicadas a este trabajo?

### **1.2.6 Delimitación del Problema**

#### **1.2.6.1 De Contenidos**

El presente estudio se fundamentó en el campo de la Maestría en Diseño Mecánico en el área de los Materiales con los módulos de Ingeniería de Superficies, Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos y Diagnostico Industrial.

#### **1.2.6.2 Espacial**

El tema propuesto se realizó en:

- La planta de recubrimientos metálicos de los Ingenieros Lara Núñez (ILN)
- El laboratorio de materiales del departamento de Energía y Mecánica Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
- El uso de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
- Además se complementó con el uso del laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de Ambato.

### **1.2.6.3 Temporal**

El presente estudio se desarrolló en los meses comprendidos entre Febrero del 2016 a Enero del 2017.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Con esta investigación se pretende medir el grado de adherencia de la capa cromada, la misma que podrá ser utilizada en la normalización de recubrimientos metálicos utilizados en la industria carrocera. Al realizar este estudio se contribuye con la industria de recubrimientos metálicos, con el conocimiento necesario para mejorar el acabado superficial de los aros para buses.

Los estudios realizados están orientados a un recubrimiento metálico en general, pero en este caso se trata de un elemento en particular que está expuesto a muchas obligaciones mecánicas y ambientales por lo que se hace necesario un estudio más profundo sobre el recubrimiento metálico de este elemento.

Con este estudio se pretende bajar los defectos de adherencia que se vienen presentando en la industria de cromado de los aros y como consecuencia disminuye las pérdidas económicas. Para cumplir este objetivo se realiza un estudio riguroso sobre los diferentes procesos, con el fin de obtener una adecuada capa cromada sobre la superficie.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo General**

Estudiar el cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas INEN, y analizar la incidencia en la adherencia superficial.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar mediante las normas INEN el grado de adherencia de la capa cromada, el espesor, resistencia a la corrosión y dureza en función del tiempo, temperatura y voltaje de aplicación al baño de níquel.
- Determinar la adherencia mediante los ensayos destructivos y no destructivos en las probetas obtenidas y así tener los parámetros adecuados para el recubrimiento.
- Proponer parámetros para un buen cromado de superficies de aros para buses.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Para el presente estudio se ha tomado como referencia investigaciones realizadas con anterioridad, las mismas que se detallan a continuación:

En la Escuela Politécnica del Litoral en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción en el 2009 el Señor Juan Carlos Troya Fuertes realizó la tesis “Construcción de un banco experimental didáctico para prácticas de laboratorio en protección de metales”

El cual concluye “que la mayoría de los defectos que pueden presentarse en los procesos de cromado es por un mal control de dosificación del electrolito, por una inadecuada distancia entre ánodo y cátodo y por una mala aplicación de densidad de corriente y un deficiente control del pH. (Potencial Hidrogeno)”. De otro lado es conveniente realizar algunos controles de contaminación de los baños y realizar un filtrado de los mismos para tener una calidad adecuada de los acabados finales.

En la Escuela Politécnica de Chimborazo en la Facultad de Mecánica en la Escuela de Ingeniería Industrial en el 2015 la Señorita Silvana Raquel Salvador Peña y el Señor Richard Patricio Rivas Berrones realizó “La implementación de un banco de pruebas para tratamientos superficiales y elaboración de un manual de calidad bajo la norma ISO/IEC 17025 en el laboratorio de procesos industriales de la escuela de Ingeniería Industrial”.

En su trabajo concluye: Que se debe preparar las piezas que se van a cubrir electrolíticamente realizando una correcta limpieza, desengrase y pulido, además controlar los parámetros que incide en el proceso electrolítico como tiempo,

temperatura, voltaje, amperaje , composición de las sales, pH, limpieza de los ánodos, etc. Para obtener recubrimientos uniformes.

En la Universidad Industrial de Santander en la Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Ingeniería Química Bucaramanga en el 2005, la Señorita Yamile Joya calderón y la Señorita Sandra Milena Ramírez Báez, realizaron el trabajo “Caracterización y mejoramiento del proceso de electrodeposición de metales usados actualmente en la empresa Fataxias Ltda.”.

En su trabajo concluye que: La concentración del electrolito y la activación de los ánodos y su influencia en el espesor de la capa depositada de cobre y latón, el voltaje de trabajo del electrolito y su influencia en el espesor del níquel. Se recomienda hacer un estudio de las propiedades de los recubrimientos electrolíticos, tales como: adherencia, rugosidad y corrosión de las piezas, que será el punto de partida para el estudio e implementación de la técnica con corriente pulsante y pasante inversa para solucionar los problemas que presenta la corriente continua.

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.**

La presente investigación se ubica en el paradigma crítico propositivo, ya que la investigación parte de problemas reales en nuestro medio, involucrados en cromado de los aros para buses, con el objeto de buscar nuevas alternativas para que las personas implicadas en esta labor cuenten con una guía práctica para mejorar el proceso de recubrimiento electrolítico, a la vez que se determinan todos los ensayos que se sirven para evaluar de la manera correcta un recubrimiento con su respectivo respaldo de las normas, que sirven de gran aporte para lograr ser competitivos en mercado a más de eso obtener un producto de buena calidad.

## **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

Los materiales y los trabajos de investigación que se ejecutaron se ajustan a las normas que se detallan a continuación.

INEN 950 Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Métodos de ensayo.

INEN 951. Recubrimientos electrolíticos. Requisitos generales, espesores y abreviaturas.

INEN 954 Recubrimientos electrolíticos de níquel y níquel + cromo sobre acero fundición, zinc, cobre, aluminio o níquel así como aleaciones de zinc, cobre o aluminio. Requisitos

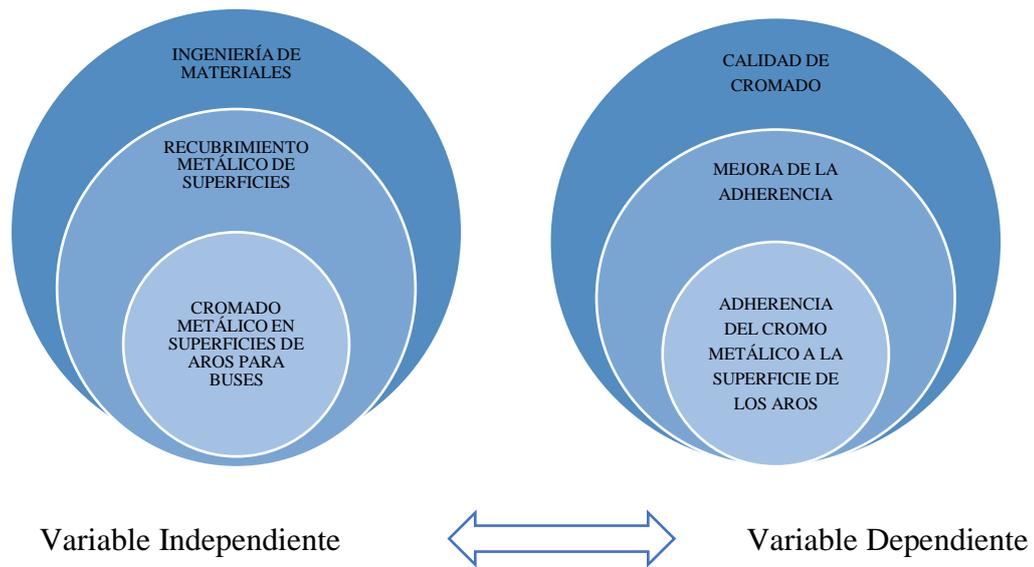
ASTM D3359. Métodos de prueba estándar para medir el Adhesión por Prueba de Cinta.

INEN 955 Recubrimientos electrolíticos de cobre + níquel + Cromo sobre acero. Requisitos

ASTM D 3363 Método de prueba estándar para la película Dureza de Lápiz Prueba1

ASTM D 4138 De prácticas estándar para la medición de espesor de película seca de Sistemas de Protección de recubrimiento por medio de seccionamiento transversal.

## 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



**Figura 2.1** Red de categorías fundamentales  
**Fuente:** (El autor)

### 2.4.1 Ingeniería de Materiales

La ingeniería de los materiales relaciona las propiedades, estructura y diseño o proyecta la estructura de un nuevo material con propiedades predeterminadas.

En la ciencia de los materiales, el énfasis está en las relaciones básicas entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la ingeniería de los materiales el enfoque está en cómo convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles [3].

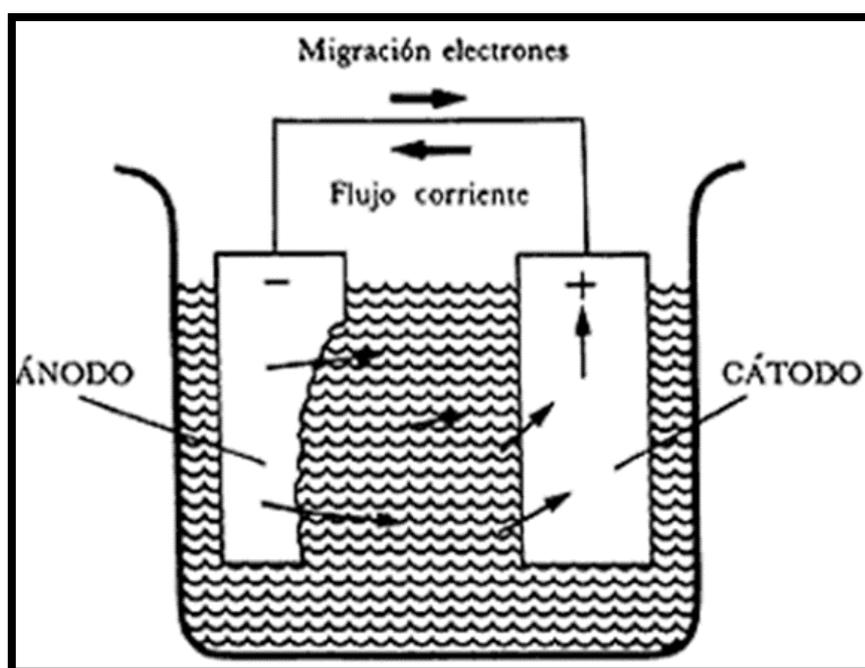
Una de las principales utilidades de la ingeniería de materiales es el establecimiento de ciertos procesos que se pueden emplear en procesos electrolíticos, con el objetivo de minimizar su deterioro por motivos de corrosión, y dar un mejor acabado lo cual se puede referenciar de manera directa con este tema de estudio.

## 2.4.2 Fundamentos de galvanotecnia

### 2.4.2.1 Componentes de una celda electroquímica

Hay cuatro componentes en una celda electroquímica:

- El ánodo cede electrones al circuito y se corroe
- El cátodo recibe electrones del circuito por medio de una reacción química, o catódica; los iones que se combinan con los electrones producen un subproducto en el cátodo.
- El ánodo y el cátodo deben estar eléctricamente conectados, generalmente por contacto físico, para permitir que los electrones fluyan del ánodo al cátodo y continúe la reacción.
- Un electrolito líquido debe estar en contacto tanto con el ánodo como con el cátodo; el electrolito es conductor, completando así el circuito. Proporciona los medios por los cuales los iones metálicos salen de la superficie del ánodo y se mueve al cátodo para aceptar los electrones. Si se deposita en el cátodo iones metálicos ocurre la electrodeposición. [4] , como se ve en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Celda electroquímica  
**Fuente:**( Biblioteca Digital ILCE)

#### **2.4.2.2 Reacciones de reducción y oxidación**

Algunos puntos importantes acerca de las reacciones de media celda de la oxidación-reducción son:

1. Reacción de oxidación. La reacción de oxidación mediante la cual los metales forman iones que se transforman en una solución acuosa se denomina reacción anódica, y las regiones locales sobre la superficie metálica donde ocurre la reacción de oxidación reciben el nombre de ánodos locales.
2. Reacción de reducción. La reacción de reducción en la que un metal o no metal se reduce en la carga de valencia se conoce como reacción catódica. Las regiones locales sobre la superficie metálica donde los iones metálicos o los iones no metálicos se reducen en carga de valencia reciben el nombre de cátodos locales. En la reacción catódica hay un consumo de electrones.
3. Las reacciones de corrosión electroquímica implican reacciones de oxidación que producen electrones y reacciones de reducción que los consumen. Las reacciones tanto de oxidación como de reducción deben ocurrir al mismo tiempo y a la misma velocidad total para evitar la acumulación de carga eléctrica en el metal [5].

#### **2.4.2.3 Serie de fuerza electromotriz (fem)**

Para determinar la tendencia de un metal a ceder sus electrones se mide la diferencia de potencial entre el metal y un electrodo estándar. La tabla 2.1 enlista las celdas medias estándar de algunos metales seleccionados. Aquellos metales que son más reactivos que el hidrógeno se les asignan potenciales negativos y se dice que son anódicos ante el hidrógeno.

**Tabla 2.1** Potenciales de electrodo estándar a 25°C.

	Reacción de oxidación (corrosión)	Potencial del electrodo (E°) (voltios contra electrodo de hidrógeno estándar)
<b>Más catódico</b> (menos tendencia a la corrosión)	$Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^{-}$	+1.498
	$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$	+1.229
	$Pt \rightarrow Pt^{2+} + 2e^{-}$	+1.200
	$Ag \rightarrow Ag^{+} + 2e^{-}$	+0.799
	$2Hg \rightarrow Hg_2^{2+} + 2e^{-}$	+0.788
	$Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$	+0.771
	$4(OH)^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}$	+0.401
	$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$	+0.337
	$Sn^{2+} \rightarrow Sn^{4+} + 2e^{-}$	+0.150
	$H_2 \rightarrow 2H^{+} + 2e^{-}$	0.000
<b>Más anódico</b> (mayor tendencia a corroerse)	$Pb \rightarrow Pb^{2+} + 2e^{-}$	-0.126
	$Sn \rightarrow Sn^{2+} + 2e^{-}$	-0.136
	$Ni \rightarrow Ni^{2+} + 2e^{-}$	-0.250
	$Co \rightarrow Co^{2+} + 2e^{-}$	-0.277
	$Cd \rightarrow Cd^{2+} + 2e^{-}$	-0.403
	$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$	-0.440
	$Cr \rightarrow Cr^{3+} + 3e^{-}$	-0.744
	$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$	-0.763
	$Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$	-1.662
	$Mg \rightarrow Mg^{2+} + 2e^{-}$	-2.363
	$Na \rightarrow Na^{+} + e^{-}$	-2.714

\*Las reacciones se escriben como medias celdas anódicas. Cuanto más negativa es la reacción de media celda, tanto más anódica es la reacción y tanto mayor la tendencia para que ocurra corrosión u oxidación.

Fuente: (Smith, 2006)

#### 2.4.2.4 Celdas galvánicas con electrolitos que no son de concentración uno molar

La mayoría de los electrolitos en las celdas galvánicas de corrosión reales no son de concentración 1 M, sino que suelen ser soluciones diluidas mucho menores a dicha cantidad. Si la concentración de iones en un electrolito que rodea a un electrodo anódico es menor que 1 M, la fuerza impulsora de la reacción para disolver o corroer el ánodo es mayor puesto que hay una concentración de iones inferior para causar la reacción inversa. De esta manera, habrá una reacción anódica de media celda de fem más negativa:



El efecto de la concentración de iones metálicos  $C_{ion}$  en la fem estándar  $E^{\circ}$  a 25°C está dada por la ecuación de Nernst. Para una reacción anódica de media celda

en la cual sólo se produce un tipo de ion, la ecuación de Nernst puede escribirse en la forma.

$$E = \frac{E^{\circ}0.0592}{n} + \log C_{ion} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

- E = nueva fem de la media celda
- E° = fem estándar de media celda
- n = número de electrones transferidos
- Cion = concentración molar de iones
- En la reacción del cátodo se invierte el signo de la fem final, porque el potencial de la semireacción en la oxidación es cambiado a la polaridad opuesta cuando la semireacción se escribe como reacción de reducción.

#### **2.4.2.5 Electrodeposición de un metal en una solución acuosa.**

La cantidad de metal que se corroe de manera uniforme en un ánodo o que se electro deposita en un cátodo en una solución acuosa en cierto tiempo se determina utilizando la ecuación de Faraday de la química general, la cual establece que

$$w = \frac{I \cdot t \cdot M}{n \cdot F} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

- w = peso de metal, (gr), corroído o electro depositado en una solución acuosa en el tiempo t.
- t = tiempo de exposición (s).
- I = flujo de corriente, (A)
- M = masa atómica del metal, (gr/mol)
- n = número de electrones átomo producidos o consumidos en el proceso
- F = constante de Faraday = 96 500 C / mol o 96 500 A • s / mol

Algunas veces la corrosión acuosa uniforme de un metal se expresa en términos de una densidad de corriente  $i$ , que a menudo se expresa en amperes por centímetro cuadrado. Al sustituir  $I$  por  $(i A)$  la ecuación se convierte en

$$w = \frac{i \cdot A \cdot t \cdot M}{n \cdot F} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

$i$  = densidad de corriente, (A/cm<sup>2</sup>)

$A$  = área, (cm<sup>2</sup>), si se usa el centímetro para la longitud.

### **2.4.3 Recubrimientos Electrolíticos.**

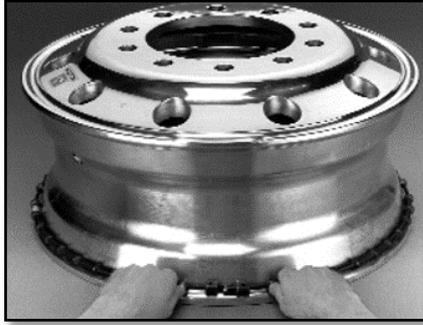
Consiste en la deposición sobre una pieza metálica otra capa fina de otro metal con características de protección a la corrosión y mejora de las propiedades mecánicas mediante un proceso de electrolisis. El espesor de este recubrimiento no supera las 25 micras.

El principio de electrodeposición consiste en: mediante la activación eléctrica convertir el ánodo metálico en iones metálicos que se desplazan en el electrolito (solución a base de sales) hacia el cátodo donde se encuentra el elemento a recubrir formando una capa metálica con propiedades previstas [6].

### **2.4.4 Fundamentación de los aros**

#### **2.4.4.1 Aros para las llantas**

Es la pieza, normalmente metálica, sobre la que se asienta un neumático y que forma parte de la rueda, compuesta esta última por neumático, llanta y disco. La función del aro es conectar la rueda al vehículo, ver figura 2.3.



**Figura 2.3** Aro para bus.  
**Fuente:** (Alcoa, 2003)

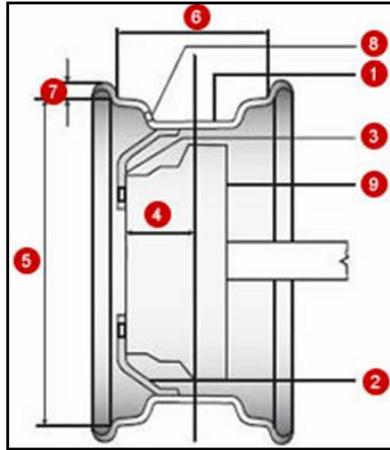
#### **2.4.4.2 Especificaciones de las ruedas**

##### **Aros y ruedas**

Las llantas son diseñadas y moldeadas para que encajen un cierto diámetro del aro, el ancho del aro y el contorno del flanco. La rueda básicamente se compone de dos partes: el aro y el disco.

El aro está diseñado para recibir a la llanta. Sus flancos mantienen los talones en su lugar cuando la llanta es inflada. Los dos asientos, normalmente inclinados a 5 grados para mejorar el ajuste, pueden ser lisos o nudosos (que impide que la llanta se deslice sobre el aro). La caída es necesaria para permitir el montaje y desmontaje de la llanta para que su forma refuerce la estructura del aro, ver figura 2.4 y figura 2.5.

El disco permite el acoplamiento de la rueda al cubo del vehículo. Su configuración dependerá del tipo de cubo [7].



**Figura 2.4** Partes de un aro  
**Fuente:** (Goodyear)

Los parámetros de la rueda principal son:

1. Caída
2. Disco
3. Plano de contacto del cubo
4. Desplazamiento
5. Diámetro del aro
6. Ancho del aro
7. Altura del flanco del aro
8. Orificio de la válvula
9. Tambor de freno y cubo

### **Designación del tamaño del aro**

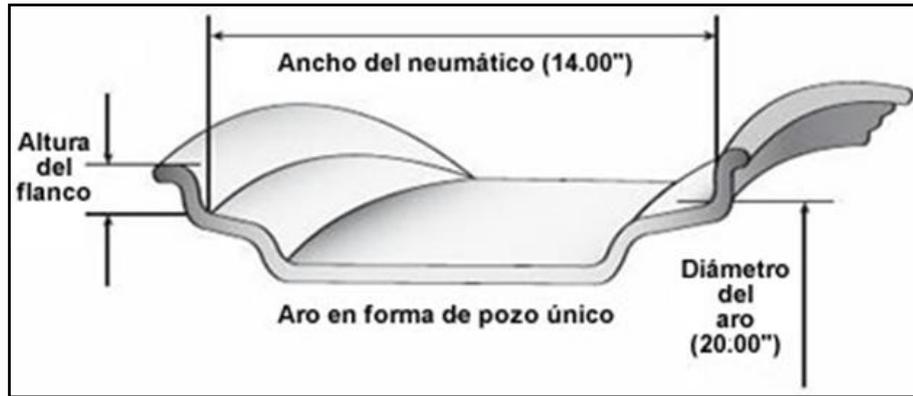
Ejemplo de aro W 14L x 20

W = Código del perfil del aro (Pozo único)

14 = Ancho del aro en pulgadas

L = Código\* de la altura del flanco.

20 = Diámetro del ángulo en pulgadas

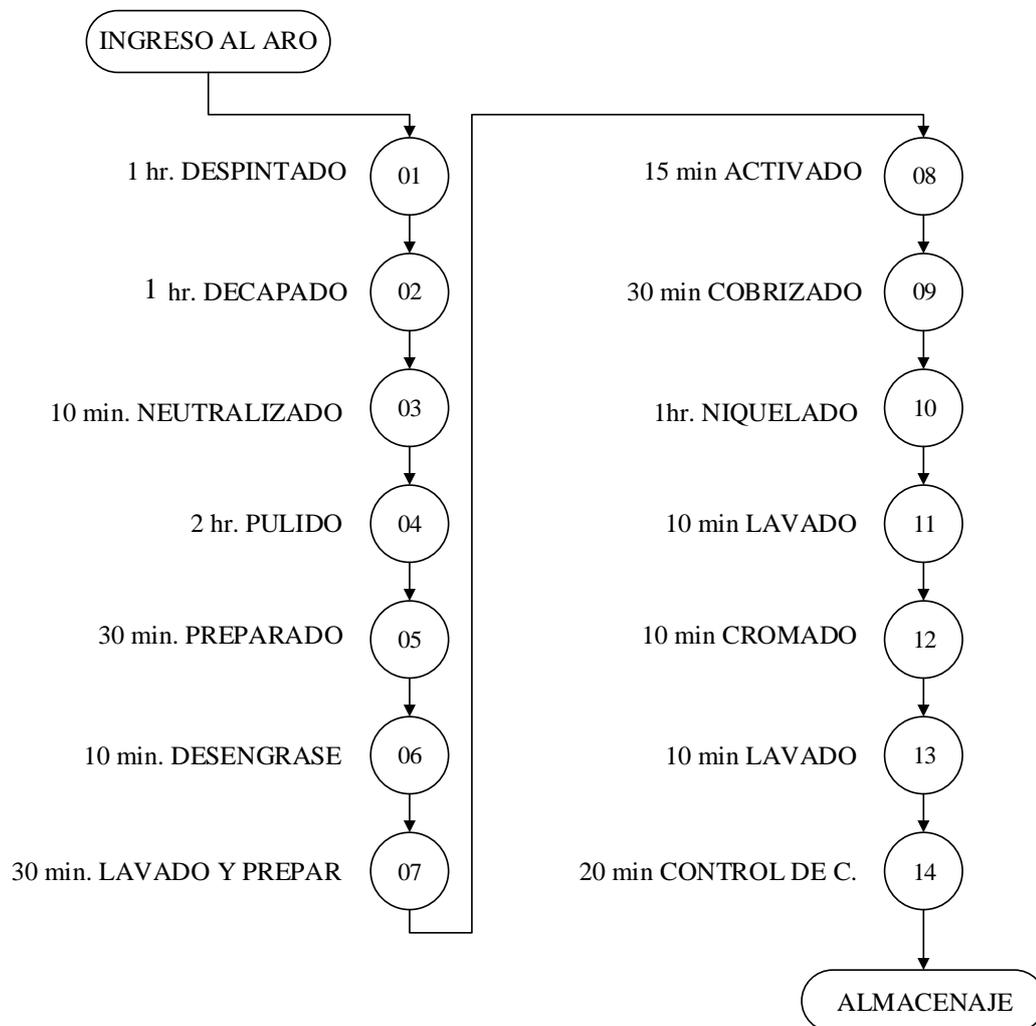


**Figura 2.5** Designación del aro  
Fuente: Goodyear

#### 2.4.4.3 Procesos de fabricación de los aros.

Los materiales para fabricar aros son aceros de bajo contenido de carbono y de alta resistencia o también aleaciones de aluminio y silicio. El proceso de fabricación constan de los siguientes pasos: El rolado, troquelado, embutido, taladrado, soldado y acabados finales, para este efecto necesitamos máquinas de alta potencia.

#### 2.4.4.4 Proceso de cromado de aros



**Figura 2.6** Diagrama de operaciones  
Fuente. (El autor)

#### 2.4.5 Preparación para el proceso de cromado

##### 2.4.5.1 Despintado

Consiste en quemar la pintura que viene aplicada al aro por medio de una flama a base de gas y luego realizar una limpieza con aire a presión.

#### **2.4.5.2 Decapado**

Consiste en la eliminación del óxido de hierro del acero mediante una solución de agua más ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) en una concentración de 10% al 20% con una temperatura de 20°C a 50°C. Se sumerge el elemento en un tanque preparado con esta solución por un tiempo determinado después de lo cual se enjuaga y se neutraliza con otro baño a base de sosa caustica (NaOH). Las variables que intervienen en este proceso son temperatura, tiempo y concentración estas variables deben ser controladas para evitar que se piquen las piezas.

#### **2.4.5.3 Pulido**

El pulido se utiliza para mejorar el acabado que va a presentar las piezas a cromar, así como también ayuda a la resistencia superficial a la fatiga; de la misma manera iguala o empareja la superficie.

Para el pulido se utilizan máquinas pulidoras de altas revoluciones en la cual se usan discos hechos a base de tela con recubrimiento de material abrasivo generalmente a base de óxido de aluminio, con este tipo de disco se puede aplicar una fuerza uniforme a lo largo de la pieza, posteriormente se aplica un pulimento que es un abrasivo fino a base de cera lo que permite obtener una superficie de alta calidad.

#### **2.4.4.4 Desengrase electrolítico**

Las piezas provenientes del pulido vienen engrasadas, para una limpieza efectiva de las mismas se realiza un desengrase electrolítico en el que las piezas hacen la función de cátodo sumergidos en una solución alcalina caliente activado por una corriente eléctrica continua. Esta solución es un detergente compuesto por jabones, potasa caustica, sosa caustica, carbonato de sodio, cianuro de sodio, etc.

#### 2.4.5.5 Activado

En esta etapa se activa la pieza sumergiendo en una solución de 10% al 15% de ácido sulfúrico a temperatura ambiente, la misma que reacciona con el metal removiendo la capa de compuesto insoluble que se deposita sobre los ánodos.

#### 2.4.6 Baños electrolíticos

##### 2.4.6.1 Baño de cobre

En el proceso de cromado de aceros, el cobreado es la primera capa que se deposita, destinada a dar un mayor agarre a la capa de níquel, además el cobre es un metal dúctil y maleable fácil de trabajar y más noble que el hidrogeno, de acuerdo a la tabla 2.1, por lo que resiste muy bien al agua, soluciones salinas y ácidos minerales siempre y cuando no reaccione con el oxígeno, para este efecto se utiliza baños de cobre del tipo alcalino, ver tabla 2.2 y tabla 2.3.

**Tabla 2.2** Características químicas del baño alcalino.

<b>Características</b>	
Ph	11
Densidad (°B) (Grados Baume)	10
CuCN (gr/l)	42
NaCN (gr/l)	56
Sal de Rochelle (gr/l)	45
Carbonatos (gr/l)	25

**Fuente:** (W. Machu)

**Tabla 2.3** Condiciones de trabajo del baño alcalino.

<b>Condiciones de Trabajo</b>	
T (°C)	35
Voltaje (V)	10
Tiempo (min)	45
Ánodos	Cu Electrolítico

**Fuente:** (W. Machu)

### 2.4.6.2 Baño de níquel

El níquel junto con el cromo son los dos metales que más se utiliza en la galvanotecnia para la protección de la corrosión y con fines decorativos sobre el hierro, acero, cobre y latón. Los baños contienen sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico también otros productos como abrillantadores y detergentes.

En la práctica existe gran similitud de los baños de níquel que según el contenido de sales de níquel pueden trabajar a diferentes tiempos y densidades de corriente. En cuanto a la concentración del baño, el sulfatado de níquel para la electrodeposición presenta las características químicas y las condiciones de trabajo que se detallan en la tabla 2.4 y tabla 2.5.

**Tabla 2.4** Características químicas del baño de níquel. [8]

<b>Características</b>	
Ph	4.2
Densidad (°B)	25
NiSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O (gr/l)	300
NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O (gr/l)	75
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (gr/l)	50
Base (cm <sup>3</sup> /l)	40
Abrillantante (cm <sup>3</sup> /l)	2.5
Antiporo (cm <sup>3</sup> /l)	7

**Tabla 2.5** Condiciones de trabajo del baño de níquel. [8]

<b>Condiciones de Trabajo</b>	
Voltaje (V)	6 – 8
Tiempo (min)	30 – 90
Ánodos	Ni Electrolytico

#### **Enjuague.**

Para evitar la contaminación por arrastre del anterior baño se enjuaga las piezas, el mismo se ejecuta con agua limpia por el lapso de dos minutos.

### 2.4.6.3 Baños de cromo

El cromado electrolítico para decoración es depositado sobre la capa de níquel lo que garantiza una protección a ambientes corrosivos y le da una mejor apariencia. El cromo posee una buena resistencia a la oxidación a elevadas temperaturas a los compuestos de azufre a los ácidos nítrico, acético, cítrico y fosfórico a las bases y algunos otros agentes químicos, pero no tiene buena resistencia al ácido clorhídrico y sulfúrico caliente, su dosificación se detalla en la tabla 2.6. [8].

**Tabla 2.6** Condiciones de trabajo del baño de cromo.[8]

<b>Daño de Cromo Decorativo</b>		
Ácido Crómico	250 - 255 gr/l	
Densidad de Corriente	3 - 20 A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	18-25 °C	32-40 °C
Aditivo CKA	8 ml / l	15 ml / l
Aditivo CRB	30 ml / l	5 ml / l
Aditivo CRC	2 ml / l	4 ml / l

### 2.4.6.4 Tratamiento térmico

Las piezas obtenidas por fuerte deformación en frío, fabricadas de acero con Re (Resistencia Su)  $\geq 1000\text{N/mm}^2$  (o dureza correspondiente), que han sido rectificadas o sometidas a severo maquinados después del templado deben someterse a alivio de tensiones. Deberán mantenerse de preferencia a la más alta temperatura de revenido durante 30 minutos, o, en su defecto, mantenerse entre 190°C por lo menos una hora. Esto es para evitar la fragilidad de los aceros debido al hidrogeno [9]. La Tabla 2.7 establece los períodos que deberán alcanzarse tomando en cuenta el espesor de la pieza.

**Tabla 2.7** Tratamiento térmico después de la electrodeposición.[9]

<b>Re (Su)</b> <b>N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Espesor máximo de la pieza</b> <b>Mm</b>	<b>Período mínimo a 190°C a 210°C</b> <b>Horas</b>
1000 a 1150	Menos de 12	2
	De 12 a 25	4
	Más de 25	8
1150 a 1400	Menos de 12	4
	De 12 a 25	12
	Más de 25	24
	Sobre 40	

## **2.4.7 Elementos del proceso de galvanotecnia.**

### **2.4.7.1 Cubas.**

#### **a.- Lavado y enjuagues**

Son tanques de almacenamiento hechas de planchas de acero reforzados con ángulos estructurales para resistir la presión hidrostática, ver figura 2.7.



**Figura 2.7** Tanque para procesos electrolíticos  
**Fuente.** (El autor)

#### **b.- Cobreado**

Las cubas para el baño de cobre, también son hechas de planchas de acero con refuerzos estructurales más las barras de soporte de los ánodos y catodos ( piezas a recubrir) que son de cobre para tener una buena conductividad eléctrica.

#### **c.- Desengrase electrolítico**

También son hechas de acero con sus respectivos refuerzos además dispone de una barra de cobre que soporta las piezas a desengrasar y un soporte para fijar el calefactor.

#### **d.- Cuba de niquelado**

Son hechas de acero con sus respectivos refuerzos estructurales, pero esta cuba viene recubierta interiormente con fibra de vidrio o caucho para evitar el ataque corrosivo de las sales de níquel, además dispone de barras de cobre que soportan los ánodos y un sistema mecánico de agitación que también disponen de barras de cobre y soportan las piezas a niquelar, estas tinas disponen de un soporte para sujetar el calefactor eléctrico, ver figura 2.8.



**Figura 2.8** Tanque para procesos de niquelado  
**Fuente:** (Roymaplast)

#### **e.- Cuba de cromado**

Las cubas de cromado también son hechas de acero con sus respectivos refuerzos estructurales, viene recubierta interiormente de fibra de vidrio para evitar el ataque corrosivo de los ácidos del cromo, dispone de barras de cobre para soportar los ánodos y las piezas a cromar, también tiene un soporte para fijar el calefactor.

### 2.4.7.2 Barras de suspensión

Son barras de cobre que se colocan paralelamente en los lados más largos de la tina se apoyan sobre unas bases cerámicas o madera, su función es soportar los ánodos y las piezas así como también transmitir la corriente eléctrica, y por lo tanto los ganchos de soporte también deben ser de un buen material conductor.

### 2.4.7.3 Ánodos y ganchos de contacto

Para mantener constante la composición del baño es esencial la solubilidad de los ánodos este es atacado por los ácidos que van al mismo polo se consume poco a poco manteniendo la densidad del baño. Los ánodos solubles deben ser de un material químicamente puro (ver figura 2.9) para evitar la contaminación con materiales extrañas obligando a depurar o rehacer el baño. Se puede suspender los ánodos con un material conductor como es el cobre.



**Figura 2.9** Ánodos de Níquel  
**Fuente:** (Electroquímica Galvano)

#### 2.4.7.4 Calentamiento de los baños

El calor favorece el recubrimiento metálico, puesto que al permitir una densidad de corriente mayor acelera el trabajo, es conveniente que cada baño posea un calentador este puede ser vapor eléctrico o gas, ver figura 2.10.



**Figura 2.10** Resistencias de inmersión fabricadas en titanio, acero inoxidable, cuarzo, teflón (PTFE).  
**Fuente:** (Julio Martínez Naya S.A.)

#### 2.4.7.5 Filtrado

Los recubrimientos de niquelado de alto brillo o cobre deben filtrarse de vez en cuando, porque las partículas de suciedad, polvo, lodo, hidróxidos metálicos, etc.: poseen por adsorción de iones una carga eléctrica que son conducidos por la corriente eléctrica al cátodo, donde se descarga introduciendo en el recubrimiento metálico y volviendo áspera las superficies.

#### 2.4.7.6 Rectificadores de corriente

Los equipos rectificadores están constituidos básicamente por un transformador y un puente rectificador. El transformador cumple la función de separar la línea de entrada de la salida de baja tensión. El puente rectificador, convierte la corriente alterna en corriente continua. Dependiendo del tipo de puente rectificador, la corriente continua será de mayor o menor calidad. La variación que pueda quedar sobre la corriente continua así obtenida se denomina "ripple". A mayor valor de

"ripple", la calidad de corriente continua disminuye. Para determinados electrolitos como por ejemplo el cromo, estas variaciones deben ser reducidas al mínimo posible. La corriente continua obtenida de un equipo trifásico es mucho más pura que el monofásico, ver figura 2.11. [10].



**Figura 2.11** Rectificador de corriente para procesos galvánicos  
**Fuente:** (Electroquímica Galvano)

#### **2.4.8 Factores que intervienen en la calidad del acabado**

Es importante el examen de los elementos cromados con relación a brillo, burbujas, existencia de poros, puntos quemados, uniformidad de superficie, manchas, etc., que constituye problemas que se detectan a simple vista y crea insatisfacción al cliente. Dado que hay otras propiedades físicas que no podemos valorar a simple vista, que se debe utilizar instrumentos de laboratorio para determinar como son: espesor, adherencia, brillo, dureza, corrosión, etc., los mismos que serán tratados a profundidad en este trabajo.

### 2.4.8.1 Espesor

El espesor es una característica importante que se debe medir en la capa cromada puesto que de este depende la protección que ofrece. Para ser medido se utiliza los ensayos metalográficos con un microscopio de barrido SEM (ver figura 2.12), o un medidor de espesores por ultrasonidos.

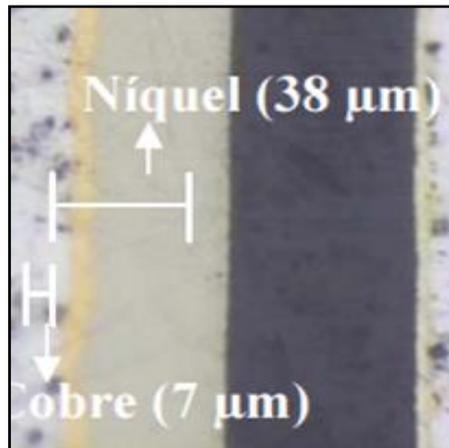


Figura 2.12 Micrografía de recubrimiento de níquel sobre el cobre. [6]

### 2.4.8.2 Adherencia

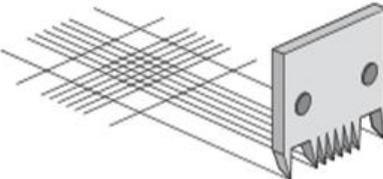
Estos ensayos tienen valor fundamental, debido a que es la fuerza que ejerce para separar ambos elementos, bien sea en una unidad de fuerza por la superficie de contacto, o bien como unidad de fuerza única en aquellos elementos que la superficie es desprendible. La prueba de adherencia por corte cruzado/trama cruzada es un método sencillo aunque muy efectivo para determinar la adherencia de revestimientos. Para comprobar la adherencia, el revestimiento se corta en pequeños cuadros, lo que reduce la cohesión lateral, y el revestimiento se evalúa con procedimientos que se detallan en las normas ISO, ASTM o corporativas.

Cabe mencionar que la prueba de adherencia por corte cruzado suministra un método de comparación rápida, asequible. La prueba de cortador de trama cruzada es competente para revestimientos delgados, gruesos o duros en todo tipo de superficies. [11]. Ver figura 2.13 y figura 2.14



**Figura 2.13** Medidor de adherencia por trama cruzada. [11]

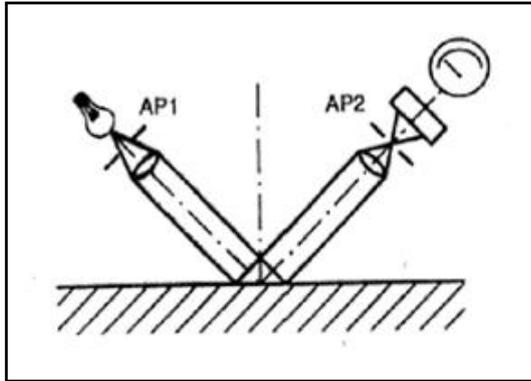
Espesor de capa	Separación de cuchillas
0 – 60 $\mu\text{m}$	1 mm
60 – 120 $\mu\text{m}$	2 mm
> 120 $\mu\text{m}$	3 mm



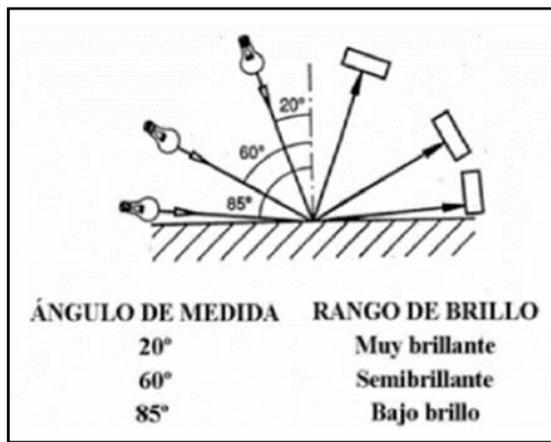
**Figura 2.14** Separación de cuchillas en función del espesor de capa. [11]

### 2.4.8.3 Brillo

El método más usado para medir el brillo en superficies cromadas es la de comparar el brillo detectado por el ojo humano contrastado con paneles estandarizados de brillo decreciente. Los medidores de brillo son llamados usualmente “glossmeters”, y cuantifican fotoeléctricamente la intensidad de un rayo de luz reflejado por la superficie, en condiciones tales que el ángulo de medida es siempre igual al de incidencia [12] ver figura 2.15 y figura 2.16.



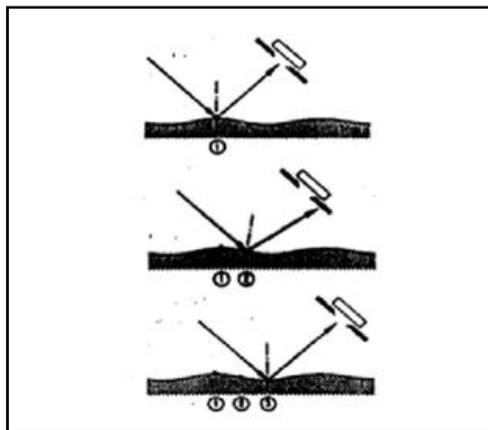
**Figura 2.15 Medida** de reflexión especular. [12]



**Figura 2.16 Brillo:** ángulos de iluminación. [12]

“Las medidas de brillo se verifican con patrones; generalmente se calibra el instrumento con un vidrio negro estándar en el extremo superior y con un bloque de carbonato de magnesio en el inferior.”

Los defectos de la película, provenientes del sustrato o de la aplicación, afectan el valor del brillo [12] ver figura 2.17.



**Figura 2.17 Influencia** del acabado superficial sobre el brillo. [12]

#### **2.4.8.4 Dureza**

La dureza dentro del campo de recubrimientos electrolíticos son de particular importancia en vista que los recubrimientos de cromado de los aros deben ser resistentes a golpes, desgastes por esmerilado o pulido, uso diario, rozamiento, erosión, etc. Esta propiedad mecánica que mide la resistencia de penetración y rayadura en su superficie, fácil de determinar por medio de procedimientos Vickers, Knoop Rockwell, Brinell, Shore o Martens, son medidas que nos puede ayudar a medir la resistencia al desgaste.

En los casos de recubrimientos metálicos la medida más recomendable es la de micro dureza Vickers o la Knoop que utiliza las cargas de prueba de 1 a 1000 gr en sus penetradores [6].

### **2.5 Mejoras del acabado superficial e indicadores del recubrimiento del cromo metálico a los aros para buses.**

#### **2.5.1 Normas ASTM e INEN de adherencia del cromo al acero**

##### **Norma de adherencia del níquel + cromo al acero INEN.**

La adherencia del recubrimiento de níquel + cromo se comprueba mediante el ensayo de número 4.6 de la norma INEN 950. El método de ensayo consiste en rayar sobre el recubrimiento de la probeta con un instrumento afilado de acero templado, una cuadrícula formando cuadrados de 2 a 5 mm de lado, sobre el área de ensayo. La presión debe ser suficiente para cortar la capa recubierta de un solo tajo, hasta llegar al metal base. Aplicar luego una cinta adhesiva sobre la superficie. La cinta debe tener una adhesión de 290 a 310 g/cm<sup>2</sup> (cinta de celulosa regenerada). Presionar solamente con la mano al aplicar la cinta adhesiva, teniendo cuidado de que no queden burbujas de aire atrapadas. Luego de 90 s separar manualmente la cinta, aplicando una fuerza de manera que la posición de la cinta que se retira, sea a 180<sup>0</sup>, paralelo a la superficie ensayada [13].

## 2.5.2 Normas ASTM e INEN de espesor de recubrimiento

### Norma de espesor de recubrimiento INEN

La tabla 2.8 establece los rangos de espesor para recubrimientos de cromo-níquel sobre acero, además el tipo de recubrimiento y el índice de servicio aplicado a cada espesor, este significa destino de aplicación y el al grado de agresividad del medio.

**Tabla 2.8** Espesores del recubrimiento de cromo ( $\mu m$ ) [9]

1	2	3
Recubrimiento- abreviatura	Espesor mínimo Ni ( $\mu m$ )	Índice de servicio
Sobre acero o fundición		
Fe/el Ni 10 b Cr 0.3 r (Fe/el Ni 12 b Cr 0.3 r)	10 (12)	1
Fe/el Ni 12 v Cr 0.3 r	20	2
Fe/el Ni 25 d Cr 0.3 mp	25	3
Fe/el Ni 25 d Cr 0.3 mc	25	
Fe/el Ni 30 d Cr 0.8 f	30	
Fe/el Ni 30 de Cr 0.3 r	30	
Fe/el Ni 25 p Cr 0.3 mp	25	
Fe/el Ni 25 p Cr 0.3 mp	25	
Fe/el Ni 30 p Cr 0.3 r	30	
Fe/el Ni 30 b Cr 0.3 mp	30	
Fe/el Ni 30 1 Cr 0.3 mc	30	
Fe/el Ni 40 b Cr 0.3 r	40	
(Fe/el Ni 50 p Cr 0.3 r)	(50)	
Fe/el Ni 50 d Cr 0.3 mp	30	
Fe/el Ni 30 d Cr 0.3 mc	30	
Fe/el Ni 40 d Cr 0.8 f	40	
Fe/el Ni 40 d Cr 0.3 r	40	

el espesor de recubrimiento se comprueba por los métodos normalizados. En caso de divergencia, se preferirá el método microscópico según la Norma INEN 601.

#### Abreviatura.

La abreviatura para designar los recubrimientos que son objetivo de esta norma consta de los siguientes símbolos.

- a. Fe, para significar acero de metal base.
- b. La abreviatura (el) por “electrolítico”.
- c. Ni - níquel.
- d. El valor del espesor de recubrimiento de níquel en micrómetros ( $\mu m$ ).

- e. La abreviatura b, p o d, para significar brillante, lustroso y doble o triple capa aplicados al recubrimiento de níquel.
- f. Cr – cromo
- g. Valor del espesor mínimo de cromo.
- h. Las abreviaturas correspondientes a la normalización de la ISO 1456
- i. mc – micro – grietas
- j. mp – micro – poroso
- k. r – regular , convencional
- l. f – libre de grietas

Ejemplo.

<i>Fe</i>	<i>el</i>	<i>Ni</i>	<i>12</i>	<i>Cr</i>	<i>0.3</i>	<i>mp</i>
1	2	3	4	5	6	micro poroso

1. Acero de base
2. Recubrimiento electrolítico
3. Níquel de recubrimiento
4. Espesor de 12 μm
5. Cromo de recubrimiento
6. Espesor de 0,3 μm. [9]
7. mp (micro poroso)

### 2.5.3 Normas ASTM e INEN de dureza de recubrimiento

#### Norma de dureza de recubrimiento INEN.

La dureza se comprueba mediante el ensayo normalizado en INEN 1058. Los valores de la dureza para el recubrimiento se establecen en la Tabla 2.9 [14].

**Tabla 2.9** Dureza de recubrimiento de cromo. [23]

Condición del recubrimiento	Dureza Vickers (HV)
Recubrimiento sin tratamiento térmico	800 a 1 100 HV
Después de tratamiento térmico a 190-210°C.	800 a 1 100 HV (norma)
Después de tratamiento térmico a 440-480°C.	600 HV mínimo

## 2.5.4 Normas ASTM e INEN de brillo del recubrimiento

### Norma de brillo del recubrimiento INEN.

El brillo del recubrimiento metálico depende del material base, del tratamiento previo, del procedimiento electrolítico, así como de los tratamientos posteriores. Se establecen cinco grados de brillo de acuerdo a la tabla 2.10. El grado de brillo se comprobará de acuerdo a la norma INEN 1 179 [15].

Tabla 2.10 Grado de brillo. [15]

Grado de brillo			Valor según Norma INEN 1 179
No.	Denominación	Abreviatura	
1	Mate	Mt	Sin reflejo.
2	Lustroso	P	Imagen reflejada legible a 5 mm.
3	Brillante	B	Imagen reflejada legible a 100 mm.
4	Brillante intenso	Bi	Imagen reflejada legible a 400 mm. huellas de rectificado pueden ser aun visibles.
5	Brillante especular	Be	Imagen reflejada legible a 400 mm huellas de mecanización no son visibles.

## 2.5.5 Normas ASTM e INEN de la microporosidad

### Norma de la microporosidad INEN.

Los recubrimientos que tengan espesores de 25  $\mu\text{m}$  y más deberán sujetarse al ensayo de micro porosidad, y los resultados evaluarse de acuerdo a la Norma INEN 1 176. De existir acuerdo entre las partes interesadas, los recubrimientos con espesor menor a 25  $\mu\text{m}$  podrán también someterse al ensayo de micro porosidad, durante 24 horas [16].

## 2.5.6 Normas ASTM e INEN de la resistencia a la corrosión

### Norma de corrosión ASTM B 117.

Para determinar el grado de resistencia a la corrosión de los metales, es necesario emplear criterios de ensayo unificados internacionalmente, no solo con el fin de comparar datos y evaluar extrapolaciones entre los resultados obtenidos en el laboratorio y la exposición a la intemperie, sino también para poder documentar ante terceros, la calidad de los productos. Para ello es necesario emplear procedimientos de evaluación aplicables universalmente y amparados por las normativas prescritas por los organismos certificadores de cada país.

La norma INEN 955 nos dice los artículos recubiertos de cobre + níquel + cromo deberán someterse a ensayos de resistencia a la corrosión de acuerdo al índice de servicio según la siguiente tabla 2.11 [17].

**Tabla 2.11** Ensayos de resistencia a la corrosión. [17]

Índice de servicio	Ensayo de corrosión – duración de horas		
	Cass	Corrodkote	Ácido acético
1	-	-	8
2	-	-	24
3	16	16	96
4	24	2 X 16	144

## 2.6 HIPÓTESIS

El estudio de la adherencia, dureza, espesor de capa y resistencia a la corrosión del cromado metálico en la superficie de aros para buses bajo normas INEN permitirá medir el grado de adherencia.

## 2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

### 2.7.1 Variable Independiente

Estudiar el proceso y los materiales del cromado metálico en superficie de aros para buses bajo normas INEN

### **2.7.2 Variable Dependiente**

Adherencia

### **2.7.3 Término de Relación**

Incidencia

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

El enfoque de la presente investigación fue de tipo cualitativo y cuantitativo por las siguientes razones:

Se aplica investigación y técnicas para optimizar en el acabado superficial logrando una mejora en las propiedades de adherencia y acabado de la capa cromada, lo que permitió a la empresa elevar la calidad del recubrimiento y por ende la presentación de su producto. Con la selección del mejor método se logró disminuir tiempos y optimizar costos por reproceso. En el desarrollo de nuestra investigación se utilizó los datos que proporciono la planta en el desarrollo del proceso, que son los siguientes:

- Se investiga los parámetros que son necesarios previa la aplicación de un recubrimiento y durante la misma.
- Se identifica las normas que se emplearon para la correcta evaluación de un recubrimiento.
- Se demuestra el correcto uso de los ensayos destructivos y no destructivos en los procesos de cromado de los aros.
- Se demuestra mediante el estudio del recubrimiento el tipo de acabado que garantizará la calidad del recubrimiento de cromado metálico sobre los aros para los buses.

## **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 De campo**

La modalidad de este proyecto fue de campo, debido a que se mantiene una relación directa con el objeto en estudio por formar parte de la organización, motivo por el cual se facilita la obtención de información primaria del problema presentado, se realiza distintas probetas, a las cuales se las evalúa para determinar si el proceso que se ejecuta, brinda resultados satisfactorios y así obtener una investigación sustentada.

### **3.2.2 Bibliográfico**

La información para realizar el estudio se obtiene tanto de fuentes primarias las cuales nos proporcionan información importante, la misma que es recolectada en fuentes como libros, tesis, normas, hojas técnicas, procedimientos, reglamentos internos, documentales e internet, mientras que la información secundaria son los resúmenes y listados de referencias que estén vigentes, así como personas entendidas en el tema que sirven de ayuda con su experiencia.

## **3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.3.1 Exploratorio**

A través de la investigación exploratoria nos permite identificar el problema en el recubrimiento, que luego se convierte en objeto de nuestro estudio, y posterior formular la hipótesis y solucionar mediante metodologías adecuadas.

### **3.3.2 Descriptivo**

Nuestra investigación necesita de un conocimiento previo acerca del comportamiento de los recubrimientos y sus características, mediante la investigación descriptiva nos permite especificar las características más destacadas del problema al aplicar métodos y técnicas de investigación para recolectar información que se utilizó para la comprobación de la hipótesis planteada, mediante la estadística descriptiva dando a conocer resultados.

### 3.3.3 Experimental

La investigación fue de modalidad experimental, debido a que los resultados de los ensayos obtenidos luego de las pruebas realizadas permiten generar un estándar experimental para su futura aplicación en la industria carrocera.

## 3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.4.1 Población

De acuerdo al diagrama de los procesos de cromado de aros tratado en 2.4.4.4, el tiempo promedio para realizar el cromado de un aro con tres persona es de 475 min. De la misma manera según el estudio del tiempo y procesos lo óptimo es utilizar tres trabajadores para este efecto (pulidor, preparador y cromador). En el día se trabaja 8hr. (8hr \* 60 min/1 hr = 480 min); entonces con estos trabajadores tenemos.  $475 \text{ min} \times 3 \text{ trabajadores} / 480 \text{ min} = 2.96 \text{ aros/ día}$  aproximadamente 3 aros/día; en la semana se podrá realiza ( $5 \text{ días/semana} * 3 \text{ aros/día} = 15 \text{ aros/semana}$ ). Como en el proceso se hace el revisión de concentración de baños y de desgaste de ánodos una vez por mes entonces la población mensual de aros es:

$$15 \times 4 = 60 \text{ aros/mes.}$$

### 3.4.2 Muestra

El cálculo del tamaño de la muestra es fundamental para la confiabilidad de los resultados. Por ello, deben tomarse en consideración algunas propiedades de la muestra y el grado de error máximo permisible de sus resultados [18]. Para calcular el tamaño de la muestra se puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$n = \sigma^2 * Z^2 / e^2 \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

- $n$  = el tamaño de la muestra.
- $\sigma$  = Es la desviación estándar (Se puede tomar un valor de 2 en base a prueba piloto)

- $e$  = El nivel de error máximo permitido (Se toma un valor máximo del 1)
- $Z$  = El nivel de confianza (El valor es de 1.96 con 95% de confiabilidad)
- $n = 2^2 * 1.96^2 / 1^2$
- $n = 15.36$

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### ESTUDIAR EL CROMADO METÁLICO EN LA SUPERFICIE DE LOS AROS PARA BUSES BAJO NORMAS INEN

Tabla 2.12 Operacionalización de las variables independientes

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
En el estudio del cromado metálico en la superficie de los aros para buses, es necesario controlar la correcta preparación de la superficie, la dosificación de los baños, la correcta rectificación de la corriente bajo normas preestablecidas que exige el recubrimiento.	Cromado metálico  Superficie de los aros para buses	Tipo de Proceso Recubrimiento metálico  Tipo de material metálicos	Galvanoplastia Medir la adherencia  Acero + níquel + cromo	Observación directa. Bibliográfica. Fichas técnicas. Reportes.  Observación directa. Fichas técnicas. Reportes. Registros.

Fuente: El autor

## VARIABLE DEPENDIENTE

### ADHERENCIA A LA SUPERFICIE DE LOS AROS PARA BUSES

Tabla 2.13 Operacionalización de las Variables dependientes

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
<p>En el estudio de la adherencia de cromo metálico a la superficie de los aros para buses son todos los mecanismos, acciones y parámetros realizados para detectar fallas en el recubrimiento. Dentro de las pruebas destructivas y no destructivas que nos sirve para evaluar la calidad del recubrimiento, son:</p> <p>Condiciones de las superficies base, espesor de la película, adherencia y resistencia a la corrosión.</p>	Parámetros Físicos.	Espesores de Película cromada.	( 3 – 10)µm	Medidor de espesor de recubrimiento metálicos DT-156. Normas INEN 954
	Superficie.	Tiempo de exposición	(30-90) min. En baño de níquel	Cronometro
	Durabilidad.	Adherencia, y dureza	-Mediante una cinta adhesiva de 290 a 310 g/cm <sup>2</sup> . -Dureza de 800 a 1100 Hv	Medidor de adherencia ELCOMETER 107. Durómetro El uso de las normas INEN 950 , 954 y 1058
		Resistencia a la corrosión	El área de defecto debe ser menor a 2.5 mm <sup>2</sup>	Ensayos de laboratorio: 8 horas. En ácido acético de acuerdo a la norma INEN 954

Fuente: El autor

### **3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

A través del plan de recolección de información se contempla estrategias metodológicas requeridas para el cumplimiento de los objetivos e hipótesis que coincidan en el enfoque cualitativo que se propone.

La recolección de información también se lo realizó a los clientes internos de plantas de cromado y clientes externos de los dueños de los buses que utilizan este producto, este cuestionario contiene información sobre la calidad del producto. La recolección de esta información fue responsabilidad del investigador y se lo realizó en acuerdos con la empresa, la misma que se lo efectuó, con entrevistas y la observación de los hechos.

### **3.7 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Siendo la interpretación de resultados una de las partes más relevantes, es menester referirse de manera clara y concisa de los valores que se obtienen. Esto depende de cómo se realice los ensayos, procesos, registros, experimentaciones y controles.

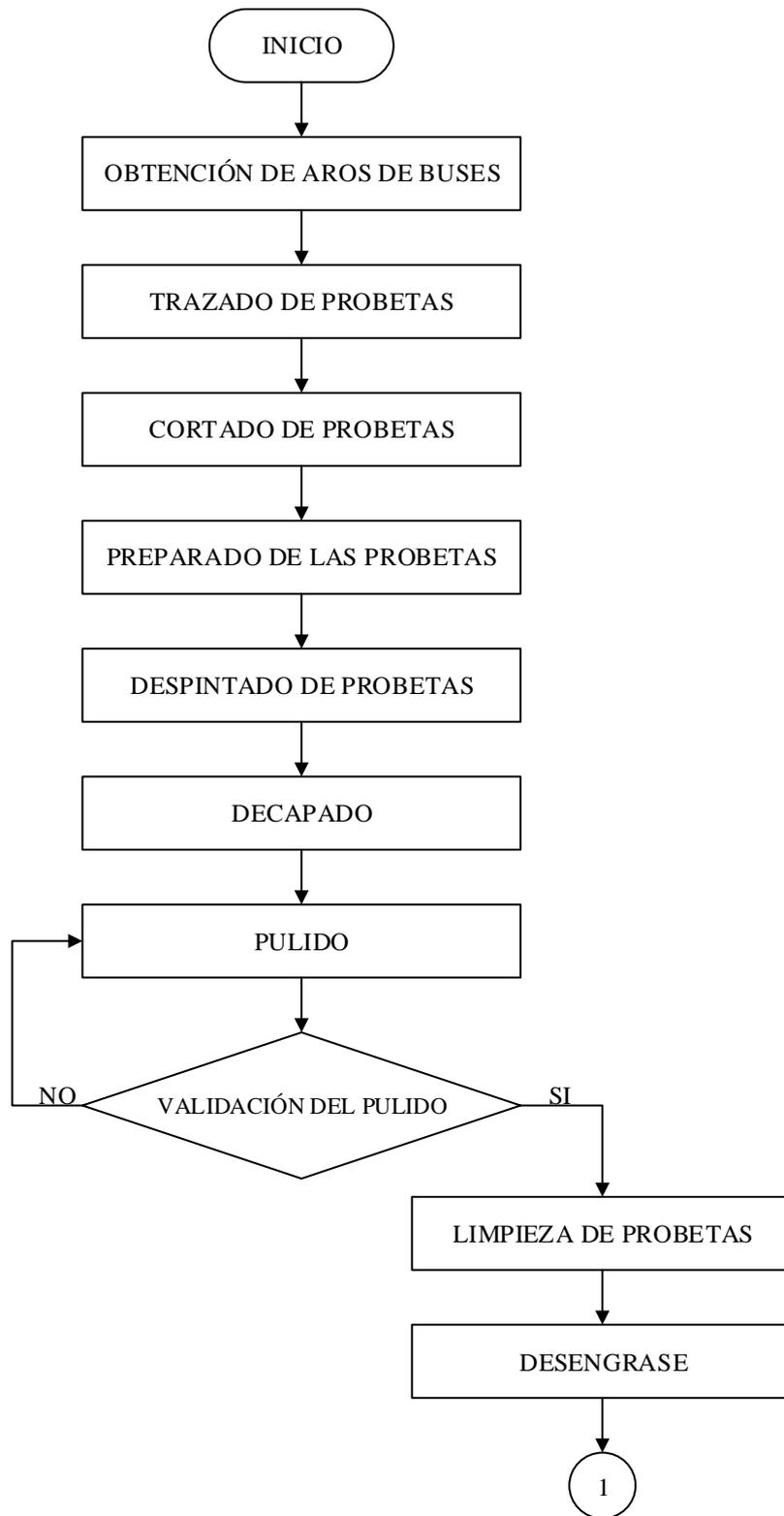
## **CAPÍTULO IV**

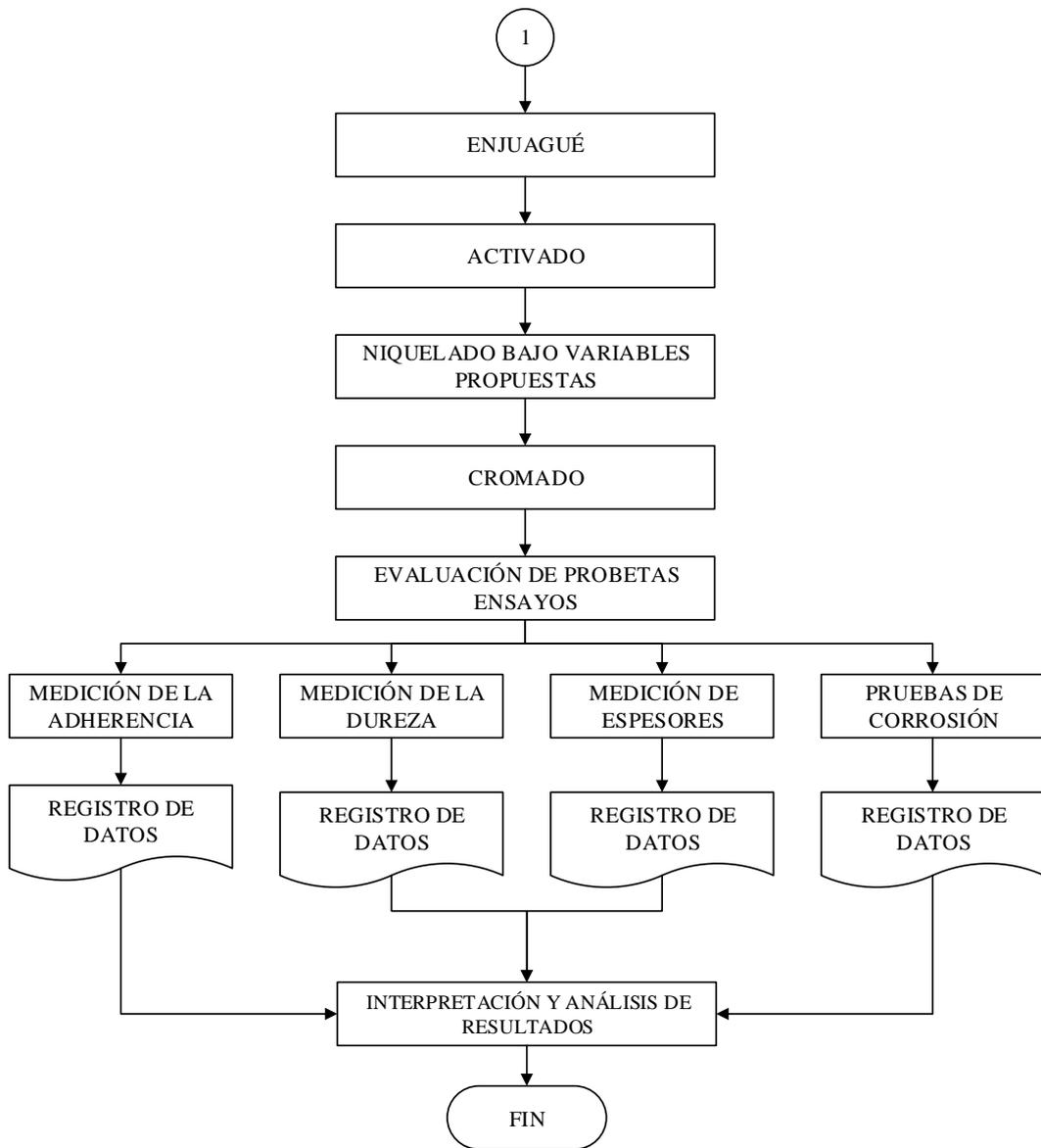
### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

- Comparación con la información de fichas técnicas entregadas por la norma INEN.
- Análisis de los resultados de las medidas y pruebas del laboratorio.
- Análisis de la hipótesis y comparación con los resultados obtenidos para verificar o rechazar.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

#### **4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En este trabajo de investigación se determina el siguiente flujograma de procesos para el desarrollo y análisis de resultados.





**Figura 4.1** Diagrama de Procesos para el cromado de probetas  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.1 Obtención de los aros y determinación del tipo de material**

El punto de partida para el presente estudio es la obtención del aro, para el análisis de los mismos, fueron determinados en base a la marca de buses que más ocupa el mercado nacional como fue el Hino (Anuario de estadística de transporte INEC, 2013).

El material que está compuesto el aro es el acero al carbono SAE- 1026, y su forma está dado por un proceso de conformado en frío.

#### **4.1.2 Trazado y obtención de probetas**

De acuerdo a la norma INEN 954- 7.1, el tamaño de la muestra se lo decide de acuerdo con las partes interesadas, por lo tanto se lo realizo las probetas con una área de 140 cm<sup>2</sup>. El seccionamiento se realiza por medio de un corteplasma, se selecciona este método porque el calor que produce es puntual y no afecta a las propiedades del material, ver figura 4.1.



**Figura 4.2** Obtención de probetas de los aros  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.3 Preparado de las probetas.**

El preparado de las probetas consistie en el retiro de la escoria de su contorno y la elaboración de un agujero de un diámetro de  $\frac{1}{4}$ " que nos permite colocar la ganchera de soporte a los baños electrolíticos, ver figura 4.3.



**Figura 4.3** Preparación de probetas  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.4 Despintado de las probetas**

Por lo general los aros de los buses vienen pintados de color plomo con la finalidad de proteger contra la corrosión y dar una buena apariencia. Cuando se realiza un recubrimiento metálico como el cromado, primero se realiza el retiro de la pintura y para este efecto se calienta a una temperatura de  $350^{\circ}\text{C}$  por medio de un quemador a base de GLP (gas licuado de petróleo), ver figura 4.4



**Figura 4.4** Despintado de probetas  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.5 Decapado de las probetas**

Por el proceso de despintado y por la exposición del acero sin protección a medios ambientales, este tiende a oxidarse y corroerse por lo que es necesario hacer una limpiar las superficies corroídas y para esto se realiza el proceso de decapado , que consiste en la inmersión de las probetas en una solución de ácido sulfúrico al 10% con agua, por un lapso de una hora pudiendo este aumentar dependiendo del grado de corrosión, posteriormente se un neutraliza sumergiendo estas piezas en una solución de sosa caustica, ver figura 4.5.



**Figura 4.5** Piezas decapadas  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.6. Proceso de pulido.**

En el cromado electrolítico, una vez que se obtuvo las piezas decapadas se procede con el pulido, para este efecto se dispone de:

- Una maquina pulidora tipo torno, accionada por un motor de 5 hp.
- Rodillos hechos a base de discos de tela, pegados el material abrasivo en su contorno con cola de carpintero.
- Material abrasivo a base de óxido de aluminio.
- Pastas para pulir.

El proceso en si consiste en girar los rodillos a una velocidad de 3000 rpm, con el fin de dar un mejor acabado Para realizar el retirar el material se aplica presión a

la pieza a pulir hasta que la superficie se presente homogénea y sin rayas, ver figura 4.6.



**Figura 4.6** Proceso de pulido  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.7 Limpieza de piezas**

La limpieza de las probetas es para retirar el exceso de grasa que se acumula por efecto del pasteado que es parte del proceso de pulido, para esto se utiliza gasolina y carbonato de calcio (cal apagada).

#### **4.1.8 Desengrase electrolítico**

Para eliminar la grasa provenientes de procesos anteriores, se procede a realizar un desengrasar en un baño donde el electrolito con una solución alcalina a base de detergentes, sosa caustica y carbonato de sodio, la misma que se obtiene a una temperatura de 30<sup>0</sup>C, donde el cátodo la pieza y de ánodo la tina, durante un tiempo de 2 a 3 minutos con una aplicación de una tensión de 6 V, ver figura 4.7.



**Figura 4.7** Desengrase electrolítico en una piscina de (3 X 1.5 X1.5) m.  
**Fuente:** (El autor)

#### **4.1.9 Niquelado**

En primer lugar se enjuaga para luego activarlo en una solución de ácido sulfúrico al 10 % de concentración, luego se procede a niquelar las probetas utilizando una celda electrolítica. En este proceso se suspende las probetas en las barras de agitación para luego ser sumergido en el electrolito, las mismas que en este caso son cátodo. Los ánodos de níquel se colocan en dos barras de cobre fijas en la parte lateral de la tina. Luego se acciona el sistema en un tiempo de 30 a 90 minutos con una tensión de 6 a 8 voltios dependiendo del tamaño del elemento y del espesor de capa que se desea, ver tabla 4.1 y tabla 4.2.

Para el estudio este proceso se realiza a 15 muestras que fueron determinadas anteriormente por lote y combinando las diferentes condiciones de trabajo como la temperatura que varía de 30<sup>0</sup> C, 35<sup>0</sup> C y 40<sup>0</sup> C , voltaje de 6V, 7V Y 8V , y los tiempos de exposición al baño de 30 min, 60 min y 90 min. Tomamos estos parámetros porque de acuerdo a la experiencia caen dentro de los índices de trabajo 1, con espesores que exigen la norma INEN 954, Fe/el Ni 10  $\mu\text{m}$  b Cr 0.3  $\mu\text{m}$  r – Fe/el 12  $\mu\text{m}$  b Cr 0.3  $\mu\text{m}$  r para condiciones de trabajo no tan exigentes.

#### 4.1.9.1 Celda electrolítica

**Tabla 4.1** Características químicas del baño de níquel.

Características	
Ph	4
Densidad (°B)	21
NiSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O (g/l)	280
NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O (g/l)	50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (g/l)	30
Base (cm <sup>3</sup> /l)	40
Abrillantante (cm <sup>3</sup> /l)	2.5
Antiporo (cm <sup>3</sup> /l)	7

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.2** Condiciones de trabajo del baño de níquel.

Condiciones de trabajo	
Voltaje (V)	6 - 8
Tiempo (min)	30 - 90
Temperatura °C	30 - 40
Ánodos	Ni Electrolytico

Fuente: (El autor)

#### 4.1.9.2 Sistema de agitación.

En el proceso las probetas estaban agitadas por medio de un mecanismo de vaivén, los mismos que permiten un mejor contacto de los iones de níquel con el cátodo, en este caso las probetas, ver figura 4.8.



**Figura 4.8** Baño de níquel en una piscina de (3.5 X1.25X1.5) m.

Fuente: (El autor)

#### 4.1.10 Cromado

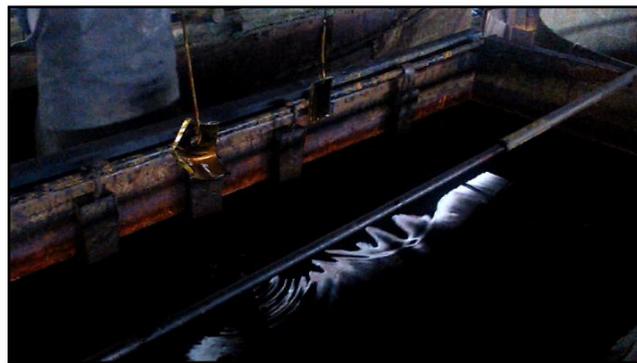
Luego del niquelado se realiza el cromado electrolítico que no es más que el depósito de una capa fina de cromo 0.3  $\mu\text{m}$  aplicado durante un tiempo de exposición en el baño de tiempo de 15 seg , con el fin de proteger de los ambientes corrosivos y dar una mejor apariencia, este proceso se realiza en un baño con las siguientes características, ver tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Condiciones de trabajo del baño de cromo.

<b>Baño de Cromo Decorativo</b>		
Ácido Crómico	250 - 255 g/l	
Densidad de Corriente	3 - 20 A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	18-25 °C	32-40 °C
Aditivo CKA	8 ml / l	15 ml / l
Aditivo CRB	30 ml / l	5 ml / l
Aditivo CRC	2 ml / l	4 ml / l

Fuente: (El autor)

El tiempo de inmersión es mayor a 3 segundos dependiendo del tamaño de la pieza, a una temperatura de 30<sup>0</sup> C con una tensión de 6 a 7 voltios, ver figura 4.9.



**Figura 4.9** Baño de Cromo en una piscina de (3X1.5X1.5) m.

Fuente: (El autor)

#### **4.1.11 Evaluación de probetas, pruebas y ensayos**

##### **4.1.11.1 Evaluación de la adherencia.**

###### **Parámetros para realizar el ensayo**

###### **1. OBJETIVO:**

- Determinar el grado de adherencia de la capa Ni+Cr a diferentes parámetros de trabajo sobre la superficie del aro de los buses.
- Aportar con los datos obtenidos en la determinación de los parámetros adecuados para el proceso del recubrimiento metálico.

###### **2. ALCANCE:**

Cumple con las especificaciones para el recubrimiento metálico de la capa Ni+Cr que se utilizara en los aros de los buses.

###### **3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:**

Los documentos en los cuales se basa el experimento son la norma INEN 954 – 4.6 y ASTM D3359-09.

###### **4. GENERALIZACION:**

El realizar el ensayo de adherencia de la capa Ni+Cr sobre la superficie de los aros para los buses, permite obtener datos para el estudio de los parametros adecuados para el proceso

###### **5. REALIZACION:**

La prueba de adherencia consiste en medir la fuerza con la que el revestimiento metálico está fijado a otra superficie también metálica, basado en la norma INEN 950 – 4.6 donde indica el método de la cinta adhesiva, la misma que tiene un esfuerzo de unión de 290 a 310 gr/cm<sup>2</sup>.

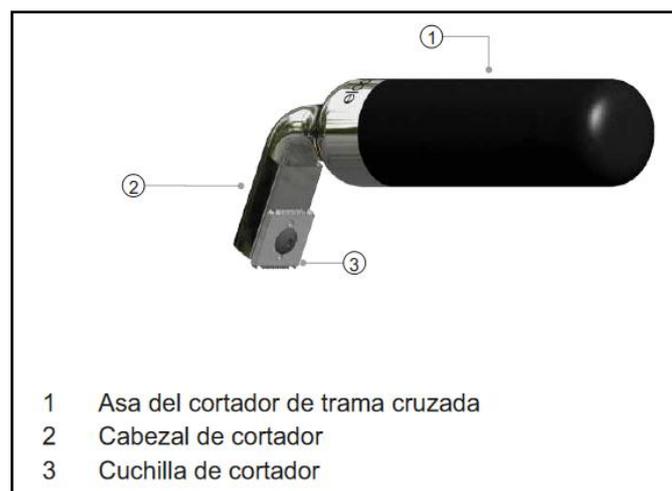
Para obtener los resultados se utiliza un equipo cortador de trama cruzada elcometer 107, que evalúa instantánea de la calidad de unión al sustrato, ideal

para revestimientos finos, gruesos o duros sobre todas las superficies, con una cinta adhesiva ASTM D 3359 – D.

#### 4.1.11.1.1 Descripción del equipo.

El equipo para las pruebas de adherencia está formado por:

- Cortador de trama cruzada, ver figura 4.10.
- Cinta adhesiva; ISO o ASTM.
- Lupa de tres aumentos.
- Tabla de evaluación,



**Figura 4.10** Partes del cortador  
**Fuente:** (Elcometer).

#### 4.1.11.1.2 Selección de la cuchilla adecuada del cortador

La selección de la cuchilla depende del tipo de sustrato, del espesor del revestimiento y del método de prueba empleado; para este caso se selecciona la cuchilla de 11 x1 mm. , porque el espesor máximo del revestimiento es de 12 $\mu$ m, ver tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Selección de la cuchilla para el cortador

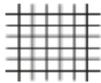
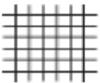
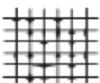
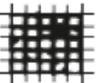
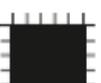
Espesor del revestimiento		Método de Prueba		
$\mu\text{m}$	mils	ASTM (Sustratos metálicos)	ISO/ JIS (Sustratos duros)	ISO/ JIS (Sustratos blancos)
0-50	0-2	11 x 1 mm		
50-125	2-5	6 x 2 mm	-	-
0-60	-	-	6 x 1 mm	6 x 2 mm
61-120	-	-	6 x 2 mm	6 x 2 mm
121-250	-	-	6x 3 mm	6 x 3 mm

Fuente: (Elcometer)

#### 4.1.11.1.3 Procedimiento para medir la prueba de adherencia.

1. Se coloca el filo de corte sobre la muestra.
2. Se presiona con fuerza y se retrocede con movimiento continuo asegurándose que atraviesa el revestimiento y llega al sustrato.
3. Luego se coloca el filo de corte con un ángulo de  $90^0$  con respecto al anterior corte similar al paso dos formando una trama cruzada.
4. Posteriormente se limpia con una brocha los residuos, y se inspecciona que los cortes atraviesen el recubrimiento.
5. Se corta un trozo de cinta ASTM de aproximadamente 75 mm y se pega sobre el entramado, asegurándose que este bien adherida.
6. Transcurridos 90 segundos aproximadamente se retira la cinta con movimiento suave a un ángulo de  $180^0$  paralelo a la superficie del revestimiento.
7. Se evalúa la adherencia comparando el entramado del corte con la tabla 4.5 estándar ASTM [11].
8. En el estudio se realiza varios ensayos tomando en cuenta las 15 muestras predeterminadas y combinando los parámetros de trabajo como es el tiempo, temperatura, voltaje.
9. Se elabora tablas combinando estos parámetros con diferentes condiciones de trabajo.
10. De la misma manera se realiza diagramas de barras para comparar los resultados que se obtiene de los diferentes ensayos con el que nos proporciona la norma INEN 950.

**Tabla 4.5** Evaluación de resultados

Aspectos de ejemplo		Descripción	Clasificación	
Retirada mínima	Retirada máxima		ISO/ JIS	ASTM
		Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado	0	5B
		Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%	1	4B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%.	2	3B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%.	3	2B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%.	4	1B
		Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B	5	0B

Fuente: (Elcometer)



**Figura 4.11** Pruebas de adherencia

Fuente: (El autor)

#### 4.1.11.1.3 Elaboración de tablas de las pruebas de adherencia

**Tabla 4.6** Prueba de adherencia a temperatura de 30°C y tensión de 6 V.

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	1B	1B	2B
<b>2</b>	2B	5B	3B
<b>3</b>	3B	5B	2B
<b>4</b>	2B	5B	1B
<b>5</b>	2B	2B	4B
<b>6</b>	1B	1B	2B
<b>7</b>	2B	5B	3B
<b>8</b>	3B	5B	2B
<b>9</b>	2B	5B	1B
<b>10</b>	2B	2B	4B
<b>11</b>	1B	1B	2B
<b>12</b>	2B	5B	3B
<b>13</b>	3B	5B	2B
<b>14</b>	2B	5B	3B
<b>15</b>	2B	2B	4B

Fuente: (El autor)

Para evaluar numéricamente se transformó los valores alfanuméricos en porcentuales de acuerdo a la siguiente tabla 4.7

**Tabla 4.7** Transformación a porcentajes

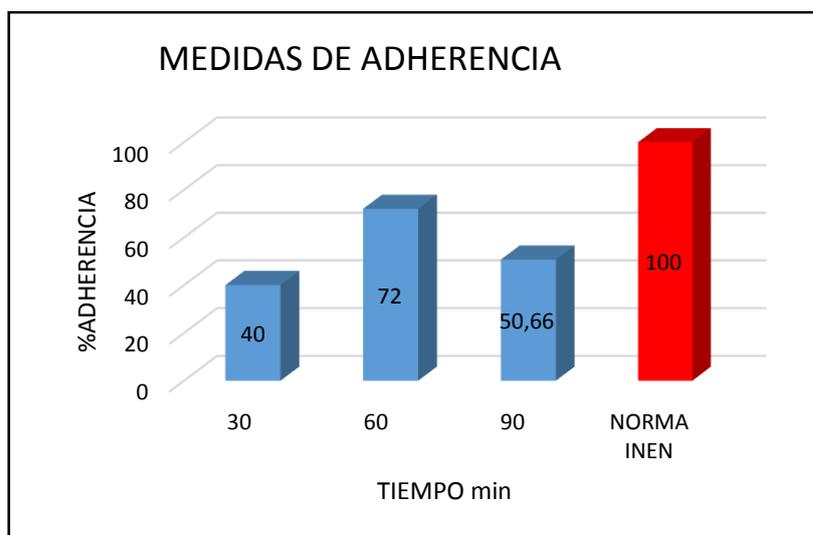
<b>CODIGO</b>	<b>VALORES %</b>
5B	100
4B	80
3B	60
2B	40
1B	20
0B	0

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.8** Pruebas de adherencia en porcentajes a temperatura de 30°C y tensión 6V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	20	20	40
<b>2</b>	40	100	60
<b>3</b>	60	100	40
<b>4</b>	40	100	20
<b>5</b>	40	40	80
<b>6</b>	20	20	40
<b>7</b>	40	100	60
<b>8</b>	60	100	40
<b>9</b>	40	100	20
<b>10</b>	40	40	80
<b>11</b>	20	20	40
<b>12</b>	40	100	60
<b>13</b>	60	100	40
<b>14</b>	40	100	60
<b>15</b>	40	40	80
<b>PROMEDIO</b>	<b>40</b>	<b>72</b>	<b>50,66</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.12** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 6V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.9** Prueba de adherencia a temperatura de 30°C y tensión de 7 V.

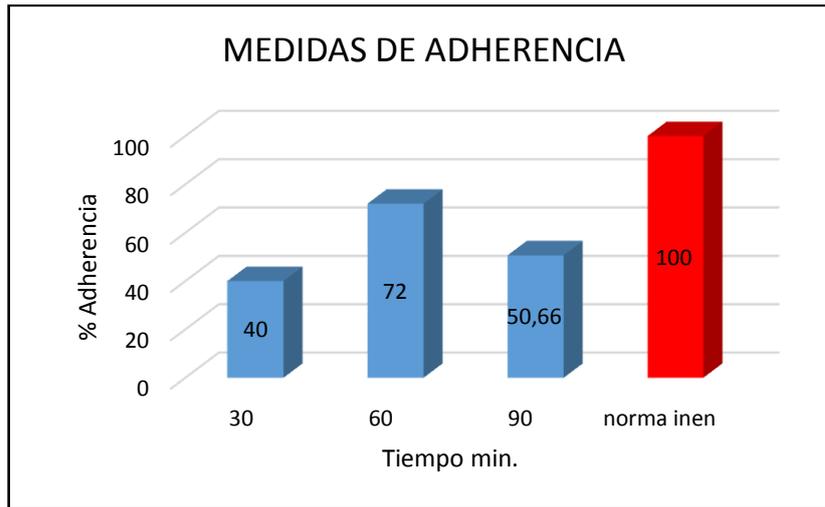
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	1B	2B	2B
<b>2</b>	2B	5B	3B
<b>3</b>	3B	5B	2B
<b>4</b>	3B	5B	2B
<b>5</b>	2B	2B	4B
<b>6</b>	1B	2B	2B
<b>7</b>	3B	5B	3B
<b>8</b>	3B	5B	2B
<b>9</b>	2B	5B	2B
<b>10</b>	2B	2B	4B
<b>11</b>	1B	2B	2B
<b>12</b>	2B	5B	3B
<b>13</b>	3B	5B	2B
<b>14</b>	2B	5B	3B
<b>15</b>	2B	2B	4B

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.10** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 30°C y tensión 7V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	20	20	40
<b>2</b>	40	100	60
<b>3</b>	60	100	40
<b>4</b>	40	100	20
<b>5</b>	40	40	80
<b>6</b>	20	20	40
<b>7</b>	40	100	60
<b>8</b>	60	100	40
<b>9</b>	40	100	20
<b>10</b>	40	40	80
<b>11</b>	20	20	40
<b>12</b>	40	100	60
<b>13</b>	60	100	40
<b>14</b>	40	100	60
<b>15</b>	40	40	80
<b>0</b>	<b>40</b>	<b>72</b>	<b>50,66</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.13** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 7V

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.11** Prueba de adherencia a temperatura de 30°C y tensión de 8 V.

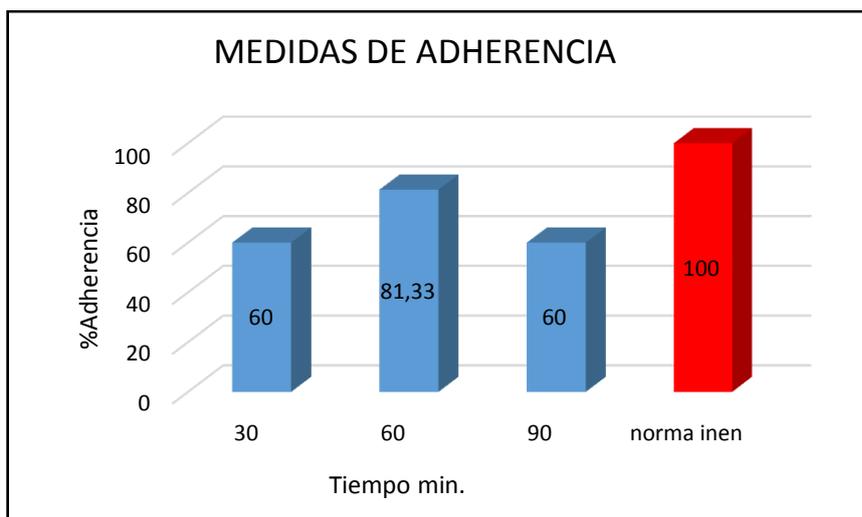
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	1B	3B	3B
<b>2</b>	2B	5B	3B
<b>3</b>	4B	5B	2B
<b>4</b>	5B	5B	3B
<b>5</b>	4B	2B	4B
<b>6</b>	2B	3B	3B
<b>7</b>	5B	5B	3B
<b>8</b>	5B	5B	2B
<b>9</b>	2B	5B	2B
<b>10</b>	2B	2B	4B
<b>11</b>	2B	3B	3B
<b>12</b>	2B	5B	3B
<b>13</b>	5B	5B	3B
<b>14</b>	2B	5B	3B
<b>15</b>	2B	3B	4B

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.12** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 30°C y tensión 8V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	20	60	60
<b>2</b>	40	100	60
<b>3</b>	80	100	40
<b>4</b>	100	100	60
<b>5</b>	80	40	80
<b>6</b>	40	60	60
<b>7</b>	100	100	60
<b>8</b>	100	100	40
<b>9</b>	40	100	40
<b>10</b>	40	40	80
<b>11</b>	40	60	60
<b>12</b>	40	100	60
<b>13</b>	100	100	60
<b>14</b>	40	100	60
<b>15</b>	40	60	80
<b>PROMEDIO</b>	<b>60</b>	<b>81,33</b>	<b>60</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.14** Comparación de la adherencia considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 30 ° C y tensión 8V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.13** Prueba de adherencia a temperatura de 35°C y tensión de 6 V.

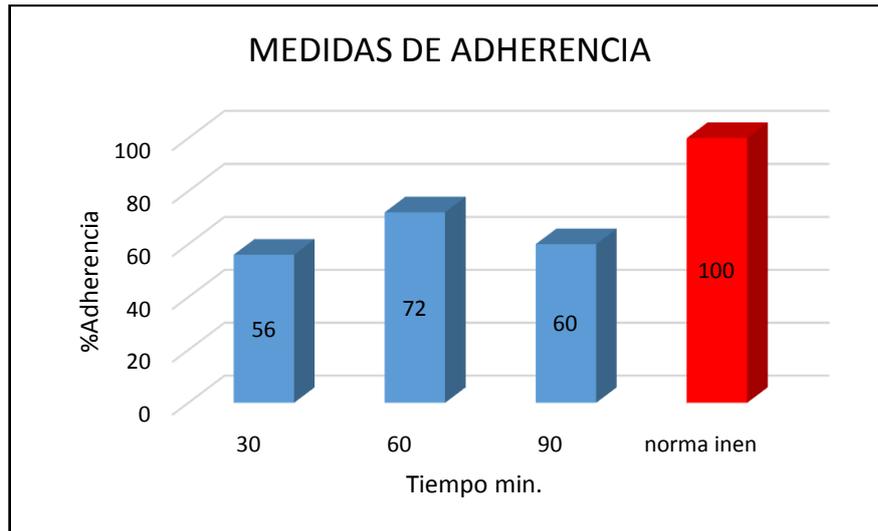
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	4B	3B	3B
<b>2</b>	4B	5B	3B
<b>3</b>	2B	4B	2B
<b>4</b>	2B	4B	3B
<b>5</b>	2B	2B	4B
<b>6</b>	4B	3B	3B
<b>7</b>	4B	5B	3B
<b>8</b>	2B	4B	2B
<b>9</b>	2B	4B	3B
<b>10</b>	2B	2B	4B
<b>11</b>	4B	3B	3B
<b>12</b>	4B	5B	3B
<b>13</b>	2B	4B	2B
<b>14</b>	2B	4B	3B
<b>15</b>	2B	2B	4B

Fuente:(El autor)

**Tabla 4.14** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 35°C y tensión 6V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	80	60	60
<b>2</b>	80	100	60
<b>3</b>	40	80	40
<b>4</b>	40	80	60
<b>5</b>	40	40	80
<b>6</b>	80	60	60
<b>7</b>	80	100	60
<b>8</b>	40	80	40
<b>9</b>	40	80	60
<b>10</b>	40	40	80
<b>11</b>	80	60	60
<b>12</b>	80	100	60
<b>13</b>	40	80	40
<b>14</b>	40	80	60
<b>15</b>	40	40	80
<b>PROMEDIO</b>	56	72	60

Fuente: (El autor)



**Figura 4.15** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 6V  
**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.15** Prueba de adherencia a temperatura de 35°C y tensión de 7 V.

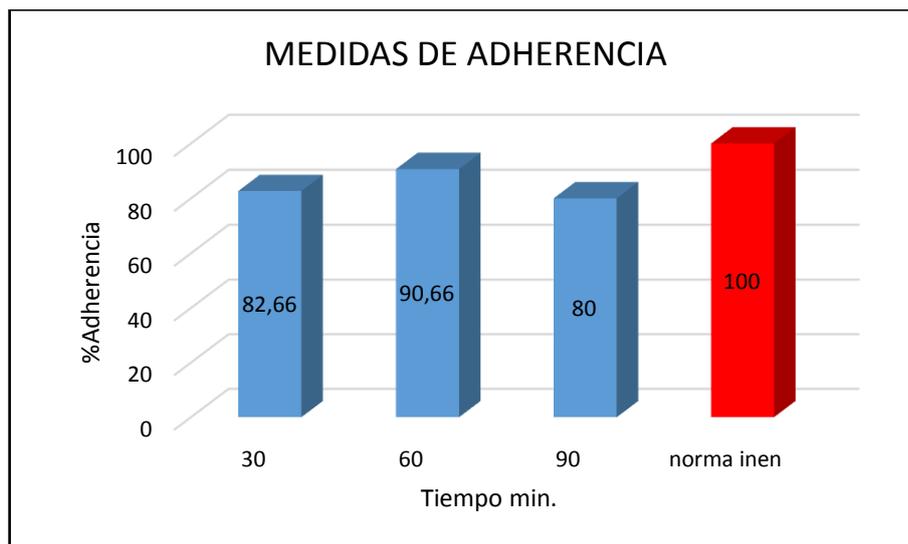
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 7V</b>			
<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
1	5B	5B	5B
2	2B	5B	3B
3	4B	5B	5B
4	5B	3B	5B
5	5B	5B	5B
6	5B	5B	3B
7	2B	5B	3B
8	4B	5B	5B
9	5B	3B	3B
10	5B	5B	5B
11	5B	5B	3B
12	2B	5B	5B
13	4B	5B	2B
14	5B	3B	3B
15	4B	4B	5B

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.16** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 35°C y tensión 7V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	100	100	100
<b>2</b>	40	100	60
<b>3</b>	80	100	100
<b>4</b>	100	60	100
<b>5</b>	100	100	100
<b>6</b>	100	100	60
<b>7</b>	40	100	60
<b>8</b>	80	100	100
<b>9</b>	100	60	60
<b>10</b>	100	100	100
<b>11</b>	100	100	60
<b>12</b>	40	100	100
<b>13</b>	80	100	40
<b>14</b>	100	60	60
<b>15</b>	80	80	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>82,66</b>	<b>90,66</b>	<b>80</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.16** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 7V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.17** Prueba de adherencia a temperatura de 35°C y tensión de 8 V.

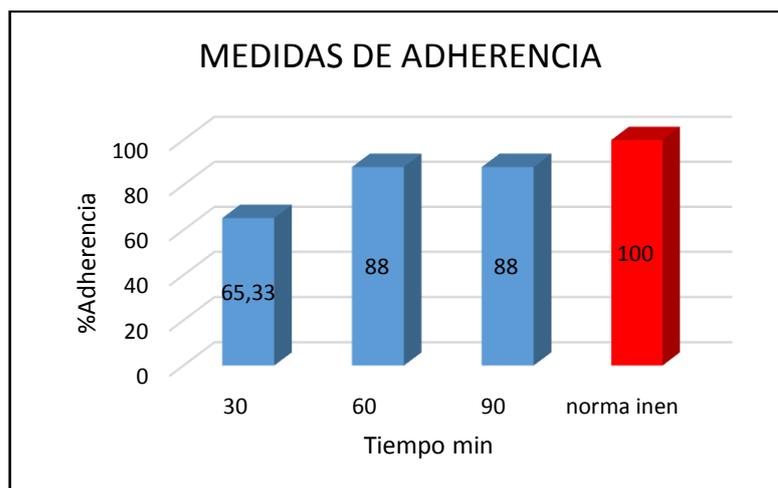
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	2B	5B	5B
<b>2</b>	5B	5B	5B
<b>3</b>	5B	5B	4B
<b>4</b>	2B	3B	5B
<b>5</b>	2B	5B	4B
<b>6</b>	2B	5B	5B
<b>7</b>	5B	5B	5B
<b>8</b>	5B	3B	4B
<b>9</b>	2B	5B	5B
<b>10</b>	2B	5B	4B
<b>11</b>	2B	5B	3B
<b>12</b>	5B	3B	4B
<b>13</b>	5B	5B	5B
<b>14</b>	3B	3B	3B
<b>15</b>	2B	4B	5B

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.18** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de trabajo 35°C y tensión 8V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	40	100	100
<b>2</b>	100	100	100
<b>3</b>	100	100	80
<b>4</b>	40	60	100
<b>5</b>	40	100	80
<b>6</b>	40	100	100
<b>7</b>	100	100	100
<b>8</b>	100	60	80
<b>9</b>	40	100	100
<b>10</b>	40	100	80
<b>11</b>	40	100	60
<b>12</b>	100	60	80
<b>13</b>	100	100	100
<b>14</b>	60	60	60
<b>15</b>	40	80	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>65,33</b>	<b>88</b>	<b>88</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.17** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C y tensión 8V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.19** Prueba de adherencia a temperatura de 40°C y tensión de 6 V.

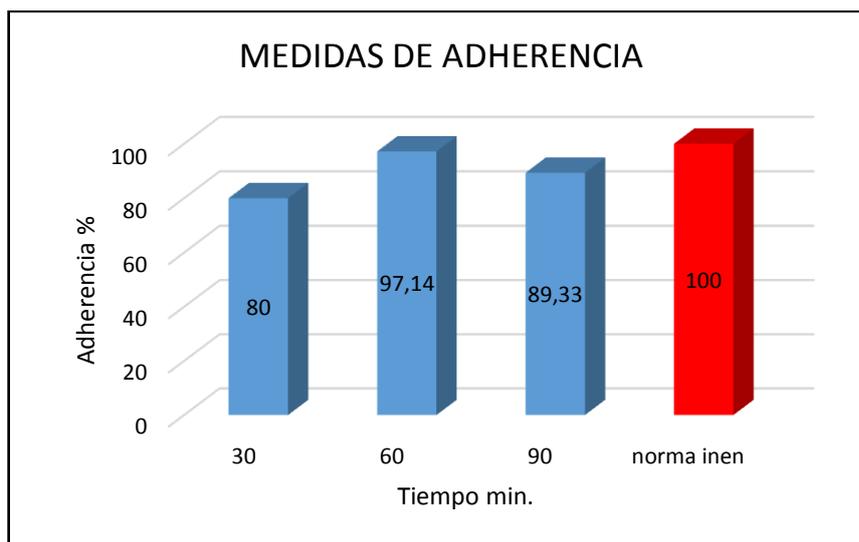
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	4B	5B	5B
<b>2</b>	1B	5B	5B
<b>3</b>	5B	5B	3B
<b>4</b>	5B	5B	5B
<b>5</b>	5B	5B	5B
<b>6</b>	4B	5B	5B
<b>7</b>	1B	5B	5B
<b>8</b>	5B	5B	2B
<b>9</b>	5B	5B	5B
<b>10</b>	5B	4B	5B
<b>11</b>	4B	5B	5B
<b>12</b>	1B	5B	3B
<b>13</b>	5B	5B	5B
<b>14</b>	5B	5B	4B
<b>15</b>	5B	4B	5B

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.20** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 40°C y tensión 6V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	80	100	100
<b>2</b>	20	100	100
<b>3</b>	100	100	60
<b>4</b>	100	100	100
<b>5</b>	100	100	100
<b>6</b>	80	100	100
<b>7</b>	20	100	100
<b>8</b>	100	100	40
<b>9</b>	100	100	100
<b>10</b>	100	80	100
<b>11</b>	80	100	100
<b>12</b>	20	100	60
<b>13</b>	100	100	100
<b>14</b>	100	100	80
<b>15</b>	100	80	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>80</b>	<b>97.14</b>	<b>89,33</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.18** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 6V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.21** Prueba de adherencia a temperatura de 40°C y tensión de 7 V.

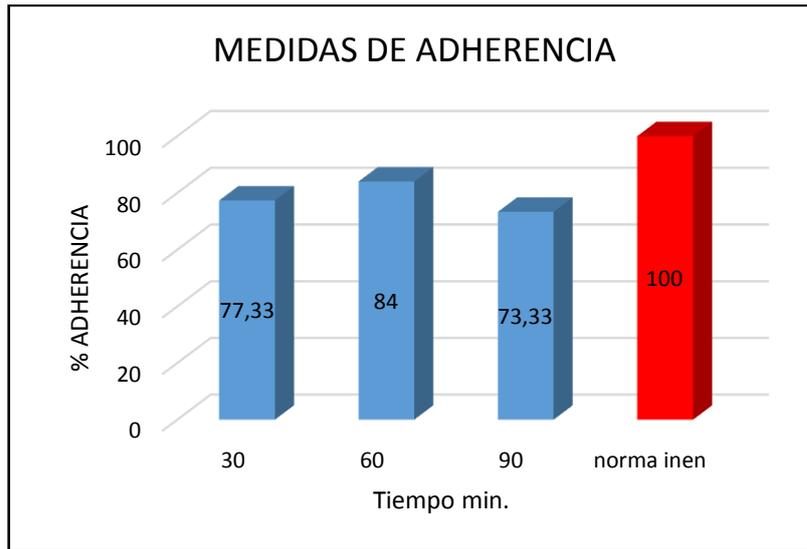
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	5B	5B	3B
<b>2</b>	0B	5B	3B
<b>3</b>	4B	5B	1B
<b>4</b>	5B	2B	5B
<b>5</b>	5B	5B	3B
<b>6</b>	4B	2B	5B
<b>7</b>	5B	5B	5B
<b>8</b>	5B	3B	3B
<b>9</b>	3B	5B	5B
<b>10</b>	5B	5B	5B
<b>11</b>	4B	5B	1B
<b>12</b>	1B	2B	2B
<b>13</b>	2B	4B	5B
<b>14</b>	5B	5B	4B
<b>15</b>	5B	5B	5B

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.22** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 40 ° C y tensión 7V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	100	100	60
<b>2</b>	0	100	60
<b>3</b>	80	100	20
<b>4</b>	100	40	100
<b>5</b>	100	100	60
<b>6</b>	80	40	100
<b>7</b>	100	100	100
<b>8</b>	100	60	60
<b>9</b>	60	100	100
<b>10</b>	100	100	100
<b>11</b>	80	100	20
<b>12</b>	20	40	40
<b>13</b>	40	80	100
<b>14</b>	100	100	80
<b>15</b>	100	100	100
<b>PROMEDIO</b>	<b>77.33</b>	<b>84</b>	<b>73.33</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.19** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 7V

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.23** Prueba de adherencia a temperatura de 40°C y tensión de 8 V.

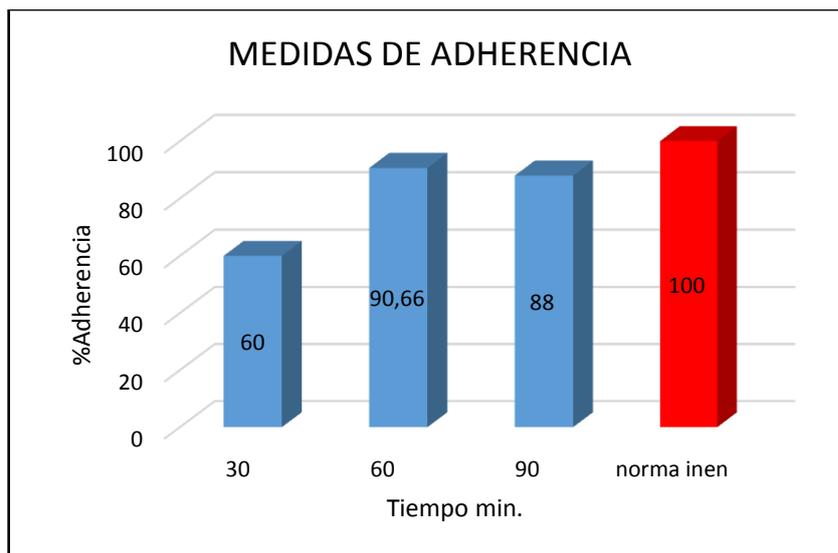
<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO</b>			
<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 8V</b>			
<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	1B	5B	5B
<b>2</b>	5B	5B	5B
<b>3</b>	5B	5B	4B
<b>4</b>	2B	3B	5B
<b>5</b>	2B	5B	4B
<b>6</b>	1B	5B	5B
<b>7</b>	5B	5B	5B
<b>8</b>	5B	5B	4B
<b>9</b>	2B	3B	5B
<b>10</b>	2B	5B	4B
<b>11</b>	2B	5B	4B
<b>12</b>	1B	5B	5B
<b>13</b>	5B	5B	4B
<b>14</b>	5B	3B	3B
<b>15</b>	2B	4B	4B

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.24** Prueba de adherencia en porcentajes a temperatura de 40 ° C y tensión 8V

<b>MEDIDAS DE ADHERENCIA DEL RECUBRIMIENTO (%)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	20	100	100
<b>2</b>	100	100	100
<b>3</b>	100	100	80
<b>4</b>	40	60	100
<b>5</b>	40	100	80
<b>6</b>	20	100	100
<b>7</b>	100	100	100
<b>8</b>	100	100	80
<b>9</b>	40	60	100
<b>10</b>	40	100	80
<b>11</b>	40	100	80
<b>12</b>	20	100	100
<b>13</b>	100	100	80
<b>14</b>	100	60	60
<b>15</b>	40	80	80
<b>PROMEDIO</b>	<b>60</b>	<b>90,66</b>	<b>88</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.20** Comparación de la adherencia, considerando la norma INEN 950 igual al 100% equivalente a 310 gr/cm<sup>2</sup> con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C y tensión 8V

Fuente: (El autor)

### Conclusión del ensayo.

- Una vez realizado el ensayo de adherencia variando los diferentes parámetros de trabajo se observa que varía por este efecto y con las figuras se nota que son menores a los de la norma INEN 950 que es igual  $310 \text{ gr/cm}^2$ .
- Los datos que se obtienen nos sirve para el análisis de resultados en el cual determinaremos el parámetro adecuado.

#### 4.1.11.2 Medición de la dureza

La lectura de la dureza de la capa níquel-cromo de los aros para los buses es muy importante porque son utilizados para medir su resistencia a la abrasión, es decir al contacto con granillos, polvos en el desempeño del elemento y corrosión de los medios agresivos con los que está en contacto.

Para evaluar la dureza se utiliza el durómetro del laboratorio de materiales de la Universidad de la Fuerzas Armadas (ESPE) sede Latacunga, con una escala de dureza Vickers y bajo la norma INEN 1058, ver tabla 4.25.

**Tabla 4.25** Escala de dureza del recubrimiento

<b>Condición del recubrimiento</b>	<b>Dureza Vickers (HV)</b>
Recubrimiento sin tratamiento térmico	800 a 1 100 HV
Después tratamiento térmico a 190-210°C.	800 a 1 100 HV
Después de tratamiento térmico a 440-480°C.	600 HV mínimo

**Fuente:** (INEN 1058)



**Figura 4.21** Medición de dureza

**Fuente:** (El autor)

## **Parámetros para ensayo de dureza**

### **1. OBJETIVO:**

- Determinar el grado de dureza de la capa Ni+Cr a diferentes parámetros de trabajo sobre la superficie del aro de los buses.
- Aportar con los datos obtenidos en la determinación de los parámetros adecuados para el proceso del recubrimiento metálico.

### **2. ALCANCE:**

Cumple con las especificaciones para el recubrimiento metálico de la capa Ni+Cr que se utilizara en los aros de los buses.

### **3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:**

Los documentos en los cuales se basa el experimento son la norma NEN 1058 ( 800 – 1100)HV

### **4. GENERALIZACION:**

Al realizar el ensayo de dureza de la capa Ni+Cr sobre la superficie de las probetas de los aros para los buses, permite obtener datos que nos servira para el estudio de los parametros adecuados del proceso.

### **5. REALIZACION:**

El ensayo se realiza de siguiente manera :

- Se obtienen las probetas cromadas variando los parametros de tiempo, temperatura y voltaje.
- En el estudio se realiza varios ensayos tomando en cuenta las 15 muestras predeterminadas y que se obtubieron combinando los parametros de trabajo anteriormente mencionados
- Se elaboran tablas combinando estos parametros con diferentes condiciones de trabajo

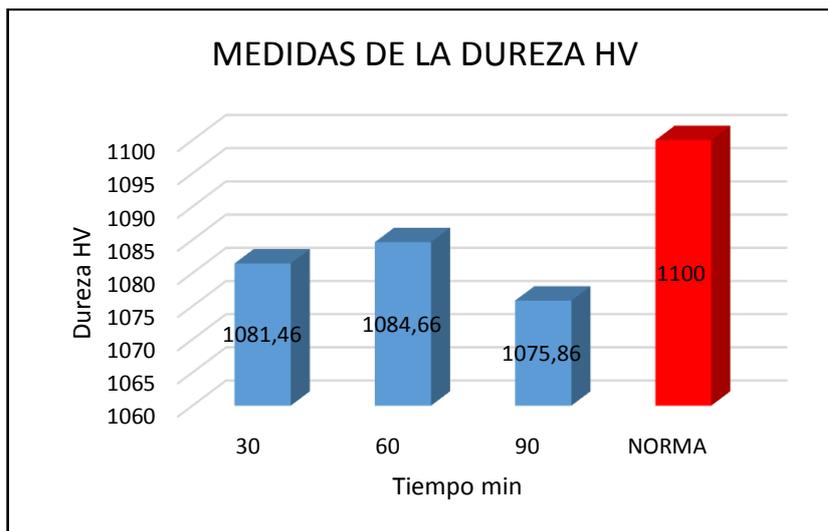
- De la misma manera se realizan diagramas de barras para comparar los resultados que se obtienen en los diferentes ensayos con los datos que proporciona la norma INEN 1058
- Con los resultados de las tablas y figuras en la parte correspondiente al análisis de resultados determinaremos la mejor alternativa.

#### 4.1.11.1.4 Elaboración de tablas de las pruebas de dureza

**Tabla 4.26** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 30°C y tensión de 6V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	920	950	937
<b>2</b>	928	950	937
<b>3</b>	975	915	937
<b>4</b>	975	1015	956
<b>5</b>	975	1010	1130
<b>6</b>	995	1020	975
<b>7</b>	1015	1058	975
<b>8</b>	1015	1020	1015
<b>9</b>	1103	1058	1010
<b>10</b>	1151	1112	1058
<b>11</b>	1151	1103	1158
<b>12</b>	1201	1151	1286
<b>13</b>	1254	1254	1103
<b>14</b>	1254	1254	1230
<b>15</b>	1310	1400	1431
<b>PROMEDIO</b>	<b>1081,46</b>	<b>1084,66</b>	<b>1075,86</b>

Fuente: (El autor)



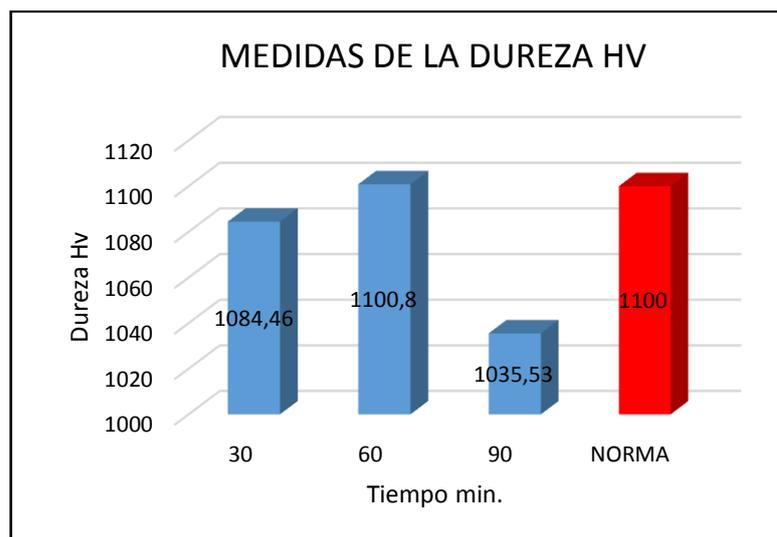
**Figura 4.22** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 °C y tensión 6V con el valor de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.27** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 30°C y tensión de 7V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 °C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	937	975	937
<b>2</b>	956	995	937
<b>3</b>	975	1015	937
<b>4</b>	975	1015	956
<b>5</b>	975	1015	975
<b>6</b>	995	1058	975
<b>7</b>	1015	1058	975
<b>8</b>	1015	1058	1015
<b>9</b>	1103	1058	1015
<b>10</b>	1151	1103	1058
<b>11</b>	1151	1103	1058
<b>12</b>	1201	1151	1058
<b>13</b>	1254	1254	1103
<b>14</b>	1254	1254	1103
<b>15</b>	1310	1400	1431
<b>PROMEDIO</b>	<b>1084,46</b>	<b>1100,80</b>	<b>1035,53</b>

**Fuente:** (El autor)



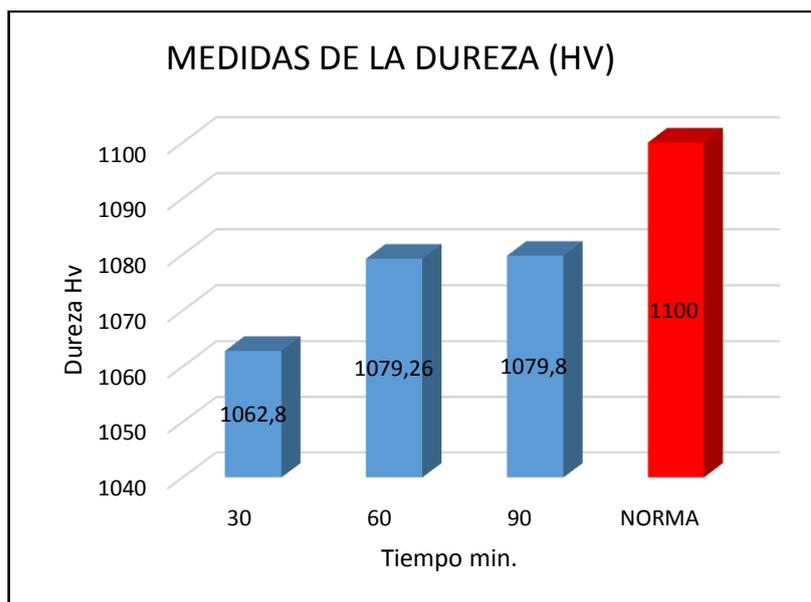
**Figura 4.23** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30° C con tensión 7V con la de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.28** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 30°C y tensión de 8V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	937	1023	937
<b>2</b>	1152	995	937
<b>3</b>	975	1015	1230
<b>4</b>	975	1015	1120
<b>5</b>	1010	1020	975
<b>6</b>	995	1058	1120
<b>7</b>	1125	1058	975
<b>8</b>	1015	1062	1015
<b>9</b>	1125	1058	1015
<b>10</b>	1151	1103	1058
<b>11</b>	1051	1103	1120
<b>12</b>	1056	1055	1058
<b>13</b>	1125	1254	1103
<b>14</b>	1125	1120	1103
<b>15</b>	1125	1250	1431
<b>PROMEDIO</b>	<b>1062,80</b>	<b>1079,26</b>	<b>1079,80</b>

**Fuente:** (El autor)

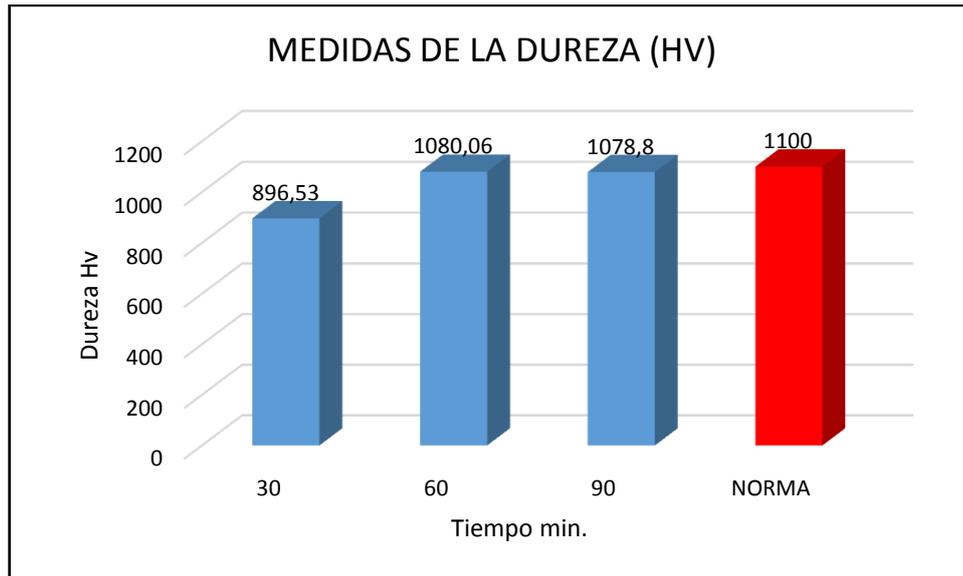


**Figura 4.24** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 °C con tensión 8V con la de la norma INEN 1058  
**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.29** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 35°C y tensión de 6V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 °C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	722	1151	1058
<b>2</b>	1015	1497	937
<b>3</b>	937	789	1103
<b>4</b>	918	901	1080
<b>5</b>	975	901	1201
<b>6</b>	1015	1497	1103
<b>7</b>	722	1151	1080
<b>8</b>	937	789	937
<b>9</b>	722	901	1058
<b>10</b>	1015	1497	1201
<b>11</b>	722	1151	1080
<b>12</b>	975	901	1201
<b>13</b>	918	789	1103
<b>14</b>	918	1497	1103
<b>15</b>	937	789	937
<b>PROMEDIO</b>	<b>896,53</b>	<b>1080,06</b>	<b>1078,8</b>

**Fuente:** (El autor)



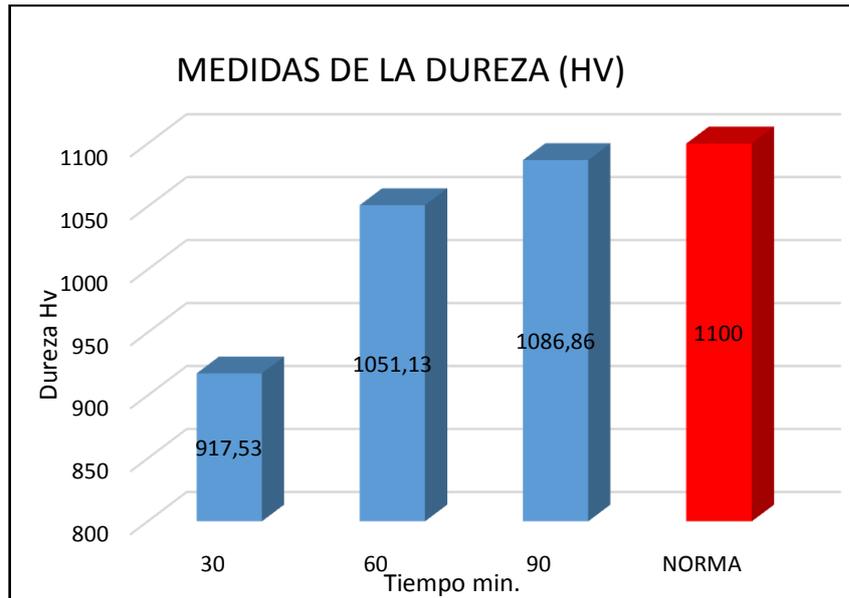
**Figura 4.25** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 °C con tensión 6V la de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.30** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 35°C y tensión de 7V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 °C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
1	822	1100	1058
2	1015	1320	1050
3	937	789	1103
4	938	950	1100
5	975	950	1150
6	1015	1320	1020
7	822	1250	1180
8	937	820	1030
9	822	1010	1086
10	1010	1230	1102
11	722	1151	1080
12	975	901	1201
13	918	789	1103
14	918	1398	1103
15	937	789	937
<b>PROMEDIO</b>	<b>917,53</b>	<b>1051,13</b>	<b>1086,86</b>

**Fuente:** (El autor)



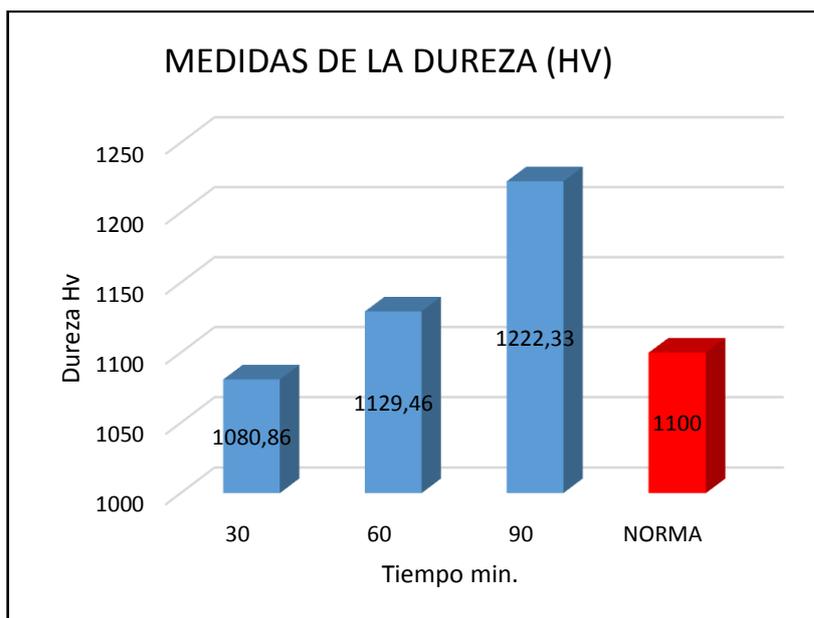
**Figura 4.26** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 ° C con tensión 7V y la de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.31** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 35°C y tensión de 8V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	950	980	1151
<b>2</b>	990	1125	925
<b>3</b>	867	819	1350
<b>4</b>	1800	1127	950
<b>5</b>	1196	1490	1210
<b>6</b>	834	956	1280
<b>7</b>	1080	1190	1350
<b>8</b>	901	834	995
<b>9</b>	1120	1220	1254
<b>10</b>	1254	1350	1339
<b>11</b>	950	995	1320
<b>12</b>	1227	1140	1230
<b>13</b>	1151	1497	1300
<b>14</b>	918	1400	1250
<b>15</b>	<b>975</b>	819	1431
<b>PROMEDIO</b>	<b>1080,86</b>	<b>1129,46</b>	<b>1222,33</b>

**Fuente:** (El autor)



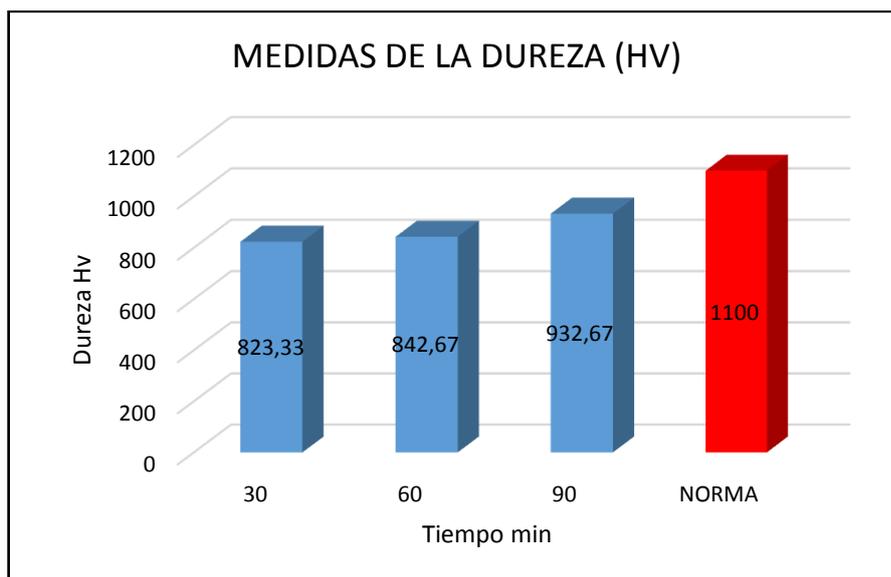
**Figura 4.27** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 °C con tensión 8V y la de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.32** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 40°C y tensión de 6V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 °C Y TENSIÓN 6V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	820	1000	900
<b>2</b>	940	580	1000
<b>3</b>	1000	1000	920
<b>4</b>	1000	1000	840
<b>5</b>	1000	740	1000
<b>6</b>	940	840	930
<b>7</b>	940	1000	900
<b>8</b>	580	580	1000
<b>9</b>	1000	1000	840
<b>10</b>	700	1000	920
<b>11</b>	620	1000	920
<b>12</b>	520	580	1000
<b>13</b>	880	760	920
<b>14</b>	700	840	920
<b>15</b>	710	720	980
<b>PROMEDIO</b>	<b>823.33</b>	<b>842.67</b>	<b>932.67</b>

**Fuente:** (El autor)



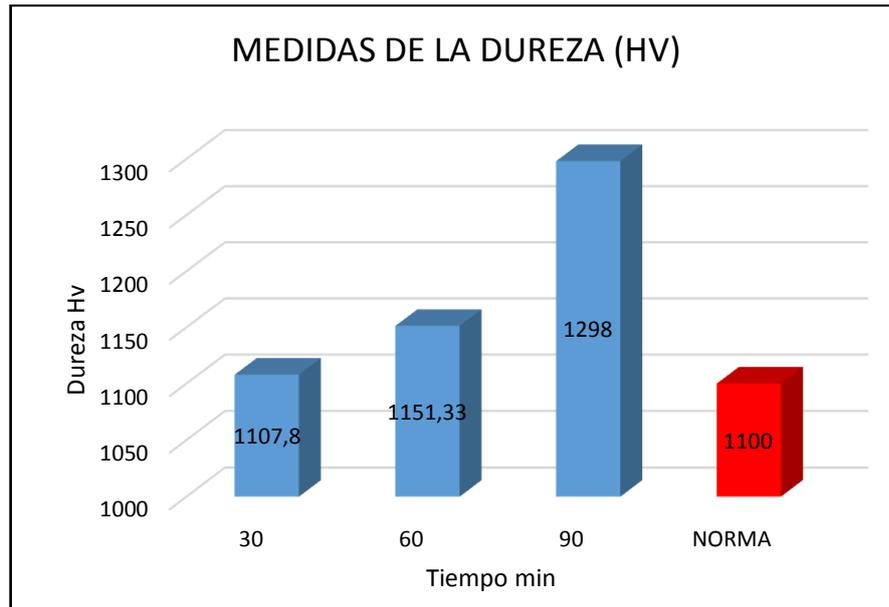
**Figura 4.28** Comparación de la dureza obtenida bajo con las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C, tensión 6V con la de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.33** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 40°C y tensión de 7V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 7V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	901	937	1151
<b>2</b>	1058	1151	956
<b>3</b>	867	819	1497
<b>4</b>	2211	1227	975
<b>5</b>	1201	1497	1310
<b>6</b>	834	956	1431
<b>7</b>	1080	1201	1400
<b>8</b>	901	834	995
<b>9</b>	1103	1310	1254
<b>10</b>	1254	1400	1339
<b>11</b>	937	995	1431
<b>12</b>	1227	1227	1497
<b>13</b>	1151	1497	1464
<b>14</b>	918	1400	1339
<b>15</b>	975	819	1431
<b>PROMEDIO</b>	<b>1107,86</b>	<b>1151,33</b>	<b>1298</b>

**Fuente:** (El autor)



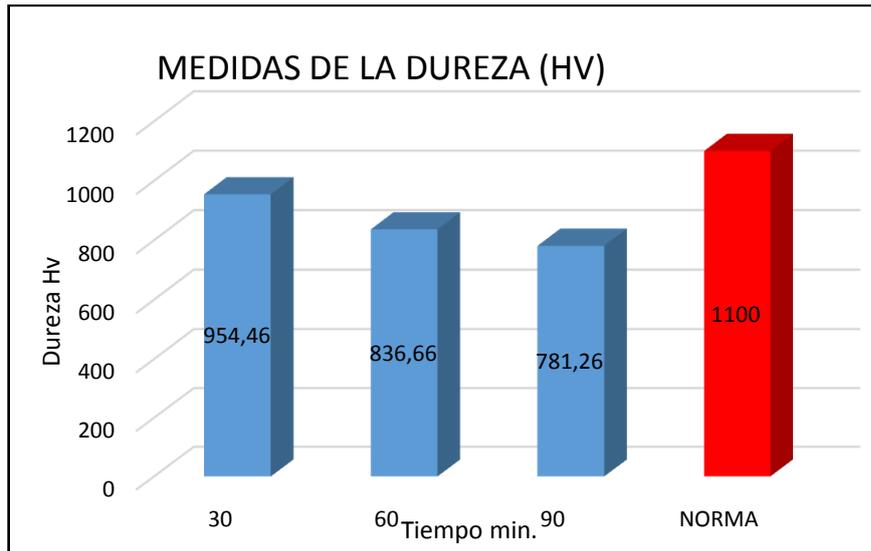
**Figura 4.29** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C , tensión 7V con la de la norma INEN 1058

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.34** Dureza Vickers a temperatura de trabajo 40°C y tensión de 8V

<b>MEDICIÓN DE LA DUREZA DEL RECUBRIMIENTO (HV)</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40 ° C Y TENSIÓN 8V</b>		
	<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO DE NÍQUEL</b>		
	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
<b>1</b>	1015	883	804
<b>2</b>	975	789	775
<b>3</b>	789	748	761
<b>4</b>	975	937	804
<b>5</b>	1015	867	804
<b>6</b>	1015	867	804
<b>7</b>	789	748	735
<b>8</b>	1015	867	834
<b>9</b>	975	804	775
<b>10</b>	975	804	722
<b>11</b>	975	775	761
<b>12</b>	937	901	804
<b>13</b>	789	722	698
<b>14</b>	1103	901	834
<b>15</b>	975	937	804
<b>PROMEDIO</b>	<b>954,46</b>	<b>836,66</b>	<b>781,26</b>

**Fuente:** (El autor)



**Figura 4.30** Comparación de la dureza obtenida bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 ° C, tensión 8V con la de la norma INEN 1058.

**Fuente:** (El autor)

### **Conclusión del ensayo.**

-Una vez realizado el ensayo de dureza variando los diferentes parámetros de trabajo se observa que la dureza también cambia por este efecto y con los figuras se nota que son menores a los de la norma INEN 1058.

-Los datos que se obtienen nos sirve para el análisis de resultados en el cual determinaremos el parámetro adecuado

#### 4.1.11.3 Medición de espesores del recubrimiento metálico.

Para medir el espesor del depósito de níquel + cromo se utiliza equipos o instrumentos a base del principio de inducción magnética o el principio de corriente de Foucault, dependiendo del tipo de sensor de la sonda (Fe o No Fe).

Para obtener la lectura de los espesores se utiliza el “Medidor de espesor de pintura y recubrimiento metálicos DT-156” que es un calibrador compacto y práctico diseñado para la medición de espesores de recubrimiento no-destrutivo, rápido y preciso con rango de medida 0 ~ 1250  $\mu\text{m}$  / 0 ~ 50 mil.



**Figura 4.31** Equipo de medición de espesores  
**Fuente:** (El autor)

En esta fase los espesores se determinan por la norma INEN 954 para índices de servicio 1 cuyo espesor de la capa de níquel es de 10 a 12  $\mu\text{m}$  y la de cromo 0.3  $\mu\text{m}$ , que esta especificada en 2.5.8.2 del documento ver tabla 4.35.

**Tabla 4.35** Espesores de recubrimiento níquel + cromo ( $\mu\text{m}$ ), [9]

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Recubrimiento- abreviatura	Espesor mínimo Ni ( $\mu\text{m}$ )	Índice de servicio
<b>Sobre acero o fundición</b>		
Fe/el Ni 10 b Cr 0.3 r (Fe/el Ni 12 b Cr 0.3 r)	10 (12)	1
Fe/el Ni 12 v Cr 0.3 r	20	2
Fe/el Ni 25 d Cr 0.3 mp	25	3
Fe/el Ni 25 d Cr 0.3 mc	25	
Fe/el Ni 30 d Cr 0.8 f	30	
Fe/el Ni 30 de Cr 0.3 r	30	
Fe/el Ni 25 p Cr 0.3 mp	25	

### **Parámetros para ensayo de espesores del recubrimiento metálico**

#### **1. OBJETIVO:**

-Determinar el espesor de la capa Ni+Cr a diferentes parámetros de trabajo sobre la superficie del aro de los buses.

-Aportar con los datos obtenidos en la determinación de los parámetros adecuados para el proceso del recubrimiento metálico.

#### **2. ALCANCE:**

Cumple con las especificaciones para el recubrimiento metálico de la capa Ni+Cr que se utilizara en los aros de los buses.

#### **3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:**

Los documentos en los cuales se basa el experimento son la norma INEN 954

#### **4. GENERALIZACION:**

Al realizar el ensayo de espesor de la capa Ni+Cr sobre la superficie de las probetas de los aros para los buses, permite obtener datos que nos servira para el estudio de los parametros adecuados para el proceso.

#### **5. REALIZACION:**

El ensayo se realiza de siguiente manera :

- Se obtienen las probetas cromadas variando los parametros de tiempo, temperatura y voltaje.
- Para el estudio se realiza varios ensayos tomando en cuenta las 15 muestras predeterminadas y que son obtenidas combinando los parametros de trabajo anteriormente mencionados
- Se elaboran tablas combinando estos parametros con diferentes condiciones de trabajo
- De la misma manera se realizan diagramas de barras para comparar los resultados que se obtienen en los diferentes ensayos con los datos que proporciona la norma INEN 954
- Con los resultados de las tablas y figuras en la parte correspondiente al analisis de resultados determinaremos la mejor alternativa.

#### 4.1.11.1.5 Elaboración de tablas de las pruebas de espesor de capa

**Tabla 4.36** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
<b>MUESTRAS</b>	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	3,8	4,1	4,6	3,8	4,5	4,16
<b>2</b>	3,3	3,2	3,6	3,8	4,1	3,6
<b>3</b>	3,6	4,6	4,3	4,4	4,2	4,22
<b>4</b>	3,6	4,6	4,4	4,3	4,1	4,2
<b>5</b>	3,6	4,3	3,8	3,4	4,5	3,92
<b>6</b>	4,3	4,6	4,3	4,2	4,1	4,3
<b>7</b>	4,8	4,7	4,6	4,1	5,8	4,8
<b>8</b>	4,1	4,8	4,6	5,3	5,3	4,82
<b>9</b>	4,2	4,8	4,9	4,6	4,2	4,54
<b>10</b>	4,8	5,3	5,1	4,6	5,4	5,04
<b>11</b>	4,3	4,8	5,6	4,3	5,2	4,84
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	4,7	4,6	4,3	4,8	4,1	4,5
<b>14</b>	6,3	6,1	5,8	4,7	4,2	5,42
<b>15</b>	5,4	5,7	5,6	5,4	5,5	5,52
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>4,568</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.37** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min

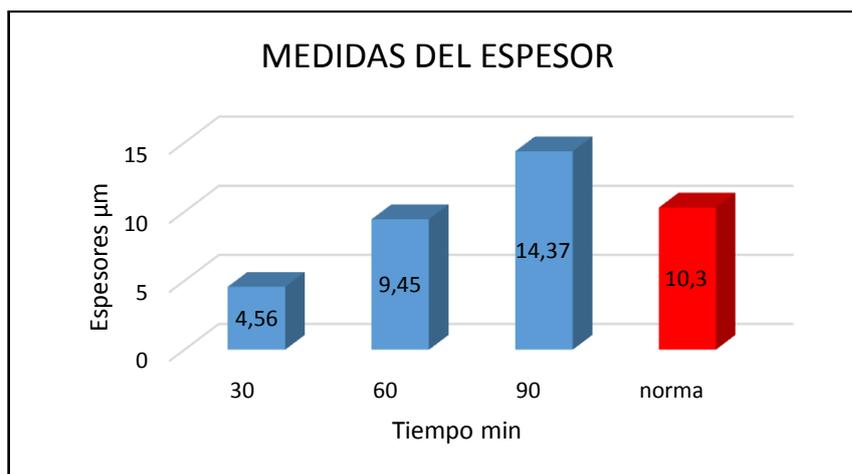
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MUESTRAS</b>						
<b>1</b>	8,3	8,4	8,5	8,8	9,8	8,76
<b>2</b>	8,8	8,7	9,2	8,6	9,6	8,98
<b>3</b>	8,8	8,5	8,8	9,4	9,6	9,02
<b>4</b>	8,8	8,1	8,5	8,8	8,3	8,5
<b>5</b>	9,2	9,8	8,5	8,8	9,8	9,22
<b>6</b>	9,8	8,6	8,6	9,2	8,5	8,94
<b>7</b>	9,3	10,3	9,6	9,6	9,6	9,68
<b>8</b>	9,6	8,3	9,1	8,6	9,5	9,02
<b>9</b>	9,6	9,6	9,6	10,2	11,2	10,04
<b>10</b>	9,6	9,2	9,6	9,5	9,2	9,42
<b>11</b>	10,5	9,6	10,5	10,1	10,3	10,2
<b>12</b>	9,4	9,8	9,9	9,7	9,3	9,62
<b>13</b>	10,3	10,5	10,6	12,2	9,8	10,68
<b>14</b>	9,8	9,7	9,6	9,8	10,2	9,82
<b>15</b>	10,6	10,5	9,6	9,5	9,4	9,92
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>9,45</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.38** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MUESTRAS</b>						
<b>1</b>	13,8	12,8	13,6	13,3	14,1	13,52
<b>2</b>	14,1	13,7	13,8	14,1	14,1	13,96
<b>3</b>	14,3	13,8	13,8	14,1	14,6	14,12
<b>4</b>	14,2	14,3	14,3	13,8	14,3	14,18
<b>5</b>	14,7	13,8	13,9	14,1	14,3	14,16
<b>6</b>	14,8	14,6	14,3	14,8	15,2	14,74
<b>7</b>	13,6	13,7	13,8	13,5	14,1	13,74
<b>8</b>	14,1	14,1	14,3	14,1	14,2	14,16
<b>9</b>	14,5	14,2	14,8	14,6	14,6	14,54
<b>10</b>	14,3	14,5	14,2	14,3	15,4	14,54
<b>11</b>	14,2	14,3	14,1	14,6	14,8	14,4
<b>12</b>	15,3	14,3	14,2	14,2	14,3	14,46
<b>13</b>	16,9	14,4	14,1	15,3	15,6	15,26
<b>14</b>	15,3	15,3	14,8	15,3	14,8	15,1
<b>15</b>	14,3	14,1	15,1	14,8	15,4	14,74
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>14,37</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.32** Comparación de espesores de la capa níquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 °C y tensión 6V

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.39** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	4,2	4,2	3,6	3,6	4,4	4
<b>2</b>	4,3	4,5	4,2	4,6	4,9	4,5
<b>3</b>	4,6	4,5	4,3	4,7	4,4	4,5
<b>4</b>	4,3	4,6	4,3	4,8	4,1	4,42
<b>5</b>	4,5	4,2	4,3	4,1	4,5	4,32
<b>6</b>	4,3	4,1	4,3	4,5	5,1	4,46
<b>7</b>	4,6	4,4	4,3	4,2	4,4	4,38
<b>8</b>	4,1	4,8	4,6	4,7	4,3	4,5
<b>9</b>	4,3	4,8	5,4	4,6	4,2	4,66
<b>10</b>	4,4	4,3	5,1	5	4,4	4,64
<b>11</b>	4,6	4,8	4,8	4,6	4,8	4,72
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	4,7	4,6	5,3	4,6	4,3	4,7
<b>14</b>	4,6	4,1	4,8	4,7	4,2	4,48
<b>15</b>	5,4	5,7	4,6	5,4	4,5	5,12
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>4,53</b>

**Fuente:** (El autor)

**Tabla 4.40** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 60 min

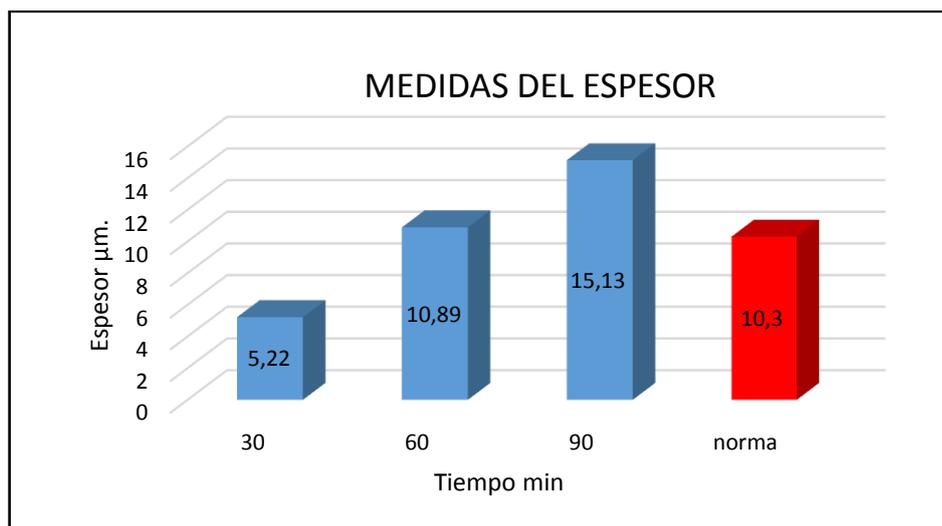
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	8,2	8,4	8,3	8,1	8,8	8,36
2	8,6	8,9	8,9	10,2	10,1	9,34
3	10,1	9,2	9,8	9,5	10,2	9,76
4	8,2	8,7	10,5	9,8	8,2	9,08
5	8,7	8,8	9,5	8,6	8,8	8,88
6	9,8	10,9	9,6	9,8	10,5	10,12
7	10,8	10,3	9,8	10,1	10,2	10,24
8	9,7	9,6	10,3	9,6	10,5	9,94
9	9,8	10,6	9,5	11,3	11,4	10,52
10	11,2	9,6	10,5	9,5	10,2	10,2
11	10,5	11,6	11,6	11,8	11,8	11,46
12	11,5	10,8	10,9	10,7	10,3	10,84
13	12,3	10,3	10,5	10,2	10,8	10,82
14	11,8	10,7	11,6	11,8	12	11,58
15	10,3	12,5	10,8	10,3	11,8	11,14
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>10,15</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.41** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	14,3	13,8	13,5	13,6	14,6	13,96
2	15,4	14,8	13,8	14,6	12,3	14,18
3	14,3	13,2	14,3	14,3	14,2	14,06
4	14,8	14,9	14,3	14,6	14,4	14,6
5	13,8	14,7	14,6	14,4	14,4	14,38
6	14,8	14,6	14,3	14,5	14,3	14,5
7	14,7	14,3	14,2	15,4	14,3	14,58
8	14,9	14,8	14,4	14,8	15,2	14,82
9	14,6	14,8	14,2	14,6	14,5	14,54
10	14,4	16,8	15,8	15,6	15,4	15,6
11	14,5	14,8	14,4	14,3	14,1	14,42
12	16,3	16,8	16,7	14,7	14,5	15,8
13	16,9	16,4	14,3	16,4	14,6	15,72
14	14,2	14,6	14,6	14,7	14,8	14,58
15	14,2	14,1	15,2	15,7	15,5	14,94
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>14,712</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.33** Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo  $30^{\circ}\text{C}$  y tensión 7V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.42** Espesor bajo la temperatura de trabajo  $30^{\circ}\text{C}$ , Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
<b>TEMPERATURA DE TRABAJO <math>30^{\circ}\text{C}</math>, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>						
<b>LECTURAS</b>						
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	4,5	4,3	4,8	4,8	4,8	4,64
<b>2</b>	4,3	4,5	4,6	4,8	4,4	4,52
<b>3</b>	5,6	5,5	5,3	5,8	5,4	5,52
<b>4</b>	4,8	4,4	4,5	4,8	5,4	4,78
<b>5</b>	5,7	5,6	6,1	5,4	6,5	5,86
<b>6</b>	4,6	5,1	4,8	4,3	4,1	4,58
<b>7</b>	4,8	4,7	5,6	5,1	4,8	5
<b>8</b>	4,1	5,8	4,6	4,1	4,3	4,58
<b>9</b>	5,2	4,4	4,7	5,6	4,2	4,82
<b>10</b>	5,4	4,3	5,1	4,5	5,4	4,94
<b>11</b>	5,6	4,3	5,1	4,6	4,8	4,88
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	4,3	5,6	5,3	4,2	5,1	4,9
<b>14</b>	5,3	5,1	5,8	5,7	5,2	5,42
<b>15</b>	5,4	5,7	4,6	5,4	5,5	5,32
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>4,96</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.43** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 60 min

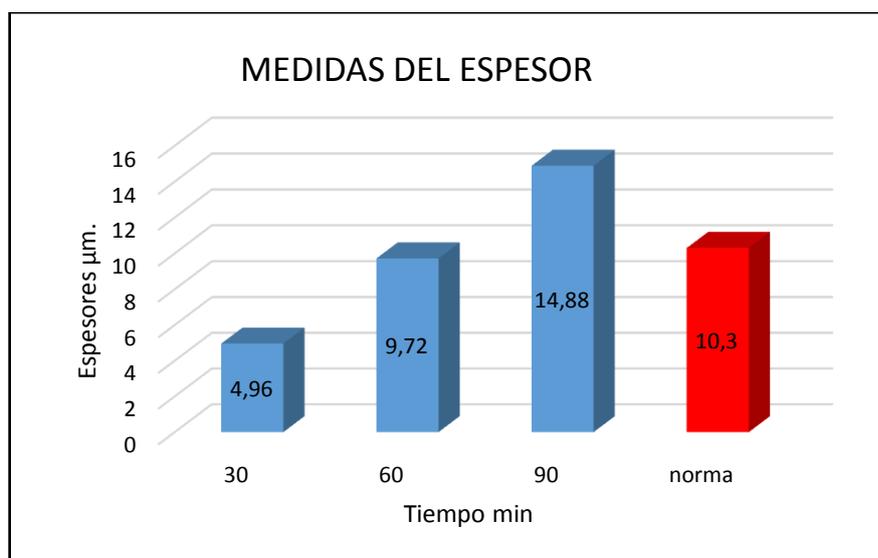
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	8,2	8,8	8,8	9,6	8,5	8,78
<b>2</b>	8,5	8,9	8,2	8,8	8,2	8,52
<b>3</b>	9,7	9,6	9,8	9,6	9,8	9,7
<b>4</b>	9,8	9,8	9,5	9,8	9,5	9,68
<b>5</b>	10,2	9,8	9,2	9,2	9,1	9,5
<b>6</b>	9,8	9,9	9,6	9,8	9,5	9,72
<b>7</b>	9,8	9,6	9,8	9,5	9,3	9,6
<b>8</b>	9,7	9,6	9,6	12,6	10,1	10,32
<b>9</b>	10,8	11,6	10,9	10,3	11,4	11
<b>10</b>	10,5	9,8	9,8	9,5	10,8	10,08
<b>11</b>	11,2	9,6	9,3	9,8	9,8	9,94
<b>12</b>	9,5	9,8	9,9	9,2	9,3	9,54
<b>13</b>	9,3	9,6	9,5	9,2	9,6	9,44
<b>14</b>	9,8	9,7	10,2	9,6	9,8	9,82
<b>15</b>	9,3	10,8	9,8	11,3	9,8	10,2
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>9,72</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.44** Espesor bajo la temperatura de trabajo 30°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 30°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	14,3	14,8	14,7	14,6	14,6	14,6
<b>2</b>	14,4	14,8	14,6	14,1	14,7	14,52
<b>3</b>	14,1	14,2	14,8	14,4	14,3	14,36
<b>4</b>	14,1	14,1	14	15,2	15,4	14,56
<b>5</b>	15,4	15,7	14,4	14,4	15,4	15,06
<b>6</b>	15,2	15,6	15,4	15,3	15,1	15,32
<b>7</b>	14,2	14,4	14,2	14,4	14,8	14,4
<b>8</b>	14,9	14,2	14,2	14,1	15,2	14,52
<b>9</b>	15,8	15,8	15,3	15,7	16	15,72
<b>10</b>	15	14,2	14,2	14,6	15,4	14,68
<b>11</b>	15,3	15,8	15,4	15,3	15,4	15,44
<b>12</b>	15,2	14,2	14,4	14,3	14,5	14,52
<b>13</b>	15,2	16,4	15,2	14,3	14,3	15,08
<b>14</b>	14,4	15,4	15,6	15,7	15,8	15,38
<b>15</b>	15,2	14,1	14,8	15,7	15,5	15,06
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>14,88</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.34** Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954. bajo las condiciones de temperatura de trabajo 30 °C y tensión 8V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.45** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	4,8	5,1	5,6	4,8	4,5	4,96
2	4,3	4,2	4,6	4,8	4,1	4,4
3	4,6	5,6	5,3	5,4	5,2	5,22
4	4,6	4,6	5,4	5,3	5,1	5
5	4,6	5,3	4,8	4,4	4,5	4,72
6	5,3	5,6	5,2	5,2	5,1	5,28
7	5,8	5,7	5,6	6,1	5,8	5,8
8	4,1	4,8	4,6	5,3	5,3	4,82
9	5,2	5,8	4,9	5,6	6,2	5,54
10	4,8	5,3	5,1	4,6	5,4	5,04
11	4,3	4,8	5,6	4,3	5,2	4,84
12	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
13	5,7	4,6	5,3	4,8	6,1	5,3
14	6,3	6,1	5,8	5,7	6,2	6,02
15	5,4	5,7	5,6	5,4	5,5	5,52
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>5,14</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.46** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 60 min

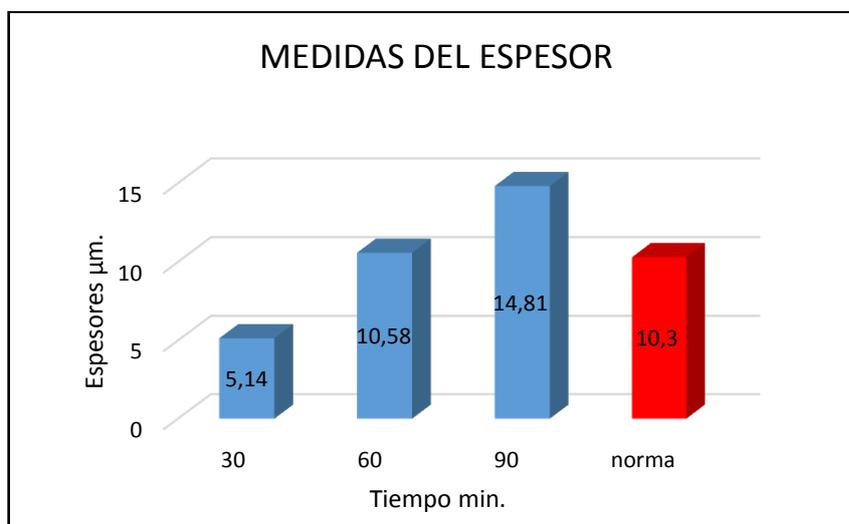
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	9,3	9,4	9,5	9,8	10,8	9,76
2	9,8	9,7	10,2	9,6	10,6	9,98
3	9,8	9,5	9,8	10,4	11,6	10,22
4	9,8	9	10,5	10,8	10,3	10,08
5	10,2	10,8	9,5	9,8	10,8	10,22
6	10,8	9,6	10,6	9,8	10,5	10,26
7	11,8	12	9,8	9,6	10,5	10,74
8	11,7	10,3	10,1	9,6	10,5	10,44
9	10,8	10,6	10,9	12	11,2	11,1
10	10,6	10,2	10,6	11,5	10,2	10,62
11	12,5	11,6	12,5	10,1	10,3	11,4
12	10,4	10,8	10,9	10,7	11,3	10,82
13	10,3	10,5	10,6	12,2	9,8	10,68
14	11,8	11,7	11,6	11,8	12	11,78
15	12,3	12,5	9,6	9,5	9,4	10,66
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>10,584</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.47** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35<sup>0</sup>C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	14,8	14,2	14,6	14,3	14,1	14,4
<b>2</b>	15,2	14,3	14,3	14,1	14,1	14,4
<b>3</b>	14,3	14,5	14,3	14,1	14,6	14,36
<b>4</b>	14,2	14,3	14,3	13,8	14,3	14,18
<b>5</b>	14,7	14,7	15,3	15,4	15,3	15,08
<b>6</b>	14,8	14,6	14,3	14,8	15,2	14,74
<b>7</b>	15,2	15,1	14,5	15,4	15,8	15,2
<b>8</b>	14,1	14,1	14,3	14,6	14,6	14,34
<b>9</b>	15,3	14,4	15,3	14,8	14,6	14,88
<b>10</b>	14,3	14,5	14,2	14,3	15,4	14,54
<b>11</b>	14,2	14,3	15,1	15,3	14,8	14,74
<b>12</b>	16,3	15,8	14,2	14,2	14,3	14,96
<b>13</b>	16,9	14,4	14,1	15,3	15,6	15,26
<b>14</b>	15,3	15,3	15,6	15,3	15,8	15,46
<b>15</b>	15,8	16,1	15,1	15,7	15,4	15,62
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>14,81</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.35** Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 °C y tensión 6V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.48** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	5,3	5,2	5,6	5,8	5,4	5,46
2	5,3	5,5	5,3	5,6	5,9	5,52
3	4,6	5,5	5,3	5,7	4,4	5,1
4	4,3	5,6	5,3	4,8	5,1	5,02
5	5,5	5,3	5,3	5,1	5,5	5,34
6	5,3	5,1	5,3	5,5	5,1	5,26
7	5,6	5,4	5,3	5,2	5,4	5,38
8	6,1	4,8	4,6	5,7	6,3	5,5
9	5,3	5,8	5,4	5,6	5,2	5,46
10	5,4	5,3	5,1	5	5,4	5,24
11	4,6	4,8	4,8	4,6	4,8	4,72
12	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
13	5,7	4,6	5,3	4,6	4,3	4,9
14	4,6	6,1	5,8	5,7	4,2	5,28
15	5,4	5,7	5,6	5,4	5,5	5,52
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>5,22</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.49** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 60 min

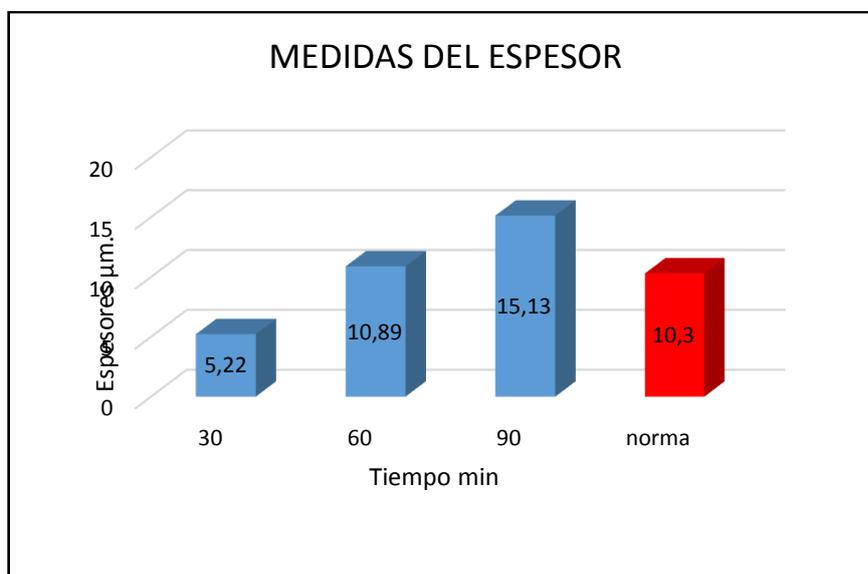
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	9,1	9,4	9,3	9,2	9,8	9,36
2	9,6	9,9	10,2	10,8	10,3	10,16
3	10,7	10,4	9,8	10,5	11,2	10,52
4	9,8	9,7	11,5	10,8	9,2	10,2
5	9,7	10,8	10,5	9,6	9,8	10,08
6	9,8	10,9	9,6	9,8	10,5	10,12
7	11,8	12	10,8	11,5	11,6	11,54
8	10,7	10,6	12	9,6	11,5	10,88
9	9,8	10,6	9,5	11,3	11,4	10,52
10	13,6	12,5	10,8	10,6	10,4	11,58
11	12,5	12,6	12,5	11,8	11,8	12,24
12	11,5	10,8	10,9	10,7	11,3	11,04
13	12,3	10,3	10,5	10,2	11,8	11,02
14	11,8	11,7	11,6	11,8	12	11,78
15	12,3	12,5	12,8	12,3	11,8	12,34
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>10,89</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.50** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	15,3	14,2	14,7	14,6	14,6	14,68
<b>2</b>	15,4	15,6	14,6	14,6	14,8	15
<b>3</b>	15,3	14,3	14,3	15,4	15,3	14,92
<b>4</b>	14,8	14,9	15,4	14,6	14,4	14,82
<b>5</b>	14,8	14,7	14,6	14,4	14,4	14,58
<b>6</b>	14,8	14,6	14,3	14,5	14,3	14,5
<b>7</b>	14,7	15,4	17	15,4	15,8	15,66
<b>8</b>	15,9	14,8	14,4	14,8	15,2	15,02
<b>9</b>	15,6	15,8	14,2	14,6	14,5	14,94
<b>10</b>	14,4	16,8	15,8	15,6	15,4	15,6
<b>11</b>	15,6	15,8	14,4	15,3	15,4	15,3
<b>12</b>	16,3	16,8	16,7	14,7	14,5	15,8
<b>13</b>	16,9	16,4	14,3	16,4	14,6	15,72
<b>14</b>	14,2	14,6	15,6	15,7	15,8	15,18
<b>15</b>	15,8	14,1	15,2	15,7	15,5	15,26
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>15,13</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.36** Comparación de espesores de la capa níquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 °C y tensión 7V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.51** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					<b>PROMEDIO</b>
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	5,5	5,3	5,8	5,8	5,8	5,64
<b>2</b>	5,3	5,4	5,6	5,8	6,4	5,7
<b>3</b>	5,6	5,5	5,3	5,8	5,4	5,52
<b>4</b>	5,8	5,4	5,5	5,8	5,4	5,58
<b>5</b>	5,7	5,6	6,1	5,4	6,5	5,86
<b>6</b>	5,3	5,1	5,8	5,6	5,1	5,38
<b>7</b>	5,8	5,7	5,6	5,1	5,8	5,6
<b>8</b>	6,1	5,8	4,6	6,1	6,3	5,78
<b>9</b>	5,2	5,8	5,7	5,6	6,2	5,7
<b>10</b>	5,4	6,3	5,1	6,5	5,4	5,74
<b>11</b>	5,6	5,8	5,1	4,6	4,8	5,18
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	5,7	5,6	5,3	5,8	5,1	5,5
<b>14</b>	5,3	5,1	5,8	5,7	5,2	5,42
<b>15</b>	5,4	5,7	5,6	5,4	5,5	5,52
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>5,51</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.52** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 60 min

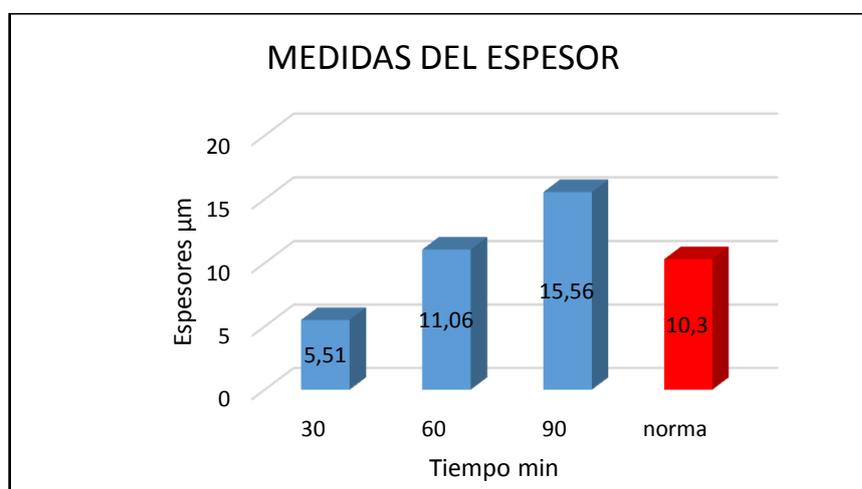
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					<b>PROMEDIO</b>
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	10,2	9,8	10,3	10,2	10,8	10,26
<b>2</b>	10,5	9,9	10,2	11,8	11,8	10,84
<b>3</b>	10,7	10,6	10,8	10,4	10,4	10,58
<b>4</b>	10,8	10,8	10,6	10,8	10,2	10,64
<b>5</b>	11,7	10,8	10,2	10,2	10,1	10,6
<b>6</b>	10,8	10,9	10,6	10,8	11,5	10,92
<b>7</b>	10,8	10,9	10,8	10,5	10,6	10,72
<b>8</b>	10,7	10,6	11,6	12,6	11,5	11,4
<b>9</b>	10,8	11,6	10,9	10,3	11,4	11
<b>10</b>	13	13	10,8	10,5	10,8	11,62
<b>11</b>	12,5	13	12,5	11,8	10,8	12,12
<b>12</b>	11,5	10,8	10,9	11,7	10,6	11,1
<b>13</b>	12,3	11,6	10,5	10,2	10,6	11,04
<b>14</b>	12,8	11,7	10,2	10,8	10,8	11,26
<b>15</b>	12,3	10,8	10,8	12,3	12,8	11,8
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>11,06</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.53** Espesor bajo la temperatura de trabajo 35°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 35<sup>0</sup>C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	15,3	15,8	15,7	16,1	15,6	15,7
<b>2</b>	15,4	15,8	15,6	15,1	15,7	15,52
<b>3</b>	15,1	15,2	15,8	15,4	15,3	15,36
<b>4</b>	15,1	15,1	15,4	15,2	15,4	15,24
<b>5</b>	15,4	15,7	15,6	15,4	15,4	15,5
<b>6</b>	15,2	15,6	15,4	15,3	15,1	15,32
<b>7</b>	15,2	15,4	15,2	15,4	15,8	15,4
<b>8</b>	15,9	15,2	15,2	15,1	15,2	15,32
<b>9</b>	15,8	15,8	15,3	15,7	16	15,72
<b>10</b>	15	15,2	15,8	15,6	15,4	15,4
<b>11</b>	15,3	15,8	15,4	15,3	15,4	15,44
<b>12</b>	15,2	16,8	16,7	16,3	14,5	15,9
<b>13</b>	15,2	16,4	15,2	16,4	16,5	15,94
<b>14</b>	16,7	15,4	15,6	15,7	15,8	15,84
<b>15</b>	15,2	16,1	16,8	15,7	15,5	15,86
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>15,564</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.37** Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 35 °C y tensión 8V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.54** Temperatura de trabajo 40°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MUESTRAS</b>						
<b>1</b>	5	5,3	5,8	5,4	5,8	5,46
<b>2</b>	6,3	6,4	5,6	5,8	5,4	5,9
<b>3</b>	5,6	6,6	6,3	5,4	5,4	5,86
<b>4</b>	4,8	5,4	5,5	4,8	5,4	5,18
<b>5</b>	4,7	5,6	5,1	5,4	5,5	5,26
<b>6</b>	6,3	6,1	5,8	5,6	6,1	5,98
<b>7</b>	5,8	5,7	5,6	6,1	5,8	5,8
<b>8</b>	5,1	4,8	4,6	5,6	6,3	5,28
<b>9</b>	6,2	5,8	5,7	5,6	6,2	5,9
<b>10</b>	4,8	5,3	5,1	4,6	5,4	5,04
<b>11</b>	4,6	4,8	5,1	4,6	4,8	4,78
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	5,7	4,6	5,3	4,8	6,1	5,3
<b>14</b>	6,3	6,1	5,8	5,7	6,2	6,02
<b>15</b>	5,4	5,7	5,6	5,4	5,5	5,52
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>5,46</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.55** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 60 min

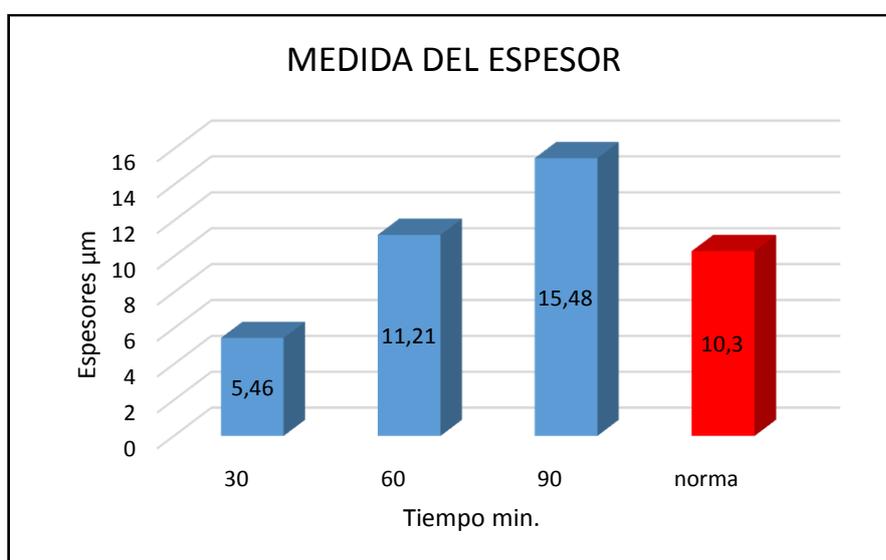
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MUESTRAS</b>						
<b>1</b>	9,8	9,8	9,7	10,1	10,8	10,04
<b>2</b>	10,5	9,7	10,2	10,8	11,8	10,6
<b>3</b>	10,7	10,5	9,8	11,4	12	10,88
<b>4</b>	9,8	9,8	11,5	11,8	10,2	10,62
<b>5</b>	9,7	10,8	11,5	10,5	10,8	10,66
<b>6</b>	10,8	10,9	10,6	9,8	10,5	10,52
<b>7</b>	11,8	12	10,8	11,5	11,6	11,54
<b>8</b>	11,7	11,6	12	11,6	10,5	11,48
<b>9</b>	10,8	10,6	10,9	12	11,2	11,1
<b>10</b>	13	12,4	11,4	11,5	10,8	11,82
<b>11</b>	12,5	11,6	12,5	11,8	11,8	12,04
<b>12</b>	11,5	10,8	10,9	10,7	11,3	11,04
<b>13</b>	11,3	12,5	12,3	12,2	11,8	12,02
<b>14</b>	11,8	11,7	11,6	11,8	12	11,78
<b>15</b>	12,3	12,5	11,8	12,3	11,8	12,14
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>11,21</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.56** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 6V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 6V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>1</b>	15,8	15,2	15,7	15,2	15,5	15,48
<b>2</b>	16,4	15,7	14,6	14,9	14,8	15,28
<b>3</b>	15,8	14,8	15,3	15,1	14,8	15,16
<b>4</b>	14,8	14,8	15,4	14,3	15,1	14,88
<b>5</b>	14,7	14,7	15,3	15,4	15,3	15,08
<b>6</b>	14,8	14,6	14,3	14,8	15,8	14,86
<b>7</b>	16	15,1	16,2	15,4	15,8	15,7
<b>8</b>	15,9	16,3	16,4	16,7	15,2	16,1
<b>9</b>	15,3	16,3	15,3	14,8	14,6	15,26
<b>10</b>	16,4	16,4	15,8	15,6	15,4	15,92
<b>11</b>	15,6	15,8	15,1	15,3	15,1	15,38
<b>12</b>	16,3	15,8	16,7	16,3	14,5	15,92
<b>13</b>	16,9	16,4	16,3	15,3	15,6	16,1
<b>14</b>	15,3	15,3	15,6	15,3	15,8	15,46
<b>15</b>	15,8	16,1	15,1	15,7	15,4	15,62
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>15,48</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.38** Comparación de espesores de la capa niquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 °C y tensión 6V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.57** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MUESTRAS</b>						
<b>1</b>	5,5	5,3	5,8	6,1	5,8	5,7
<b>2</b>	6,3	6,4	5,6	5,8	5,4	5,9
<b>3</b>	5,6	6,5	6,3	5,8	5,4	5,92
<b>4</b>	4,8	5,4	5,5	4,8	5,4	5,18
<b>5</b>	5,7	5,6	6,1	5,4	6,5	5,86
<b>6</b>	6,3	6,1	5,8	5,6	6,1	5,98
<b>7</b>	5,8	5,7	5,6	6,1	5,8	5,8
<b>8</b>	6,1	4,8	4,6	5,7	6,3	5,5
<b>9</b>	6,2	5,8	5,7	5,6	6,2	5,9
<b>10</b>	5,4	5,3	5,1	5	5,4	5,24
<b>11</b>	4,6	4,8	5,1	4,6	4,8	4,78
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	5,7	5,6	5,3	5,8	6,1	5,7
<b>14</b>	6,3	6,1	5,8	5,7	6,2	6,02
<b>15</b>	5,4	5,7	5,6	5,4	5,5	5,52
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>5,57</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.58** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 60 min

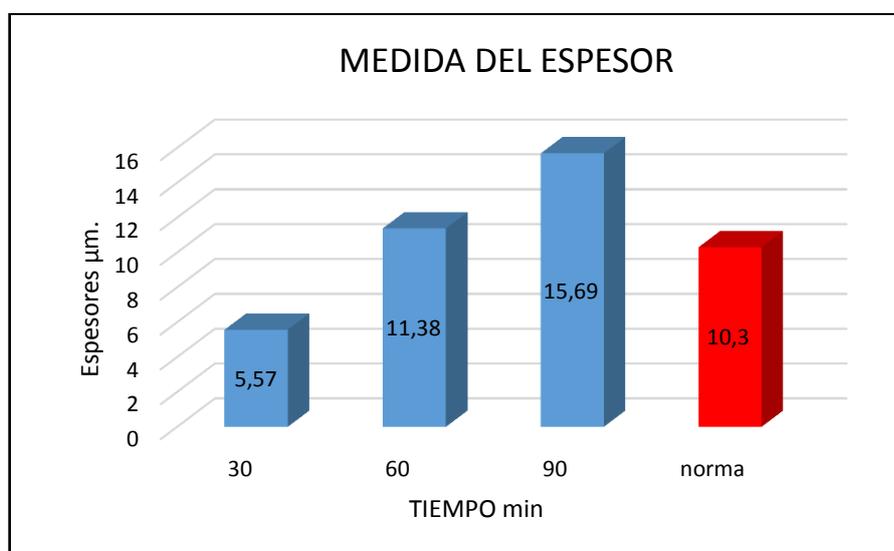
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>MUESTRAS</b>						
<b>1</b>	10,1	9,8	10,3	11,2	10,8	10,44
<b>2</b>	10,5	9,9	10,2	10,8	11,8	10,64
<b>3</b>	10,7	10,5	10,8	11,5	12	11,1
<b>4</b>	9,8	10,8	11,5	11,8	10,2	10,82
<b>5</b>	9,7	10,8	11,5	11,6	10,8	10,88
<b>6</b>	10,8	10,9	10,6	9,8	11,5	10,72
<b>7</b>	11,8	12	10,8	11,5	11,6	11,54
<b>8</b>	11,7	11,6	12	12,6	11,5	11,88
<b>9</b>	10,8	10,6	10,9	12	11,4	11,14
<b>10</b>	13	12,5	10,8	11,5	11,8	11,92
<b>11</b>	12,5	12,6	12,5	11,8	11,8	12,24
<b>12</b>	11,5	10,8	10,9	10,7	11,3	11,04
<b>13</b>	12,3	12,5	12,3	12,2	11,8	12,22
<b>14</b>	11,8	11,7	11,6	11,8	12	11,78
<b>15</b>	12,3	12,5	12,8	12,3	11,8	12,34
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>11,38</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.59** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 7V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 7V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>					<b>PROMEDIO</b>
	<b>LECTURAS</b>					
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	
<b>1</b>	16,3	15,3	15,8	15,3	15,6	15,66
<b>2</b>	16,4	14,8	15,6	15,1	15,8	15,54
<b>3</b>	15,8	15,6	15,1	15,4	15,3	15,44
<b>4</b>	14,8	14,9	15,4	15,6	15,4	15,22
<b>5</b>	14,8	14,7	15,6	15,4	15,4	15,18
<b>6</b>	14,8	14,6	14,3	14,8	15,8	14,86
<b>7</b>	15,7	15,4	17	15,4	15,8	15,86
<b>8</b>	15,9	16,3	16,4	16,8	15,2	16,12
<b>9</b>	15,6	15,8	15,3	14,8	14,6	15,22
<b>10</b>	16,4	16,8	15,8	15,6	15,4	16
<b>11</b>	15,6	15,8	15,4	15,3	15,4	15,5
<b>12</b>	16,3	16,8	16,7	16,3	14,5	16,12
<b>13</b>	16,9	16,4	16,3	16,4	16,5	16,5
<b>14</b>	15,3	15,4	15,6	15,7	15,8	15,56
<b>15</b>	15,8	16,1	15,2	15,7	15,5	15,66
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>15,62</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.39** Comparación de espesores de la capa níquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 40 °C y tensión 7V

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.60** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 30 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 30 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	6,5	6,3	6,8	6,1	5,8	6,3
<b>2</b>	6,3	6,4	6,6	5,8	6,4	6,3
<b>3</b>	6,6	6,5	6,3	5,8	6,4	6,32
<b>4</b>	6,8	5,4	6,5	5,8	5,4	5,98
<b>5</b>	6,7	6,6	6,1	5,4	6,5	6,26
<b>6</b>	6,3	6,1	5,8	5,6	6,1	5,98
<b>7</b>	5,8	6,7	5,6	6,1	5,8	6
<b>8</b>	6,1	5,8	4,6	6,1	6,3	5,78
<b>9</b>	6,2	6,8	5,7	6,6	6,2	6,3
<b>10</b>	5,4	6,3	5,1	6,5	5,4	5,74
<b>11</b>	5,6	5,8	5,1	4,6	4,8	5,18
<b>12</b>	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,64
<b>13</b>	6,7	6,6	5,3	6,8	6,1	6,3
<b>14</b>	6,3	6,1	5,8	5,7	6,2	6,02
<b>15</b>	6,4	5,7	6,6	5,4	5,5	5,92
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>5,93</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.61** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 60 min

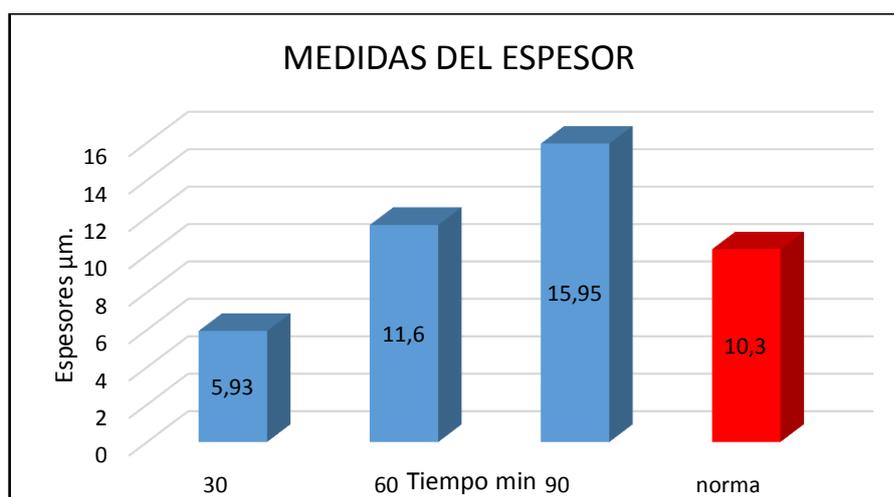
<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (<math>\mu\text{m}</math>)</b>						
	<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 60 min</b>					
	<b>LECTURAS</b>					
	<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	11,1	9,8	11,3	11,2	10,8	10,84
<b>2</b>	10,5	9,9	10,2	11,8	11,8	10,84
<b>3</b>	10,7	11,5	11,5	11,5	12	11,44
<b>4</b>	10,8	10,8	11,5	11,8	11,2	11,22
<b>5</b>	11,7	11,8	11,5	11,6	11,8	11,68
<b>6</b>	10,8	11,9	10,6	10,8	11,5	11,12
<b>7</b>	11,8	11,9	10,8	11,5	11,6	11,52
<b>8</b>	11,7	11,6	11,6	12,6	11,5	11,8
<b>9</b>	10,8	11,6	10,9	11,9	11,4	11,32
<b>10</b>	13	13	10,8	11,5	11,8	12,02
<b>11</b>	12,5	13	12,5	11,8	11,8	12,32
<b>12</b>	11,5	10,8	10,9	11,7	11,8	11,34
<b>13</b>	12,3	11,6	12,3	12,2	11,8	12,04
<b>14</b>	12,8	11,7	11,6	11,8	12	11,98
<b>15</b>	12,3	12,5	12,8	12,3	12,8	12,54
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>11,60</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.62** Espesor bajo la temperatura de trabajo 40°C, Tensión 8V y tiempo en el baño de níquel 90 min

<b>MEDIDA DEL ESPESOR DE CAPA NIQUELADA- CROMADA (µm)</b>						
<b>TEMPERATURA DE TRABAJO 40°C, TENSIÓN 8V Y TIEMPO EN EL BAÑO 90 min</b>						
<b>LECTURAS</b>						
<b>MUESTRAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>PROMEDIO</b>
1	16,3	16,8	16,7	16,1	15,6	16,3
2	16,4	15,8	15,6	15,1	16,7	15,92
3	15,8	15,6	15,8	16,4	15,3	15,78
4	15,8	15,9	15,4	16,6	15,4	15,82
5	15,8	15,7	15,6	15,4	15,4	15,58
6	15,8	15,6	15,8	15,8	15,8	15,76
7	15,7	15,4	17	15,4	15,8	15,86
8	15,9	16,3	16,4	16,8	15,2	16,12
9	15,8	15,8	15,3	15,7	16	15,72
10	16,4	16,8	15,8	15,6	15,4	16
11	16,4	15,8	15,4	15,3	15,4	15,66
12	16,3	16,8	16,7	16,3	14,5	16,12
13	16,9	16,4	16,9	16,4	16,5	16,62
14	16,7	15,4	15,6	15,7	15,8	15,84
15	16,8	16,1	16,8	15,7	15,5	16,18
<b>PROMEDIO TOTAL</b>						<b>11,60</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.40** Comparación de espesores de la capa níquelada – cromada con la norma INEN 954 bajo las condiciones de temperatura de trabajo 4 ° C y tensión 8V

Fuente: (El autor)

### **Conclusión del ensayo.**

- Una vez realizado el ensayo de espesores de capa variando los diferentes parámetros de trabajo se observa que estos varían de acuerdo al tiempo de exposición y los valores del ensayo a 90 min excede el valor de la norma INEN 954.
- Los datos que se obtienen nos sirve para el análisis de resultados en el cual determinaremos el parámetro adecuado

#### **4.1.11.4 Pruebas de corrosión.**

Esta prueba se realiza a las mejores probetas seleccionadas de los ensayos anteriores y bajo las especificaciones que exige la norma NTE INEN 1174: 2013 la misma que menciona que la determinación de la resistencia a la corrosión en recubrimientos metálicos, se lo realiza en ensayo de niebla salina acética.

#### **Método de ensayo.**

Este método consistie en someter a las probetas a la acción de una niebla pulverizada de ácido acético bajo condiciones controladas y en tiempos determinados.

#### **Equipos.**

- **Cámara de pulverización.** Recubierta con material resistente a la corrosión, ver figura 4.41.
- **Fuente de suministro de calor al sistema y sistema de control.** Debe ser adecuado para mantener la cámara y su contenido a temperatura adecuada.
- **Termostato.** Sirve para regular el calor.
- **Fuente de pulverización.** Que comprende el sistema de aire comprimido a presión regulable (70 a 170 kpa) y humedad regulable; un recipiente para la solución que debe pulverizarse y una boquilla de pulverización hecha de material inerte.
- **Dispositivos de recolección.** Se debe disponer de al menos dos recolectores que son fabricados de material inerte con sus picos introducidos en cilindros

graduados. Los dispositivos deben estar localizados en la zona de la cámara donde están las probetas, deben ser ubicadas de tal manera que recolecten solo solución pulverizado que caen de las probetas.



**Figura 4.41** Cámara de pruebas de corrosión  
**Fuente:** (Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero)

### **Reactivos.**

**Solución.** Se prepara la solución de cloruro de sodio con agua destilada o desionizada para producir una concentración de  $(50\pm 5)$  gr/l. El cloruro de sodio contiene 0.001% de Cu y menos de 0.001% de Ni y no más de 0.1% de yoduro de sodio ni más de 0.5% de impurezas totales calculadas para sal seca.

Se añade un volumen de ácido acético glacial a la solución de sal y se aseguró que el pH de las muestras de solución pulverizada recolectada en la cámara de ensayos este comprendida entre 3.0 y 3.1.

La solución debe filtrarse antes de colocar en el reservorio para evitar taponamientos de boquillas de pulverización. [19]

### **Probetas.**

- El número, tipo, su forma y dimensiones de probetas son especificadas acorde a los requisitos de las partes interesadas.
- Las probetas son desengrasadas antes del ensayo.
- Si las probetas son cortadas de elementos grandes, los bordes deben ser protegidas adecuadamente.

### Procedimiento.

- Una vez colocadas las probetas, ver figura 4.42 se regula la temperatura en el interior de la cámara de modo que sea constante en  $(32 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 4.42** Disposición de las probetas en la cámara  
**Fuente:** (Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero)

- Se somete las probetas a la niebla de ácido pulverizado durante el tiempo especificado en la norma INEN 954 para un índice de trabajo 1, ver tabla 4.63. La pulverización no puede interrumpirse durante el ensayo.

**Tabla 4.63** Tiempo de ensayos de resistencia a la corrosión. [9]

Índice de servicio	Ensayo de corrosión – duración de horas		
	Cass	Corrodkote	Ácido acético
1	-	-	8
2	-	-	24
3	16	16	96
4	24	2 X 16	144

- La solución recolectada de cada uno de los dispositivos tiene una concentración de cloruro de sodio de  $(50 \pm 5)$  gr/l y un pH de (3.1 a 3.3.)
- Al finalizar el ensayo, se saca las probetas de la cámara y se seca por un lapso de 45 min antes del lavado para reducir el riesgo de remover productos de la corrosión. Antes de examinarlos se remueve cuidadosamente los residuos de solución de la superficie [19].

## 4.2 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.

### 4.2.1 Interpretación de las mediciones de adherencia

La adherencia es la fuerza intermolecular con que se unen dos superficies en este caso el sustrato que es aro y la capa cromada.

La propiedad de la adherencia es de suma importancia en este caso ya que de nada serviría tener una capa gruesa y una buena dureza si no está bien adherida ocasionando el desprende sin cumplir su finalidad de proteger al elemento de agentes externos.

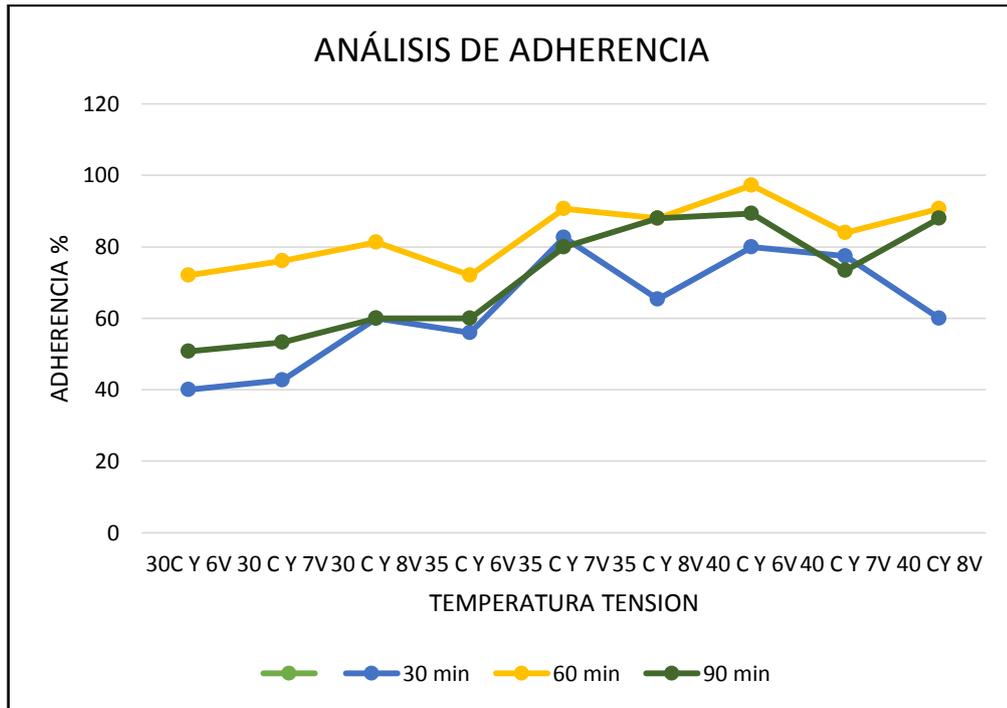
De acuerdo a la norma INEN 950- 4.6 (Método de la cinta adhesiva) este debe tener un esfuerzo de adhesión de 290 a 310 gr/cm<sup>2</sup> de acuerdo a la prueba de la cinta ASTM D 3359-B se toma el valor de 5B equivalente al 100% e igual al valor máximo de 310 gr/cm<sup>2</sup>.

Para analizar las pruebas de adherencia se realiza un resumen de todas las pruebas hechas bajo las variables de tiempo, temperatura y tensión de trabajo ver tabla 4.64.

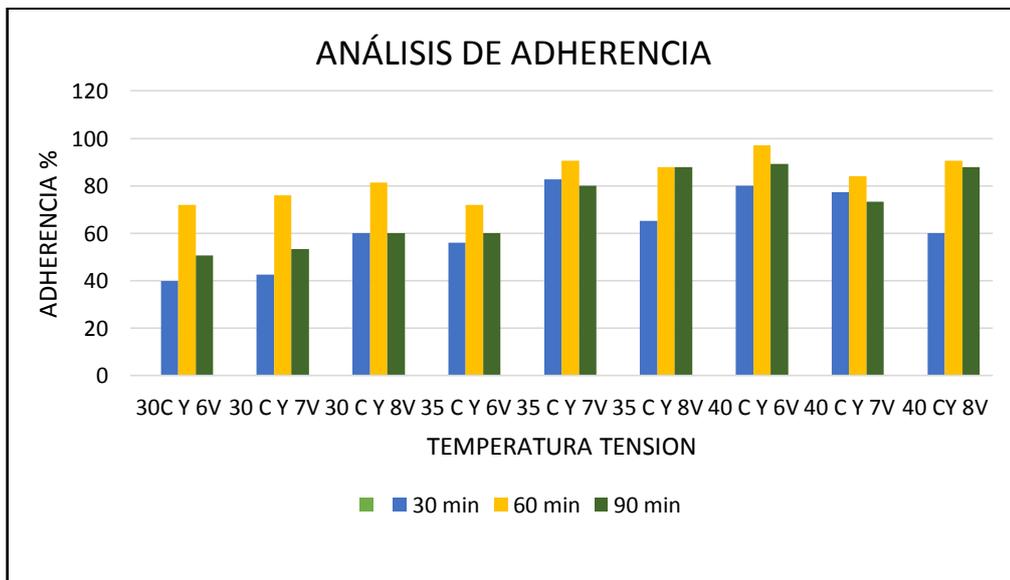
Tabla 4.64 Resumen de las mediciones de adherencia

ANÁLISIS DE LA ADHERENCIA (%)				
TEMPERATURA	TENSIÓN	TIEMPO		
°C	V	30 min	60 min	90 min
30	6	40	72	50,66
30	7	42,66	76	53,33
30	8	60	81,33	60
35	6	56	72	60
35	7	82,66	90,66	80
35	8	65,33	88	88
40	6	80	97.14	89,33
40	7	77,33	84	73,33
40	8	60	90,66	88
<b>PROMEDIO</b>		<b>62,66</b>	<b>83,53</b>	<b>71,40</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.43** Curvas de análisis de adherencia de la capa níquel + cromo a la superficie del aro.  
**Fuente:** (El autor)



**Figura 4.44** Análisis comparativo por medio de barras de la adherencia  
**Fuente:** (El autor)

En la tabla 4.64 y en las figuras 4.43 y 4.44 se observa que el valor correspondiente al parámetro de 60 min, 40°C Y 6V; es el que se encuentra bajo la norma INEN 950, es decir tiene un valor de 97.14 % que correspondiente a un

esfuerzo de adherencia de 301.13 gr/cm<sup>2</sup>, algunos valores de la tabla están cerca pero no cumplen con la norma, las razones pueden ser diferentes como:

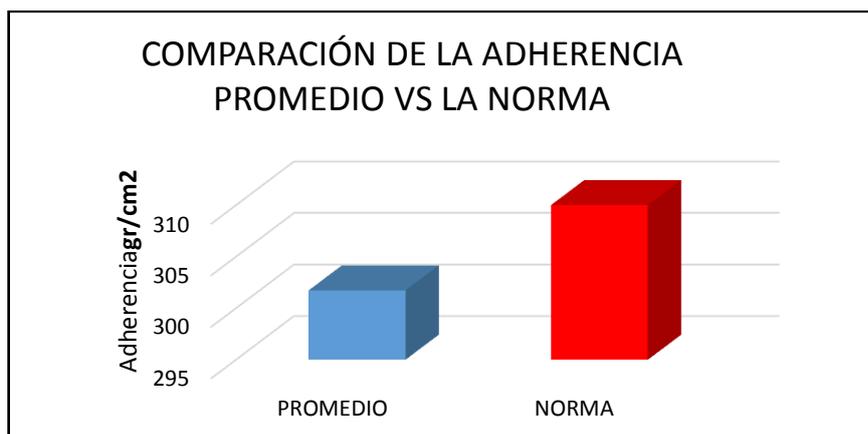
- La superficie del sustrato mal preparada
- Tiempo de permanencia en los baños muy bajo
- Carga eléctrica inadecuada
- Temperatura de trabajo muy bajas
- Espesores de capa muy grande, lo que tiende a trizar a la capa
- El grado de dureza de la capa cromada muy alta lo que hace frágil a la misma.

En la tabla 4.65 y Figura 4.49 se detalló los valores que corresponden a la prueba seleccionada y se lo compara con la norma INEN 950.

**Tabla 4.65** Valores de la adherencia de las probetas que está enmarcadas en la norma INEN 950.

<b>VALORES DE ADHERENCIA A 60min. 40<sup>0</sup>C y 6V</b>		
<b># DE LECTURAS</b>	<b>%</b>	<b>gr/cm<sup>2</sup></b>
<b>1</b>	100	310
<b>2</b>	100	310
<b>3</b>	100	310
<b>4</b>	100	310
<b>5</b>	100	310
<b>6</b>	100	310
<b>7</b>	100	310
<b>8</b>	100	310
<b>9</b>	100	310
<b>10</b>	80	248
<b>11</b>	100	310
<b>12</b>	100	310
<b>13</b>	100	310
<b>14</b>	100	310
<b>15</b>	80	248
<b>PROMEDIO</b>	<b>97.14</b>	<b>301,73</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.45** Comparación del valor promedio de la adherencia con el valor de la norma INEN 950.

**Fuente:** (El autor)

#### 4.2.2 Interpretación de las mediciones de dureza.

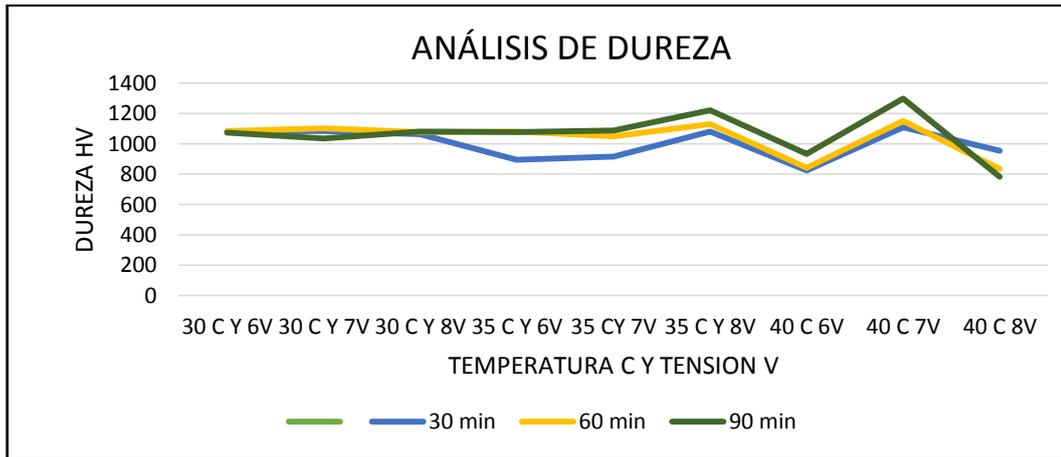
La dureza es la resistencia a ser rayado o penetrado en su superficie por otro elemento, es por esta razón se debe analizar esta propiedad en la capa de níquel+cromo del recubrimiento de los aros de buses, ya que los mismos van estar en contacto con agentes externos agresivos como lodos, granillos, piedras, etc. Pero esta propiedad debe estar técnicamente enmarcado en una norma como lo es la INEN 1058, cuyos valores están entre 800 y 1100 Vickers (Hv).

Para analizar de estas pruebas de dureza se resume los resultados variables de tiempo, temperatura y tensión de trabajo.

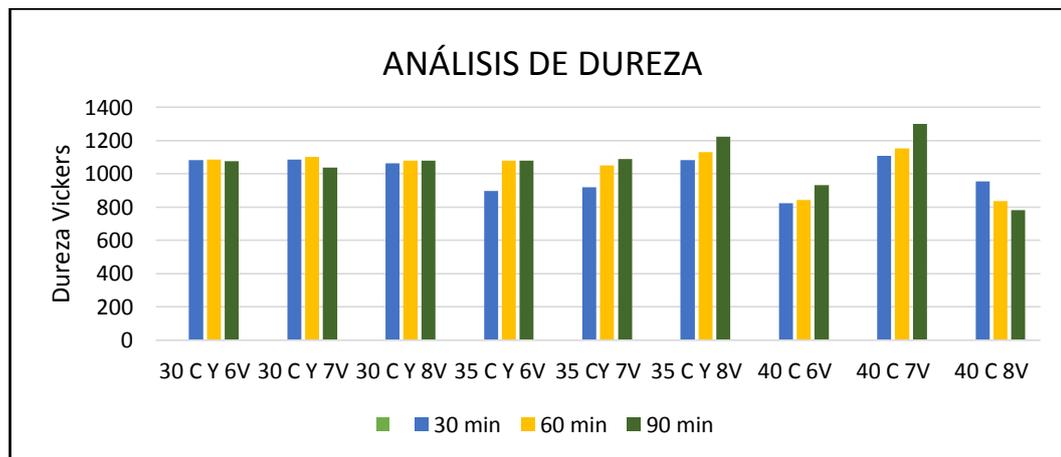
**Tabla 4.66** Resumen de las mediciones de dureza

ANÁLISIS DE LA DUREZA (Hv)				
TEMPERATURA	TENSIÓN	TIEMPO		
°C	V	30 min	60 min	90 min
30	6	1081,46	1084,66	1075,86
30	7	1084,46	1100,8	1035,53
30	8	1062,8	1079,26	1079,8
35	6	896,53	1080,06	1078,8
35	7	917,53	1051,13	1086,86
35	8	1080,86	1129,46	1222,33
40	6	823,33	842,67	932,67
40	7	1107,86	1151,33	1298
40	8	954,46	836,66	781,26
<b>PROMEDIO</b>		<b>1001,03</b>	<b>1039,55</b>	<b>1065,67</b>

**Fuente:** (El autor)



**Figura 4.46** Curvas de análisis de dureza de la capa níquel + cromo a la superficie del aro.  
**Fuente:** (El autor)



**Figura 4.47** Análisis comparativo de la dureza por medio de barras  
**Fuente:** (El autor)

En la tabla 4.66 y la figura 4.46 y 4.47 se observa la mayoría de valores de dureza están dentro de los parámetros enmarcados bajo la norma INEN 1058 en el proceso de níquelado + cromado. Los valores muy altos de dureza se localizan en la tabla 4.66 con color rojo, los mismos que pueden ser muy peligroso para la capa cromada puesto que a durezas altas, ocasiona que esta sea frágil. Como los aros son sometidos a golpes de piedras y granillos pueden ocasionar el trizado de la capa ocasionando los desprendimientos de la misma, con el consiguiente ingreso de humedad lo que formaría una celda galvánica entre el cromo y el níquel y de esta forma iniciar un proceso corrosivo del aro. Una de las maneras de regular la

dureza es la de colocar un aditivo de ablandamiento. Otra forma de reducir la dureza de la capa tratamiento térmico después del proceso de cromado.

#### 4.2.3 Interpretación de las mediciones de espesores.

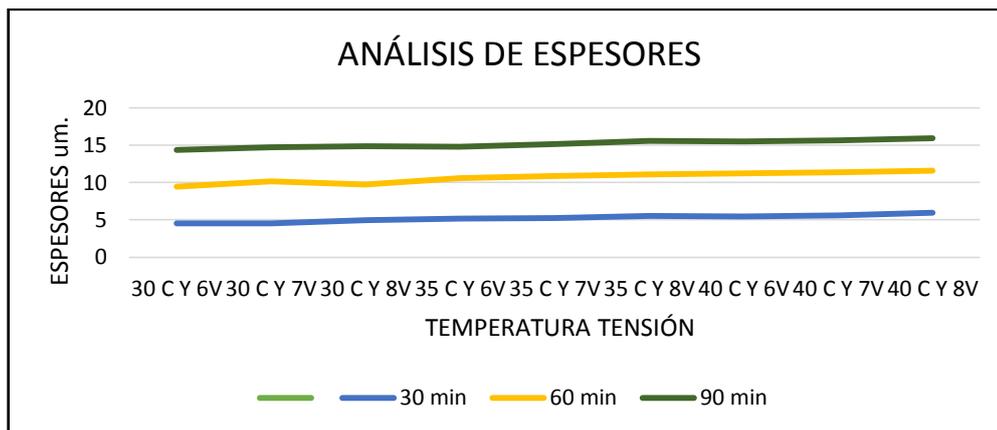
Como definición se dice que el espesor de la capa níquel + cromo es el alto del recubrimiento en ( $\mu\text{m}$ ) tomando como base el sustrato. Los depósitos de níquel + cromo tienden a formar finas grietas a medida que el espesor de la capa se incrementa disminuyendo de esta forma la protección del aro. Con espesores considerables las grietas se recubren y a su vez se forman nuevas las mismas que no llegan al metal base.

Para analizar los resultados de las pruebas de espesores se resumen todos los datos que están en las tablas de medidas de espesores, que se detallan en la tabla 4.67.

**Tabla 4.67** Resumen de las mediciones de espesores

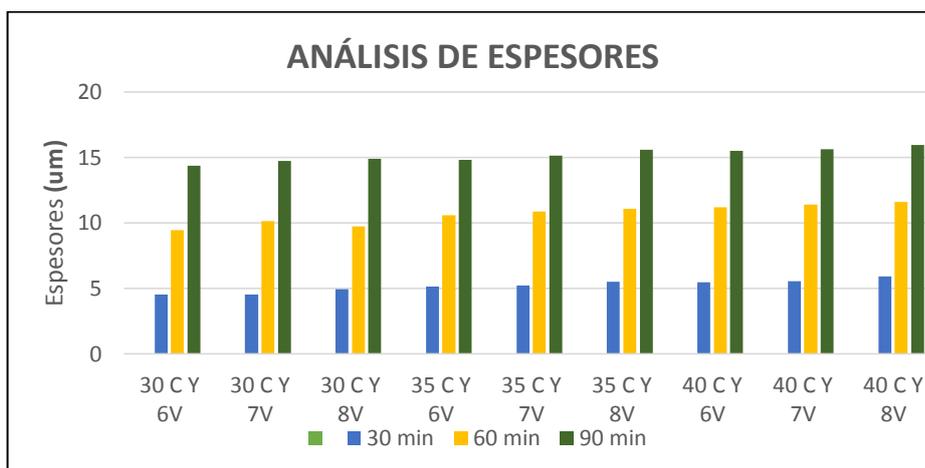
<b>ANÁLISIS DE LA ESPEORES (<math>\mu\text{m}</math>)</b>				
<b>TEMPERATURA</b>	<b>TENSIÓN</b>	<b>TIEMPO</b>		
<b>°C</b>	<b>V</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>90 min</b>
30	6	<b>4,56</b>	<b>9,45</b>	<b>14,37</b>
30	7	4,53	<b>10,15</b>	14,71
30	8	4,96	9,72	14,88
35	6	5,14	<b>10,58</b>	14,81
35	7	5,22	<b>10,89</b>	15,13
35	8	5,51	<b>11,06</b>	15,56
40	6	5,46	<b>11,21</b>	15,48
40	7	5,57	<b>11,38</b>	15,62
40	8	5,93	<b>11,6</b>	15,95
<b>PROMEDIO</b>		<b>5,20</b>	<b>10,67</b>	<b>15,16</b>

Fuente: (El autor)



**Figura 4.48** Curvas de análisis del espesor de la capa níquel + cromo a la superficie del aro.

**Fuente:** (El autor)



**Figura 4.49** Análisis comparativo por medio de barras

de los espesores de la capa niquelada + cromada

**Fuente:** (El autor)

En la tabla 4.67 y las figuras 4.48 y 4.49 se observa que los valores que corresponden a los parámetros de:

- 60 min, 30 °C y 7V, (Fe/el Ni10,15b Cr 0.3r)
- 60 min, 35 °C y 6V, (Fe/el Ni10,58b Cr 0.3r)
- 60 min, 35 °C y 7V, (Fe/el Ni10,89b Cr 0.3r)
- 60 min, 35 °C y 8V, (Fe/el 11.06 Cr 0.3r)
- 60 min, 40 °C y 6V, (Fe/el Ni11,21b Cr 0.3r)
- 60 min, 40 °C y 7V, (Fe/el Ni11,38b Cr 0.3r)
- 60 min, 40 °C y 8V, (Fe/el Ni11, 60b Cr 0.3r).

Son los espesores que exigen la norma INEN 954, para un índice de trabajo 1 Fe/el Ni10b Cr 0.3r – Fe/el 12b Cr 0.3r y de acuerdo a la tabla 4.68 y la Figura

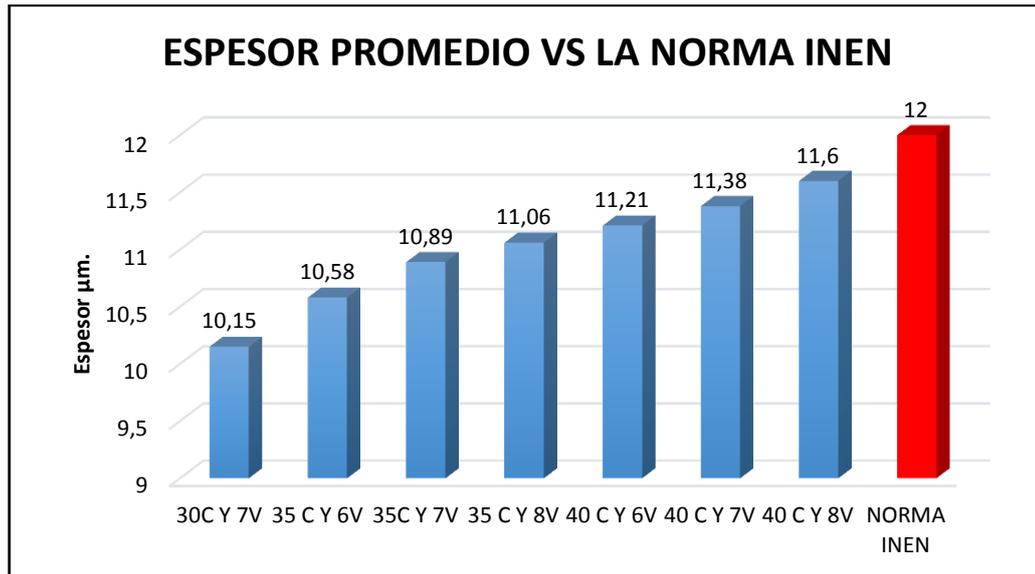
4.54 se observó que los espesores también varían de acuerdo a la temperatura y a la carga que se lo aplique.

**Tabla 4.68** Espesores de capa niquelada + cromada que están dentro de la norma INEN 954 para un índice de trabajo 1

<b>ANÁLISIS DE LOS ESPESORES QUE ESTÁN DENTRO DE LA NORMA INEN</b>							
<b>TIEMPO DE EXPOSICIÓN EN EL BAÑO 60 min.</b>							
<b>Muestra</b>	<b>30<sup>0</sup>C Y 7V</b>	<b>35<sup>0</sup>C Y 6V</b>	<b>35<sup>0</sup>C Y 7V</b>	<b>35<sup>0</sup>C Y 8V</b>	<b>40<sup>0</sup>C Y 6V</b>	<b>40<sup>0</sup>C Y 7V</b>	<b>40<sup>0</sup>C Y 8V</b>
1	8,36	9,76	9,36	10,26	10,04	10,44	10,84
2	9,34	9,98	10,16	10,84	10,6	10,64	10,84
3	9,76	10,22	10,52	10,58	10,88	11,1	11,44
4	9,08	10,08	10,2	10,64	10,62	10,82	11,22
5	8,88	10,22	10,08	10,6	10,66	10,88	11,68
6	10,12	10,26	10,12	10,92	10,52	10,72	11,12
7	10,24	10,74	11,54	10,72	11,54	11,54	11,52
8	9,94	10,44	10,88	11,4	11,48	11,88	11,8
9	10,52	11,1	10,52	11	11,1	11,14	11,32
10	10,2	10,62	11,58	11,62	11,82	11,92	12,02
11	11,46	11,4	12,24	12,12	12,04	12,24	12,32
12	10,84	10,82	11,04	11,1	11,04	11,04	11,34
13	10,82	10,68	11,02	11,04	12,02	12,22	12,04
14	11,58	11,78	11,78	11,26	11,78	11,78	11,98
15	11,14	10,66	12,34	11,8	12,14	12,34	12,54
<b>PROMEDIÓ</b>	<b>10,15</b>	<b>10,58</b>	<b>10,89</b>	<b>11,06</b>	<b>11,21</b>	<b>11,38</b>	<b>11,6</b>

Fuente: (El autor)

En la tabla 4.68 se detallan los datos de donde se obtienen los siete valores que están dentro de la norma INEN 954 que nos dice que el espesor debe ser de 10  $\mu\text{m}$ , de níquel y 0.3  $\mu\text{m}$ . de cromo hasta 12  $\mu\text{m}$  de níquel y 0.3  $\mu\text{m}$  de cromo, para un índice de trabajo 1. De la misma manera se puede observar que el espesor está en relación directa al tiempo de exposición en el baño, así como también a la temperatura y voltaje aplicado. Se considera que a mayor espesor habrá mayor cubrimiento de la superficie pero con el riesgo de la formación de micro fisuras que es un factor importante a considerar en el proceso, en la figura 4.50 se observa la forma creciente del espesor promedio en función de los parámetros de temperatura y voltaje.



**Figura 4.50** Análisis comparativo por medio de barras de los espesores que están dentro de la norma INEN 954 para un índice de trabajo 1

**Fuente:** (El autor)

#### 4.2.3 Interpretación y análisis de las pruebas de corrosión.

Para la evaluación de los resultados de la corrosión, se toman diferentes criterios para cumplir requisitos particulares:

- Apariencia después del ensayo.
- Apariencia después del ensayo corrosión, al realizar la limpieza y remover los productos superficiales.
- Número y distribución de los defectos corrosivos como son: picadura, empolladuras, etc.
- Tiempo transcurrido hasta la aparición de los primeros signos de corrosión.

El reporte sobre el ensayo debe contener los resultados de acuerdo al criterio utilizado en la norma INEN 954 Anexo D, para la evaluación de resultados de ensayos de corrosión acelerada que dice: Examinar cada probeta por manchas, picaduras, rajaduras, etc. donde se ha penetrado el recubrimiento, con corrosión resultante en el metal base. Si el área de defecto encontrado es igual o mayor a 2.5 mm<sup>2</sup>, la probeta no pasa el ensayo, ver figura 4.51.



**Figura 4.51** Análisis de los defectos de corrosión  
**Fuente:** (El autor)

En el ensayo se utiliza cinco probetas, las mismas que son seleccionadas de acuerdo al criterio de mayor adherencia, que corresponde a los parámetros de (60min, 40<sup>0</sup>C y 6V), ver tabla 4.64. Luego de someter en la cámara salina por un tiempo de ocho horas se obtienen los resultados que se detallan en la tabla 4.69

**Tabla 4.69** Resultados de los ensayos de corrosión

Muestra	Tipo de recubrimiento	Evaluación						Resultado del ensayo
		Manchas, picaduras, rajaduras				Índice de corrosión		
1	Níque + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10	Conforme
2	Níque + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10	Conforme
3	Níque + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI	X	NO		-	No conforme
4	Níque + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10	Conforme
5	Níque + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI	X	NO		-	No conforme

**Fuente:** (Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero)

Al de revisar el cuadro de resultados se observa que de las cinco muestras, dos presentan no conformidad a esta prueba es decir el área de los defectos es mayor a  $2.5 \text{ mm}^2$  por lo que estas probetas deben rechazarse.

### **4.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

En la hipótesis se propuso que en el estudio del cromado metálico en la superficie de aros para buses bajo normas INEN permitirá medir el grado de adherencia.

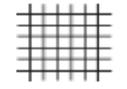
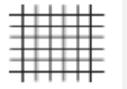
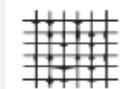
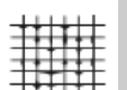
#### **Comprobación.**

Se procede a elaborar probetas de las diferentes partes del aro, establecidos en el cálculo de la muestra, luego se recubren con una capa metálica por medio de un proceso electrolítico. Para fines de estudio este procedimiento se realiza variando los parámetros de tiempo, temperatura y voltaje establecidos para el análisis de la adherencia de la capa niquelada-cromada sobre el sustrato o superficie de los aros.

#### **4.3.1 Verificación de la hipótesis de la adherencia.**

Para la verificar la hipótesis de la adherencia se basa en la norma INEN 950 – 4.6 referente al método de la cinta adhesiva en la que manifiesta debe tener una adhesión de 290 – 310 gr/cm<sup>2</sup>. Este método consiste en rayar por medio de una cuchilla de carburo de tungsteno sobre la superficie de la probeta, formando cuadrículas de 11 x 1mm de acuerdo a la norma ASTM, para luego pegar la cinta sobre esta superficie, que posteriormente es retirada, observada y comparada con la tabla 4.70, donde se indican los patrones ASTM, los mismos que tienen una escala cualitativos de OB que es el de más baja adherencia hasta 5B el de más alta.

**Tabla 4.70** Patrones para comparar los niveles de adherencia de acuerdo a la norma ASTM

Aspectos de ejemplo		Descripción	Clasificación	
Retirada mínima	Retirada máxima		ISO/ JIS	ASTM
		Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado	0	5B
		Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%	1	4B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%.	2	3B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%.	3	2B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%.	4	1B
		Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B	5	0B

Fuente: (Elcometer)

Luego de realizar los ensayos con los parámetros preestablecidos y posteriormente con su respectiva interpretación y análisis, como se detalla en la parte 4.2.1 del texto y en la tabla 4.64 de resúmenes de medición de adherencia se obtiene que la prueba que corresponde a **60min. 40<sup>0</sup>C y 7V** caen dentro de la norma INEN 950 - 4,6, (esfuerzo de adhesión de 290 a 310 gr/cm<sup>2</sup>), los valores de las 15 muestras están la tabla 4.71. Esta será sujeta a una comprobación estadística para poder verificar la hipótesis de acuerdo a la prueba T- student, debida a que corresponde a una distribución normal para muestras menores a 30.

**Tabla 4.71** Adherencia a 60 min 40°C 6V

<b>ADHERENCIA</b>		
<b>60 min 40°C 6V</b>		
Muestras	% Adherencia	gr/cm <sup>2</sup>
1	100	310
2	100	310
3	100	310
4	100	310
5	100	310
6	100	310
7	100	310
8	100	310
9	100	310
10	80	248
11	100	310
12	100	310
13	100	310
14	100	310
15	80	248
<b>MEDIA ( <math>\bar{X}</math> )</b>	<b>97.14</b>	<b>301,73</b>

Fuente: (El autor)

**Condición:**

Se realiza un análisis unilateral a izquierda con:

Ho:  $\mu \geq 310$  gr/cm<sup>2</sup> (hipótesis nula)

H1:  $\mu < 310$  gr/cm<sup>2</sup> (hipótesis alternativa)

$\alpha = 0.05$  (Nivel de significancia con una probabilidad de 95%)

t = Estadístico T- student

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec.}$$

(4.1)

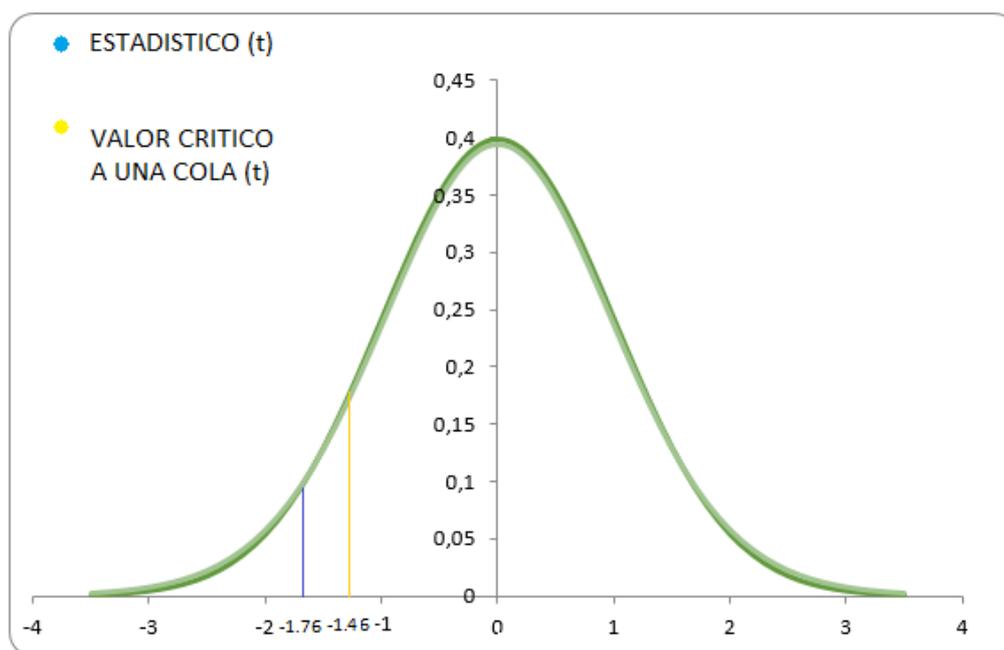
Donde:

- $\bar{X}$  = Media de la muestra
- $\mu$  = Media de la población
- S = Desviación estándar
- n = tamaño de la muestra

**Tabla 4.72** Verificación de la hipótesis de adherencia, condición 1

<b>CONDICIÓN 1</b>		
<b>VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE ADHERENCIA</b>		
<b>PRUEBAS T- STUDENT PARA MEDIDAS DE ADHERENCIA VS NORMAS INEN</b>		
	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
Media ( $\bar{X}$ )	$\bar{X} = 301.76 \text{ gr/cm}^2$	: $\mu = 310 \text{ gr/cm}^2$ (NORMA INEN 950)
Desviación estándar (S)	$S = 21.81 \text{ gr/cm}^2$	
Muestras (n)	$n = 15$	
Grados de libertad (n-1)	$n - 1 = 14$	
Estadístico (t)	$t = - 1.46$	
Índice de confiabilidad	$\alpha = 0.05$	
Valor critico a una cola (t)	$t = - 1.761$ (tabla estadística, T- student)	

Fuente: (El autor)



**Figura 4.52** Grafica de valores en la curva T- student.

Fuente: (El autor)

**Conclusión:** El valor de  $t = -1.46$  es menor que el valor critico  $t = -1.761$  a una cola por lo que se acepta la hipótesis nula  $H_0$  y se rechaza la hipótesis alternativa  $H_1$ , lo cual indica que los valores de adherencia que corresponden a la prueba 60 min  $40^\circ\text{C}$  6V si entran en los parámetros de la norma.

Para un segundo análisis tomamos los valores más cercanos a la condición uno y luego lo comprobamos con la norma INEN 950, ver tabla 4.72 y figura 4.52.

**Tabla 4.73** Adherencia a 60 min 30°C 7V

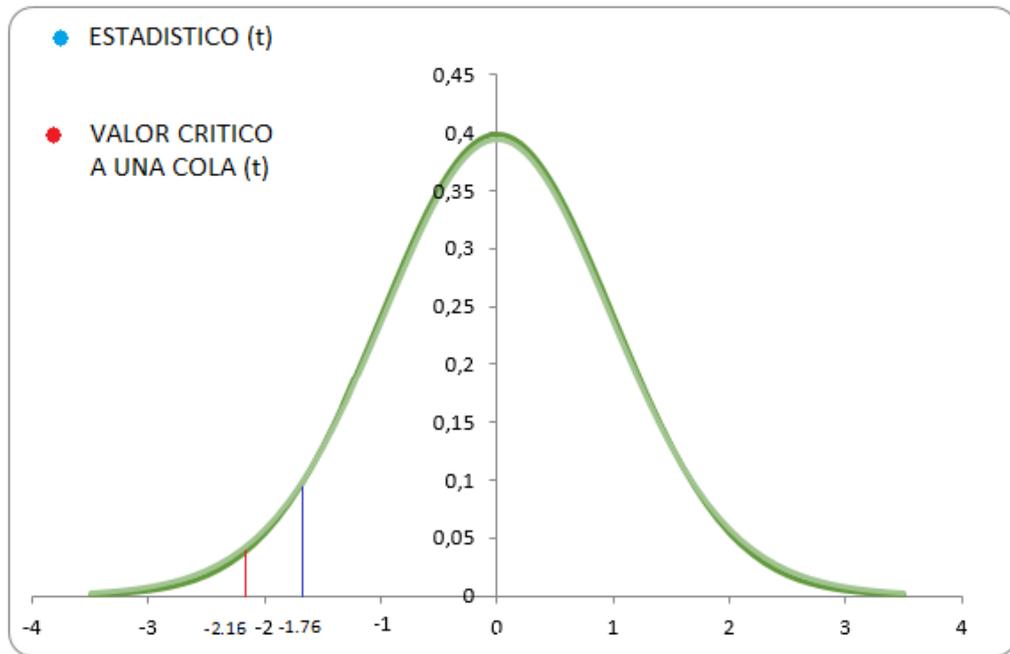
<b>ADHERENCIA</b>		
<b>60 min 30°C 7V</b>		
Muestras	% Adherencia	g/cm <sup>2</sup>
1	100	310
2	100	310
3	100	310
4	60	186
5	100	310
6	100	310
7	100	310
8	100	310
9	60	186
10	100	310
11	100	310
12	100	310
13	100	310
14	60	186
15	80	248
<b>PROMEDIO</b>	<b>90,66</b>	<b>281,066667</b>

Fuente: (El autor)

**Tabla 4.74** Verificación de la hipótesis de adherencia, condición 2

<b>CONDICIÓN 2</b>		
<b>VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE ADHERENCIA</b>		
<b>PRUEBAS T- STUDENT PARA MEDIDAS DE ADHERENCIA VS</b>		
<b>NORMAS INEN</b>		
	<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>
Media ( $\bar{X}$ )	$\bar{X} = 281.06\text{g/cm}^2$	: $\mu = 310 \text{ g/cm}^2$ (NORMA INEN 950)
Desviación estándar (S)	$S = 51.69 \text{ g/cm}^2$	
Muestras (n)	n = 15	
Grados de libertad (n-1)	n - 1 = 14	
Estadístico (t)	t = - 2.16	
Índice de confiabilidad	$\alpha = 0.05$	
Valor critico a una cola (t)	t = - 1.761 (tabla estadística, T- student)	

Fuente: (El autor)



**Figura 4.53** Grafica de valores en la curva T- student.

**Fuente:** (El autor)

**Conclusión:** El valor de  $t = -2.16$  es mayor que el valor crítico  $t = -1.761$  a una cola por lo que se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la hipótesis alternativa  $H_1$ , lo cual indica que los valores de adherencia que corresponden a la prueba 60 min  $30^{\circ}\text{C}$  7V no entran en los parámetros de la norma, ver tabla 4.74 y figura 4.53.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

Luego de realizar el estudio del grado de adherencia, espesor, dureza y la resistencia a la corrosión de la capa cromada (níquel+cromo) sobre la superficie de los aros para buses se puede anotar las siguientes conclusiones.

- En el estudio realizado de la capa cromada de los aros de los buses se pudo concluir que la adherencia al sustrato depende en gran medida de la forma en que se determine las variables del tiempo, la temperatura y la tensión eléctrica que se le proporcione al baño.
- En cuanto a la adherencia, luego de realizar algunas pruebas variando la temperatura, el tiempo y el voltaje en el proceso de níquelado se obtiene que la mejor opción es con el parámetro de tiempo 60min, temperatura 40°C y tensión 7V, obteniendo una adherencia de 97.14%, que equivale aproximadamente a 301.73 gr/cm<sup>2</sup>.
- En lo referente a la dureza de la capa del recubrimiento se concluye que los valores está dentro de los parámetros que exige la norma INEN 1058 para los procesos de níquelado + cromado, esto es con un valor comprendido entre (781.26 y 1100.8) HV. De la misma manera se concluye que a valores por sobre los 1100HV pueden ser muy peligroso para la capa del recubrimiento puesto que a durezas altas la capa tiende a ser frágil y por esta razón en el trabajo de estos elementos que son sometidos a golpes de piedras y granillos pueden ocasionar el trizado de la capa y consecuentemente el desprendimientos de la misma o el ingreso de humedad, lo que formaría una celda galvánica entre el cromo y el níquel y de esta forma iniciar un proceso de corrosión del elemento.

- En lo referente al espesor de la capa niquelado + cromado, luego analizar de las medidas tomadas, aplicando los diferentes cambios de variables, se concluye que los parámetros ideales para que se cumplan con la norma INEN 954 están en un tiempo de 60 min, temperaturas de (30 a 40)<sup>0</sup>C y con voltaje de (6 a 8)V para obtener el espesor comprendido (10.5 a 11.6)μm. De la misma manera se observa que el valor del espesor está en relación directa al tiempo de exposición en el baño, así como también a la temperatura y voltaje aplicado. Se considera que a espesores mayores de 10μm habrá mayor recubrimiento de la superficie.
- En el ensayo de corrosión realizado a cinco probetas que presentaron mayor adherencia y que corresponden a los parámetros de tiempo 60min, temperatura 40<sup>0</sup>C y voltaje de 6V se observó que dos presentaban defectos superficiales mayores a 2.5 mm<sup>2</sup>, que corresponde al 40%, en consecuencia quiere decir que no se tiene una buena resistencia a la corrosión,
- Luego del estudio realizado se propone que los mejores parámetros para realizar el recubrimiento electrolítico de niquelado + cromado es de:  
 Tiempo= 60min.  
 Temperatura= 40<sup>0</sup>C.  
 Tensión = 7V

## 5.2 RECOMENDACIONES

Al culminar las pruebas realizadas en el presente estudio se considera las siguientes recomendaciones.

- Se recomienda llevar un control adecuado de los procesos y de la concentración química de los baños.
- En cuanto al acabado final del producto depende también del tipo de corriente por lo que se recomienda hacer un estudio sobre el rectificado de la corriente y su incidencia en la adherencia de la capa cromada.
- En cuanto al producto final que es el aro cromado se recomienda hacer un estudio sobre la fragilidad por efecto de hidrogeno que proporciona el ácido crómico y su incidencia en las propiedades mecánicas del aro.

- Determinar los problemas de fatiga que proporcionan los recubrimientos de galvanostegia (niquel+cromo) y su incidencia en las propiedades mecánicas finales.

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS.**

**TEMA:** ELABORACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO PARA AÑADIR UNA CAPA DE COBREADO METÁLICO ALCALINO COMO BASE DEL RECUBRIMIENTO DE NÍQUEL + CROMO DE LOS AROS PARA BUSES, CON EL PROPÓSITO DE MEJORAR LA ADHERENCIA Y RESISTENCIA A LA CORROSIÓN.

Una vez realizado el estudio de la capa cromada a los aros de los buses se ha determinado que existen parámetros de tiempo, temperatura y voltaje adecuado para obtener una buena adherencia, dureza, y espesores de acuerdo a las normas técnicas y los requerimientos que nos propongamos. En cuanto a la corrosión y luego de los ensayos respectivos se determinó que no existe un buen nivel de resistencia para este efecto.

En lo referente a los ensayos de corrosión se realizó en los laboratorios del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Ambato en los que existe algunos parámetros a considerar como primeramente la disponibilidad de la cámara salina, luego la adquisición de los reactivos que son controlados por el CONCEP y la titulación de los mismos para la prueba.

Para la realizar de la prueba de adherencia de la capa cromada no existen equipos adecuados en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por lo que se hizo necesario la adquisición del equipo de medición de adherencia por trama cruzada ELCOMETER 107, el mismo que está bajo la norma ASTM D 3359-B.

## **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Como antecedente de la propuesta que se plantea en este proyecto y luego de una revisión de los estudios realizados en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato no se encuentra un tema referente al cobreado alcalino previo al recubrimiento de niquelado + cromado sobre aros para buses como un agente protector de la corrosión, por lo que se hace necesario realizar este estudio y sobre todo como un aporte importante a la industria automotriz y específicamente al sector de transporte los mismos que por su trabajo experimentan cambios de ambientes frecuentes y por ende riesgos de corrosión eminente.

Otro aspecto importante que se debe tomar en cuenta en lo recubrimientos metálicos es que además de darnos una buena apariencia se nos proporcione duración y resistencia a agentes corrosivos, por lo tanto garantizamos el producto final.

La propuesta se basa en incrementar una capa de cobre alcalino al recubrimiento de niquelado + cromado con el fin de elevar su nivel de protección a agentes corrosivos y de la misma manera dar un mayor grado de adherencia de la capa al sustrato.

## **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Muchos consumidores de este servicio se dejan llevar por la apariencia externa del recubrimiento, pero no se dan cuenta de la importancia que tiene el mismo dentro de la protección de los agentes externos, como es la acción de atmosferas corrosivas, lodos, polvos abrasivos, golpes de piedras y granillos, etc. que puede afectar la vida útil de estos elementos automotrices. Por esto la importancia de tener un recubrimiento que tenga una dureza adecuada para resistir la abrasión y golpes. Un espesor adecuado para tener un buen recubrimiento del elemento. Una buena adherencia para evitar el desprendimiento de la capa y de la misma manera debemos procurar que los elementos corrosivos no lleguen al sustrato en este caso a la superficie del aro y así proteger y embellecer a este elemento.

El adicionar una capa más de cobre por medio de un baño alcalino, poseen cualidades superiores de adherencia y poder de recubrimiento a la del resto de electrolitos utilizados para el depósito de cobre sobre aceros debido a la acción de óxidos, desengrasantes y pasivantes que ejerce los cianuros sobre el metal base.

Además este recubrimiento es utilizado como base para el recubrimiento de níquel + cromo en piezas de acero para proteger de la corrosión.

Esta propuesta es factible realizar debido a que se dispone de los elementos indispensables para realizar este recubrimiento, así como también la cámara salina para realizar las pruebas de corrosión respectivas.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 Objetivo general**

Incrementar una capa de cobreado metálico alcalino como base del recubrimiento de níquel + cromo de los aros para buses, con el propósito de mejorar la adherencia y resistencia a la corrosión.

### **6.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el grado de adherencia mediante el método de corte de trama cruzada de la capa de (cobre + níquel + cromo) sobre la superficie de los aros de los buses.
- Determinar el grado de corrosión mediante el método de cámara salina de la superficie de los aros de los buses.
- Establecer parámetros para un adecuado proceso de recubrimiento metálico de cobre + níquel + cromo a la superficie de los aros de los buses.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

La presente propuesta es factible porque se dispone de los equipos adecuados, la tecnología y el recurso humano apropiado para el desarrollo de este trabajo.

En cuanto a la adición de las capas metálicas a la superficie del aro se efectúa con el apoyo de la planta de recubrimientos superficiales de los Ingenieros Lara Núñez (ILN) la misma que cuenta con estos tipos de baños para este proceso.

En cuanto a la prueba de corrosión se realiza en la cámara salina a base de ácido acético que dispone el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros de Ambato. Las pruebas de adherencia se realizan con el equipo de medición de adherencia por corte de trama cruzada ELCOMETER 107 en el laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

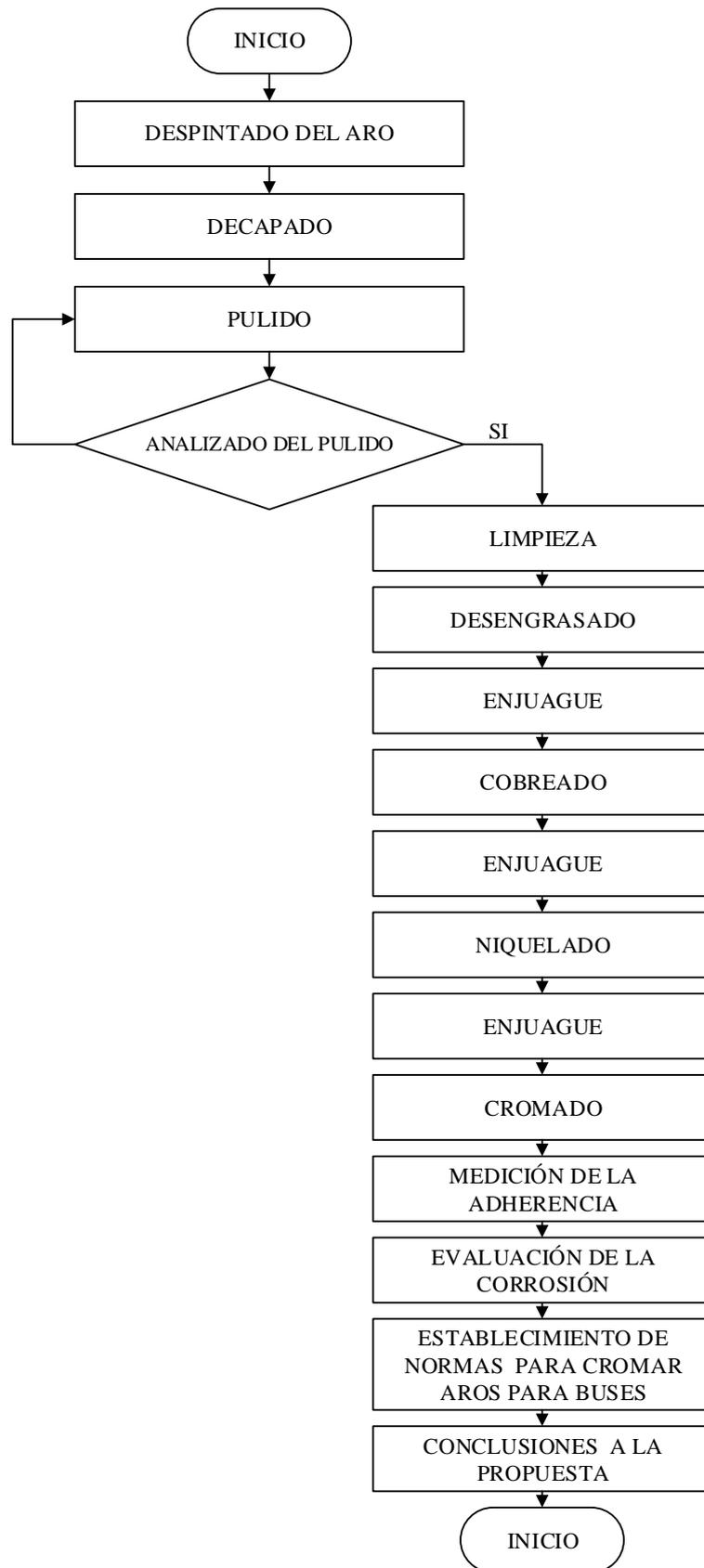
La fundamentación de la presente propuesta se basa en los conceptos tratados en el marco teórico del capítulo II, en el análisis e interpretación de resultados del capítulo IV y la determinación de las conclusiones en el capítulo V.

De los resultados obtenidos de la investigación dados en el capítulo IV se observó que la adherencia adecuada se obtuvo en el parámetro de tiempo 60min, temperatura 40<sup>0</sup>C y voltaje 6V y es de 97.14 %, nuestra propuesta es mejorar ese porcentaje con la adición de esta capa de cobre basándonos en la acción de óxidos, desengrasantes y pasivantes que ejerce los cianuros sobre el metal base.

En lo referente a los resultados de la corrosión se determina que un 60% de las probetas analizadas pasaron la norma, valor que no es confiable para el trabajo que va a desempeñar los aros de los buses, puesto que los mismos trabajan tanto en el sector de la sierra, costa y oriente es decir tienen diferentes ambientes y la corrosión de los mismos es eminente, por lo que es necesario la utilización de la capa de cobreado para elevar el nivel de protección de la corrosión.

## **6.7 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del proceso de adición de la capa de cobreado sobre la superficie del aro para buses que servirá como base para ubicar la capa de níquel + cromo se establece el siguiente procedimiento.



**Figura 6.1** Diagrama de procesos de cromado  
**Fuente:** (El autor)

### 6.7.1 Despintado del aro.

Como se explicó en el capítulo IV los aros originalmente vienen recubiertos con pintura anticorrosiva, no obstante para un recubrimiento metálico como es el de cobre + níquel + cromo, se retira de este recubrimiento por medio de un proceso de calentamiento a base de un soplador accionado por GLP (gas licuado de petróleo), la llama debe ser aplicada con cuidado, aplicando normas de seguridad, ver figura 6.2.



**Figura 6.2** Aros despintados  
**Fuente:** (El autor)

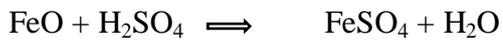
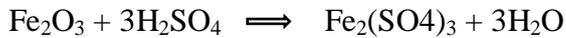
### 6.7.2 Decapado del aro.

Para decapado del aro se el retiro del óxido formado al calentar el metal, el cual está formado por tres capas:

- La capa externa está constituido por oxido férrico  $Fe_2O_3$ .
- La capa más gruesa constituida por oxido ferroso férrico  $Fe_3O_4$ .
- Y la interna que es la más próxima al hierro está formado por oxido ferroso  $FeO$ .

Por efecto del calentamiento por llama se puede producir el herrumbre o herrín que es un producto del proceso eutectoide por debajo los  $570^{\circ}C$ .

Para la eliminación del herrín se usa el proceso de decapado, esto es sumergiendo el aro en una solución de ácido sulfúrico al 20% de concentración por 1 hora dependiendo del grado de oxidación, posteriormente se realiza un proceso de neutralización a base de sosa caústica y las reacciones que se producen son:



La reducción de sulfato férrico a sulfato ferroso es a causa de hidrógeno



### 6.7.3 Pulido.

Para tener un buen acabado en los procesos de cromado electrolítico (cobre + níquel + cromo) es necesario un cierto grado de pulido, con abrasivos, usando ruedas flexibles, y discos de amolar.

- **Pulido abrasivo.**- Se utiliza cuando la superficie es muy basta, para esto se usó un disco de amolar apropiado.
- **Pulidora.**- Es un torno apropiado accionado por un motor de 5 hp. El mismo que actúa sobre un eje, que está soportado sobre una bancada. Este eje tiene un sistema roscado en los extremos con el fin de acoplar los discos abrasivos por medio de unas tuercas hechas de bronce fosfórico, para cambio rápido de los discos, ver figura 6.3.
- **Discos pulidores.**- Se construyen a base de discos de tela pegados con cola de carpintero hasta adquirir el grosor deseado, con la misma pega se procede a colocar el abrasivo sobre la periferia, este es a base de óxido de aluminio.
- **Discos para abrillantar.**- Se construyen a base de discos de tela de algodón pegados para dar mayor rigidez al disco, a este se le adhiere en la superficie periférica pasta de abrillantar, hecha a base de grasas vegetales como la de cacao.



**Figura 6.3** Pulido del aro  
**Fuente:** (El autor)

#### **6.7.4 Limpieza del aro.**

La limpieza del aro se lo realiza con el fin de retirar el exceso de grasa producto del proceso de abrillantado aplicado a la superficie, para este efecto utilizagasolina y carbonato de calcio (cal apagada).

#### **6.7.5 Desengrase**

De la eficacia de este proceso depende el grado de adherencia del recubrimiento, porque la presencia de la grasa ocasiona la formación de ampollas y depósitos poco adherentes a la superficie. Para eliminar la grasa provenientes de procesos anteriores, se un desengrasa electrolítico en un baño donde el electrolito es una solución alcalina a base de detergentes, sosa caustica y carbonato de sodio, la misma que está a una temperatura de 30<sup>0</sup>C, haciendo de cátodo la pieza y de ánodo la tina, esto se lleva a efecto por un tiempo de 2 a 3 minutos con una aplicación de una tensión de 6 V, ver figura 6.4.

Luego del desengrase se enjuaga bien con agua limpia, luego de esta operación el aro se le sumerge en agua acida la misma que está preparada con una solución de agua y ácido sulfúrico al 10% de concentración, esto con el fin de eliminar residuos alcalinos al baño de níquel y como una activación para el proceso de niquelado.



**Figura 6.4** Proceso de desengrase del aro  
**Fuente:** (El autor)

#### **6.7.6 Cobreado alcalino.**

Consiste en la inmersión del aro en un baño con una solución de cianuro cuproso, con la adición de cianuro de sodio o de potasio más algunos aditivos para mejorar la calidad de la superficie, este tipo de solución es el aconsejable para recubrir materiales ferrosos principalmente por su poder de penetración y adhesión al metal base, mejorando el depósito de la capa de níquel sobre el cobre; el inconveniente es su peligrosidad para la salud y afectación al medio ambiente.

En cuanto a los ánodos deben ser de mayor pureza posible sin la contaminación de óxidos. En el proceso estos son colocados en fundas de tela para filtrar impurezas y permitir que los iones de cobre lleguen lo más limpio posible al material base. [10]

Los parámetros de trabajo son:

- La temperatura de trabajo es de 30 °C.
- La densidad de corriente es de 2 A/dm<sup>2</sup>.
- Se filtra el baño para evitar la contaminación orgánica.

En lo que se refiere al espesor de la capa de cobre, de acuerdo a la norma INEN 955 y para un índice de trabajo 3 (norma INEN 951) se recomienda que la misma

debe tener una dimensión de 20  $\mu\text{m}$ . para condiciones severas y expuestas a la intemperie.

#### 6.7.6.1 Cálculo de parámetros de trabajo para el cobreado alcalino.

Para cumplir con las exigencias de la norma INEN 955 para este tipo de elementos que están expuestos a la intemperie y bajo el índice de trabajo 3 que es para exigencias de trabajo alto, se procedió a determinar algunos parámetros que son necesarios para el proceso de cobreado:

Dimensión del espesor de  $e = 20 \mu\text{m}$ .

- El área lateral del aro a recubrirse por su forma irregular es difícil calcularlo, por lo que se utiliza el software Solidworks para calcular, ver figura 6.5; siendo:

$$A_r = 1.503 \text{ m}^2.$$



Figura 6.5 Determinación del área lateral del aro

Fuente: (El autor)

- Una vez obtenido los dos datos anteriores se determina el volumen del recubrimiento ( $V_o$ ):

$$V_o = A_r * e \tag{Ec.(6.1)}$$

$$V_o = 15030 \text{ cm}^2 * 2 \times 10^{-3} \text{ cm}.$$

$$V_o = 30.06 \text{ cm}^3$$

- Para determinar el peso del cobre, se utiliza el peso específico del mismo que es de  $\gamma = 8.9 \text{ gr/cm}^3$

$$Y = w/V_0 \quad \text{Ec. (6.2)}$$

$$w = Y * V_0 \quad \text{Ec. (6.3)}$$

$$w = 8.9 \text{ gr/cm}^3 * 30.06 \text{ cm}^3$$

$$w = \mathbf{267.53 \text{ gr.}}$$

- La densidad de corriente (d) para este proceso es de  $2 \text{ A/dm}^2$ , por lo tanto la intensidad de corriente necesaria es:

$$d = I/Ar \quad \text{Ec. (6.4)}$$

$$I = d * Ar \quad \text{Ec. (6.5)}$$

$$I = 2 \text{ A/dm}^2 * 150 \text{ dm}^2$$

$$I = \mathbf{300 \text{ A}}$$

- El número de electrones, átomo producidos o consumidos en el proceso es:

$$n = 2$$

- La masa atómica del cobre es:

$$M = \mathbf{63.5 \text{ gr/mol}}$$

- La constante de:

$$\mathbf{\text{Faraday} = 96\,500 \text{ C / mol o } 96\,500 \text{ A} \cdot \text{s / mol}}$$

Con la información anterior y aplicando la ecuación de Faraday en condiciones ideales, sin considerar las pérdidas por reacciones laterales se determina que el tiempo de exposición del aro en el baño de cobre es.

$$w = \frac{I * t * M}{n * F} \quad \text{Ec. (6.6)}$$

$$t = w * n * F / I * M \quad \text{Ec. (6.7)}$$

$$t = 267.53 \text{ gr} * 2 * 96500 \text{ A.s/mol} / 300 \text{ A} * 63.5 \text{ gr/mol}$$

$$t = 2710 \text{ s}$$

$$t = \mathbf{45.17 \text{ min}}$$

El tiempo calculado es ideal, sin considerar las pérdidas colaterales, ver figura 6.6



**Figura 6.6** Aro cubierto por una capa de cobre  
**Fuente:** (El autor)

### **6.7.7 Niquelado electrolítico.**

El niquelado es el depósito electrolítico de una capa de níquel sobre metal base.

El proceso consiste en la conversión del níquel metálico del ánodo en iones de níquel que se distribuyen en la solución de electro niquelado. Estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) y forma una capa de níquel metálico en la superficie. Los niquelados decorativos se logra con el electrolito a base de sales de níquel más la adición de agentes orgánicos con los mismos que se lograra superficies con mayor protección, lizas y con alto brillo.

#### **6.7.7.1 Proceso de niquelado**

El proceso de niquelado se realiza de la siguiente manera:

1. Se dispone de un baño o celda electrolítica que contiene ánodos de níquel de alta pureza, el electrolito compuesto de sales como: sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico más aditivos orgánicos, además de cátodo lo hace el aro o elemento a depositar, ver figura 6.7.



**Figura 6.7** Piscina para el proceso de niquelado  
**Fuente:** (El autor)

2. Se aplica una tensión baja de 6 Voltios, el amperaje lo define el área catódica, mientras más grande sea esta, mayor será en consumo de amperaje, la temperatura de trabajo es  $40^{\circ}\text{C}$  y el tiempo está definido en función del espesor que se desea obtener.
3. En el proceso, el cátodo se agita mediante un movimiento lento de vaivén, esto con el fin de no presentar áreas muertas y mejorar el depósitos de iones níquel sobre la superficie del elemento y así también facilitar la salida del hidrogeno producto del proceso.
4. En el niquelado del aro, este se coloca de forma vertical, pero por su forma las partes más salientes están más próximo al ánodo por lo que adquieren mayor espesor, para tener una uniformidad de espesor se utiliza pantallas o se niquela ubicando el aro de forma horizontal con un ánodo ubicado en la parte media del aro.
5. Luego de este proceso se enjuaga este elemento para pasar al proceso de cromado.

### 6.7.7.2 Aspectos a considerar en el proceso de niquelado.

- Se considera la adición de ciertos agentes reductores y compuestos químicos que favorecen la disolución de los ánodos y hacen la solución más conductora.
- Es esencial que los productos químicos utilizados tengan alto grado de pureza, porque la presencia de impurezas incrementa la posibilidad de defectos.
- La reacción química que se da en el proceso es cuando se disuelve las sales, estas se disocian en níquel iónico ( $\text{Ni}^{+2}$ ). Luego con el paso de la corriente este ion metálico reacciona con dos electrones formando una capa de níquel metálico sobre el cátodo, lo inverso ocurre en el ánodo donde este se disocia en níquel iónico.



- Debido a que un pequeño porcentaje de corriente es consumida en la descarga de iones de hidrogeno del cátodo, la eficiencia del depósito de níquel es menor al 100% y está alrededor del 95.5%.
- Hay que tomar en cuenta la función específica de cada uno de los elementos que conforman el baño así; el sulfato de níquel incrementa la densidad de corriente y por ello aumenta la velocidad de depósito, el cloruro de níquel incrementa la corrosión anódica ocasionando una mayor disociación del ánodo para formar iones de níquel e incrementa la conductividad del electrolito, el ácido bórico ayuda a obtener depósitos blancos lisos y dúctiles, además hay que considerar el área anódica que debe estar de 60 a 70% del área lateral del baño.
- Las picaduras ocasionadas por la presencia del hidrogeno en la superficie catódica durante el depósito se eliminó utilizando agentes humectantes anionicos llamados antiporo o anti-pitting [10].

### 6.7.7.3 Cálculo de parámetros de trabajo para el niquelado.

En cumplimiento con la norma INEN 955, índice de trabajo 3 se establece que el espesor de la capa de níquel es de:

$$e = 25 \mu\text{m.}$$

El volumen de la capa de níquel que necesita es:

$$V_o = 37.55 \text{ cm}^3.$$

Para determinar el peso del níquel se usa el peso específico:

$$\Upsilon = 8.6 \text{ gr/cm}^3$$

De donde se obtiene que el peso de la capa de níquel es:

$$w = \Upsilon * V_o \quad \text{Ec. (6.8)}$$

$$w = 8.6 \text{ gr/cm}^3 * 37.55 \text{ cm}^3$$

$$w = 322.93 \text{ gr}$$

La densidad de corriente (d) para el proceso de niquelado está entre (2 – 10) A/dm<sup>2</sup>

Se utiliza el valor de:

$$d = 2 \text{ A/dm}^2$$

El área del aro que se recubre es:

$$A_r = 150 \text{ dm}^2$$

Luego se determina la intensidad de corriente:

$$I = d * A_r \quad \text{Ec. (6.9)}$$

$$I = 2 \text{ A/dm}^2 * 150 \text{ dm}^2$$

$$I = 300 \text{ A}$$

- El número de electrones átomo producidos o consumidos en el proceso es:

$$n = 2$$

- La masa atómica del níquel es:

$$M = 58.71 \text{ gr/mol}$$

- La constante de:

$$\text{Faraday} = 96\,500 \text{ C / mol o } 96\,500 \text{ A} \cdot \text{s / mol}$$

Aplicando la ley de Faraday se determina que el tiempo que permanecerá el aro en el baño de níquel es:

$$t = w \cdot n \cdot F / I \cdot M \quad \text{Ec. (6.10)}$$

$$t = 322.93 \text{ gr} \cdot 2 \cdot 96500 \text{ A.s/mol} / 300 \text{ A} \cdot 58.71 \text{ gr/mol}$$

$$t = 3538.60 \text{ s}$$

$$t = 60 \text{ min.}$$

Este tiempo es para condiciones ideales, sin considerar las pérdidas colaterales, en la tabla 6.1 nos proporciona el espesor que deseo en función de la densidad de amperaje y el tiempo de exposición en el baño de níquel de acuerdo a la empresa proveedora de este producto, con una eficiencia catódica del 95.5%.

**Tabla 6.1** Espesores de la capa de niquela en función de la densidad de corriente y el tiempo (basados en 95.5% de eficacia catódica)

Espesor del deposito	Peso por unidad de área	Requerimiento Eléctrico		Tiempo en minuto para obtener deposito a la densidad de corriente (A/dm <sup>2</sup> ) indicada											
				Mm	g/dm <sup>2</sup>	Ah/dm <sup>2</sup>	Amin/dm <sup>2</sup>	0-5	1	1-5	2	3	4	5	6
2	0-18	0-17	10	20	10	6-8	5-1	3-4	2-6	2-0	1-7	1-3	1-0	0-9	
4	0-36	0-34	20	41	20	14	10	6-8	5-1	4-1	3-4	2-6	2-0	1-7	
6	0-53	0-51	31	61	31	20	15	10	7-7	6-1	5-1	3-8	3-1	2-6	
8	0-71	0-68	41	82	41	27	20	14	10	8-2	6-8	5-1	4-1	3-4	
10	0-89	0-85	51	100	51	34	26	17	13	10	8-5	6-4	5-1	4-3	
12	1-1	1-0	61	120	61	41	31	20	15	12	10	7-7	6-1	5-1	
14	1-2	1-2	71	140	71	48	36	24	18	14	12	8-9	7-1	6-0	
16	1-4	1-4	82	160	82	54	41	27	20	16	14	10	8-2	6-8	
18	1-6	1-5	92	180	92	61	46	31	23	18	15	11	9-2	7-7	
20	1-8	1-7	100	200	100	68	51	34	26	20	17	13	10	8-5	
40	3-6	3-4	200	410	200	140	100	68	51	41	34	26	20	17	
60	5-3	5-1	310	610	310	200	150	100	77	61	51	38	31	26	

Fuente: (INCO, Guía para el niquelado)

### 6.7.8 Cromado electrolítico.

Es la última capa que se aplica en el cromado decorativo, el espesor de acuerdo a la norma INEN 950 con índice de trabajo 3 que es para altas exigencias, es de 0.3  $\mu\text{m}$ . su función es proteger a las capas subsiguientes y dar apariencia y brillo al elemento a recubrir en este caso al aro. La solución electrolítica está formada por ácido crómico que contiene pequeñas cantidades de sulfatos y ácido sulfúrico en una proporción de aproximadamente 100:1.

#### 6.7.8.1 Proceso de cromado electrolítico.

- **Reacciones anódicas y catódicas.-** En la electrolisis, el contenido de cromo hexavalente es reducido en el cátodo en forma cromo trivalente.
- **Temperatura.-** Las condiciones del cromado brillante están en función de la temperatura y la recomendada es 30  $^{\circ}\text{C}$ .
- **Densidad de corriente.-** En la práctica se recomienda trabajar con densidades de corriente de 3 a 20  $\text{A}/\text{dm}^2$ , para este proceso se utiliza 6  $\text{A}/\text{dm}^2$ , con cargas de 6 V.
- **Poder de penetración.-** El poder de penetración de la capa de cromo es muy baja por lo que es necesario utilizar pantallas para cromar zonas angulares. Las causas del bajo rendimiento son la producción de gases que tienden a formar burbujas en el cátodo impidiendo que se realice un depósito adecuado, ver figura 6.7.
- **Defectos en el cromado.-** Los defectos más comunes que se presentan en el cromado son:
  1. **Depósitos estirados.-** Son rayas blancas sobre la superficie recubierta, producto de la baja densidad de corriente.
  2. **Depósitos mates.-** Para eliminar se debe aumentar la temperatura del baño.
  3. **Depósitos delgados y descoloridos.-** Es por la elevada temperatura del baño que disminuye la velocidad del depósito.
  4. **Depósitos quemados.-** Se produce por la excesiva densidad de corriente se puede reducir utilizando pantallas en los bordes.

5. **Superficies no recubiertas.**- Estas son generalmente producidos por el desprendimiento de los gases, este defecto puede corregirse por la ubicación adecuada de los elementos en la barra de sustentación, ver figura 6.8.



**Figura 6.8** Piscina para el proceso de cromado  
**Fuente:** (El autor)

### 6.7.7.3 Calculo de parámetros de trabajo para el cromado.

En cumplimiento con la norma INEN 955, índice de trabajo 3 se establece que el espesor de la capa de cromo es:

$$e = 0.3 \mu\text{m}.$$

El volumen de la capa de cromo que se necesita es:

$$V_o = 4.5 \text{ cm}^3.$$

Para determinar el peso del cromo se utilizó el peso específico:

$$\Upsilon = 7.19 \text{ gr/cm}^3$$

De donde se obtiene que el peso de la capa de cromo es:

$$w = \Upsilon * V_o \tag{Ec. (6.11)}$$

$$w = 7.19 \text{ gr/cm}^3 * 4.5 \text{ cm}^3$$

$$w = 32.35 \text{ gr}$$

La densidad de corriente (d) para el proceso de cromado está entre (3 - 20) A/ dm<sup>2</sup>

Tomo un valor:

$$d = 6 \text{ A/ dm}^2$$

El área de recubrimiento es:

$$A_r = 150 \text{ dm}^2$$

Luego se determina la intensidad de corriente que se necesita:

$$I = d * A_r \quad \text{Ec. (6.12)}$$

$$I = 6\text{A/ dm}^2 * 150 \text{ dm}^2$$

$$I = 900\text{A}$$

- El número de electrones, átomo producidos o consumidos en el proceso es:

$$n = 6$$

- La masa atómica del cromo es:

$$M = 51.996 \text{ gr/mol}$$

- La constante de:

$$\text{Faraday} = 96\,500 \text{ C / mol o } 96\,500 \text{ A} \cdot \text{s / mol}$$

Aplicando la ley de Faraday se puede determinar el tiempo que permanece el aro en el baño de cromo

$$t = w * n * F / I * M \quad \text{Ec. (6.13)}$$

$$t = 32.35 \text{ gr} * 6 * 96500 \text{ A.s/mol} / 900 \text{ A} * 51.996 \text{ gr/mol}$$

$$t = 400.2 \text{ s}$$

$$t = 6.6 \text{ min.}$$

Este tiempo en condiciones ideales, sin considerar las pérdidas colaterales.

## 6.7.9 Medición de la adherencia.

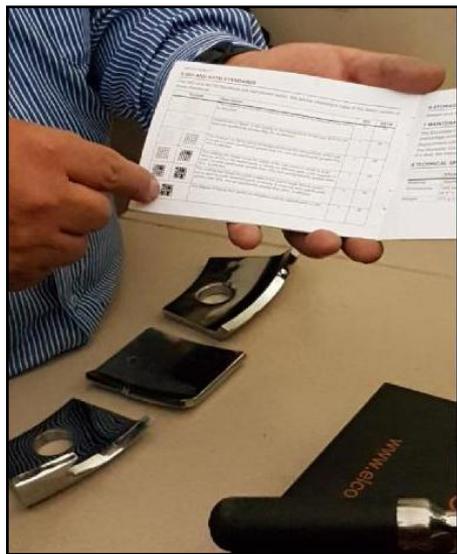
Tabla 6.2 Determinación de los parámetros para el ensayo de adherencia

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p>	
<p><b>6. OBJETIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar el grado de adherencia de la capa Cu+Ni+Cr a la superficie del aro de los buses.</li><li>• Aportar con los datos obtenidos en la determinación de los parámetros adecuados para el proceso del recubrimiento metálico.</li></ul> <p><b>7. ALCANCE:</b></p> <p>Cumple con las especificaciones para el recubrimiento metálico de la capa Cu+Ni+Cr que se utilizara en los aros de los buses.</p> <p><b>8. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:</b></p> <p>Los documentos en los cuales se basa el experimento son la norma INEN 954 – 4.6 y ASTM D3359-09.</p> <p><b>9. GENERALIZACION:</b></p> <p>Al realizar el ensayo de adherencia de la capa Cu+Ni+Cr sobre la superficie de los aros para los buses, nos permite garantizar la calidad del producto.</p> <p><b>10. REALIZACION:</b></p> <p>Para el ensayo se realiza el siguiente procedimiento :</p>		

La medición de la adherencia de la capa de Cu+Ni+Cr a la superficie de los aros para los buses, se realiza en el Laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) Latacunga, para este efecto primero se obtiene las probetas testigo que son recubiertas al igual que el aro, es decir tendrán las mismas características del patrón y nos servirán para los ensayos respectivos, como se ve en la figura 6.8. Posteriormente para realizar el ensayo se utiliza el equipo de corte de trama cruzada ELCOMETER 107, ver figura 6.9.



**Figura 6.9** Probetas testigo de los aros para los ensayos  
**Fuente:** (El autor)



**Figura 6.10** Probetas, cortador y manual para realizar la prueba de adherencia  
**Fuente:**(El autor)

### 6.7.9.1 El procedimiento para medir la adherencia:

**Tabla 6.3** Procedimiento para medir la adherencia de acuerdo a la norma ASTM.

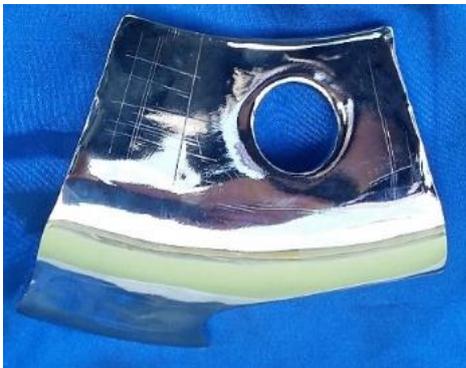
OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA																																			
<p style="text-align: center;">1</p>	<p>Se selecciona la cuchilla de acuerdo a la sugerencia que se nos da en la tabla para un espesor entre (0 – 50) <math>\mu\text{m}</math>.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Espesor del revestimiento</th> <th colspan="3">Método de Prueba</th> </tr> <tr> <th><math>\mu\text{m}</math></th> <th>mils</th> <th>ASTM (Sustratos metálicos)</th> <th>ISO/ JIS (Sustratos duros)</th> <th>ISO/ JIS (Sustratos blancos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0-50</td> <td>0-2</td> <td>11 x 1 mm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>50-125</td> <td>2-5</td> <td>6 x 2 mm</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>0-60</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>6 x 1 mm</td> <td>6 x 2 mm</td> </tr> <tr> <td>61-120</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>6 x 2 mm</td> <td>6 x 2 mm</td> </tr> <tr> <td>121-250</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>6x 3 mm</td> <td>6 x 3 mm</td> </tr> </tbody> </table>	Espesor del revestimiento		Método de Prueba			$\mu\text{m}$	mils	ASTM (Sustratos metálicos)	ISO/ JIS (Sustratos duros)	ISO/ JIS (Sustratos blancos)	0-50	0-2	11 x 1 mm			50-125	2-5	6 x 2 mm	-	-	0-60	-	-	6 x 1 mm	6 x 2 mm	61-120	-	-	6 x 2 mm	6 x 2 mm	121-250	-	-	6x 3 mm	6 x 3 mm
Espesor del revestimiento		Método de Prueba																																			
$\mu\text{m}$	mils	ASTM (Sustratos metálicos)	ISO/ JIS (Sustratos duros)	ISO/ JIS (Sustratos blancos)																																	
0-50	0-2	11 x 1 mm																																			
50-125	2-5	6 x 2 mm	-	-																																	
0-60	-	-	6 x 1 mm	6 x 2 mm																																	
61-120	-	-	6 x 2 mm	6 x 2 mm																																	
121-250	-	-	6x 3 mm	6 x 3 mm																																	
<p style="text-align: center;">2</p>	<p>Se presiona la cuchilla contra la probeta y luego se tira hacia atrás con un movimiento constante para hacer una serie de cortes paralelos aproximadamente de 20mm,</p>																																				
<p style="text-align: center;">3</p>	<p>Luego se coloca la cuchilla a 90° de la posición que se realizó el primer corte y se repite el segundo pasó para crear un patrón de corte en la capa</p>																																				

<p style="text-align: center;">4</p>	<p>Para remover los residuos producto del corte se limpia cuidadosamente y se inspecciona la muestra para asegurarse que el corte haya penetrado de manera exitosa en la capa.</p>	
<p style="text-align: center;">5</p>	<p>Se corta la cinta adhesiva en una longitud de 75 mm.</p>	
<p style="text-align: center;">6</p>	<p>La cinta adhesiva se coloca sobre la probeta y se asegura que este bien pegada. Luego de transcurrido 90 min. Se retira la cinta halando hacia atrás con un ángulo de 180° de la superficie de la capa</p>	

<p style="text-align: center;">7</p>	<p>Se observa los resultados de la adherencia usando una lupa para aumentar la visión a la misma,.</p>																																								
<p style="text-align: center;">8</p>	<p>Comparo los resultados obtenido en la prueba con la tabla de cortes ASTM,</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Aspectos de ejemplo</th> <th rowspan="2">Descripción</th> <th colspan="2">Clasificación</th> </tr> <tr> <th>Retirada mínima</th> <th>Retirada máxima</th> <th>ISO/ JIS</th> <th>ASTM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado</td> <td>0</td> <td>5B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%</td> <td>1</td> <td>4B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%</td> <td>2</td> <td>3B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%</td> <td>3</td> <td>2B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%</td> <td>4</td> <td>1B</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B</td> <td>5</td> <td>0B</td> </tr> </tbody> </table>	Aspectos de ejemplo		Descripción	Clasificación		Retirada mínima	Retirada máxima	ISO/ JIS	ASTM			Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado	0	5B			Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%	1	4B			El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%	2	3B			El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%	3	2B			El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%	4	1B			Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B	5	0B
Aspectos de ejemplo		Descripción	Clasificación																																						
Retirada mínima	Retirada máxima		ISO/ JIS	ASTM																																					
		Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado	0	5B																																					
		Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%	1	4B																																					
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%	2	3B																																					
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%	3	2B																																					
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%	4	1B																																					
		Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B	5	0B																																					

(Fuente: El autor)

**Tabla 6.4** Pruebas de adherencia de acuerdo a la norma INEN 954

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO DE ADHERENCIA</b>						
<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>ENSAYO: N°01</b>						
<b>Probetas</b>	5	<b>Autorizado por:</b>	Ing. Mg. Segundo Espín	<b>Realizado por:</b>	Ing. Mario Lara	
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de materiales Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)			<b>Fecha de ejecución:</b>	30/11/2016	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO</b>						
<b>Realizado bajo la norma:</b>				INEN 954 – 4.6 y ASTM D3359-09		
<b>Instrumento:</b>				Cortador de trama cruzada ELCOMETER 107		
<b>Método:</b>				Porcentaje de adherencia (%)		
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBAS</b>						
<b>PROBETAS</b>		<b>ADHERENCIA ASTM</b>		<b>% DE ADHERENCIA</b>		
1		5B		100		
2		5B		100		
3		5B		100		
4		5B		100		
5		5B		100		
<b>IMÁGENES</b>						
<b>PROBETA ENSAYADA</b>						
						
<b>Observaciones:</b>						
El valor de la adherencia en las cinco probetas es 5B por lo que corresponde a un 100% lo que significa que la capa Cu+Ni+Cr es la adecuada para este tipo de, recubrimientos.						

(Fuente: El autor)

## 6.7.10 Medición de la dureza.

Tabla 6.5 Determinación de los parámetros para el ensayo de dureza

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p>	
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>		
<p><b>4. OBJETIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Determinar el grado de dureza de la capa Cu+Ni+Cr a la superficie del aro de los buses.</li><li>• Aportar con los datos obtenidos en la determinación de los parámetros adecuados para el proceso del recubrimiento metálico.</li></ul> <p><b>5. ALCANCE:</b></p> <p>Cumple con las especificaciones para el recubrimiento metálico de la capa Cu+Ni+Cr que se utilizara en los aros de los buses.</p> <p><b>6. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:</b></p> <p>Los documentos en los cuales se basa el experimento son la norma INEN 1058</p> <p><b>7. GENERALIZACION:</b></p> <p>Al realizar el ensayo de dureza de la capa Cu+Ni+Cr sobre la superficie de los aros para los buses, nos permite garantizar la calidad del producto</p> <p><b>5. REALIZACION:</b></p> <p>El ensayo se realiza de siguiente manera :</p>		

(Fuente : **El autor**)

Para medir la dureza utilizo el durómetro del Laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) Latacunga, con una escala de dureza Rockwell C, que luego lo transformamos a Vickers como exige la norma INEN 1058.

### 6.7.10.1 El procedimiento para determinar la dureza:

**Tabla 6.6** Procedimiento para el ensayo de dureza

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
<p style="text-align: center;">1</p>	<p>Se utiliza un durómetro de lectura directa, para la determinación de dureza Rockwell C calibramos el equipo con una precarga de 150 Kg, y un penetrador de cono de diamante.</p>	
<p style="text-align: center;">2</p>	<p>Se aplica una presión a la probeta hasta que la aguja pequeña de la caratula pase de un punto negro hasta el rojo, luego enceramos la caratula en la escala negra. Para posteriormente quitar la presión y medir directamente la dureza.</p>	

3

Para obtener la dureza Vickers que exige la norma utilizamos las tablas de transformación

Brinell HB	Vickers HV	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		HRC	HRB	
898				440
857				420
817				401
780	1150	70		384
745	1050	68		368
712	960	66		352
682	885	64		337
653	820	62		324
627	765	60		311
601	717	58		298
578	675	57		287
555	633	55	120	276
534	598	53	119	266
514	567	52	119	256

**Tabla 6.7** Ensayo de dureza de acuerdo a la norma INEN 1058

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>						
<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>ENSAYO: N°02</b>						
<b>Probetas</b>	5	<b>Autorizado por:</b>	Ing. Mg. Segundo Espín	<b>Realizado por:</b>	Ing. Mario Lara	
<b>Lugar de realización:</b>	Laboratorio de materiales Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)			<b>Fecha de ejecución:</b>	30/11/2016	
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO</b>						
<b>Realizado bajo la norma:</b>				INEN 1058		
<b>Instrumento:</b>				Durómetro		
<b>Método:</b>				Dureza Rockwell C		
<b>Tipo de penetrador</b>				Cono de diamante		
<b>Carga aplicada</b>				150 Kg.		
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>						
<b>PROBETA</b>		<b>DUREZA ROCKWELL C</b>		<b>DUREZA VICKERS</b>		
1		66		960		
2		65.5		940		
3		66.5		980		
4		65.5		940		
5		66		960		
<b>IMÁGENES</b>						
<b>PROBETA ENSAYADA</b>						
						
<b>Observaciones:</b>						
La dureza de las probetas recubiertas por la capa Cu+Ni+Cr está entre 940 a 980 HV por lo que están dentro de la norma INEN 1058 ideal para este recubrimiento.						
(Fuente: El autor)						

### 6.7.11 Resultados de las pruebas realizadas.

Luego de haber realizado los diferentes ensayos se obtuvieron los valores que se detalla en la tabla 6.4.

**Tabla 6.8** Resultados de adherencia y dureza realizados a las probetas recubiertas de una capa metálica de (Cu+Ni+Cr)

PROBETAS	ADHERENCIA ASTM	PORCENTAJE DE ADHERENCIA	DUREZA VICKERS	IMÁGENES DE LAS PROBETAS
1	5B	100	960	
2	5B	100	940	
3	5B	100	980	
4	5B	100	940	
5	5B	100	960	
<b>PROMEDIO</b>		100	956	

Fuente: (El autor)

De los resultados que se obtienen y que se observa en la **tabla 6.8**, podemos decir que los aros recubiertos con la capa de (Cu+Ni+Cr) tienen 100% de adherencia que equivale a 310 gr/cm<sup>2</sup> de acuerdo a la norma INEN 950 – 4.6 y la dureza está

en un promedio de 956 Hv que es un valor que se encuentra dentro de los parámetros que exige la norma INEN 1058.

#### **6.7.12 Evaluación de las pruebas de corrosión.**

La evaluación de la corrosión de las probetas obtenidas de los aros de los buses y recubiertas por la capa de (Cu+Ni+Cr), se realizan en una cámara salina de corrosión acelerada que dispone el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Ambato ver figura 6.11.

La prueba de corrosión se realiza bajo la norma INEN 954, en la que menciona que el ensayo debe hacerse de acuerdo a la norma NTE INEN 1174: 2013, para la determinación de la resistencia a la corrosión en recubrimientos metálicos, con ensayo de niebla salina acética.



**Figura 6.11** Cámara de corrosión acelerada  
**Fuente:**(Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de Ambato.)

**Tabla 6.9** Determinación de los parámetros para el ensayo de corrosión

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y</b> <b>MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>	
	<b>ENSAYO DE CORROSIÓN</b>	
<p><b>1. OBJETIVO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la resistencia a la corrosión de la capa Cu+Ni+Cr a la superficie del aro de los buses.</li> <li>• Aportar con los datos obtenidos en la determinación de los parámetros adecuados para el proceso del recubrimiento metálico.</li> </ul> <p><b>2. ALCANCE:</b></p> <p>Cumple con las especificaciones para el recubrimiento metálico de la capa Cu+Ni+Cr que se utilizara en los aros de los buses.</p> <p><b>3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:</b></p> <p>Los documentos en los cuales se basa el experimento son las normas INEN 954 y la NTE INEN 1174: 2013.</p> <p><b>4. GENERALIZACION:</b></p> <p>Al realizar el ensayo de resistencia a la corrosión de la capa Cu+Ni+Cr sobre la superficie de los aros para los buses, nos permite garantizar la calidad del producto.</p> <p><b>5. REALIZACION:</b></p> <p>El ensayo se realiza de siguiente manera :</p>		

**Fuente:** (El autor)

### 6.7.11.1 Procesos de evaluación de las pruebas de corrosión.

**Tabla 6.10** Procesos para el ensayo de corrosión

OPERACIÓN	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA
<p style="text-align: center;">1</p>	<p>Se coloca las probetas y se regula la temperatura en el interior de la cámara de modo que sea constante en <math>(32 \pm 2)^{\circ}\text{C}</math>.</p>	
<p style="text-align: center;">2</p>	<p>Se somete las probetas a la niebla de ácido pulverizado durante el tiempo especificado en la norma INEN 954. La pulverización no debe interrumpirse durante el ensayo. La solución recolectada tiene una concentración de cloruro de sodio de <math>(50 \pm 5)</math> gr/l y un pH de 3.1 a 3.3.</p>	

<p style="text-align: center;">3</p>	<p>Al finalizar el ensayo, se saca las probetas de la cámara y se seca por un lapso de 30 min antes del lavado con el fin de reducir el riesgo de remover productos de la corrosión. Antes de examinarlos se removió cuidadosamente residuos de solución de la superficie.</p>	
<p style="text-align: center;">4</p>	<p>Luego se realiza la inspección de las probetas para observar si hay levantamiento de la capa.</p>	

**Fuente:** (El autor)

### 6.7.11.2 Resultados de las pruebas realizadas.

Tabla 6.11 Pruebas de Resistencia a la corrosión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>ENSAYO DE CORROSION</b>							
<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>ENSAYO: N°03</b>							
<b>Probetas</b>	5	<b>Autorizado por:</b>	Ing. Mg. Segundo Espín	<b>Realizado por:</b>	Ing. Mario Lara		
<b>Lugar de realización:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de Ambato.			<b>Fecha de ejecución:</b>	05/12/2016		
<b>PARÁMETROS DEL ENSAYO</b>							
<b>Tipo de recubrimiento</b>				Cobre + Níquel + Cromo			
<b>Realizado bajo la norma:</b>				NTE INEN.1174:2013			
<b>Evaluación de conformidad:</b>				NTE INEN 1176:2013			
<b>Equipo:</b>				Cámara de niebla salina			
<b>Tipo de ensayo</b>				Niebla salina acética			
<b>RESULTADOS DE LA PRUEBA</b>							
Muestra	Tipo de recubrimiento	Evaluación					
		Manchas, picaduras, rajaduras					Índice de corrosión
1	Cobre +Níquel + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10
2	Cobre +Níquel + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10
3	Cobre +Níquel + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10
4	Cobre +Níquel + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10
5	Cobre +Níquel + Cromo	Defecto $\geq 2.5 \text{ mm}^2$	SI		NO	X	10
<b>Observaciones:</b>							
Los índices de corrosión es de 10 esto quiere decir que no hay defectos mayores a $2.5 \text{ mm}^2$ por lo que es altamente resistente a la corrosión y por ende adecuado para recubrir los aros para los buses.							

(Fuente: El autor)

#### 6.7.12.4 Evaluación de resultados

Luego de realizar el proceso de recubrimiento metálico del aro junto con las probetas testigo y aplicando los parámetros anteriormente descritos. Utilizando la norma INEN 955, para las pruebas de adherencia, dureza y de resistencia a la corrosión aplicado a las probetas recubiertas con la capa de Cu+Ni+Cr, en las condiciones normales de trabajo de los baños. Se determina los parámetros básicos para realizar el recubrimiento metálico de este elemento, como se observa en la tabla 6.7 y figura 6.19.

**Tabla 6.12** Resultados para obtener el recubrimiento una capa metálica de (Cu+Ni+Cr) bajo la norma INEN 955 con un índice de trabajo 3

Tipo de recubrimiento	Espesores $\mu\text{m}$	Tiempo de cobreado (min)	Tiempo de niquelado (min)	Tiempo de cromado (min)
Metálico de Cu+Ni+Cr	Cu = 20 Ni = 25 Cu = 0.3	45.17	60	6.6

Fuente: (El autor)



**Figura 6.12** Aro de bus recubierto de (Cu+Ni+Cr)

Fuente: (El autor)

### 6.7.13 Cuadro comparativo de mejora

**Tabla 6.13** Valores de comparación de las capas Ni +Cr y Cu + Ni +Cr

Tipo de recubrimiento	Espesores de capa (µm)	Adherencia (%)	Resistencia a la corrosión (%)	Dureza(HV)
Níquel + Cromo	Ni = 10.87 Cr = 0.3	97.14	60	941
Cobre + Níquel +Cromo	Cu = 20 Ni = 25 Cr = 0.3	100	100	956

Fuente: (El autor)

### 6.8 Administración

En la parte de administración se analiza del costo del recubrimiento y de las pruebas.

#### 6.8.1 Costos del recubrimiento

**Tabla 6.14** Determinación del costo del recubrimiento (Cu+Ni+Cr)

<b>MATERIA PRIMA</b>					
Ítem	Unidad	Cantidad	Descripción	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Kg.	0.2675	Cobre	4	1.07
2	Kg.	0.3229	Níquel	30	9.68
3	Kg.	0.0323	Cromo	3.5	0.11
<b>MAQUINARIA</b>					
4	Hr.	2	Pulidora	2	4
5	Hr.	0.05	Desengrase	1	0.05
6	Hr.	0.75	Baño de cobre	4	3
7	Hr.	1	Baño de níquel	20	10
8	Hr.	0.11	Baño de cromo	4	0.44
<b>MANO DE OBRA</b>					
9	Hr.	2	Pulidor	2.25	4.5
10	Hr.	2	Cromador	2.25	4.5
11	Hr	2	Ayudante	2.25	4.5
<b>INSUMOS</b>					
12	Kw - hr	54	Baño de cobre	0.0933	5.03
13	Kw - hr	72	Baño de níquel	0.0933	6.71
14	Kw - hr	23	Baño de cromo	0.0933	2.14
15	Kw - hr	5	Resistencias	0.0933	0.46
17	m <sup>3</sup>	0.24	Agua	0.48	0.11
18			Otros		6.63
<b>TOTAL</b>					<b>62.93</b>

Fuente: (El autor)

El precio que estara en el mercado es igual al costo más un 30% de utilidad es decir \$ 81.8, mismo que es accesible para los buseros y competitivo con otro producto similar.

## 6.8.2 Costo de las pruebas

**Tabla 6.15** Costos para la determinación de la propuesta

Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Implementación del baño de cobre (1.5x0.5x1) m.	1	1500	1500
Equipo de prueba de adherencia	1	650	650
Pruebas de corrosión	5	50	250
Pruebas de dureza	5	20	100
Otros	1	100	100
<b>Total</b>			<b>2600</b>

Fuente: (El autor)

## 6.9 Conclusiones de la propuesta.

- Se incrementa la capa de cobreado metálico alcalino como base del recubrimiento de níquel + cromo de los aros para buses, con el fin de mejorar su resistencia a la corrosión y la adherencia de la misma.
- Aplicando el método de corte de trama cruzada de la capa de (cobre + níquel + cromo) se puede comprobar que la adherencia mejoro al 100%.
- Como efecto de la adición de la capa de cobre al recubrimiento níquel +cromo y luego de haber sido sometido a un ensayo de corrosión acelerada a base de una neblina de ácido acético por un lapso de 8 horas se comprueba que resiste al 100 % a esta prueba, razón por lo que se recomienda para los recubrimientos de los aros.
- De las pruebas de dureza de la capa se determinando que la misma esta por alrededor de los 956 Hv, se verifica que cumple con los parámetros de la norma INEN 1058, ideal para el recubrimiento de los aros.
- Se establece los parámetros básicos para un ideal recubrimiento metálico de cobre + níquel + cromo, los mismos que son: Para un espesor de 20  $\mu\text{m}$  de cobre, 25  $\mu\text{m}$  de níquel y 0.3  $\mu\text{m}$  de cromo, los tiempos que debe permanecer en el baño de cobre es de 45.17 minutos. , en el baño de níquel 60 minutos y en el baño de cromo 6.6 minutos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Stephen D. Cramer and Bernard S. Covino, ASM HANDBOOK, CORROSION MATERIAL, VOL 13, WASHINGTON: ASM INTERNATIONAL, 2005.
- [2] M. R. CRUZ, "CROMADO: UN PROCESO DE DOS CARAS," *METAL ACTUAL*, vol. 52, no. 52, p. 55, 2014.
- [3] D. R. ASKELAND, CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES, MEXICO D.F.: CENGAGE LEARNING, 2011.
- [4] J. F. SHACKELFORD, INTRODUCCION A LA CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS, MADRID: PEARSON, 2010.
- [5] W. F. SMITH, FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERIA DE MATERIALES, MEXICO D.F.: MCGRAW-HILL, 2004.
- [6] Y. C. Y. S. RAMIREZ, CARACTERIZACION Y MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICION DE METALES, BUCARAMENGA: TESIS, 2005.
- [7] A. W. A. F. PRODUCTS, MANUAL DE SERVICIOS PARA RINES, CLEVELAND, OHIO, 2003.
- [8] W. MACHU, RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS BRILLANTES, BARCELONA: SALVADO, 1995.
- [9] I. 954, "RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE NIQUEL Y NIQUEL," 1984.
- [10] H. Andrada and B. Bianchi, Cromado electrolítico, Córdoba: Monografía, 2006.
- [11] ELCOMETER, "MEDIDOR DE ADHERENCIA POR TRAMA CRUZADA," *ELCOMETER 107*, no. 10, p. 10, 2015.
- [12] A. P. C.A. Giúdice, "CONTROL DE CALIDAD DE PELÍCULAS DE PINTURAS," *CIDEPINT (CIC-CONICET)*, vol. 1, no. 1, p. 43, 2010.
- [13] N. I. 0950, "Recubrimientos metálicos. Determinación de," *Norma Técnica* , Vols. MT 05.01-311, no. 1, p. 5, 1984-04 .
- [14] N. INEN, "Recubrimientos de cromo duro sobre acero.," *Norma Técnica* ,

Vols. MT 05.01-409 , no. 1, p. 10, 1986-09.

- [15] N. I. 1179, "Recubrimientos metálicos. Determinación del," *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 1, no. 1, p. 5, 1984.
- [16] N. I. 1176, "Recubrimientos metálicos. Determinación de," *Norma Ecuatoriana*, vol. 1, no. 1, p. 7, 2013.
- [17] N. I. 0955, "Recubrimientos electrolíticos de cobre +," *Norma técnica Ecuatoriana*, vol. 1, no. 1, p. 6, 1984-07.
- [18] N. S. CHAIN, PREPARACION Y EVALUACION DE PROYECTOS, SANTIAGO, CHILE: McGraw-Hill, 2000.
- [19] I. 1. NTE, "DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA CORROSION, ENSAYO DE NIEBLA SALINA ACETICA," *NORMA TECNICA ECUATORIANA*, vol. 1, no. 1, p. 6, 2013.
- [20] R. DAVILA, "CORROSION PRODUCE PERDIDAS MILLONARIAS AL PIB," *JOURNALMEX*, p. 22, 2013.
- [21] W. a. H. G. BLUM, GALVANOTECNIA Y GALVANOPLASTIA, MEXICO D.F.: McGRAW HILL, 1984.
- [22] I. 951, RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS. REQUISITOS, QUITO: NORMA TECNICA ECUATORIANA, 1984.
- [23] NTE INEN, "Recubrimientos de cromo duro sobre acero.," *NTE INEN 1058*, vol. 1, no. 10, p. 10, 1987.
- [24] N. INEN, "Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Métodos de ensayo," *NTE INEN 0950*, vol. 1, no. 9, p. 9, 1984.

## **ANEXOS**

**ANEXOS A**  
**NORMAS INEN**

**ANEXO A1**

**NORMA NTE INEN 950**

<b>Norma Técnica Ecuatoriana</b>	<b>RECUBRIMIENTOS METALICOS. DETERMINACION DE LA ADHERENCIA. METODOS DE ENSAYO.</b>	<b>NTE INEN 950</b>  1984-04
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece los métodos de ensayo para determinar la adherencia que presentan los recubrimientos metálicos aplicados sobre base también metálica.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Esta norma se aplica a todo tipo de recubrimiento, depositado por cualquiera de los métodos usuales (inmersión en caliente, electrolíticamente, por metalizado, mecánicamente, etc.).</p> <p style="text-align: center;"><b>3. TERMINOLOGIA</b></p> <p><b>3.1</b> La terminología aplicable a esta norma se establece en la Norma INEN 610.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. METODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>4.1 Método del limado.</b></p> <p><b>4.1.1</b> El ensayo consiste en preparar un corte en la probeta, perpendicularmente a la superficie recubierta; colocar la probeta así cortada en una mordaza o entenalla y limar la parte expuesta. La acción del limado debe ejecutarse de tal modo que la dirección de ataque de la lima sea del metal base al recubrimiento, intentando desprender a éste por descascaramiento. El ángulo aproximado es de 45°. Al finalizar el limado, comprobar si existen desprendimientos del recubrimiento o si se han producido escamaciones.</p> <p><b>4.2 Método por bruñido manual.</b></p> <p><b>4.2.1</b> El método consiste en frotar un área no mayor de 700 mm<sup>2</sup> de la superficie recubierta, seleccionada a discreción del inspector, en forma rápida y firme con un implemento metálico blando (cobre), por ejemplo, durante 15 segundos. Un implemento apropiado es un disco de cobre o latón (p.e. una moneda sin estrías periféricas). La presión ejercida debe ser suficiente para producir manualmente el efecto de bruñido, pero no para cortar el recubrimiento. Registrar el apareamiento de ampolladuras, fisuras y otros defectos que comprometan la adherencia del depósito.</p> <p><b>4.3 Método por enfriamiento brusco.</b></p> <p><b>4.3.1</b> El método de ensayo por enfriamiento brusco consiste en calentar en un horno la probeta de metal base con el recubrimiento hasta una determinada temperatura, durante tiempos que oscilen entre 30 y 60 min., para luego proceder a enfriar bruscamente en agua. Dependiendo del metal base y del recubrimiento, las temperaturas de calentamiento se dan, para los casos más usuales, en la Tabla 1:</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		

**TABLA 1. Temperaturas de enfriamiento brusco**

<b>Metal base</b>	<b>Recubrimiento</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
acero y fundición	estaño	185
acero	estaño-níquel	300
cobre y aleaciones	estaño-níquel	250
zinc y aleaciones	estaño-níquel	150
acero	níquel-cromo	300
zinc y aleaciones	níquel-cromo	150
cobre y aleaciones	níquel-cromo	250
aluminio	níquel-cromo	250
acero	cadmio	200
acero	zinc	200
acero	cobre	310
acero	plata	315
aluminio	plata	190
cobre	plata	200

**4.4 Método del bruñido manual para metales preciosos.** Se procede como en 4.2, con un área de ensayo de aproximación 6 cm<sup>2</sup>, la que se frota vigorosamente con espátula dental de ágata, con mango de 60 a 100 mm de longitud y hoja de ágata blanda de 30 a 50 mm de largo y 5 a 10 mm de ancho, aguzada en un borde como un cincel, pero de filo redondeado, para evitar cortaduras del recubrimiento ensayado. Aplicar presión suficiente para producir el bruñido, pero no para cortar el recubrimiento.

#### **4.5 Método del doblado.**

**4.5.1** El método consiste en doblar o deformar de alguna manera la probeta. La aparición de escamaciones denota adhesión insuficiente. El procedimiento exacto de la deformación plástica debe establecerse para cada producto en particular. Las deformaciones más usuales se detallan a continuación:

**4.5.1.1** Para alambres recubiertos (zinc, níquel), se procede a enrollarlos en espiral sobre un mandril de diámetro dado una probeta representativa del material. La tabla 2 establece el número de vueltas de la espiral y la relación entre el diámetro del mandril cilíndrico y el diámetro del alambre ensayado:

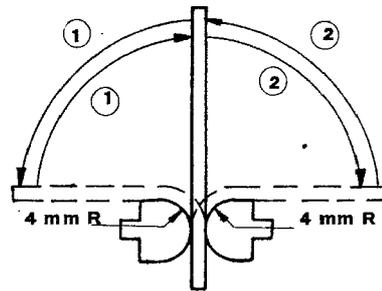
**TABLA 2. Doblado espiral de alambres**

<b>Diámetro del alambre (mm)</b>	<b>Vueltas completas de la espiral</b>	<b>Relación del diámetro del mandril / diámetro del alambre</b>
Hasta 3,55	10	2 (zinc) 4 (níquel)
3,55 – 7,10	10	6
Sobre 7,10	0,25 (90°)	6

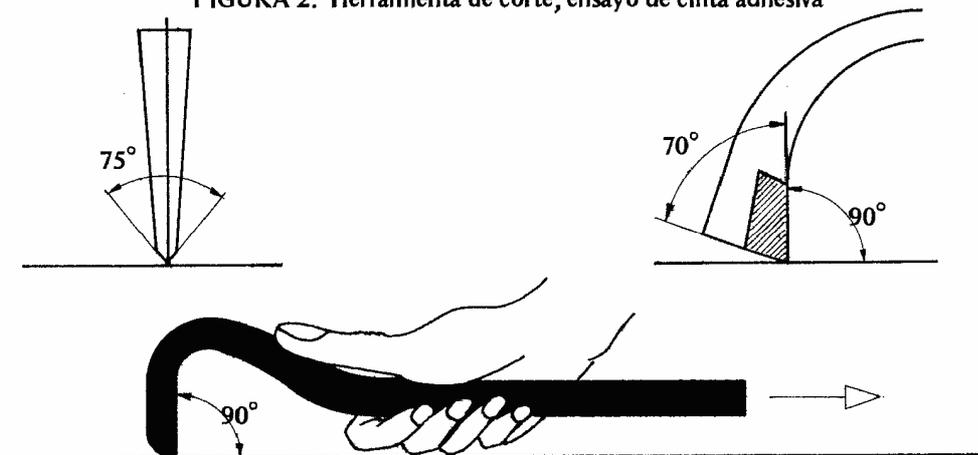
**4.5.1.2** Para tubos recubiertos (zinc p.e.), el ensayo de doblado consiste en doblar 90° con radio ocho veces mayor que el diámetro exterior del tubo. El ensayo es aplicable hasta diámetros nominales de 50 mm; para diámetros mayores debe aplicarse el ensayo de martillado (4.9).

**4.5.1.3** Para el ensayo de doblado de placas y láminas, se procede a doblar la probeta sobre dos mandriles simétricos como los representados en la figura 1:

El radio de los mandriles es de 4 mm. Se dobla la lámina 90° alternativamente sobre los dos mandriles, por un número de veces que debe especificarse para cada recubrimiento en la aplicación particular. El método tiene aplicación principalmente para láminas delgadas con recubrimientos de oro, plata, bronce o cobre.

**FIGURA 1. Ensayo de doblado para láminas****4.6 Método de la cinta adhesiva.**

**4.6.1** El método de ensayo consiste en rayar sobre el recubrimiento de la probeta con un instrumento afilado de acero templado, una cuadrícula formando cuadrados de 2 a 5 mm de lado, sobre el área de ensayo. La presión debe ser suficiente para cortar la capa recubierta de un solo tajo, hasta llegar al metal base (ver figura 2.). Aplicar luego una cinta adhesiva sobre la superficie. La cinta debe tener una adhesión de 290 a 310 g/cm<sup>2</sup> (cinta de celulosa regenerada). Presionar solamente con la mano al aplicar la cinta adhesiva, teniendo cuidado de que no queden burbujas de aire atrapadas. Luego de 10 s separar manualmente la cinta, aplicando una fuerza de manera que la posición de la cinta que se retira, sea perpendicular a la superficie ensayada.

**FIGURA 2. Herramienta de corte, ensayo de cinta adhesiva****4.7 Método de la soldadura blanda**

**4.7.1** El método de la soldadura blanda se aplica a recubrimientos de metales preciosos y a recubrimientos blandos. Se suelda una lámina de acero estañado de dimensiones 10 mm de ancho, 75 mm de largo y 0,56 mm de espesor, a la superficie recubierta, de manera que la lámina quede en contacto con la superficie que debe ensayarse. El área soldada corresponde a todo el ancho de la lámina por una longitud de 13 mm. El material de aporte de la soldadura debe contener 60% de estaño y 40% de plomo. El fundente utilizado debe ser del tipo a base de resinas no corrosivas. Aplicar luego tensión en la parte libre de la lámina, intentando separarla del material de prueba. Desprendimientos o escamaciones en la parte correspondiente a la soldadura, que no involucren al recubrimiento ensayado, no deben considerarse como defecto.

**4.8 Método de cortadura**

**4.8.1** El método consiste en cortar la probeta perpendicularmente a la superficie recubierta y limar (pulir) la superficie de corte. Aplicar luego una fuerza de corte mediante instrumentos adecuados, en la vecindad de la zona de unión del metal base con el recubrimiento, intentando separarlo.

*(Continua)*

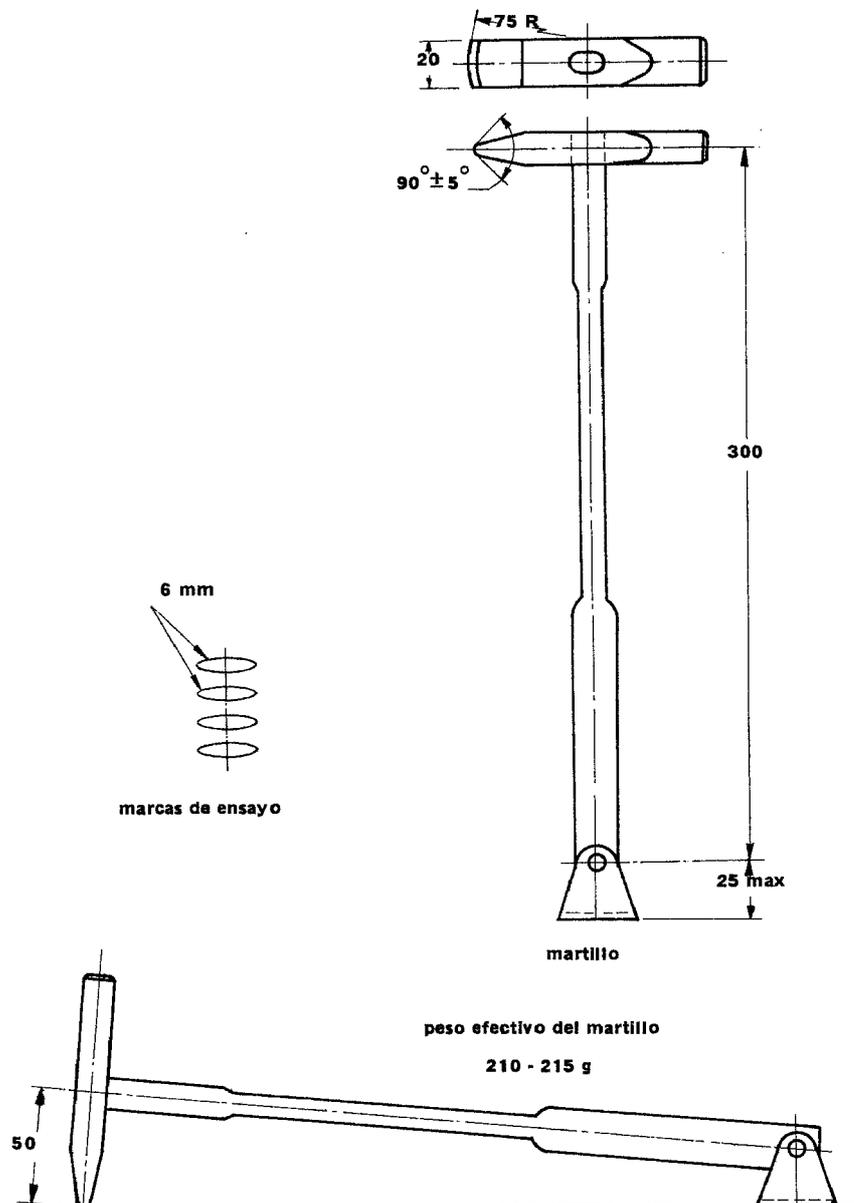
#### 4.9 Método de martillado

**4.9.1** El ensayo consiste en someter la probeta a golpes de un martillo pivotado como el representado en la figura 3. La base del martillo pivotado debe tener posición horizontal. Al iniciar el ensayo, el martillo se coloca en posición vertical y se deja luego caer con giro de  $90^\circ$  describiendo un arco, sobre la pieza ensayada. Los golpes ocasionados deben espaciarse de tal manera que las marcas dejadas sobre la pieza recubierta, estén espaciadas entre sí aproximadamente 6 mm (ver figura 3) ninguna marca debe estar más cerca de 12 mm del borde de la probeta. Se constata luego la presencia de desprendimientos del recubrimiento en las proximidades de las marcas dejadas por el martillo.

#### 4.10 Método del rayado.

**4.10.1** El método consiste en rayar con un cuchillo filo la superficie recubierta a distancias de 5 a 20 mm. Se constata después la presencia de desprendimientos, escamaciones o peladuras del material de recubrimiento en la proximidad del rayado.

**FIGURA 3. Ensayo de martillado**



(Continua)

## APENDICE Z

### Z.1 NORMAS A CONSULTAR

INEN 610 *Tratamientos superficiales y recubrimientos metálicos. Definiciones y terminología.*

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

Ensayos de adherencia contenidos en las normas siguientes:

- ISO 2063 *Metallic coatings - Protection of iron and steel against corrosion.*
  - IS 2629 *Hot-dip galvanizing of iron and steel*
  - IS 1773 *Brass palting*
  - IS 4736 *Hot-dip zinc coatings on steel tubes*
  - IS 4826 *Galvanized coatings on round steel wires*
  - IS 1771 *Electroplated coatings of silver for general engineering purposes*
  - IS 1772 *Electroplated coatings of copper*
  - IS 3266 *Electroplated coatings of gold for general engineering purposes*
  - BS 4290 *Electroplated coatings of silver*
  - BS 4292 *Electroplated coatings of gold and gold alloy*
  - BS 2816 *Electroplated coatings of silver for engineering purposes*
  - ASTM B454 *Mechanically deposited coatings of cadmium and zinc on ferrous metals* ASTM A153. *Zinc coating (Hot-dip) on iron and steel hardware*
- A. Kutzelnigg. *Ensayo de recubrimientos metálicos.* Editorial River S.A. -Madrid - 1967.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 950	<b>TÍTULO:</b> <b>DETERMINACIÓN DE LA ADHERENCIA. ENSAYO.</b>	<b>RECUBRIMIENTOS METÁLICOS.</b>	<b>Código:</b> <b>MT 05.01.311</b>
-----------------------------------	--	----------------------------------	---------------------------------------

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo No.            de publicado en el Registro Oficial No.    de  Fecha de iniciación del estudio:
--	--

Fechas de consulta pública: de            a

Subcomité Técnico: MT 05.01 RECUBRIMIENTOS METALICOS

Fecha de iniciación:

Fecha de aprobación: 1982-02-12

Integrantes del Subcomité Técnico:

**NOMBRES:**

**INSTITUCIÓN REPRESENTADA:**

Sr. Luis LeMarie  
 Sr. Juan Vásquez  
 Sr. Diego Chiriboga  
 Sr. Ludjerie Endara  
 Sr. Libardo Saavedra  
 Ing. Luis Aguirre  
 Sr. Byron Buitrón  
 Sr. Juan Recalde  
 Lic. Diego Estrella  
 Ing. Angel Costales  
 Ing. Raúl Borja  
 Ing. Héctor Fierro  
 Sr. Alberto Dionisio  
 Sr. Jorge Andrade  
 Ing. Al Horeath  
 Ing. Efrén Trujillo  
 Sr. Emilio Ponce  
 Ing. Luis Arévalo  
 Ing. Fernando Hurtado  
 Ing. Sixto Cadena

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
 GALVANO ECUATORIANA  
 QUIMICAMP DEL ECUADOR  
 INECEL  
 IND. METALICAS UNIDAS  
 UNIVERSIDAD CENTRAL  
 ECUACOBRE C.E.M.  
 SICAMELEC S.A.  
 ACERIAS DEL ECUADOR  
 DINE  
 INECEL  
 ALAMBREC  
 CROMO NIQUEL DEL ECUADOR  
 QUIMICAMP DEL ECUADOR  
 FIRMESA INDUSTRIAL  
 ELECTROMETALICA  
 SIGMMA S.A.  
 UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
 TUBASEC  
 INEN

Otros trámites: ♦<sup>4</sup> Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20  
 El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 1984-04-05

Oficializada como: **Obligatoria**  
 Registro Oficial No. 92 (s) del 1984-12-24.

Por Acuerdo Ministerial No. 473 del 1984-08-01

**ANEXO A2**

**NORMA NTE INEN 951**

<p><b>Norma Técnica Ecuatoriana</b></p>	<p><b>RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS. REQUISITOS GENERALES, ESPESORES Y ABREVIATURAS</b></p>	<p><b>INEN 951:1986 1986-09</b></p>
---	---	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

**1. OBJETO**

- 1.1 Esta norma establece los requisitos generales que deben cumplir los recubrimientos metálicos depositados sobre una base metálica indiferentemente del objeto recubierto, de su forma o tamaño.
- 1.2 Esta norma establece además los espesores de recubrimientos que deben utilizarse para depósitos electrolíticos. El espesor requerido por cada objeto en particular es objeto de otras normas.
- 1.3 Esta norma establece también la forma de designar abreviadamente un determinado tipo de recubrimiento metálico.

**2. ALCANCE**

- 2.1 Esta norma se aplica a recubrimientos metálicos destinados a proteger el metal base contra la corrosión o a recubrimientos depositados con fines decorativos. No se aplica a recubrimientos destinados a protección contra desgaste superficial.

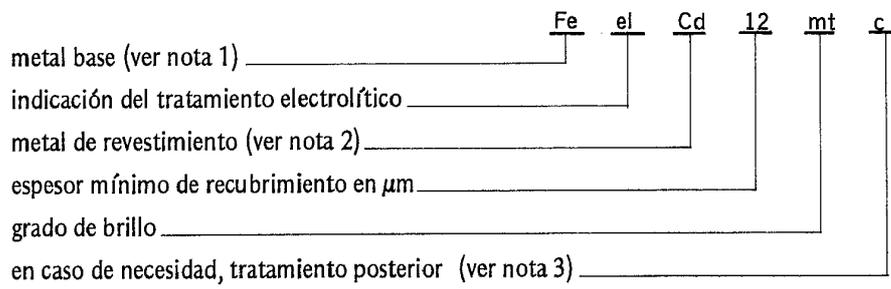
**3. TERMINOLOGIA**

- 3.1 **Índice de servicio.** Es un número que indica las condiciones ambientales en que puede utilizarse un determinado recubrimiento metálico (ver numeral 4.2.9).
- 3.2 Otros términos aplicables a esta norma se establecen en la Norma INEN 610.

**4. DISPOSICIONES GENERALES**

**4.1 Abreviaturas**

4.1.1 La abreviatura para un recubrimiento electrolítico, consta de:



NOTA 1. Para acero, hierro, úsese la abreviación Fe o la abreviación normalizada para el tipo de acero en particular.

NOTA 2. En caso de revestimientos compuestos, se indicará la abreviatura en orden sucesivo de los metales de recubrimiento, desde dentro hacia fuera: ejemplo: el Ni 12Cr 5.

NOTA 3. c = cromatizado, ph - fosfatado.

(Continúa)

**4.1.2** Para indicar el doble recubrimiento electrolítico con capas de un mismo metal, se escribirán dos veces el símbolo del metal seguido cada vez del espesor de cada capa:

*Ejemplo:* el Ni 8 Ni 5.

**4.1.3** Cuando sea posible, se puede simplificar la abreviatura eliminando las indicaciones que no sean necesarias.

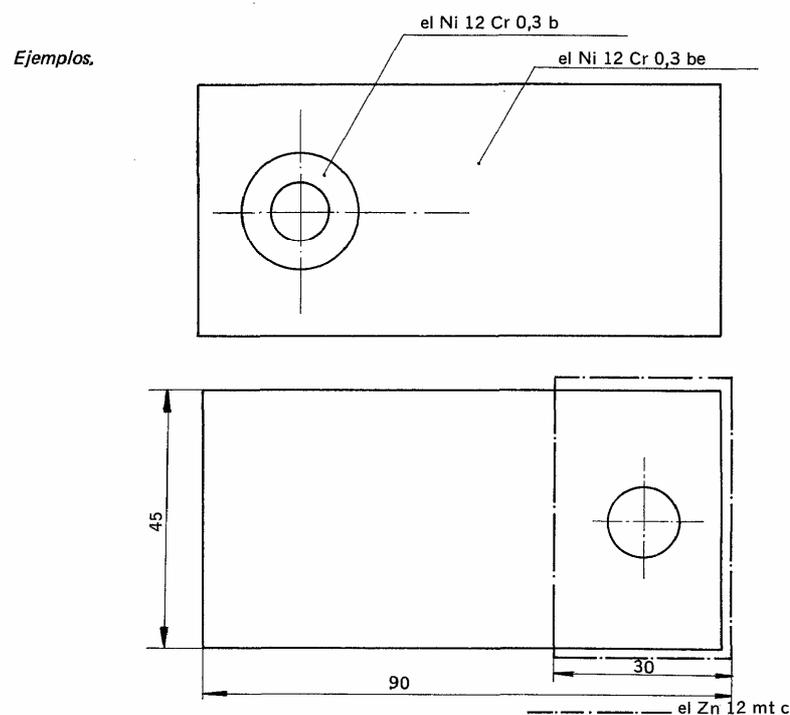
**4.1.4** La abreviatura del recubrimiento se debe añadir a la denominación de la pieza a la que se aplica.

*Ejemplo 1;* para un tornillo hexagonal M 6 x 18 INEN 1 238, con recubrimiento de cadmio electrolítico de 5  $\mu\text{m}$  de espesor, de brillo mate, cromatizado: Tornillo hexagonal M 6 x 18 INEN 1 238 el Cd 5 mtc.

*Ejemplo 2;* llave fija de dos bocas 5 x 7 con recubrimientos de níquel y cromo con espesores de 30 y 0,3 respectivamente, brillo lustroso: Llave 5 x 7 INEN 587 el Ni 30 Cr 0,3 p.

*Ejemplo 3:* clavo cuadrado para uso naval 102-55 x 90 INEN 612 con recubrimientos de zinc de 8  $\mu\text{m}$ , brillo mate, cromatizado: Clavo 102-55 x 90 INEN 612 Zn 8 mtc.

**4.1.5** Para la indicación del recubrimiento en dibujos y listas de materiales, debe indicarse el recubrimiento en forma análoga al establecido en el Código de Práctica de Dibujo Técnico Mecánico, No. 009, para la indicación de partes templadas, (CP2, numeral 5.2).



**4.1.6** Para la preparación de partes compuestas, se indica en el dibujo la abreviatura a continuación del número de orden de cada pieza.

**4.1.7** Cuando el objeto se ha de revestir íntegramente en todas sus partes, basta con la anotación abreviada del recubrimiento en el rotulado; en caso de piezas normalizadas (tornillos, chavetas, remaches, etc.), es suficiente con la indicación en las listas de materiales.

## 4.2 Espesores de recubrimientos

**4.2.1** Los espesores de recubrimientos establecidos en esta norma son valores mínimos para el valor promedio de las mediciones sobre la superficie significativa. Por acuerdo entre las partes, puede considerarse el espesor mínimo de puntos esenciales, dependiendo del producto en particular.

(Continúa)

**4.2.2** Los espesores de recubrimiento establecido en esta Norma, son aplicables a superficies del metal base con valor de rugosidad media de  $4\mu\text{m}$ , sobre las cuales se ha aplicado el electrodepósito.

**4.2.3** Para piezas que llevan recubrimiento, y deban cumplir además las medidas de ajuste para la pieza recubierta, debe considerarse el espesor de recubrimiento para alcanzar dicho ajuste.

**4.2.4** Para la comprobación del espesor de recubrimiento se recurrirá a las normas específicas para dicha medición, dependiendo el método a escogerse, del tipo de metal base, del recubrimiento y del artículo en particular. En todo caso, tratándose de arbitraje, deberá recurrirse a una Norma INEN vigente, que establezca el método más conveniente para la determinación del espesor de recubrimiento.

**4.2.5** *Espesores de recubrimiento sobre acero.*

**4.2.5.1** La Tabla 1 establece los espesores de recubrimientos de zinc, cadmio, níquel, níquel-cromo, estaño y cobre-estaño sobre base de acero.

**TABLA 1. Espesores de recubrimiento sobre acero**

Abreviatura	Espesor mínimo del recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )	Normas específicas
el Zn 3 el Zn5 el Zn 8 el Zn 12 el Zn 25 el Zn 40	3 5 8 12 25 40	INEN 671
el Cd 3 el Cd5 el Cd 8 el Cd 12 el Cd 25	CADMIO 3 5 8 12 25	INEN 953
el Ni3 el Ni 5 el Ni 8	NIQUEL 3 5 8	INEN 954
el Ni 12 Cr 0,3 el Ni 20 Cr 0,3 el Ni 30 Cr 0,3 el Ni 40 Cr 0,3 el Ni 50 Cr 0,3	NIQUEL      CROMO 12              0,3 20              0,3 30              0,3 40              0,3 50              0,3	INEN 954 (ver nota 4)
el Sn 3 el Sn5 el Sn8 el Sn 12	ESTAÑO 3 5 8 12	INEN 993
el Cu Sn 12 el Cu Sn 25 el Cu Sn 40	COBRE +ESTAÑO 12 25 40	INEN 1201 (ver nota 5)

**4.2.6** *Espesores de recubrimiento sobre zinc y aleaciones de zinc*

**4.2.6.1** La Tabla 2 establece los espesores de recubrimiento de cobre-níquel y de cobre-níquel-cromo sobre base de zinc o aleaciones de zinc.

NOTA 4. Los detalles del subcobreado véase en la Norma INEN 955.

NOTA 5. Los espesores de la primera capa de cobre se establecen en la Norma INEN 1 201.

(Continúa)

**TABLA 2. Espesores de recubrimiento sobre zinc**

Abreviatura	Espesor mínimo de recubrimiento (µm)			Normas específicas
el Cu 8 Ni 8	COBRE	NIQUEL		-----
	8	8		
el Cu 8 Ni 15 Cr 0,3 el Cu 8 Ni 20 Cr 0,3 el Cu 8 Ni 35 Cr 0,3	COBRE	NIQUEL	CROMO	-----
	8	15	0,3	
	8	20	0,3	
	8	35	0,3	

**4.2.7** *Espesores de recubrimiento sobre cobre y aleaciones de cobre.*

**4.2.8** La Tabla 3 establece los espesores de recubrimiento de níquel, de níquel-cromo y de estaño sobre base de cobre y sus aleaciones.

**TABLA 3. Espesores de recubrimiento sobre cobre**

Abreviatura	Espesor mínimo de recubrimiento (µm)		Normas específicas
el Ni 3 el Ni5 el Ni 10	NIQUEL		-----
	3		
	5		
	10		
el Ni 3 Cr 0,3 el Ni 5 Cr 0,3 el Ni 8 Cr 0,3 el Ni 12 Cr 0,3	NIQUEL	CROMO	-----
	3	0,3	
	5	0,3	
	8	0,3	
	12	0,3	
el Sn 3 el Sn 4 el Sn 8 el Sn 15 el Sn 30 el Sn 40	ESTAÑO		INEN 1 178
	3		
	4		
	8		
	15		
	30		
	40		

**4.2.9** Espesores para otro tipo de recubrimiento sobre acero, zinc, o cobre, así como espesores de recubrimiento sobre otros metales no se establecen en ésta norma y serán determinados en cada. Caso particular por mutuo acuerdo entre las partes interesadas.

**4.2.10** *Índice de servicio.* El índice de servicio, de acuerdo a la severidad de la aplicación del recubrimiento se indica en la Tabla 4.

(Continúa)

**TABLA 4. Índice de servicio**

Índice	Condición de servicio/ejemplos
1	Condiciones blandas. Servicio en interiores bajo condiciones normales y secas, p,e, oficinas.
2	Condiciones moderadas. Servicio en Interiores, donde puede haber condensación, p,e, cocinas y baños.
3	Condiciones severas. Servicio en exteriores a la intemperie, p, e, bajo lluvia, variaciones de temperatura etc.
4	Condiciones muy severas. Servicio en exteriores o interiores en atmósfera corrosiva, p e, atmósfera marina o industria

**4.2.11** El índice de servicio determina el tipo de recubrimiento que debe utilizarse, así como el espesor del mismo y los tratamientos posteriores aplicados. Esta correspondencia se establece en las normas específicas para cada tipo de recubrimiento.

### 4.3 Requisitos generales.

**4.3.1** En esta norma se establecen los requisitos generales aplicables a todos los tipos de recubrimiento electrolítico; los requisitos especiales para cada caso son objeto de normas particulares.

#### 4.3.2 Brillo

**4.3.2.1** El brillo de los recubrimientos metálicos depende del material base, del tratamiento previo, del procedimiento electrolítico, así como de los tratamientos posteriores. El grado de brillo será, en cada caso, determinado por el acuerdo mutuo entre las partes interesadas, a menos que existan normas que establezcan el brillo específico para cada caso en particular. La Tabla 5 se incluye a continuación como guía para los grados de brillo (ver 4.3.2.2) que pueden lograrse con los diferentes tipos de recubrimiento.

**TABLA 5. Grados de brillo para diferentes recubrimientos**

Recubrimiento	grados de brillo usuales
SOBRE ACERO	
Zinc	1 a 3
Cadmio	1 a 3
SOBRE ACERO	
níquel	1 a 4
níquel –cromo	1 a 5
estaño	1 o 3
cobre – estaño	1 a 3
SOBRE ZINC	
Cobre – níquel	1 a 4
Cobre – níquel – cromo	1 a 5
SOBRE COBRE	
Níquel	1 a 4
níquel- cromo	1 a 5
estaño	1 a 3

**4.3.2.2** Se establecen cinco grados de brillo de acuerdo a la Tabla 6. El grado de brillo se comprobará de acuerdo a la Norma INEN 1 179.

(Continua)

**TABLA 6. Grado de brillo**

Grado de brillo			Valor según Norma INEN 1 179
No.	Denominación	Abreviatura	
1	mate	mt	Sin reflejo
2	lustroso	p	Imagen reflejada legible a 5 mm
3	brillante	b	Imagen reflejada legible a 100 mm
4	brillante intenso	bi	Imagen reflejada legible a 400 mm, huellas de rectificado pueden ser aun visibles
5	brillante especular	be	Imagen reflejada legible a 400 mm huellas de mecanización no son visibles

**4.3.3 Adherencia**

**4.3.3.1** La adherencia del recubrimiento al metal base deberá especificarse en cada caso particular, dependiendo del producto. Los ensayos de adherencia se establecen en la Norma INEN 950. En todo caso, el recubrimiento deberá presentar la adherencia necesaria para que no se presenten desprendimientos, ampollas, escamaciones o defectos similares en la superficie recubierta, durante toda la vida útil del objeto.

**4.3.4 Requisitos del metal base**

**4.3.4.1** Los metales que deben recibir recubrimiento electrolíticos reunirán las siguientes condiciones:

- a) las superficies deben estar pulidas uniformemente,
- b) las superficies que deben recubrirse serán sometidas a desengrase; la condición final de las mismas, luego de estos tratamientos, debe permitir el depósito electrolítico uniforme, continuo, de firme adherencia y con el brillo especificado para cada caso.

**4.3.4.2** Los métodos generales para la preparación de las superficies metálicas que deben ser recubiertas electrolíticamente, se recomiendan en GP 9 (ver Apéndice Z).

**4.3.5 Apariencia.**

**4.3.5.1** Los recubrimientos presentarán aspecto limpio, carentes de manchas, y deben ser tan lisos como corresponda a la superficie base y al tratamiento que se prescriba de acuerdo a las condiciones de suministro. Al almacenar en locales que no contengan gases agresivos y que no humedezcan las piezas, los recubrimientos no deben presentar afloraciones, ni manchas o escamaciones. Puede presentarse enturbamiento de las superficies, sin que constituya defecto cuando la humedad relativa del aire exceda al 80%. Sólo para los recubrimientos de cromo, oro y platino, no deberá presentarse este enturbamiento, aun en casos de humedad relativa superiores al 95%. Queda a discreción del fabricante aplicar tratamientos posteriores para la generalidad de los casos. Pero, si el convenio entre las partes interesadas, o la norma aplicable lo especifican, estos tratamientos posteriores serán obligatorios y deberán cumplir con las normas respectivas. Bajo estos tratamientos se incluyen la cromatización, eliminación de fragilidad por hidrógeno aceitado, etc.

*(Continua)*

**APENDICE Z****Z.1 NORMAS A CONSULTAR**

INEN 610	<i>Tratamientos superficiales y recubrimientos metálicos. Definiciones y terminología.</i>
INEN 671	<i>Recubrimientos electrolíticos de zinc sobre acero. Requisitos.</i>
INEN 950	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Métodos de ensayo.</i>
INEN 953	<i>Recubrimientos electrolíticos de cadmio sobre acero. Requisitos.</i>
INEN 954	<i>Recubrimientos electrolíticos de níquel y de níquel +cromo sobre acero, fundición, zinc, cobre, aluminio o níquel; así como aleaciones de zinc, sobre o aluminio. Requisitos.</i>
INEN 955	<i>Recubrimientos electrolíticos de cobre +níquel+ cromo sobre acero. Requisitos.</i>
INEN 993	<i>Recubrimientos electrolíticos de estaño sobre acero. Requisitos.</i>
INEN 1 178	<i>Recubrimientos electrolíticos de estaño sobre cobre y sus aleaciones. Requisitos.</i>
INEN 1 179	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación del brillo.</i>
INEN 1 201	<i>Recubrimientos electrolíticos de cobre más estaño sobre acero. Requisitos.</i>
GP - 9	<i>Guía de práctica para la limpieza y preparación de superficies metálicas para electrodeósitos.</i>
-----	<i>Código de práctica para dibujo técnico mecánico.</i>

**Z.2 BASES DE ESTUDIO**

DIN 50960. *Korrosionsschutz; Galvanische Ueberzuege, Kurzzeichen, Schichtdicken, Allgemeine Richtlinien.* Deutsches Institut fuer Normung. Berlín 1963.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

<b>Documento:</b> NTE INEN 951	<b>TÍTULO: RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS. REQUISITOS GENERALES. ESPESORES Y ABREVIATURAS.</b>	<b>Código:</b> MT 05.01-402
<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio: 1977-08-04	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo Oficialización con el Carácter de por Acuerdo No. publicado en el Registro Oficial No.  Fecha de iniciación del estudio:	

Fechas de consulta pública: de 1981-03-16 al 1981-04-30

La Dirección General, considerando la necesidad de regular las características de los recubrimientos metálicos dispuso la elaboración de esta norma.

En sesión de 1985-07-05, el Consejo Directivo dispuso que esta norma vuelva a ser estudiada por el Subcomité Técnico el que realizó el nuevo estudio y aprobó la norma con fecha 1986-03-20.

Subcomité Técnico:

Fecha de iniciación: Fecha de aprobación: 1982-05-14

Integrantes del Subcomité Técnico:

### NOMBRES:

Ing. José Herrera  
Ing. Patricio Estupiñán  
Ing. Freddie Orbe  
Ing. César Andrade  
Ing. Higinio León  
Ing. Raúl Borja  
Ing. Fausto Ramos  
Ing. Héctor Fierro  
Ing. César Alvarado  
Dra. Cecilia Lascano  
Ing. Mego Utreras  
Ing. Marcelo Castillo  
Lcdo. Diego Chiriboga  
Ing. Jorge Andrade  
Ing. Rubén Cueva  
Ing. Jorge Medina  
Ing. Efrén Trujillo  
Ing. José Ossa  
Ing. Byron Buitrón  
Ing. Marco Reyes  
Ing. Galo López  
Sr. Hugo Herrera  
Ing. Sixto Cadena

### INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

INECEL  
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
UNIVERSIDAD CENTRAL  
INECEL  
INECEL  
AYM ESA  
IDEAL ALAMBREC S. A.  
UNIVERSIDAD CENTRAL  
AWT  
AWT  
CEGALSA  
QUIMICAMP  
QUIMICAMP  
DINE  
FABRICA DE CLAVOS GUAYAS S. A.  
ELECTROMETALICA  
SQUARE "D" ANDINA  
ECUACOBRE  
ECASA  
FABRICA SANTA BARBARA  
FABRICA SANTA BARBARA  
INEN

Otros trámites: <sup>6</sup> Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 03 612 de 2003-12-22, publicado en el Registro Oficial No. 248 del 2004-01-09

El Consejo Directivo del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 1986-09-22

Oficializada como: **Obligatoria**  
Registro Oficial No. 602 de 1987-01-13

Por Acuerdo Ministerial No. 703 de 1986-12-02

**ANEXO A3**

**NORMA NTE INEN 954**

<b>Norma Técnica Ecuatoriana</b>	<b>RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE NIQUEL Y NIQUEL +CROMO SOBRE ACERO FUNDICIÓN, ZINC, COBRE, ALUMINIO O NIQUEL ASI COMO ALEACIONES DE ZINC, COBRE O ALUMNIO. REQUISITOS</b>	<b>INEN 954</b>  1984-07
----------------------------------	---	--------------------------------

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma establece los requisitos principales que deben cumplir los recubrimientos de níquel o de níquel + cromo sobre base metálica de acero, fundición, zinc, cobre, aluminio, o níquel, así como sobre las aleaciones de zinc, cobre o aluminio, aplicados por vía electrolítica para protección de la corrosión y decorativos.

## 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica a los productos fabricados en los metales según 1.1 (o aleaciones) excepto en los casos siguientes:

- a) recubrimientos sobre roscas (ver nota 1);
- b) recubrimientos sobre láminas, flejes o alambre en sus formas no elaboradas, así como sobre resortes espirales;
- c) recubrimientos aplicados con fines distintos a la protección contra la corrosión y con fines decorativos.

**2.2** Esta norma no especifica la condición superficial del metal base antes de la electrodeposición; el grado de rugosidad aceptable deberá determinarse por acuerdo entre las partes interesadas, en los casos para los cuales no existan normas de producto específicos donde se establezcan expresamente.

## 3. TERMINOLOGIA

**3.1 Superficie significativa.** Es la parte de la superficie de la pieza que esencial para la apariencia o utilidad de la misma que debe ser recubierta, o sobre la que se ha aplicado ya el recubrimiento. En caso de necesidad, la superficie significativa debe indicarse en dibujos o planos, o mediante la provisión de muestras debidamente marcadas (ver nota 2).

## 4. SIMBOLOGIA

**4.1** En esta norma se utilizan los siguientes símbolos:

s	espesor de recubrimiento ( $\mu\text{m}$ );
$\bar{s}$	espesor promedio de recubrimientos ( $\mu\text{m}$ );
$R_e$	resistencia a la tracción ( $\text{N}/\text{mm}^2$ );
$\delta$	densidad ( $\text{N}/\text{mm}^3$ );
Q	cantidad de electricidad (coulombs);
A	área ( $\text{cm}^2$ ).

## 5. CLASIFICACION

**5.1** De acuerdo al índice de servicio, los recubrimientos de níquel o níquel + cromo puede ser de los tipos 1, 2, 3 y 4 (ver numeral 6.2).

NOTA 1. Para el caso de roscas con recubrimientos, véase la Norma INEN 1 052.

NOTA 2. En general, las superficies significativas son aquellas que son visibles, sujetas a uso o corrosión. Las superficies en las cuales el depósito no puede ser controlado ordinariamente, tales como perforaciones, rebordes, bases de ángulos y áreas similares están por lo general exentas de los requisitos impuestos a las superficies significativas, a menos que se las designe expresamente como tales. En el caso de que tales formaciones se incluyan en la superficie significativa, y para las cuales el espesor de recubrimiento sea requisito, debe acordarse entre las partes interesadas el uso de espesor mayor al normalizado o la utilización de aparejos especiales durante la electrodeposición. Esto puede implicar el uso de electrodos auxiliares, interiores, de conformación o bipolares.

(Continúa)

## 6. REQUISITOS

### 6.1 Apariencia

**6.1.1** El área que corresponda a la superficie significativa del artículo recubierto, debe estar libre de defectos visibles, tales como ampolladuras, picaduras, rugosidades, rajaduras o discontinuidad en el recubrimiento. La magnitud de las ampolladuras fuera del área significativa, que se considera todavía como aceptable, debe establecerse por mutuo acuerdo entre las partes interesadas. En las piezas en las cuales es inevitable la presencia de una marca de contacto, la posición de la misma debe también ser objeto de acuerdo entre las partes. La pieza debe estar limpia y sin daños. El comprador deberá especificar la condición de brillo expresamente, por ejemplo, brillante, lustroso o mate. En caso necesario, el comprador proveerá al fabricante de una muestra con el acabado requerido.

### 6.2 Espesor

**6.2.1** Los espesores de recubrimientos de níquel sobre los diversos metales cubiertos por esta norma, se establecen en la Tabla 1. La Tabla 1 indica, además, la abreviatura correspondiente y el índice de servicio (ver Norma INEN 951) aplicable a cada espesor de recubrimiento. Los valores entre paréntesis deberán evitarse en lo posible

**TABLA 1. Espesores de recubrimientos de níquel ( $\mu\text{m}$ )**

1	2	3
Abreviatura	Espesor mínimo "S"	Índice de servicio
<b>Sobre acero o sobre fundición</b>		
(Fe/el Ni3) Fe/el Ni 5 (Fe/el ni 8)	(3) 5 (8)	1
Fe/el Ni 10	10	
Fe/el Ni 20	20	2
Fe/el Ni 30	30	3
<b>Sobre zinc o aleaciones de zinc</b>		
Zn/el Cu 8 Ni 8	8	1
Zn/el Cu 8 Ni 15	15	2
Zn/el Cu 8 Ni 25	25	3
<b>Sobre cobre o aleaciones de cobre</b>		
(Cu/el Ni 3) Cu/el Ni 5	(3) 5	1 1
Cu/el NI 10	10	2
Cu/el Ni 20	20	3
<b>Sobre aluminio y aleaciones de aluminio</b>		
Al/el Ni 10	10	1
Al/el Ni 20	20	2
Al/el Ni 30	30	3
<b>Sobre níquel y aleaciones de níquel (capa simple)</b>		
Ni/el Ni 8	8	1
Ni/el Ni 20	20	2
Ni/el Ni 30	30	3

(Continúa)

**6.2.2** Los depósitos de níquel pueden aplicarse en capa simple o en capas múltiples, debiendo indicarse el espesor de las capas adicionales, cuyos valores se determinarán por acuerdo entre las partes interesadas.

**6.2.3** Los espesores de recubrimiento de níquel + cromo, sobre los diversos metales cubiertos por esta norma, se establecen en la Tabla 2. La Tabla 2 indica, además, la abreviatura correspondiente de cada tipo de recubrimiento y el índice de servicio aplicable a cada espesor de recubrimiento. Los datos entre paréntesis deben evitarse en lo posible.

**TABLA 2. Espesores de recubrimientos de níquel - cromo ( $\mu\text{m}$ )**

1	2	3
Recubrimiento – abreviatura	Espesor mínimo Ni ( $\mu\text{m}$ )	Índice de servicio
Sobre acero o fundición		
Fe/el Ni 10 b Cr 0,3 r (Fe/el Ni 12 b Cr 0,3 r)	10 (12)	1
Fe/el Ni 12 v Cr 0,3 r)	20	2
Fe/el Ni 25 d Cr 0,3 mp Fe/el Ni 25 d Cr 0,3 mc Fe/el Ni 30 d Cr 0,8 f Fe/el Ni 30 de Cr 0,3 r Fe/el Ni 25 p Cr 0,3 mp Fe/el Ni 25 p Cr 0,3 mp Fe/el Ni 30 p Cr 0,3 r Fe/el Ni 30 b Cr 0,3 mp Fe/el Ni 30 1 Cr 0,3 mc Fe/el Ni 40 b Cr 0,3 r (Fe/el Ni 50 p Cr 0,3 r) Fe/el Ni 50 d Cr 0,3 mp Fe/el Ni 30 d Cr 0,3 mc Fe/el Ni 40 d Cr 0,8 f Fe/el Ni 40 d Cr 0,3 r	25 25 30 30 25 25 30 30 30 30 40 (50) 30 30 40 40	3
Fe/el Ni 30 p Cr 0,3 mp Fe/el Ni 30 p Cr 0,3 mc Fe/el Ni 40 p Cr 0,3 r Fe/el Ni 40 b Cr 0,3 mp Fe/el Ni 40 b Cr 0,3 mc (Fe/el Ni 50 p Cr 0,3 mc)	30 30 40 40 40 (50)	4
Sobre zinc o aleaciones de zinc		
Zn/el Cu 8 Ni 8 b Cr 0,3 r	8	1
Zn/el Cu 8 Ni 15 b Cr 0,3 r	15	2

(Continúa)

**TABLA 2. Espesores de recubrimientos de níquel - cromo ( $\mu\text{m}$ )***(Continuación)*

1	2	3
Recubrimiento-abreviatura	Espesor Mínimo Ni	Índice de servicio
Zn/el Cu 8 Ni 20 d Cr 0,3 mp	20	3
Zn/el Cu 8 Ni 20 d Cr 0,3 mc	20	
Zn/el Cu 8 Ni 25 d Cr 0,8 f	25	
Zn/el Cu 8 Ni 25 d Cr 0,3 r	25	
Zn/el Cu 8 Ni 20 p Cr 0,3 mp	20	
Zn/el Cu 8 Ni 20 p Cr 0,3 mc	20	
Zn/el Cu 8 Ni 25 p Cr 0,8 f	25	
Zn/el Cu 8 Ni 25 p Cr 0,3 r	25	
Zn/el Cu 8 Ni 25 d Cr 0,3 mp	25	
Zn/el Cu 8 Ni 25 d Cr 0,3 mc	25	
Zn/el Cu 8 Ni 35 d Cr 0,8 f	35	
Zn/el Cu 8 Ni 35 d Cr 0,3 r	35	
Zn/el Cu 8 Ni 25 d Cr 0,3 mp	25	
Zn/el Cu 8 Ni 25 p Cr 0,3 mc	25	
Zn/el Cu 8 Ni 35 p Cr 0,8 f	35	
Zn/el Cu 8 Ni 35 p Cr 0,3 r	35	
Zn/el Cu 8 Ni 35 b Cr 0,3 mp	35	
Zn/el Cu 8 Ni 35 b Cr 0,3 mc	35	
Zn/el Cu 8 Ni 35 b Cr 0,8 f	35	
<b>Sobre cobre y aleaciones de cobre</b>		
(Cu/el Ni 3 b Cr 0,3 r) Cu/el Ni 5 b Cr 0,3 r	(3) 5	1
(Cu/el Ni 8 b Cr 0,3 r) Cu/el Ni 10 b Cr 0,3 r (Cu/el Ni 12 b Cr 0,3 r)	(8) 10 (12)	2
Cu/el Ni 20 b Cr 0,3	20	3
Cu/el Ni 25 d Cr 0,3 mp	25	4
Cu/el Ni 25 d Cr 0,3 mc	25	
Cu/el Ni 30 d Cr 0,8 f	30	
Cu/el Ni 30 d Cr 0,8 r	30	
Cu/el Ni 25 p Cr 0,3 mp	25	
Cu/el Ni 25 p Cr 0,3 mc	25	
Cu/el Ni 30 p Cr 0,3 r	30	
Cu/el Ni 25 b Cr 0,3 mp	25	
Cu/el Ni 25 b Cr 0,3 mc	25	

*(Continúa)*

**TABLA 2. Espesores de recubrimientos de níquel - cromo ( $\mu\text{m}$ )***(Continuación)*

1	2	3
Recubrimiento-abreviatura	Espesor mínimo Ni	Índice de servicio
Sobre aluminio y aleaciones de aluminio		
Al/el Ni 10 b Cr 0,3 r	10	1
Al/el Ni 20 b Cr 0,3 r	20	2
Al/el Ni 25 d Cr 0,3 mp	25	3
Al/el Ni 25 d Cr 0,3 mc	25	
Al/el Ni 30 d Cr 0,3 r	30	
Al/el Ni 25 p Cr 0,3 mp	25	
Al/el Ni 25 p Cr 0,3 mc	25	
Al/el Ni 30 p Cr 0,3 r	30	
Al/el Ni 30 b Cr 0,3 mp	30	
Al/el Ni 30 b Cr 0,3 mc	30	
Al/el Ni 40 b Cr 0,3 r	40	
Al/el Ni 30 d Cr 0,3 mp	30	4
Al/el Ni 30 d Cr 0,3 mc	30	
Al/el Ni 40 d Cr 0,3 r	40	
Al/el Ni 30 p Cr 0,3 mp	30	
Al/el Ni 30 p Cr 0,3 mc	30	
Al/el Ni 40 p Cr 0,3 r	40	
Sobre níquel y aleaciones de níquel		
Ni/el Ni 8 b Cr 0,3 r	8	1
Ni/el Ni 20 b Cr 0,3 r	20	2
Ni/el Ni 30 p Cr 0,3 mp	30	3
Ni/el Ni 30 p Cr 0,3 mc	30	
Ni/el Ni 30 p Cr 0,3 r	30	
Ni/el Ni 30 d Cr 0,3 mp	30	4
Ni/el Ni 30 d Cr 0,3 mc	30	
Ni/el Ni 40 d Cr 0,3 r	40	

**6.2.4** En los recubrimientos de níquel + cromo para los índices de servicio 1 y 2, puede sustituirse el Nib por Nip o por Nid; y el Cr-r por Crf, Crmc o Crmp. (ver numeral 6.3).

**6.2.5** Cuando el recubrimiento Cu/el Ni5b Cr0,3r se aplica solamente para evitar la pátina de cobre, el espesor mínimo de níquel puede reducirse a 0,3  $\mu\text{m}$ .

*(Continúa)*

**6.2.6** Los recubrimientos sobre zinc requieren de una subcapa de cobre o latón (por lo menos 50% de Cu) con espesor mínimo de 8  $\mu\text{m}$ , pero para artículos de formas complejas, el espesor de la subcapa deberá elevarse en la superficie significativa a 10 o 12  $\mu\text{m}$ . El método para determinar el espesor de la subcapa se establece en el Anexo A.

**6.2.7** Los espesores mínimos establecidos en las Tablas 1 y 2 para cada tipo de recubrimiento tienen validez para la superficie significativa que debe satisfacer determinado índice de servicio. Para el caso de artículos de área  $\leq 100 \text{ mm}^2$ , los espesores mínimos se comprobarán de acuerdo al Anexo A en puntos predeterminados por acuerdo entre las partes interesadas, o en cualquier punto de la superficie significativa que pueda ser tocado por una esfera de 20 mm de diámetro. Podrá utilizarse otro de los métodos normalizados de determinación del espesor, según el común acuerdo de las partes interesadas, a menos que la norma específica del producto recubierto establezca otra cosa. El espesor de la capa de cromo se determinará de acuerdo al Anexo C o según el ensayo de la Norma INEN 1 197 en los puntos predeterminados, o en cualquier punto que pueda ser tocado por una esfera de 20 mm de diámetro. Si el diseño de la pieza es tal que no puede ser tocada en todos los puntos de la superficie significativa por una esfera de 20 mm de diámetro, el espesor mínimo permitido en tales áreas específicas deberá acordarse entre las partes interesadas. Para piezas de superficie significativa inferior a  $100 \text{ mm}^2$ , los espesores mínimos según las Tablas 1 y 2 deben considerarse como valores mínimos para el espesor promedio ( $\bar{x}$ ) determinado según la Norma INEN 601 o por cualquiera de los métodos normalizados, previo acuerdo de las partes interesadas.

### 6.3 Abreviatura

**6.3.1** La abreviatura para designar los recubrimientos de esta norma, consta de los siguientes símbolos:

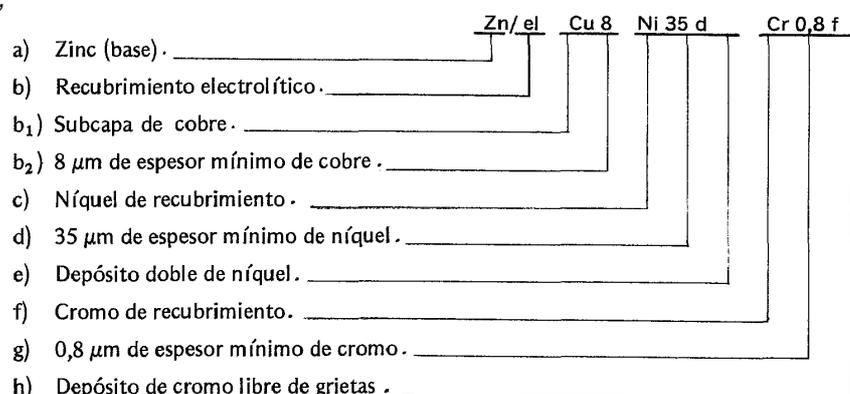
- Fe; Zn; Cu; Al; Ni; para designar el metal base, según el caso,
- La abreviación (el) "por electrolítico",
- Ni. – Níquel,
- El valor del espesor de recubrimiento mínimo del Ni según la Tabla 1 o Tabla 2 ( $\mu\text{m}$ );
- Las abreviaturas, b, p o d para significar "brillante", lustroso o "doble o triple", aplicables al Ni de recubrimiento.
- Cr – cromo,
- El valor del espesor de recubrimiento mínimo de Cr según las Tablas 1 y 2 ( $\mu\text{m}$ );
- Las abreviaturas (ver nota 3).

mc - micro-grietas (microcrabed);  
 mp - micro-poroso (microporous);  
 r - regular, convencional;  
 f - libre de grietas ("free" from cracks).

**6.3.2** Para los recubrimientos que requieren subcapa de cobre o latón se incluirá, además, después de la abreviación "el", los símbolos:

$b_1$  Cu -Cobre o latón;  
 $b_2$  el valor del espesor de recubrimientos mínimos de Cu según las Tablas 1 y 2 ( $\mu\text{m}$ );

#### 6.3.3 Ejemplos;



NOTA 3. Las abreviaciones correspondientes a las normalizadas en ISO 1456, provenientes del idioma Inglés

(Continúa)

**6.3.4** Cuando sea posible, se pueden eliminar las abreviaturas que no sean necesarias.

## 6.4 Tratamientos térmicos

**6.4.1** Se aplicará tratamientos térmicos siempre que se trate de acero de base, según las siguientes indicaciones:

**6.4.1.1 Acero de base.** Cuando sea requerido por el comprador o por el requisito específico del producto, establecido en la norma respectiva, se deberá someter las piezas de ciertos aceros o tratamientos térmicos, para reducir el riesgo de daños provenientes de fragilidad por hidrógeno. Los aceros cuya resistencia a la tracción  $R_e$  sea mayor a  $1\ 500\ \text{N/mm}^2$  (o cuya dureza sea equivalente a 45 H RC; 440 HV; 415 HB) no deberán recubrirse electrolíticamente con níquel con los métodos convencionales. Deberá también tomarse en cuenta que acero con  $R_e \geq 1\ 000\ \text{N/mm}^2$  (o dureza  $> 30\ \text{HRC}$ ; 295 HV; 280 HB) requieren necesariamente de tratamiento para reducir el riesgo de fragilitamiento por hidrógeno.

**6.4.2 Alivio de tensiones antes de la electrodeposición.**

**6.4.2.1** Las piezas obtenidas por fuerte deformación en frío, fabricadas de acero con  $R_e \geq 1\ 000\ \text{N/mm}^2$  (o dureza correspondiente), que han sido, además, rectificadas o sometidas a severo maquinado después del templado, deben someterse a alivio de tensiones. Deberán mantenerse de preferencia a la más alta temperatura de revenido durante 30 minutos, o, en su defecto, entre  $190^\circ\text{C}$  a  $210^\circ\text{C}$ , por lo menos una hora. Pero, aceros que han sido carburizados templados a la llama o por inducción y luego rectificadas, resultarán debilitados por este tratamiento y deberán, en cambio, ser revenidos a temperaturas más bajas, por ejemplo, a  $170^\circ\text{C}$ , por lo menos una hora. En todo caso, deberá tenerse muy en cuenta las propiedades específicas del tipo de acero que constituye el metal base de recubrimiento, para elegir el tratamiento térmico previo más adecuado. Un procedimiento apropiado y recomendable para reducir al mínimo la fragilidad por hidrógeno se establece en GP 9 (ver Apéndice Z). En el Anexo B constan recomendaciones para la correcta ejecución del electrodeósito.

**6.4.3 Tratamiento térmico después de la electrodeposición.**

**6.4.3.1** Las piezas sometidas a esfuerzos de fatiga o a cargas permanentes durante el servicio, y fabricadas por fuerte deformación en frío, o de acero de  $R_e \geq 1\ 000\ \text{N/mm}^2$  (o de dureza correspondiente), deberán tratarse térmicamente después de ser recubiertas. La Tabla 3 establece los períodos que deberán alcanzarse tomando en cuenta el espesor de la pieza.

**TABLA 3. Tratamiento térmico después de la electrodeposición**

$R_e$	Espesor máximo de la pieza	Período mínimo entre $190^\circ\text{C}$ y $210^\circ\text{C}$
$\text{N/mm}^2$	mm	Horas
1 000 a 1 150	menos de 12	2
	de 12 a 25	4
	más de 25	8
1 150 a 1 400	menos de 12	4
	de 12 a 25	12
	más de 25 sobre 40	24 (ver nota 4) a determinarse experimentalmente

NOTA 4. El calentamiento debe iniciarse dentro de las 16 horas siguientes a la electrodeposición.

(Continúa)

**6.4.3.2** En los casos en los cuales las temperaturas establecidas pueden resultar debilitantes, como por ejemplo, en piezas que han sido endurecidas superficialmente, puede ser necesaria la aplicación de temperaturas más bajas por más tiempo.

## 6.5 Adherencia

**6.5.1** El recubrimiento de níquel o níquel + cromo deberá estar firmemente adherido al metal base. La adhesión se ensayará de acuerdo a la Norma INEN 950 (ensayo de limado y de cambio brusco de temperatura). No deberá presentarse ningún signo de separación de las capas electrodepositadas.

## 6.6 Resistencia a la corrosión

**6.6.1** Los artículos recubiertos de cromo - níquel deberán someterse a ensayos de resistencia a la corrosión, de acuerdo al índice de servicio según la Tabla 4.

**6.6.2** Los ensayos de corrosión indicados en la Tabla 4 son un medio de controlar la continuidad y calidad de los recubrimientos; la duración del ensayo no tiene necesariamente relación con la vida útil del artículo en servicio.

**6.6.3** Una vez que se ha sometido el artículo al ensayo correspondiente, el criterio de aceptación o rechazo se evaluará de acuerdo al Anexo D.

**6.6.4** Otros signos de deterioro superficial del recubrimiento, distintos de los evaluados en 6.6.3, son eventualmente aparentes una vez realizado el ensayo. El grado en que este deterioro es aceptable, debe sujetarse al acuerdo entre las partes interesadas.

**6.6.5** El ensayo de resistencia a la corrosión tendrá menor duración cuando el metal base es cobre o aleación de cobre. Esto ocurre necesariamente, ya que para el índice de servicio, los depósitos de níquel, cobre y aleaciones de cobre, son de menor espesor que los depositados sobre los otros metales. El uso de estos depósitos más delgados se justifica porque el cobre y sus aleaciones resisten mejor a la corrosión una vez penetrados. Por tanto, la duración del ensayo no debe tomarse como indicación directa de la eficiencia del recubrimiento en servicio.

**6.6.6** Los recubrimientos de níquel se ensayarán para comprobar resistencia a la corrosión, por mutuo acuerdo de las partes interesadas, aplicando uno de los ensayos de 6.6.1 o cualquier otro de los ensayos normalizados.

## 6.7 Requisitos del metal de depósito

### 6.7.1 Níquel lustroso (Nip)

Contenido de azufre: 0,005% máximo,

Elongación: 8% mínimo, al ensayarse según el Anexo E.

**TABLA 4. Ensayos de resistencia a la corrosión**

Metal Base	Índice de servicio	Ensayo de corrosión duración en horas		
		CASS*	Corridkote**	Acido Acético ***
Acero, fundición, zinc, aluminio, aleaciones de zinc, aleaciones de alu. minio, níquel	1	--	--	8
	2	--	--	24
	3	16	16	96
	4	24	2 x 16	144
Cobre o aleaciones de cobre	1	-	--	-
	2	--	--	16
	3	8	--	48
	4	16	--	96

\* Ver Norma INEN 1 195

\*\* Ver norma INEN 1 198

\*\*\* Ver Norma INEN 1 174

(Continua)

**6.7.2 Níquel en doble o triple capa (Ni d)****a) Capa inferior:**

- contenido de S 0,0005% máximo (Ver nota 5),
- elongación: 8% mínimo al ensayarse según el Anexo E,
- espesor mínimo: 60% del total de níquel depositado en capas dobles; 50% del total de Ni depositado en capas triples.

**b) Capa exterior:**

- contenido de S más del 0,04% ( ver nota 5)
- espesor mínimo -20% del depósito total,

**c) Capa intermedia (en depósitos triples de Ni):**

- contenido de S – mayor que el de la capa exterior,
- espesor máximo -10% del depósito total.

**6.7.3 Cromo regular (Cr-r)**

- espesor mínimo 03  $\mu\text{m}$

**6.7.4 Cromo libre de grietas (Cr f)**

- libre de grietas al ensayarse según el Anexo F literal F.2; excepto por rajaduras que parten de los bordes de la probeta y que sean menores a una longitud de 25% del ancho del artículo; o por longitudes de 10 mm;
- espesor mínimo 0,8  $\mu\text{m}$ .

**6.7.5 Cromo con micro-grietas (Cr-mc)**

- agrietamiento de más de 250 grietas por aumento en cualquier dirección, que forme una red apretada sobre la totalidad de la superficie significativa, al comprobarse por uno de los métodos del Anexo F;
- espesor mínimo 0,3 $\mu\text{m}$ . Para ciertos procesos de electrodeposición se requerirá espesores de hasta 0,8  $\mu\text{m}$  para obtener el agrietamiento establecido.

**6.7.6 Cromo-micro-poroso (Cr mp)**

- número de poros: por lo menos 10 000/cm<sup>2</sup>, al ensayarse según el Anexo F numeral F.2. Los poros deben ser invisibles a la inspección visual;
- espesor mínimo: 0,3  $\mu\text{m}$ ;
- puede ocurrir cierta pérdida de lustre después de algún tiempo de servicio en el caso de Cr mp, que pueden resultar inaceptables para ciertas aplicaciones. Esta tendencia se puede reducir incrementando el espesor del depósito de Cr, para los casos en los cuales se especifica Cr-mp en las Tablas 1 y 2. La modificación se abrevia:

Cr 0,5 mp

Para indicar espesor mínimo de la capa de cromo de 0,5  $\mu\text{m}$

NOTA 5. Se especifica el contenido de azufre para indicar el tipo de solución de electrolito que debe usarse No existe método único para determinar el contenido de azufre en el depósito de níquel. Deberá acordarse entre las partes interesadas.

(Continúa)

## **7. DISPOSICIONES GENERALES**

### **7.1 Toma de muestras y plan de muestreo**

**7.1.1** El método para la toma de muestras se especificará en las normas relativas a cada producto, o deberá ser objeto de acuerdo entre las partes.

**7.1.2** El plan de muestreo con fines de aceptación o rechazo se deberá especificar en la norma de cada producto, o se determinará por acuerdo entre las partes, debiendo, en todo caso, estar de acuerdo con la Norma INEN 255.

### **7.2 Modo de especificar pedidos**

**7.2.1** Al pedir artículos recubiertos de níquel electrolíticamente, el comprador deberá especificar, a más del numeral de esta norma, el índice de servicio requerido o la abreviación completa del recubrimiento. Cuando sea necesario, se especificará, además, los tratamientos posteriores requeridos.

### **7.3 Preparación de la superficie del metal base**

**7.3.1** Las piezas que deben recubrirse se someterán a preparación de acuerdo a las condiciones de normas específicas para cada caso.

*(Continúa)*

**ANEXO A****DETERMINACION DEL ESPESOR DE RECUBRIMIENTO DE NIQUEL Y DE COBRE O LATON  
METODO MICROSCOPICO**

**A.1** Usar el método descrito en la Norma INEN 601 con las siguientes variaciones:

Aplicar como mordientes:

- a) partes iguales en volumen de ácido nítrico ( $\delta = 1,42$  g/ml) y ácido acético glacial.
- b) partes iguales en volumen de soluciones de cianuro de sodio (100 g/l) y persulfato de sodio o de amoníaco (100 g/l).

**A.2 Advertencia.** Al mezclar estos reactivos se producen emanaciones tóxicas.

*(Continúa)*

## ANEXO B

### RECOMENDACIONES PARA LA ELECTRODEPOSICION DE RECUBRIMIENTOS NIQUEL Y DE NIQUEL +CROMO

#### B.1 Cumplimiento de requisitos

**B.1.1** Para garantizar el cumplimiento de los requisitos de la norma, se aconseja al fabricante:

- a) mantener control periódico regular de todas las soluciones y hacer inspecciones regulares de todos los equipos, poniendo atención especial en los contactos eléctricos y en la exactitud de los instrumentos;
- b) mantener un departamento de ensayos y laboratorio para la ejecución de los ensayos normalizados, y para determinación inmediata de posibles irregularidades. Para plantas en las cuales el trabajo es continuo por períodos largos, la calidad de los recubrimientos de níquel deberá comprobarse por lo menos dos veces por cada turno de 8 horas hasta que todas las dificultades iniciales hayan desaparecido;
- c) mantener los requisitos internos de fabricación, entre un 5% a 10% sobre los normalizados aquí.

#### B.2 Tiempo requerido para el electrodepósito

**B.2.1** Cualquier espesor de recubrimiento puede ser producido en forma constante, solamente si la densidad de corriente y el tiempo de electrodeposición son estrictamente controlados. La regulación del voltaje no presenta ventaja alguna, a menos que signifique variaciones de la densidad de corriente para determinada instalación. El espesor promedio de electrodepósito que se requiere para garantizar un espesor mínimo local, depende de la forma del artículo, la forma y de la posición de los ánodos, así como del poder de penetración de la solución. Para formas complicadas, se requerirán períodos más largos. Cuando se somete a electrodepósitos grandes cantidades de piezas pequeñas (por ejemplo en tratamientos en tambor), el tiempo del electrodepósito debe incrementarse para asegurar el espesor normalizado en aquellos artículos que reciben menos que la densidad de corriente promedio.

*(Continúa)*

**ANEXO C****DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA CAPA DE CROMO POR EL METODO  
COULOMETRICO**

**C.1** Utilizar el método especificado en la Norma INEN 603, con solución B4 como electrolítico.

**C.2** El espesor, en micrómetros, del recubrimiento de cromo está determinado por la fórmula siguiente (suponiendo eficiencia 100 % de la corriente):

$$s = 0,126 \frac{Q}{A}$$

*(Continúa)*

**ANEXO D****EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORROSION ACCELERADA**

**D.1** Examinar cada probeta por manchas, picaduras, rajaduras, etc., donde haya sido penetrado el recubrimiento, con corrosión resultante en el metal base. Si el área del defecto encontrado es igual o mayor a  $2,5 \text{ mm}^2$ , la probeta no pasa el ensayo.

**D.2** Evaluar los resultados en conformidad con la Norma INEN 1 176 y determinar el índice de corrosión. Si éste fuere inferior a 8 la probeta no cumple los requisitos.

**D.3** Si una probeta con superficie significativa mayor a  $5 \text{ dm}^2$  es ensayada, determinar adicionalmente el área de  $50 \times 50 \text{ mm}$  de mayor corrosión. Contar el número (n) de cuadros de 5 mm de lado dentro del área de mayor corrosión, donde se presenten defectos de corrosión. Si (n) es 20 o más, la probeta no pasa el ensayo. Si (n) es 10 o más, y el índice de corrosión para la totalidad de la superficie significativa es inferior a 9, la probeta tampoco pasa el ensayo.

*(Continúa)*

## ANEXO E

### ENSAYO DE DUCTILIDAD DE RECUBRIMIENTOS DE NIQUEL

**E.1 Principio.** El método de ensayo consiste en someter la probeta preparada o doblado sobre un calibre cilíndrico y constatar luego el estado del recubrimiento.

**E.2 Instrumental.** Calibre cilíndrico de acero con diámetro 11,5 mm.

**E.3 Probeta.** Preparada de la siguiente manera:

Recubrir una lámina de 150 x 10 x 1 mm del metal base apropiado, igual o similar al metal base de los artículos ensayados, excepto que puede ser de latón blando si el metal base de los artículos es aleación de zinc recubrir la lámina con espesor de 25  $\mu\text{m}$  bajo las mismas condiciones bajo las que se recubren las piezas ensayadas. La lámina de 150 x 10 x 1 mm debe recortarse después de aplicar el recubrimiento, de tal modo que se separe un margen de 25 mm a cada lado. Biselar los bordes cortados, por lo menos del lado en que se encuentra el recubrimiento.

**E.4 Procedimiento.** Doblar la probeta preparada de modo que la parte recubierta sea la sometida a tensión, mediante aplicación constante de presión hasta que se completen 180° sobre el calibre cilíndrico, y los dos extremos de la lámina estén paralelos entre sí. Asegurarse de mantener el contacto de la lámina con el calibre durante todo el procedimiento de doblado.

**E.5 Resultados.** Inspeccionar la probeta al final del doblado y constatar la presencia o no de grietas en el recubrimiento. No se tomarán en cuenta pequeñas agrietaduras cercanas a los bordes. De no existir grietas ni rajaduras, ni ningún otro defecto visible, se considera que la probeta pasa el ensayo y el recubrimiento cumple con el requisito del 8% de elongación mínima.

*(Continúa)*

**ANEXO F****DETERMINACION DE RAJADURAS Y POROS EN RECUBRIMIENTOS DE CROMO****F.1 Inspección visual**

**F.1.1** Examinar la superficie ensayada en un microscopio óptico con aumentos de 100 X. Para agrietamientos muy finos, puede requerirse de mayor aumento. Con ayuda de un microscopio, contar el número de grietas requerido (40) y medir la distancia respectiva.

**F.2 Depósito de cobre**

**F.2.1** La electrodeposición de cobre de una solución ácida de sulfatos, a baja densidad de corriente y bajo voltaje, ocurre solamente sobre el níquel subyacente, expuesto a través de las discontinuidades del cromo. Este método provee de un medio rápido de inspección visual, para determinar la uniformidad de la distribución de las agrietaduras, pero si se requiere contarlas, debe aplicarse el método de F.1.

**F.2.2** El ensayo se aplica inmediatamente después de terminado el proceso de recubrimiento. Si se incurre en demoras de cualquier tipo, se debe desengrasar la probeta previamente por métodos químicos, evitando el uso de métodos electrolíticos. Depositar el cobre de un baño que contenga aproximadamente 200 g/l de sulfato cristalino de cobre y 20 g/l de ácido sulfúrico a densidad de corriente promedio de 30 A/m<sup>2</sup>. Aplicar un tiempo de inmersión de aproximadamente un minuto a temperatura ambiente. La probeta y el ánodo deben conectarse a la corriente antes de la inmersión.

**F.2.3** En los casos en los cuales el ensayo se ejecuta varios días después de la aplicación del cromo, sumergir primeramente la probeta en solución de ácido nítrico (10 a 20 g/l) aproximadamente durante 4 minutos a temperatura de 95 °C, para ayudar a poner de relieve las agrietaduras, antes de la aplicación del baño de cobre.

*(Continúa)*

## APENDICE Z

### Z.1 NORMAS A CONSULTAR

- INEN 601 *Recubrimientos metálicos y no orgánicos. Determinación del espesor de recubrimiento por el método microscópico.*
- INEN 950 *Recubrimientos metálicos Determinación de la adherencia. Métodos de ensayo,*
- INEN 951 *Recubrimientos electrolíticos Requisitos generales, espesores y abreviaturas.*
- INEN 1 174 *Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo del ácido acético.*
- INEN 1176 *Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada.*
- INEN 1 195 *Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo acelerado del ácido acético.*
- INEN 1 197 *Recubrimientos de cromo. Determinación del espesor de recubrimiento de capas delgadas de cromo. Método del goteo.*
- INEN 1 198 *Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo de Corrodkote.*
- INEN 1 052 *Tornillería Tornillos y tuercas con recubrimientos electrolíticos.*
- GP 9 *Guía de práctica para la limpieza y preparación de superficies metálicas para electrodepositos*

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

DIN 50963 *Korrosionsschutz, galvanische Nickel, und Nickel-Chrom Ueberzuge auf Stahl, Deutsches Institut fuer Normung. Berlin 1963.*

Federal Specification QQ-N-290. *Nickel plating (electrodeposited)* Federal Supply Service Washington 1964

ASTM B 456 *Electrodeposited coatings of nickel plus chromium.* American Society for Testing and Materials Filadelfia 1967.

IS 1068. *Electroplated coatings of nickel and chromium on iron and steel.* Indian Standards Institution New Dehli 1968.

BS 1224 *Electroplated coatings of nickel and chromium.* British Standards Institution Londres 1970.

ISO 1456 *Metallic coatings Electroplated coating of nickel plus chromium.* International Organization for Standardization. Ginebra 1974.

ISO 1458 *Metallic coatings Electroplated coatings of nickel.* International Organization for Standardization Ginebra 1974.



**ANEXO A4**

**NORMA NTE INEN 955**

<b>Norma Técnica Ecuatoriana</b>	<b>RECUBRIMIENTOS ELECTROLITICOS DE COBRE + NIQUEL + CROMO SOBRE ACERO. REQUISITOS</b>	<b>INEN 955 1984-07</b>
<p style="text-align: center;"><b>1.OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece los requisitos principales que deben cumplir los recubrimientos de cobre + níquel + cromo aplicados electrolíticamente sobre base de acero.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1</b> Esta norma se aplica al recubrimiento de los metales especificados en 1.1, excepto en los casos siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Recubrimientos sobre roscas (ver nota 1).</li> <li>b) Recubrimientos sobre láminas, flejes o alambre en sus formas no elaboradas, así como sobre resortes espirales.</li> <li>c) Recubrimientos aplicados con fines distintos a la protección contra la corrosión y con fines decorativos</li> </ul> <p><b>2.2</b> Esta norma especifica la condición superficial del metal base antes de la electrodeposición; el grado de rugosidad aceptable deberá determinarse por acuerdo entre las partes interesadas, en los casos en que no existan normas del producto específicas, donde se establezca expresamente.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. TERMINOLOGIA</b></p> <p><b>3.1 Superficie significativa.</b> Es la parte de la superficie de la pieza esencial para la apariencia o utilidad de la misma, que debe ser recubierta, o sobre la que se ha aplicado ya el recubrimiento. En caso de necesidad, la superficie significativa debe indicarse en dibujos o planos, o mediante la provisión de muestras debidamente marcadas.</p> <p style="text-align: center;"><b>4. SIMBOLOGIA</b></p> <p><b>4.1</b> En esta norma se utilizan los siguientes símbolos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>s        espesor de recubrimiento (<math>\mu\text{m}</math>);</li> <li>-</li> <li><math>\bar{s}</math>        espesor promedio de recubrimiento (<math>\mu\text{m}</math>);</li> <li><math>R_e</math>        resistencia a la tracción (<math>\text{N}/\text{mm}^2</math>)</li> <li>          densidad (<math>\text{n}/\text{dm}^3</math>)</li> <li>Q        cantidad de electricidad (coulombs);</li> <li>A        área (<math>\text{cm}^2</math>)</li> </ul> <p>-----</p> <p>NOTA 1. Para el caso de roscas con recubrimiento, ver Norma INEN 1 052</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p>		

## 5. CLASIFICACION

**5.1** De acuerdo al índice de servicio, los recubrimientos de cobre + níquel + cromo se clasifican en los tipos 1- 2- 3 y 4 (ver numeral 6.2).

## 6. REQUISITOS

### 6.1 Apariencia

**6.1.1** El área que corresponda a la superficie significativa del artículo recubierto, debe estar libre de defectos visibles, como ampolladuras, picaduras, rugosidades, rajaduras o discontinuidad en el recubrimiento. La magnitud de los defectos fuera del área significativa, que se considera todavía como aceptable, debe establecerse por acuerdo entre las partes interesadas. En las piezas en las cuales es inevitable la presencia de una marca de contacto, la posición de la misma debe también ser de acuerdo entre las partes. La pieza debe estar limpia y sin daños. El comprador deberá especificar la condición de brillo expresamente, por ejemplo, brillante, lustroso, o mate. En caso de ser necesario, el comprador proveerá al fabricante de una muestra con el acabado requerido.

### 6.2 Espesor

**6.2.1** Los espesores de recubrimiento de cobre + níquel + cromo sobre acero se establecen en la Tabla 1, donde se indica también la abreviatura y el índice de servicio correspondiente.

**TABLA 1. Espesores de recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )**

1 Abreviatura/recubrimiento	2 Espesor mínimo (s)			3 Índice de servicio
	Cu	Ni	Cr	
Fe/el Cu 10 Ni 5 b Cr 0,3 r	10	5	0,3	1
Fe/el Cu 20 Ni 10 b Cr 0,3 r	20	10	0,3	2
Fe/el Cu 20 Ni 25 d Cr 0,3 mp	20	25	0,3	4
Fe/el Cu 20 Ni 25 d Cr 0,3 mc	20	25		
Fe/el Cu 20 Ni 30 d Cr 0,3 f	20	30		
Fe/el Cu 20 Ni 30 d Cr 0,3 r	20	30		
Fe/el Cu 20 Ni 25 p Cr 0,3 mp	20	25		
Fe/el Cu 20 Ni 25 p Cr 0,3 mc	20	25		
Fe/el Cu 20 Ni 30 p Cr 0,3 r	20	30		
Fe/el Cu 20 Ni 25 b Cr 0,3 mp	20	25		
Fe/el cu 20 Ni 25 b Cr 0,3 mc	20	25		

**6.2.2** Para los índices de servicio 1 y 2 se puede sustituir Ni-b por Ni-p o por Ni-d; y el Cr-r puede substituirse por Cr-mp, Cr-mc o por Cr-f (ver 6.3.1).

### 6.3 Abreviatura

**6.3.1** La abreviatura para designar los recubrimientos según esta norma consta de los siguientes símbolos:

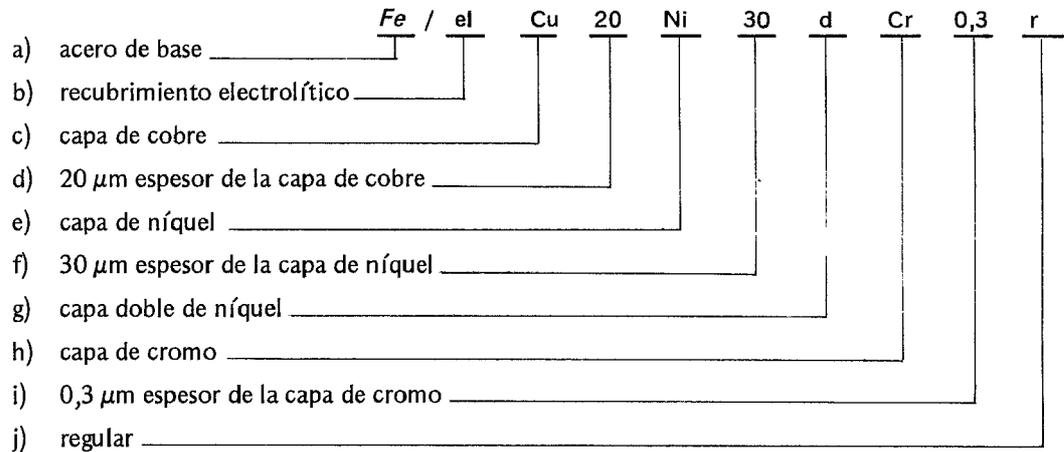
- Fe, para designar al metal base, acero,
- La abreviación (el) por "electrolítico",
- Cu, para designar la capa de cobre,
- El valor en micrómetros de la capa de cobre,
- Ni, para designar la capa de níquel,
- El valor en micrómetros de la capa de níquel,
- Una letra para determinar el tipo de la capa de níquel como sigue:
  - b para níquel depositado en condiciones brillante;
  - p para níquel depositado en condición lustrosa o semibrillante;
  - d para doble o triple capa de níquel;
- Cr, para designar la capa de cromo;
- el valor en micrómetros de la capa de cromo
- una letra para determinar el tipo de la capa de cromo, como sigue (ver nota2)

NOTA 2. Las abreviaturas corresponden a las normalizadas en ISO 1457, provenientes del idioma inglés.

(Continúa)

- mp micro poroso (micro-porous);  
 mc micro grietas (micro-crabed);  
 r regular;  
 f libre de grietas (free from cracs).

### 6.3.2 Ejemplo



## 6.4 Tratamientos térmicos

**6.4.1** Se aplicarán tratamientos térmicos siempre que se trate de acero de base, según las siguientes indicaciones:

**6.4.1.1 Acero de base.** Cuando sea requerido por el comprador o por el requisito específico del producto, establecido en la Norma respectiva, se deberá someter las piezas de ciertos aceros a tratamiento térmico para reducir el riesgo de daños provenientes de fragilidad por hidrógeno. Los aceros cuya resistencia a la tracción  $R_e$  sea mayor a 1 500 N/mm<sup>2</sup> (o cuya dureza sea equivalente a 45 HRC: 440 HV: 415 HB) no deberán recubrirse electrolíticamente Cu + Ni + Cr con métodos convencionales. Deberá también tomarse en cuenta que acero con  $R_e \geq 1\ 000$  N/mm (o dureza > 30 HRC: 295 HV: 280 HB) requieren necesariamente de tratamiento para reducir el riesgo de fragilitamiento por hidrógeno.

### 6.4.2 Alivio de tensiones antes de la electrodeposición

**6.4.2.1** Las piezas obtenidas por fuerte deformación en frío, fabricadas de acero con  $R_e \geq 1\ 000$  N/mm<sup>2</sup> (o dureza correspondiente), que han sido rectificadas o sometidas a severo maquinado después del templado deben someterse a alivio de tensiones. Deberán mantenerse de preferencia a la más alta temperatura de revenido durante 30 minutos, o, en su defecto, mantenerse entre 190°C por lo menos una hora. Pero, aceros carburizados templados a la llama, por inducción y rectificadas, resultarán debilitados por este tratamiento y deberán, en cambio, ser revenidos a temperaturas más bajas, por ejemplo, a 170°C por lo menos una hora. En todo caso, deberán tenerse muy en cuenta las propiedades específicas del tipo de acero que constituye el metal base de recubrimiento, para elegir el tratamiento térmico previo más adecuado. Un procedimiento apropiado y recomendable para reducir al mínimo la fragilidad por hidrógeno se especifica en GP-9 (Apéndice Z). En el Anexo B se anotan recomendaciones para la correcta ejecución del electrodeposición.

(Continúa)

### 6.4.3 Tratamiento térmico después de la electrodeposición

**6.4.3.1** Las piezas sometidas a esfuerzos de fatiga o a cargas permanentes durante el servicio, y fabricadas por fuerte deformación en frío, o de acero de  $Re \geq 1\ 000\ \text{N/mm}^2$  (o de dureza correspondiente), deberán tratarse térmicamente después de ser recubiertas. La Tabla 2 establece los períodos que deberán alcanzarse tomando en cuenta el espesor de la pieza.

**TABLA 2. Tratamiento térmico después de la electrodeposición**

$R_e$	Espesor máximo de la pieza	Período mínimo a $190^\circ\text{C}$ a $210^\circ\text{C}$
$\text{N/mm}^2$	mm	Horas
1 000 a 1 150	Menos de 12	2
	De 12 a 25	4
	Más de 25	8
1 150 a 1 400	Menos de 12	4
	De 12 a 25	12
	Más de 25	24 (ver nota 3)
	Sobre 40	a determinarse experimentalmente

**6.4.3.2** En casos en los cuales las temperaturas establecidas pueden resultar debilitantes, como, por ejemplo, en piezas endurecidas superficialmente, puede ser necesaria la aplicación de temperaturas más bajas por más tiempo.

### 6.5 Adherencia

**6.5.1** El recubrimiento de níquel o níquel - cromo deberá estar firmemente adherido al metal base. La adhesión se ensayará de acuerdo a la Norma INEN 950 (ensayo de limado y de cambio brusco de temperatura). No deberá presentarse ningún signo de separación de las capas electrodepositadas.

(Continua)

NOTA 3. El calentamiento debe iniciarse dentro de las 16 horas siguientes a la electrodeposición.

## 6.6 Resistencia a la corrosión

**6.6.1** Los artículos recubiertos de cobre + níquel + cromo deberán someterse a ensayos de resistencia a la corrosión de acuerdo al índice de servicio según la Tabla 3.

**TABLA 3. Ensayos de resistencia a la corrosión**

Índice de servicio	Ensayo de corrosión – duración en horas		
	CASS	Corrodkote	Acido acético
1	-	-	8
2	-	-	24
3	16	16	96
4	24	2 x 16	144

**6.6.2** Los ensayos establecidos en la Tabla 3 se encuentran normalizados en las Normas INEN 1 174,1 195 y 1 198.

**6.6.3** Una vez sometido el artículo al ensayo correspondiente, el criterio de aceptación o rechazo se evaluará de acuerdo al Anexo A.

**6.6.4** Otros signos de deterioro superficial del recubrimiento, distintos de los evaluados en 6.6.3 son eventualmente aparentes una vez efectuado el ensayo. El grado en que este deterioro es aceptable debe ser de acuerdo entre las partes interesadas.

## 6.5 Requisitos del metal de depósito

**6.5.1** Los requisitos que deben reunir los distintos tipos de depósito de níquel y de cromo, de las dos últimas capas de electrodeposición, se encuentran establecidos en la Norma INEN 954, numeral 6.7.

## 7. DISPOSICIONES GENERALES

### 7.1 Toma de muestras y plan de muestreo

**7.1.1** El método para la toma de muestras se especificará en las normas respectivas de cada producto, o deberá acordarse entre las partes interesadas.

(Continua)

**7.12** El plan de muestreo con fines de aceptación o rechazo deberá especificarse en la Norma de cada producto en particular, o se determinará por acuerdo entre las partes, debiendo, en todo caso, estar de acuerdo con la Norma INEN 255.

## **7.2 Modo de especificar pedidos**

**7.2.1** Al pedir artículos recubiertos de cobre + níquel + cromo, el comprador deberá especificar, a más del número de esta norma, el índice de servicio requerido, o la abreviación completa del recubrimiento. Cuando sea necesario se especificará además los tratamientos posteriores requeridos.

*(Continua)*

**ANEXO A**  
**EVALUACION DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS ACELERADOS DE CORROSION**

**A.1** Examinar cada una de las probetas para localizar poros o rajaduras por los cuales haya penetrado el recubrimiento, con corrosión resultante del metal base. Si cualquier poro o rajadura tiene individualmente un área mayor a  $2,5 \text{ mm}^2$ , deberá rechazarse el artículo.

**A.2** Evaluar los resultados del ensayo de corrosión acelerado, en conformidad con la Norma INEN 1176.

**A.3** Si el índice de corrosión es inferior a 8, la probeta no pasará la prueba.

**A.4** Si individualmente un artículo tiene un área significativa mayor a  $5 \text{ dm}^2$ , se determinará adicionalmente el área de mayor corrosión para un cuadro de  $50 \times 50 \text{ mm}$ . Contar el número (n) de cuadritos de  $5 \text{ mm}$  de lado dentro de esta área de mayor corrosión. Si (n) es igual o mayor que 20, la probeta no pasará la prueba. Si (n) es igual a 10 o más y el índice de corrosión para la totalidad de la superficie es inferior a 9, la probeta tampoco pasará la prueba y debe rechazarse.

## ANEXO B

### RECOMENDACIONES PARA LA ELECTRODEPOSICION DE RECUBRIMIENTOS COBRE + NIQUEL +CROMO

#### B.1 Cumplimiento de requisitos

**B.1.1** Para garantizar el cumplimiento de los requisitos de la norma, se aconseja al fabricante:

- a) mantener control periódico de todas las soluciones y hacer inspecciones regulares de todos los equipos, poniendo atención especial en los contactos eléctricos y en la exactitud de los instrumentos.
- b) Mantener un departamento de ensayos y laboratorio para la ejecución de los ensayos normalizados, y para determinación inmediata de posibles irregularidades. Para plantas en las cuales el trabajo es continuo por períodos largos, la calidad de los recubrimientos de Cu + Ni + Cr deberá comprobarse por lo menos dos veces por cada turno de 8 horas, hasta que todas las dificultades iniciales hayan desaparecido
- c) Mantener los requisitos internos de fabricación entre un 5 a 10<sup>0</sup>/o sobre los normalizados aquí.

#### B.2 Tiempo requerido para el electrodepósito

**B.2.1** Cualquier espesor de recubrimiento puede ser producido en forma constante, solamente si la densidad de corriente y el tiempo de electrodeposición son estrictamente controlados. La regulación del voltaje no presenta ventaja alguna, a menos que signifique variaciones de la densidad de corriente para determinada instalación. El espesor promedio de electrodepósito que se requiere para garantizar un espesor mínimo local, depende de la forma del artículo, su forma y de la posición de los ánodos, así como del poder de penetración de la solución. Para formas complicadas, se requerirán períodos más largos. Cuando se someten a electrodepósito grandes cantidades de piezas pequeñas (por ejemplo, en tratamientos en tambor), el tiempo del electrodepósito deberá incrementarse para asegurar el espesor normalizado en aquellos artículos que reciben menos que la densidad de corriente promedio.

*(Continúa)*

## APENDICE Z

### Z.1 NORMAS A CONSULTAR

INEN 255	<i>Control de calidad. Procedimientos de muestreo y tablas para la inspección por a tribu tos.</i>
INEN 950	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la adherencia. Métodos de ensayo.</i>
INEN 954	<i>Recubrimientos electrolíticos de níquel y de níquel + cromo sobre acero, fundición, zinc, cobre, aluminio o níquel; así como sobre aleaciones de zinc, cobre o aluminio. Requisitos.</i>
INEN 1 174	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo del ácido acético.</i>
INEN 1 176	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada.</i>
INEN 1 195	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo acelerado del ácido acético.</i>
INEN 1 198	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Ensayo de Corroukote,</i>
INEN 1 052	<i>Tornillería. Tornillos y tuercas con recubrimientos electrolíticos. Requisitos.</i>
GP-9	<i>Guía de práctica para la limpieza y preparación de superficies metálicas para electrodeósitos.</i>

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

ISO 1457 *Metallic coatings. Electroplated coatings of copper plus nickel plus chromium on iron and steel.*  
International Organization for Standardization. Ginebra 1974.



**ANEXO A5**

**NORMA NTE INEN 1174:2013**



Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1174:2013**  
**Primera revisión**

---

---

**RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA  
RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ENSAYO DE NIEBLA  
SALINA ACÉTICA**

**Primera edición**

METALLIC COATINGS. DETERMINATION OF RESISTANCE TO CORROSION. ACETIC ACID SALT SPRAY TEST

First edition

---

DESCRIPTORES: Recubrimientos de cromo + níquel + cromo o níquel + cromo, niebla salina acética, equipos, resistencia a la corrosión, procedimiento.  
MT: 05.01-307  
CDU: 669.058:620.293.25  
CIU: 2892  
ICS: 77.060

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. ENSAYO DE NIEBLA SALINA ACÉTICA</b>	<b>NTE INEN 1174: 2013 Primera revisión 2013-09</b>
---	--	---

## 1. OBJETO

**1.1** Esta norma describe el ensayo de niebla salina acética (AASS), para determinar la resistencia de los recubrimientos metálicos a la corrosión.

## 2. ALCANCE

**2.1** Esta norma se aplica especialmente a los recubrimientos decorativos de cobre + níquel + cromo o de níquel + cromo, así como a los recubrimientos anódicos aplicados sobre aluminio.

**2.2** Esta norma no establece el tipo de probeta que debe ensayarse, los tiempos de exposición o la interpretación de resultados para determinado producto, que son objeto de normas específicas o del mutuo acuerdo de las partes interesadas, de no existir normas vigentes.

**2.3** Existe rara vez relación directa entre la resistencia a la acción del ácido acético y la resistencia a la corrosión en otro ambiente, debido a la influencia de muchas variables sobre el proceso de corrosión, tales como la formación de películas protectoras, que varían mucho de acuerdo a las condiciones presentes en cada caso. Por esta razón, los resultados obtenidos en cada caso mediante el ensayo, no deben considerarse como una guía directa sobre la resistencia a la corrosión del recubrimiento ensayado en todos los ambientes corrosivos en los que podría usarse el recubrimiento. Tampoco, la resistencia relativa de diversos tipos de recubrimiento durante el ensayo, debe tomarse como guía para establecer la resistencia de otros recubrimientos una vez en servicio.

## 3. DEFINICIONES

**3.1** Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 610.

## 4. MÉTODO DE ENSAYO

**4.1 Resumen.** El método consiste en someter la probeta de metal recubierto, a la acción de niebla pulverizada de ácido acético bajo condiciones controladas y por tiempo determinado para luego evaluar los efectos producidos.

### 4.2 Equipos

**4.2.1 Cámara de pulverización.** Fabricada o recubierta de material resistente a la corrosión causada por la solución pulverizada. La capacidad de la cámara debe ser igual o superior a 0,4 m<sup>3</sup> ya que, con volúmenes menores, se encuentran luego dificultades para asegurar la uniforme distribución de la niebla. La parte superior de la cámara debe ser diseñada de tal forma que las gotas condensadas en las paredes superiores, no caigan sobre las probetas ensayadas.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Recubrimientos de cobre + níquel + cromo o níquel + cromo, niebla salina acética, equipos, resistencia a la corrosión, procedimiento.

El tamaño y la forma de la cámara deben ser tales, que la velocidad de recogida de solución recolectada en la cámara, esté dentro de los límites establecidos en 4.6.3. La cámara cumplirá los requisitos “como se especifica en la NTE INEN 1180”.

**4.2.2 Fuente de suministro de calor y sistema de control.** Que sea adecuado para mantener la cámara y su contenido a la temperatura especificada (ver 4.6.1). La temperatura debe controlarse con un elemento termostático colocado ya sea dentro de la cámara, separado por lo menos 100 mm de las paredes, o en una camisa de agua dentro de la cámara. En cualquier caso, el termómetro, que debe leerse desde el exterior, debe estar colocado en el interior, separado por lo menos 100 mm de las paredes.

**4.2.2.1 Termostato.** Para regulación del calor, que cumpla las condiciones de 4.2.2.

**4.2.2.2 Termómetro.** De cualquier tipo que cumpla las condiciones de 4.2.2.

**4.2.3 Fuente de pulverización.** Que comprende el sistema de suministro de aire limpio a presión regulable y humedad controlable; un recipiente para la solución que debe pulverizarse, y una o más boquillas o pitones de pulverización hechas de material inerte.

**4.2.3.1** El aire comprimido para los pulverizadores debe pasar por un filtro para retirar toda traza de aceite o material sólido a una presión entre 70 kPa y 170 kPa (ver nota 1). Para evitar la evaporación del agua de las gotas pulverizadas, el aire debe estar humidificado antes de entrar al pulverizador, haciéndolo pasar por una torre de saturación que contenga agua destilada o des-ionizada a temperatura de 10°C por encima de la cámara. La temperatura apropiada depende de la presión utilizada y del tipo de boquilla de pulverización y debe regularse de tal modo que la recolección de ácido pulverizado en la cámara y la concentración del mismo, se mantengan dentro de los límites especificados (ver 4.6.3).

**4.2.3.2** Los pulverizadores deben fabricarse de material inerte, por ejemplo, plástico o vidrio. Se pueden utilizar deflectores para evitar el impacto directo de la solución pulverizada sobre las probetas. Se recomienda el uso de deflectores ajustables, con el objeto de obtener una distribución uniforme de la solución dentro de la cámara.

**4.2.4 Dispositivos de recolección.** Se deben disponer de al menos 2 recolectores que pueden ser constituidos por embudos de vidrio o de otro material químicamente inerte con los picos introducidos dentro de cilindros graduados u otros recipientes. Embudos con diámetro de 100 mm tiene un área de recolección de aproximadamente 80 cm<sup>2</sup>. Los dispositivos de recolección deben estar localizados en la zona de la cámara donde se hallan las probetas, uno próximo al pulverizador y otro alejado. Deben colocarse de tal manera que recolecten sólo solución pulverizada y no líquido que cae de las probetas o de alguna parte de la cámara.

**4.2.5** El equipo debe estar limpio; si se ha utilizado anteriormente para otro tipo de ensayo con diferente solución, deberá limpiarse íntegramente antes de usarse para el ensayo según lo especifica esta norma.

---

NOTA 1. 1 kPa= 1kN/m<sup>2</sup>

(Continúa)

### 4.3 Reactivos

**4.3.1 Solución.** Preparada por disolución de cloruro de sodio en agua destilada o des-ionizada para producir una concentración de  $(50 \pm 5)$  g/l. El cloruro de sodio debe contener menos de 0,001% de cobre y menor de 0,001% de níquel y no debe contener más de 0,1% de yoduro de sodio ni más de 0,5% de impurezas totales calculadas para la sal seca. Si el pH de la solución preparada está fuera del rango 6,0 a 7,0, debe investigarse por la posible presencia de impurezas, ya sea en la sal o en el agua.

**4.3.2** Se añade un volumen de ácido acético glacial a la solución de sal y asegurar que el pH de las muestras de solución pulverizada recolectada en la cámara de ensayo esté comprendido entre 3,1 y 3,3. Si el pH de la solución preparada está entre 3,0 y 3,1, el pH de la solución pulverizada estará probablemente dentro de los límites especificados. Todos los valores de pH deben medirse electroméricamente a  $(25 \pm 2)$  °C con un papel de prueba de pH de rango corto, que puedan obtenerse para una precisión de 0,1 unidades de pH o menos y que haya sido calibrado contra mediciones electrométricas, también puede usarse para inspecciones de rutina. Cualquier corrección necesaria debe hacerse por adición de solución de ácido acético glacial o hidróxido de sodio de grado analítico.

**4.3.3** La solución debe filtrarse antes de colocarse en el reservorio del aparato para remover cualquier material sólido que puede tapar las boquillas de los dispositivos de pulverización.

### 4.4 Probetas

**4.4.1** El número y tipo de probetas, su forma y dimensiones, deben seleccionarse de acuerdo a la especificación que corresponda al recubrimiento del producto ensayado. Si no hay especificación, los requisitos que deben cumplir las probetas deben acordarse entre las partes interesadas.

**4.4.2** Las probetas deben ser totalmente desengrasadas antes del ensayo. El método empleado depende de la naturaleza de la superficie y del tipo de contaminantes y no se debe incluir el uso de abrasivos o solventes que puedan atacar las superficies de las probetas ya limpias. Se debe cuidar que estas probetas no sean contaminadas nuevamente después de la limpieza por exceso de manipuleo.

**4.4.3** Si las probetas se han cortado de un artículo de dimensiones grandes, el corte debe realizarse de manera que no dañe el recubrimiento en el área adyacente al corte. A menos que se especifique lo contrario, los bordes cortados deben protegerse adecuadamente recubriéndolas con un medio apropiado, que sea estable bajo las condiciones del ensayo tales como pintura, cera o cinta adhesiva.

### 4.5 Preparación del ensayo

**4.5.1** Las probetas deben colocarse en la cámara de modo que, no queden en la trayectoria de disparo de las boquillas pulverizadoras. Para el efecto, se pueden utilizar deflectores, que eviten el impacto directo de la solución sobre las probetas.

**4.5.2** El ángulo de exposición de la probeta en la cámara es muy importante. La superficie que va a ser rociada, debe ser plana y colocada hacia arriba, en un ángulo lo más cercano a 20° respecto a la vertical. Este ángulo debe estar comprendido entre 15° y 25°. En el caso de superficies irregulares por ejemplo, piezas enteras, estos límites deben observarse tan estrechamente como sea posible.

(Continúa)

**4.5.3** Las probetas deben acomodarse de modo que no tengan contacto una con otra o con la cámara y las superficies de ensayo deben estar expuestas a libre circulación del medio pulverizado. Las probetas pueden localizarse a diferentes niveles dentro de la cámara, siempre y cuando, la solución no pueda gotear de las probetas superiores o sus soportes, a las colocadas en posición inferior.

**4.5.4** Los soportes de las probetas deben ser de materiales inertes no metálicos tales como vidrio, plástico o madera apropiadamente recubierta. En caso de que las probetas deban colgarse, el material utilizado debe ser fibra sintética, cuerda de algodón u otro material aislante y en ningún caso, debe ser metálico (alambre).

#### **4.6 Procedimiento**

**4.6.1** Una vez colocadas las probetas en la cámara, de acuerdo a 4.5, regular la temperatura en el interior de la cámara de modo que sea constante a  $(35 \pm 2)$  °C y asegurar que la fluctuación sea mínima para la duración del ensayo.

**4.6.2** Se someten las probetas a la niebla de ácido pulverizado durante el tiempo especificado en las normas de recubrimiento o de producto o en su defecto, por el tiempo acordado entre las partes interesadas. Se recomiendan períodos de exposición de 2 h – 6 h – 24 h – 48 h – 96 h – 168 h – 240 h – 480 h – 720 h y 1 000 h. La pulverización no debe interrumpirse durante el período de ensayo. La cámara debe abrirse solamente para inspecciones visuales breves de las probetas y para reponer la solución salina en el reservorio, siempre y cuando, esta reposición no pueda llevarse a cabo desde el exterior de la cámara.

**4.6.3** La solución recolectada en cada uno de los dispositivos recolectores, debe tener la concentración de cloruro de sodio de  $(50 \pm 5)$  g/l y un pH en el rango de 3,1 a 3,3. El promedio de recolección de cada dispositivo medido en un período mínimo de 24 horas, debe ser de 1 a 2 ml/h para un área horizontal de recolección de 80 cm<sup>2</sup>.

**4.6.4** La solución de ensayo que ha sido pulverizada, no debe reutilizarse.

**4.6.5** Si la finalización del ensayo depende de la aparición del primer signo de corrosión, las probetas deberán ser inspeccionadas frecuentemente. Por esta razón, estas probetas no deben ensayarse juntamente con otras que requieren más tiempo de ensayo. Los períodos de examen visual de las probetas que se ensayan, no deben disturbar a las superficies involucradas en el ensayo y los tiempos de abertura de la cámara, deben ser los mínimos necesarios para realizar la observación y registrar cualquier cambio visible.

**4.6.6** Al final del período de ensayo, sacar las probetas de la cámara; dejar secar por 0,5h a 1 h antes del lavado, para reducir el riesgo de remover productos de corrosión. Antes de examinarlos, remover cuidadosamente residuos de solución de las superficies. Un método apropiado es lavar o sumergir las probetas en agua corriente limpia a temperatura que no exceda 40°C y luego, secarlas inmediatamente en un chorro de aire comprimido a presión que no exceda 200 kPa a una distancia de 300 mm aproximadamente.

#### **4.7 Resultados**

**4.7.1** Para evaluación de los resultados, se toman diferentes criterios para cumplir requisitos particulares:

*(Continúa)*

- a) Apariencia después del ensayo;
- b) Apariencia después de remover los productos superficiales de corrosión;
- c) Número y distribución de los defectos corrosivos como son: picaduras, ampolladuras, etc; determinar luego, la clasificación a la protección "como se especifica en NTE INEN 1176".
- d) Tiempo transcurrido hasta la aparición de los primeros signos de corrosión.

**4.7.2** En muchos casos, el criterio de evaluación de resultados se aplicará para requisitos especiales, por ejemplo, variación de masa, alteraciones reveladas por inspección micrográfica o cambio en las propiedades mecánicas. La respectiva especificación deberá contener los detalles para cada caso.

#### **4.8 Informe de resultados**

**4.8.1** El reporte sobre el ensayo debe contener los resultados de acuerdo al criterio utilizado de evaluación. Debe contener el resultado para cada probeta y, en caso de ser calculado, el resultado promedio para un grupo de probetas ensayadas.

**4.8.2** El reporte deberá, además, contener información sobre el proceso del ensayo y las prescripciones para el mismo, pero, en general, una lista de detalles, como en el de la lista siguiente, es necesaria:

- a) Descripción del recubrimiento o producto ensayado.
- b) Dimensiones y forma de la probeta, naturaleza y área de la superficie ensayada.
- c) Preparación de la probeta, incluyendo cualquier tratamiento de limpieza que se haya aplicado, y cualquier protección que se haya efectuado sobre bordes y superficies de corte u otras áreas especiales.
- d) Características conocidas del recubrimiento, con indicación del terminado superficial.
- e) El número de probetas sometidas a ensayo, que representen cada recubrimiento o producto.
- f) El método usado para limpiar las probetas después del ensayo, con la indicación de la pérdida de masa resultante, en caso de requerirse.
- g) El ángulo al cual se inclinaron las superficies ensayadas.
- h) Temperatura de ensayo.
- i) Duración del ensayo.
- j) Las características de las sondas de instrumentos colocadas en el interior de la cámara, destinadas a controlar las condiciones durante el ensayo.

*(Continúa)*

## APENDICE Z

### Z1. DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 610	<i>Tratamientos superficiales y recubrimientos metálicos. Definiciones y terminología.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1176	<i>Recubrimientos metálicos. Determinación de la resistencia a la corrosión. Evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1180	<i>Cámara para ensayos de corrosión acelerada. Requisitos.</i>

### Z.2 BASES DE ESTUDIO

UNE-EN ISO 9227:2012. *Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales. Ensayos de niebla salina*  
Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid. 2012.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

---

<b>Documento:</b> NTE INEN 1174 Primera revisión	<b>TÍTULO:</b> <b>DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN. MT 05.01-307</b> <b>ENSAYO DE NIEBLA SALINA ACÉTICA</b>	<b>RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. Código:</b>
--	---	--

---

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1984-04-05 Oficialización con el Carácter de Obligatoria por Acuerdo Ministerial No. 577 del 1984-08-09 publicado en el Registro Oficial No. 80 del 1984-12-05  Fecha de iniciación del estudio: 2012-07-27
--	---

---

Fechas de consulta pública: 2012-12-26 a 2013-01-24

---

Subcomité Técnico:	
Fecha de iniciación:	Fecha de aprobación:
Integrantes del Subcomité Técnico:	

Mediante compromiso presidencial N° 16364, el Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, en vista de la necesidad urgente, resuelve actualizar el acervo normativo en base al estado del arte y con el objetivo de atender a los sectores priorizados así como a todos los sectores productivos del país.

Para la revisión de esta Norma Técnica se ha considerado el nivel jerárquico de la normalización, habiendo el INEN realizado un análisis que ha determinado su conveniente aplicación en el país.

La Norma en referencia ha sido sometida a consulta pública por un período de 30 días y por ser considerada EMERGENTE no ha ingresado a Subcomité Técnico.

---

Otros trámites: ♦4 Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20

Esta NTE INEN 1174:2013 (Primera revisión) reemplaza a la NTE INEN 1174:1984

---

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

---

Oficializada como: Voluntaria  
Registro Oficial No. 75 de 2013-09-06

Por Resolución No. 13279 de 2013-07-31

**ANEXO A6**

**NORMA NTE INEN 1176:2013**



Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1176:2013**  
**Primera revisión**

---

---

**RECUBRIMIENTOS METÁLICOS Y NO ORGÁNICOS. MÉTODO DE ENSAYO DE CORROSIÓN. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA.**

**Primera Edición**

METALLIC AND OTHER INORGANIC COATING ON METALLIC SUBSTRATES. RATING OF TEST SPECIMENS SUBJECTS TO CORROSION TESTS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Recubrimientos metálicos y no orgánicos, decorativos , protectores, anódicos y catódicos, clasificación de la protección, tipos de deterioro, evaluación.

MT: 05.01-309

CDU: 669.408.2:198

CIIU: 2892

ICS: 25.220.40

<b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b>	<b>RECUBRIMIENTOS METALICOS Y NO ORGÁNICOS. MÉTO DE ENSAYO DE CORROSIÓN. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA.</b>	<b>NTE INEN 1176: 2013 Primera revisión 2013-09</b>
---	--	---

## 1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de evaluación de resultados para ensayos de corrosión acelerada, de artículos con recubrimiento metálico

## 2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica a recubrimientos metálicos y no orgánicos decorativos y protectores anódicos o catódicos sobre base metálica. El método toma en cuenta la corrosión del metal base.

## 3. DEFINICIONES

3.1 *Superficie significativa.* Es la parte de la superficie que es esencial en el aspecto o apta para uso de la pieza que debe ser o ha sido recubierta por el recubrimiento. En caso necesario, la superficie significativa debe ser objeto de acuerdo entre las partes interesadas, y debe indicarse en dibujos o en muestras marcadas.

3.2 *Mancha de corrosión.* Defecto superficial consecuencia de la corrosión, en el cual el recubrimiento está penetrado, indicado por la apariencia de corrosión del metal base o por levantamiento del recubrimiento. La decoloración u otros defectos superficiales que no penetren el recubrimiento, no cuentan como manchas de corrosión. El tamaño de una mancha de corrosión es el área de penetración a través del recubrimiento y no el área de la decoloración asociada.

3.3 *Clasificación de la protección.* Es un número clasificación que indica la capacidad del recubrimiento para proteger al metal base de la corrosión.

3.4 *Clasificación de apariencia.* En un símbolo asignado para describir el aspecto general de la muestra tomando en cuenta todos los defectos debidos a la exposición.

## 4. INSPECCIÓN

### 4.1 Muestreo

4.1.1 Se utilizan dibujos o muestras adecuadamente marcadas para indicar la superficie significativa (ver figura 1 y figura 2).

4.1.2 Si se daña deliberadamente la superficie de la pieza, se anota el defecto antes de realizar el ensayo e incluir esta información en el informe clasificándolos separadamente.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Recubrimientos metálicos y no orgánicos, decorativos, protectores anódicos y catódicos, clasificación de la protección, tipos de deterioro, evaluación.

**4.1.3** El material puede ser inspeccionado en lugares adecuados asegurándose que la iluminación durante la inspección sea lo más uniforme posible; deben evitarse reflejos directos del sol o las nubes y examinar la probeta desde varios ángulos para asegurarse que todos los defectos sean descubiertos.

**4.1.4** Una vez realizado el ensayo de corrosión específica para cada recubrimiento y cada metal base, la superficie puede limpiarse con una esponja humedecida en una solución de jabón suave y enjuagarse con agua corriente para remover suciedad, depósitos salinos, etc. Sin embargo se debe tener cuidado de no ejercer presión durante el lavado para evitar aumentar la clasificación accidentalmente.

**4.1.5** Se deja que las superficies se sequen antes de realizar la inspección.

**4.1.6** Los defectos anotados y tomados en cuenta para la clasificación de la superficie incluyen sólo aquellos que pueden ser observados a simple vista o con ayuda de gafas correctoras.

**4.1.7** Los defectos de borde, marcas de contacto o soportes, orificios de montaje etc., no deben ser tomados en cuenta para la clasificación.

**4.1.8** Cuando el recubrimiento sea anódico con respecto al metal base, los productos de corrosión blancos no deben ser tomados en cuenta como defectos.

**4.1.9** Para facilitar la inspección, queda confinado a un área mínima posible, preferentemente inferior a los 100 mm<sup>2</sup> en un superficie de 100 mm x 150 mm.

## 5. MÉTODO DE ENSAYO

**5.1 Resumen.** Esta norma establece un sistema de clasificación para evaluar la degradación del recubrimiento y del metal base debido a la corrosión. El método consiste en evaluar el aspecto del recubrimiento y la extensión de la corrosión en la superficie de piezas sometidas a ensayos de corrosión. El resultado de la inspección de la superficie, llamado clasificación de comportamiento, se anotará como dos clasificaciones separadas, la clasificación de la protección ( $R_p$ ) y la clasificación de apariencia ( $R_A$ ).

Cuando solo se requiera la clasificación de la protección ( $R_p$ ), se puede omitir la clasificación de la apariencia ( $R_A$ ) con un guión (-) para indicar la omisión deliberada de la misma.

### 5.2 Resultados

**5.2.1** El sistema de clasificación numérica está basado en el área superficial que muestra corrosión, mediante la ecuación siguiente:

$$R_p = 3 \times (2 - \log A)$$

En donde:

A = es el porcentaje del área total que presenta corrosión el metal base (ver nota 1)

---

NOTA 1. La ecuación es de aplicación sólo cuando  $A > 0,046$  416% debido a que la ecuación conduce a clasificaciones numéricas superiores a 10 para muestras cuyas áreas son muy pequeñas.

(Continúa)

Adjudicar una clasificación a la protección como se indica en la tabla siguiente:

**TABLA 1. Clasificación de la protección ( $R_P$ ) y según la apariencia ( $R_A$ )**

SUPERFICIE DEFECTUOSA A (%)	$R_P$ o $R_A$
Sin defectos	10
$0 < A \leq 0,1$	9
$0,1 < A \leq 0,25$	8
$0,25 < A \leq 0,5$	7
$0,5 < A \leq 1,0$	6
$1,0 < A \leq 2,5$	5
$2,5 < A \leq 5,0$	4
$5,0 < A \leq 10$	3
$10 < A \leq 25$	2
$25 < A \leq 50$	1
$50 < A$	0

Adjudicar una clasificación de la apariencia como se indica en la tabla siguiente:

**TABLA 2. Tipos de deterioro del recubrimiento**

A	Mancha y/o decoloración debida al deterioro del recubrimiento (distintos aquellos que obviamente son productos de la corrosión del metal base )
B	Deslustre con poca o nula corrosión visible del recubrimiento
C	Productos de corrosión de un recubrimiento anódico
D	Productos de corrosión de un recubrimiento catódico
E	Picaduras de la superficie (picaduras de corrosión que probablemente no llegan hasta el metal base)
F	Desconchado
G	Ampollas
H	Fisuras
I	Cuarteamiento
J	Pata de gallo o defectos en forma estrella

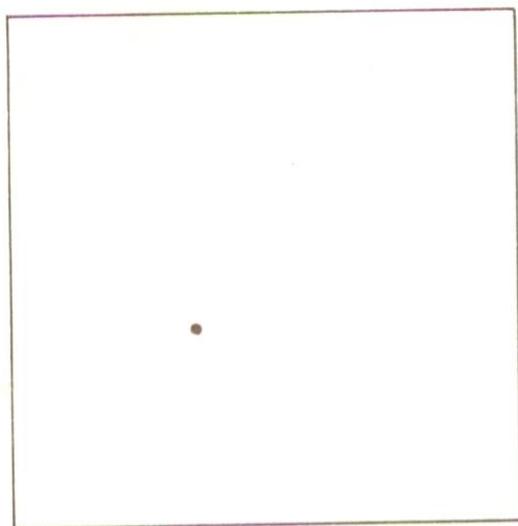
**5.2.2** El resultado se asignará por la combinación de la clasificación de la protección ( $R_P$ ) seguida por una barra oblicua (/) y por la clasificación de la apariencia ( $R_A$ ).

Ejemplo:

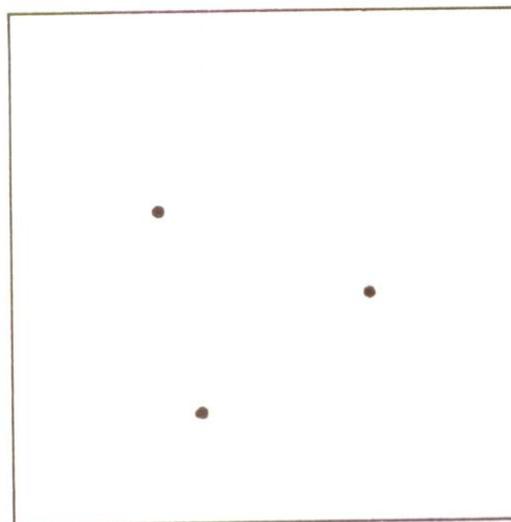
Muestras de corrosión del metal base en un 0,1% del área total, y donde el 20% de la superficie está manchada: 9/2.

(Continúa)

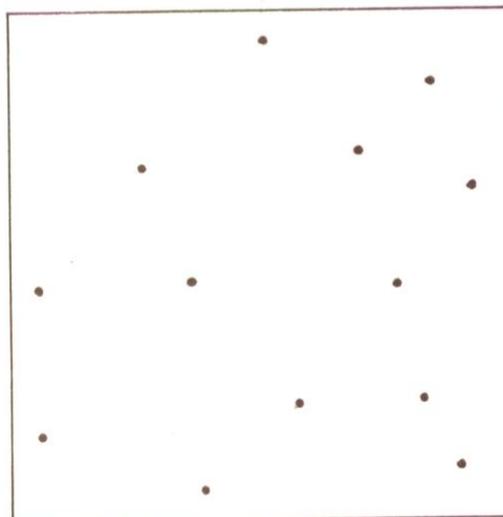
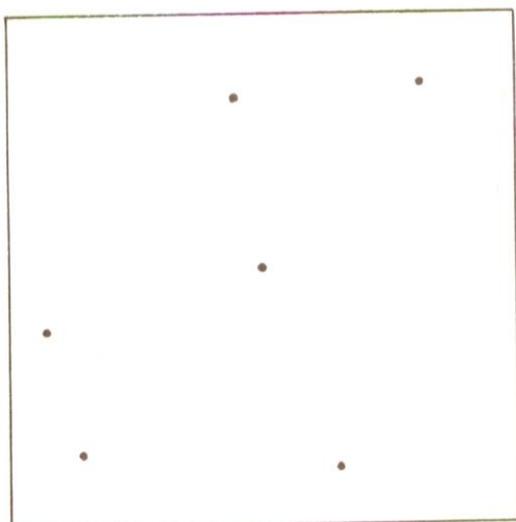
**FIGURA 1. Ejemplo de superficie con clasificación a la protección 7 – 0 para recubrimientos catódicos**



7

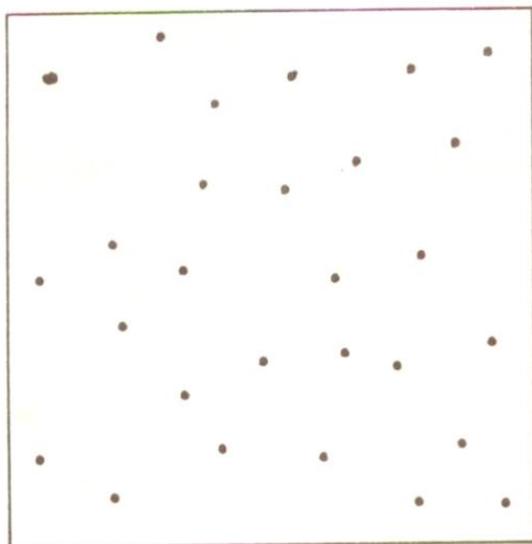


6

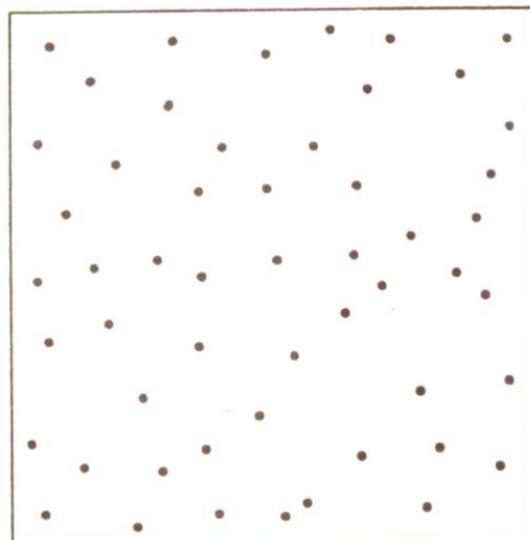


*(Continúa)*

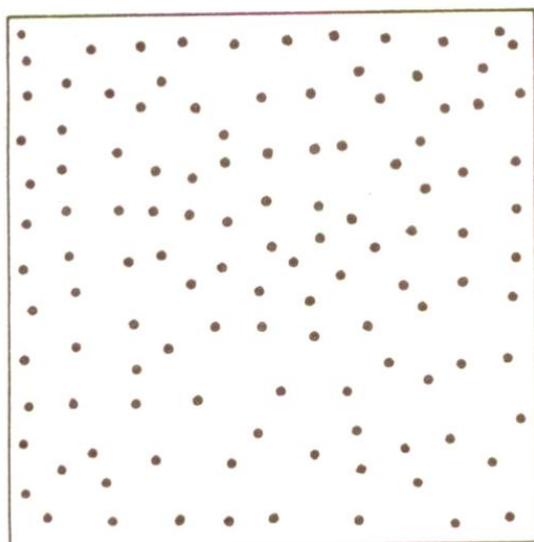
**FIGURA 1. Ejemplo de superficie con clasificación a la protección 9 – 0 para recubrimientos catódicos (Continuación)**



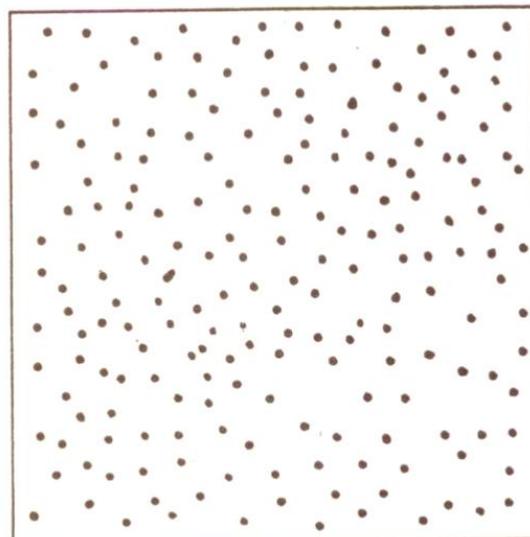
3



2



1



0

(Continúa)

## APENDICE Z

### Z.1 DOCUMENTO NORMATIVO A CONSULTAR

Esta norma no requiere de otras para su aplicación.

### Z.2 BASE DE ESTUDIO

UNE-EN ISO 10289:2001. *Métodos de ensayo de corrosión de recubrimientos metálicos y no orgánicos sobre sustratos metálicos. Clasificación de probetas y piezas de protección sometidas a ensayos de corrosión.* Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid. 2001.

## INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

---

<b>Documento:</b> NTE INEN 1176 Primera revisión	<b>TÍTULO: RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. MÉTODO DE ENSAYO DE CORROSIÓN. EVALUACIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA</b>	<b>Código:</b> MT 05.01-309
--	--	--------------------------------

---

<b>ORIGINAL:</b> Fecha de iniciación del estudio:	<b>REVISIÓN:</b> Fecha de aprobación anterior del Consejo Directivo 1984-05-10 Oficialización con el Carácter de <b>Obligatoria</b> por Acuerdo Ministerial No. 575 del 1984-08-09 publicado en el Registro Oficial No. 80 del 1984-12-05  Fecha de iniciación del estudio: 2012-07-27
--	--

---

Fechas de consulta pública: 2012-12-26 a 2013-01-24

---

Subcomité Técnico:	
Fecha de iniciación:	Fecha de aprobación:
Integrantes del Subcomité Técnico:	

Mediante compromiso presidencial N° 16364, el Instituto Ecuatoriano de Normalización – INEN, en vista de la necesidad urgente, resuelve actualizar el acervo normativo en base al estado del arte y con el objetivo de atender a los sectores priorizados así como a todos los sectores productivos del país.

Para la revisión de esta Norma Técnica se ha considerado el nivel jerárquico de la normalización, habiendo el INEN realizado un análisis que ha determinado su conveniente aplicación en el país.

La Norma en referencia ha sido sometida a consulta pública por un período de 30 días y por ser considerada EMERGENTE no ha ingresado a Subcomité Técnico.

---

Otros trámites: ♦4 Esta norma sin ningún cambio en su contenido fue **DESREGULARIZADA**, pasando de **OBLIGATORIA a VOLUNTARIA**, según Resolución de Consejo Directivo de 1998-01-08 y oficializada mediante Acuerdo Ministerial No. 235 de 1998-05-04 publicado en el Registro Oficial No. 321 del 1998-05-20

Esta NTE INEN 1176:2013 (primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 1176:1984

---

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

---

Oficializada como: Voluntaria  
Registro Oficial No. 75 de 2013-09-06

Por Resolución No. 13279 de 2013-07-31

**ANEXO B**  
**NORMAS ASTM**

**ANEXO B1**

**ASTM: D3359 – 09<sup>E2</sup>**



# Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D3359; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>1</sup> NOTE—Footnote 5 and 5.2 were corrected editorially in June 2010.

<sup>2</sup> NOTE—Footnote 5 and 5.2 were corrected editorially and moved into Note 4 in 5.3 in July 2010.

## 1. Scope\*

1.1 These test methods cover procedures for assessing the adhesion of coating films to metallic substrates by applying and removing pressure-sensitive tape over cuts made in the film.

NOTE 1—This test method has been reported being used to measure adhesion of organic coatings on soft substrates (for example, wood and plastic). Issues with plastic substrates are noted in [Appendix X1](#). A similar test method, ISO 2409, permits tests on soft substrates (for example, wood and plaster). Precision and bias data on the later is lacking. Test Methods D3359 was developed with metal as the substrate and, in the absence of supporting precision and bias data, is so limited.

1.2 Test Method A is primarily intended for use at job sites while Test Method B is more suitable for use in the laboratory. Also, Test Method B is not considered suitable for films thicker than 5 mils (125 $\mu$ m).

NOTE 2—Subject to agreement between the purchaser and the seller, Test Method B can be used for thicker films if wider spaced cuts are employed.

1.3 These test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at a generally adequate level. They do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required.

NOTE 3—It should be recognized that differences in adherability of the coating surface can affect the results obtained with coatings having the same inherent adhesion.

1.4 This test method is similar in content (but not technically equivalent) to ISO 2409.

1.5 In multicoat systems adhesion failure may occur between coats so that the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

1.6 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.7 *This standard does not purport to address the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- [D609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products](#)
- [D823 Practices for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels](#)
- [D1000 Test Methods for Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications](#)
- [D1730 Practices for Preparation of Aluminum and Aluminum-Alloy Surfaces for Painting](#)
- [D2092 Guide for Preparation of Zinc-Coated \(Galvanized\) Steel Surfaces for Painting \(Withdrawn 2008\)<sup>3</sup>](#)
- [D2370 Test Method for Tensile Properties of Organic Coatings](#)
- [D3330/D3330M Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape](#)
- [D3924 Specification for Environment for Conditioning and Testing Paint, Varnish, Lacquer, and Related Materials](#)
- [D4060 Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser](#)

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D01 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and are the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved June 1, 2009. Published June 2009. Originally approved in 1974. Last previous edition approved in 2008 as D3359 – 08. DOI: 10.1520/D3359-09E02.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> The last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

## 2.2 Other Standard:

ISO 2409 Paint and Varnishes — Cross-cut test<sup>4</sup>

### 3. Summary of Test Methods

3.1 *Test Method A*—An X-cut is made through the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the cut and then removed, and adhesion is assessed qualitatively on the 0 to 5 scale.

3.2 *Test Method B*—A lattice pattern with either six or eleven cuts in each direction is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the lattice and then removed, and adhesion is evaluated by comparison with descriptions and illustrations.

### 4. Significance and Use

4.1 If a coating is to fulfill its function of protecting or decorating a substrate, it must adhere to it for the expected service life. Because the substrate and its surface preparation (or lack of it) have a drastic effect on the adhesion of coatings, a method to evaluate adhesion of a coating to different substrates or surface treatments, or of different coatings to the same substrate and treatment, is of considerable usefulness in the industry.

4.2 The limitations of all adhesion methods and the specific limitation of this test method to lower levels of adhesion (see 1.3) should be recognized before using it. The intra- and inter-laboratory precision of this test method is similar to other widely-accepted tests for coated substrates (for example, Test Method D2370 and Test Method D4060), but this is partly the result of it being insensitive to all but large differences in adhesion. The limited scale of 0 to 5 was selected deliberately to avoid a false impression of being sensitive.

## TEST METHOD A—X-CUT TAPE TEST

### 5. Apparatus and Materials

5.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting devices. It is of particular importance that the cutting edges be in good condition.

5.2 *Cutting Guide*—Steel or other hard metal straightedge to ensure straight cuts.

5.3 *Tape*—25-mm (1.0-in.) wide semitransparent pressure-sensitive tape with an adhesion strength agreed upon by the supplier and the user is needed. Because of the variability in adhesion strength from batch-to-batch and with time, it is essential that tape from the same batch be used when tests are to be run in different laboratories. If this is not possible the test method should be used only for ranking a series of test coatings.

NOTE 4—Permacel P99 tape, previously identified as suitable for this purpose, was withdrawn from manufacture in July 2009. Current supplies of Permacel 99 on the market at this time have a shelf life that runs out in July 2010. Subcommittee D01.23 is assessing alternative tapes and a new interlaboratory study is planned to take place in 2010. Alternative tapes

with specifications similar to that of Permacel P99 tape are available. Users of alternative tapes should check whether the alternative tapes give comparable results to the Permacel P99 tape. If more information is required about the tapes being evaluated in the D01.23 interlaboratory study, please contact the Committee D01 staff manager.

5.4 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

5.5 *Illumination*—A light source is helpful in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

### 6. Test Specimens

6.1 When this test method is used in the field, the specimen is the coated structure or article on which the adhesion is to be evaluated.

6.2 For laboratory use apply the materials to be tested to panels of the composition and surface conditions on which it is desired to determine the adhesion.

NOTE 5—Applicable test panel description and surface preparation methods are given in Practice D609 and Practices D1730 and D2092.

NOTE 6—Coatings should be applied in accordance with Practice D823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 7—If desired or specified, the coated test panels may be subjected to a preliminary exposure such as water immersion, salt spray, or high humidity before conducting the tape test. The conditions and time of exposure will be governed by ultimate coating use or shall be agreed upon between the purchaser and seller.

### 7. Procedure

7.1 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections. For tests in the field, ensure that the surface is clean and dry. Extremes in temperature or relative humidity may affect the adhesion of the tape or the coating.

7.1.1 For specimens which have been immersed: After immersion, clean and wipe the surface with an appropriate solvent which will not harm the integrity of the coating. Then dry or prepare the surface, or both, as agreed upon between the purchaser and the seller.

7.2 Make two cuts in the film each about 40 mm (1.5 in.) long that intersect near their middle with a smaller angle of between 30 and 45°. When making the incisions, use the straightedge and cut through the coating to the substrate in one steady motion.

7.3 Inspect the incisions for reflection of light from the metal substrate to establish that the coating film has been penetrated. If the substrate has not been reached make another X in a different location. Do not attempt to deepen a previous cut as this may affect adhesion along the incision.

7.4 At each day of testing, before initiation of testing, remove two complete laps of the pressure-sensitive tape from the roll and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 75 mm (3 in.) long.

7.5 Place the center of the tape at the intersection of the cuts with the tape running in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place by finger in the area of the incisions and then rub firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the transparent tape is a useful indication of when good contact has been made.

<sup>4</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

7.6 Within  $90 \pm 30$  s of application, remove the tape by seizing the free end and pulling it off rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of  $180^\circ$  as possible.

7.7 Inspect the X-cut area for removal of coating from the substrate or previous coating and rate the adhesion in accordance with the following scale:

- 5A No peeling or removal,
- 4A Trace peeling or removal along incisions or at their intersection,
- 3A Jagged removal along incisions up to 1.6 mm ( $\frac{1}{16}$  in.) on either side,
- 2A Jagged removal along most of incisions up to 3.2 mm ( $\frac{1}{8}$  in.) on either side,
- 1A Removal from most of the area of the X under the tape, and
- 0A Removal beyond the area of the X.

7.8 Repeat the test in two other locations on each test panel. For large structures make sufficient tests to ensure that the adhesion evaluation is representative of the whole surface.

7.9 After making several cuts examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone before using again. Discard cutting tools that develop nicks or other defects that tear the film.

## 8. Report

8.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

8.2 For field tests report the structure or article tested, the location and the environmental conditions at the time of testing.

8.3 For test panels report the substrate employed, the type of coating, the method of cure, and the environmental conditions at the time of testing.

8.4 If the adhesion strength of the tape has been determined in accordance with Test Methods **D1000** or **D3330/D3330M**, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

8.5 If the test is performed after immersion, report immersion conditions and method of sample preparation.

## 9. Precision and Bias<sup>5</sup>

9.1 In an interlaboratory study of this test method in which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.33 and the between-laboratories 0.44. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

9.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 1 rating unit for two measurements.

9.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than 1.5 rating units.

9.2 Bias cannot be established for these test methods.

## TEST METHOD B—CROSS-CUT TAPE TEST

### 10. Apparatus and Materials

10.1 *Cutting Tool*<sup>6</sup>—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting device having a cutting edge angle between  $15$  and  $30^\circ$  that will make either a single cut or several cuts at once. It is of particular importance that the cutting edge or edges be in good condition.

10.2 *Cutting Guide*—If cuts are made manually (as opposed to a mechanical apparatus) a steel or other hard metal straight-edge or template to ensure straight cuts.

10.3 *Rule*—Tempered steel rule graduated in 0.5 mm for measuring individual cuts.

10.4 *Tape*, as described in **5.3**.

10.5 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

10.6 *Illumination*, as described in **5.5**.

10.7 *Magnifying Glass*—An illuminated magnifier to be used while making individual cuts and examining the test area.

### 11. Test Specimens

11.1 Test specimens shall be as described in Section **6**. It should be noted, however, that multitip cutters<sup>7</sup> provide good results only on test areas sufficiently plane that all cutting edges contact the substrate to the same degree. Check for flatness with a straight edge such as that of the tempered steel rule (**10.3**).

### 12. Procedure

12.1 Where required or when agreed upon, subject the specimens to a preliminary test before conducting the tape test (see **Note 5**). After drying or testing the coating, conduct the tape test at room temperature as defined in Specification **D3924**, unless **D3924** standard temperature is required or agreed.

12.1.1 For specimens which have been immersed: After immersion, clean and wipe the surface with an appropriate solvent which will not harm the integrity of the coating. Then dry or prepare the surface, or both, as agreed upon between the purchaser and the seller.

12.2 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections, place on a firm base, and under the illuminated magnifier, make parallel cuts as follows:

<sup>6</sup> Multiblade cutters are available from a few sources that specialize in testing equipment for the paint industry.

<sup>7</sup> The sole source of supply of the multitip cutter for coated pipe surfaces known to the committee at this time is Paul N. Gardner Co., 316 NE First St., Pompano Beach, FL 33060. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,<sup>1</sup> which you may attend.

<sup>5</sup> Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR:D01-1008. Contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org).

12.2.1 For coatings having a dry film thickness up to and including 2.0 mils (50 μm) space the cuts 1 mm apart and make eleven cuts unless otherwise agreed upon.

12.2.2 For coatings having a dry film thickness between 2.0 mils (50 μm) and 5 mils (125 μm), space the cuts 2 mm apart and make six cuts. For films thicker than 5 mils (125 μm), use Test Method A.<sup>8</sup>

12.2.3 Make all cuts about 20 mm (¾ in.) long. Cut through the film to the substrate in one steady motion using just sufficient pressure on the cutting tool to have the cutting edge reach the substrate. When making successive single cuts with the aid of a guide, place the guide on the uncut area.

12.3 After making the required cuts brush the film lightly with a soft brush or tissue to remove any detached flakes or ribbons of coatings.

12.4 Examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone. Make the additional number of cuts at 90° to and centered on the original cuts.

12.5 Brush the area as before and inspect the incisions for reflection of light from the substrate. If the metal has not been reached make another grid in a different location.

12.6 At each day of testing, before initiation of testing, remove two complete laps of tape and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 75 mm (3 in.) long.

12.7 Place the center of the tape over the grid and in the area of the grid smooth into place by a finger. To ensure good contact with the film rub the tape firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the tape is a useful indication of when good contact has been made.

12.8 Within 90 ± 30 s of application, remove the tape by seizing the free end and rapidly (not jerked) back upon itself at as close to an angle of 180° as possible.

12.9 Inspect the grid area for removal of coating from the substrate or from a previous coating using the illuminated magnifier. Rate the adhesion in accordance with the following scale illustrated in Fig. 1:

- 5B The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.
- 4B Small flakes of the coating are detached at intersections; less than 5% of the area is affected.
- 3B Small flakes of the coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15% of the lattice.
- 2B The coating has flaked along the edges and on parts of the squares. The area affected is 15 to 35% of the lattice.
- 1B The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and whole squares have detached. The area affected is 35 to 65% of the lattice.
- 0B Flaking and detachment worse than Grade 1.

12.10 Repeat the test in two other locations on each test panel.

<sup>8</sup> Test Method B has been used successfully by some people on coatings greater than 5 mils (0.13 mm) by spacing the cuts 5 mm apart. However, the precision values given in 14.1 do not apply as they are based on coatings less than 5 mils (0.13 mm) in thickness.

CLASSIFICATION OF ADHESION TEST RESULTS		
CLASSIFICATION	PERCENT AREA REMOVED	SURFACE OF CROSS-CUT AREA FROM WHICH FLAKING HAS OCCURRED FOR SIX PARALLEL CUTS AND ADHESION RANGE BY PERCENT
5B	0% None	
4B	Less than 5%	
3B	5 - 15%	
2B	15 - 35%	
1B	35 - 65%	
0B	Greater than 65%	

FIG. 1 Classification of Adhesion Test Results

### 13. Report

13.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred, that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

13.2 Report the substrate employed, the type of coating and the method of cure.

13.3 If the adhesion strength has been determined in accordance with Test Methods D1000 or D3330/D3330M, report the results with the adhesion rating(s). If the adhesion strength of the tape has not been determined, report the specific tape used and its manufacturer.

13.4 If the test is performed after immersion, report immersion conditions and method of sample preparation.

### 14. Precision and Bias<sup>5</sup>

14.1 On the basis of two interlaboratory tests of this test method in one of which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion and in the other operators in six laboratories made three measurements on two panels each of four different coatings applied over two other coatings, the

pooled standard deviations for within- and between-laboratories were found to be 0.37 and 0.7. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

14.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than one rating unit for two measurements.

14.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of duplicates or triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than two rating units.

14.2 Bias cannot be established for these test methods.

## 15. Keywords

15.1 adhesion; crosscut adhesion test method; tape; tape adhesion test method; X-cut adhesion test method

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1. COMMENTARY

##### X1.1 Introduction

X1.1.1 Given the complexities of the adhesion process, can adhesion be measured? As Mittal (1)<sup>9</sup> has pointed out, the answer is both yes and no. It is reasonable to state that at the present time no test exists that can precisely assess the actual physical strength of an adhesive bond. But it can also be said that it is possible to obtain an indication of relative adhesion performance.

X1.1.2 Practical adhesion test methods are generally of two types: “*implied*” and “*direct*.” “*Implied*” tests include indentation or scribe techniques, rub testing, and wear testing. Criticism of these tests arises when they are used to quantify the strength of adhesive bonding. But this, in fact, is not their purpose. An “*implied*” test should be used to assess coating performance under actual service conditions. “*Direct*” measurements, on the other hand, are intended expressly to measure adhesion. Meaningful tests of this type are highly sought after, primarily because the results are expressed by a single discrete quantity, the force required to rupture the coating/substrate bond under prescribed conditions. Direct tests include the Hesiometer and the Adherometer (2). Common methods which approach the direct tests are peel, lap-shear, and tensile tests.

##### X1.2 Test Methods

X1.2.1 In practice, numerous types of tests have been used to attempt to evaluate adhesion by inducing bond rupture by different modes. Criteria deemed essential for a test to warrant large-scale acceptance are: use of a straightforward and unambiguous procedure; relevance to its intended application; repeatability and reproducibility; and quantifiability, including a meaningful rating scale for assessing performance.

X1.2.2 Test methods used for coatings on metals are: peel adhesion or “tape testing;” Gardner impact flexibility testing; and adhesive joint testing including shear (lap joint) and direct tensile (butt joint) testing. These tests do not strictly meet all the criteria listed, but an appealing aspect of these tests is that

in most cases the equipment/instrumentation is readily available or can be obtained at reasonable cost.

X1.2.3 A wide diversity of tests methods have been developed over the years that measure aspects of adhesion (1-5). There generally is difficulty, however, in relating these tests to basic adhesion phenomena.

##### X1.3 The Tape Test

X1.3.1 By far the most prevalent test for evaluating coating “adhesion” is the tape-and-peel test, which has been used since the 1930’s. In its simplest version a piece of adhesive tape is pressed against the paint film and the resistance to and degree of film removal observed when the tape is pulled off. Since an intact film with appreciable adhesion is frequently not removed at all, the severity of the test is usually enhanced by cutting into the film a figure X or a cross hatched pattern, before applying and removing the tape. Adhesion is then rated by comparing film removed against an established rating scale. If an intact film is peeled cleanly by the tape, or if it debonds just by cutting into it without applying tape, then the adhesion is rated simply as poor or very poor, a more precise evaluation of such films not being within the capability of this test.

X1.3.2 The current widely-used version was first published in 1974; two test methods are covered in this standard. Both test methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at an adequate level; however they do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required. Major limitations of the tape test are its low sensitivity, applicability only to coatings of relatively low bond strengths, and non-determination of adhesion to the substrate where failure occurs within a single coat, as when testing primers alone, or within or between coats in multicoat systems. For multicoat systems where adhesion failure may occur between or within coats, the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

X1.3.3 Repeatability within one rating unit is generally observed for coatings on metals for both methods, with reproducibility of one to two units. The tape test enjoys widespread popularity and is viewed as “simple” as well as low

<sup>9</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this test method.

in cost. Applied to metals, it is economical to perform, lends itself to job site application, and most importantly, after decades of use, people feel comfortable with it.

X1.3.4 When a flexible adhesive tape is applied to a coated rigid substrate surface and then removed, the removal process has been described in terms of the “peel phenomenon,” as illustrated in Fig. X1.1.

X1.3.5 Peeling begins at the “toothed” leading edge (at the right) and proceeds along the coating adhesive/interface or the coating/substrate interface, depending on the relative bond strengths. It is assumed that coating removal occurs when the tensile force generated along the latter interface, which is a function of the rheological properties of the backing and adhesive layer materials, is greater than the bond strength at the coating-substrate interface (or cohesive strength of the coating). In actuality, however, this force is distributed over a discrete distance (O-A) in Fig. X1.1, which relates directly to the properties described, not concentrated at a point (O) in Fig. X1.1 as in the theoretical case—though the tensile force is greatest at the origin for both. A significant compressive force arises from the response of the tape backing material to being stretched. Thus both tensile and compressive forces are involved in adhesion tape testing.

X1.3.6 Close scrutiny of the tape test with respect to the nature of the tape employed and certain aspects of the procedure itself reveal several factors, each or any combination of which can dramatically affect the results of the test as discussed (6).

**X1.4 Peel Adhesion Testing on Plastic Substrates**

X1.4.1 Tape tests have been criticized when used for substrates other than metal, such as plastics. The central issues are that the test on plastics lacks reproducibility and does not relate to the intended application. Both concerns are well founded: poor precision is a direct result of several factors intrinsic to the materials employed and the procedure itself. More importantly, in this instance the test is being applied beyond its intended scope. These test methods were designed

for relatively ductile coatings applied to metal substrates, not for coatings (often brittle) applied to plastic parts (7). The unique functional requirements of coatings on plastic substrates cause the usual tape tests to be unsatisfactory for measuring adhesion performance in practice.

**X1.5 The Tape Controversy**

X1.5.1 With the withdrawal from commerce of the tape specified originally, 3M No. 710, current test methods no longer identify a specific tape. Differences in tapes used can lead to different results as small changes in backing stiffness and adhesive rheology cause large changes in the tension area. Some commercial tapes are manufactured to meet minimum standards. A given lot may surpass these standards and thus be suitable for general market distribution; however, such a lot may be a source of serious and unexpected error in assessing adhesion. One commercially available tape test kit had included a tape with adhesion strength variations of up to 50 % claimed by the manufacturer. Also, because tapes change on storage, bond strengths of the tape may change over time (7, 8).

X1.5.2 While there are tapes available that appear to deliver consistent performance, a given tape does not adhere equally well to all coatings. For example, when the peel removal force of the tape (from the coating) used earlier by Task Group D01.23.10 to establish precision of the method, by 3M No. 710 was examined with seven different electromagnetic interference/radio frequency interference (EMI/RFI) coatings, it was found that, while peel was indeed consistent for a given coating, the value varied by 25 % between the highest and lowest ratings among coatings. Several factors that contribute to these differences include coating composition and topology: as a result, no single tape is likely to be suitable for testing all coatings. Further, the tape test does not give an absolute value for the force required for bond rupture, but serves only as an indicator that some minimum value for bond strength was met or exceeded (7, 8).

**X1.6 Procedural Problems**

X1.6.1 The tape test is operator intensive. By design it was made as simple as possible to perform, and requires a minimum of specialized equipment and materials that must meet certain specifications. The accuracy and precision depend largely upon the skill of the operator and the operator’s ability to perform the test in a consistent manner. Key steps that directly reflect the importance of operator skill include the angle and rate of tape removal and the visual assessment of the tested sample. It is not unexpected that different operators might obtain different results (7, 8).

X1.6.2 *Peel Angle and Rate:* The standard requires that the free end of the tape be removed rapidly at as close to a 180° angle as possible. If the peel angle and rate vary, the force required to remove the tape can change dramatically. Nearly linear increases were observed in peel force approaching 100 % as peel angle was changed from 135 to 180, and similar large differences can be expected in peel force as peel rate

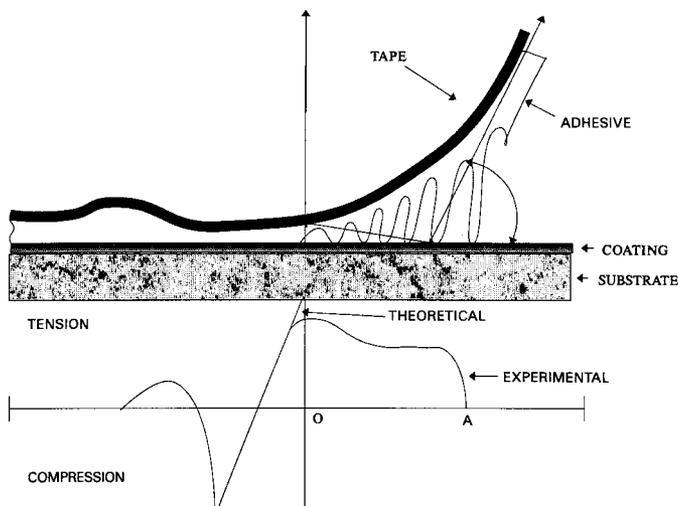


FIG. X1.1 Peel Profile (6)

varies. These effects are related as they reflect certain rheological properties of the backing and adhesive that are molecular in origin. Variation in pull rate and peel angle can effect large differences in test values and must be minimized to assure reproducibility (9).

X1.6.3 *Visual Assessment*: The final step in the test is visual assessment of the coating removed from the specimen, which is subjective in nature, so that the coatings can vary among individuals evaluating the same specimen (9).

X1.6.3.1 Performance in the tape test is based on the amount of coating removed compared to a descriptive scale. The exposure of the substrate can be due to factors other than coating adhesion, including that arising from the requirement that the coating be cut (hence the synonym “cross-hatch adhesion test”). Justification for the cutting step is reasonable as cutting provides a free edge from which peeling can begin without having to overcome the cohesive strength of the coating layer.

X1.6.3.2 Cutting might be suitable for coatings applied to metal substrates, but for coatings applied to plastics or wood, the process can lead to a misleading indication of poor adhesion due to the unique interfacial zone. For coatings on soft substrates, issues include how deep should this cut penetrate, and is it possible to cut only to the interface?

X1.6.3.3 In general, if adhesion test panels are examined microscopically, it is often clearly evident that the coating removal results from substrate failure at or below the interface, and not from the adhesive failure between the coating and the substrate. Cohesive failure within the coating film is also frequently observed. However, with the tape test, failures within the substrate or coating layers are rare because the tape adhesive is not usually strong enough to exceed the cohesive

strengths of normal substrates and organic coatings. Although some rather brittle coatings may exhibit cohesive failure, the tape test adhesion method does not make provision for giving failure locality (7, 8).

X1.6.4 Use of the test method in the field can lead to variation in test results due to temperature and humidity changes and their effect upon tape, coating and substrate.

X1.6.5 Test Method B has been used successfully, without affecting adhesion test results, by some coil coating users on coatings up to and including 2.0 mils (50 μm) by spacing the cuts 2 mm apart. While this may be an agreement between purchaser and seller, the precision values given in 14.1 do not apply, as they are based on cuts 1 mm apart.

X1.6.6 Some have found that the use of a suitable mechanical device is helpful in minimizing some of the variables in placing the tape onto the coatings (see 7.5 and 12.7) and removing the tape from the coatings (see 7.6 and 12.8) which maintains consistent pressure on the tape during application and ensures a 180° pull off.<sup>10</sup>

## X1.7 Conclusion

X1.7.1 All the issues aside, if these test methods are used within the Scope Section and are performed carefully, some insight into the approximate, relative level of adhesion can be gained.

<sup>10</sup> The sole source of supply of a suitable mechanical device for laying down and removal of tape known to the committee at this time is ReliaPull, a registered trademark of Random Logic LLC, manufactured by Random Logic LLC, Cincinnati, OH 45245. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,<sup>1</sup> which you may attend.

## REFERENCES

- (1) Mittal, K. L., “Adhesion Measurement: Recent Progress, Unsolved Problems, and Prospects,” *Adhesion Measurement of Thin Films, Thick Films, and Bulk Coatings*, ASTM STP 640, ASTM, 1978, pp. 7–8.
- (2) Corcoran, E. M., “Adhesion,” Chapter 5.3, *Paint Testing Manual*, 13th ed., ASTM STP 500, ASTM, 1972, pp. 314–332.
- (3) Gardner, H. A., and Sward, G. G., *Paint Testing Manual*, 12th ed., Chapter 7, Gardner Laboratory, Bethesda, MD, 1962, pp. 159–170.
- (4) Mittal, K. L., *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol 1, No. 3, 1987, pp. 247–259.
- (5) Stoffer, J. O., and Gadodia, S. K., *American Paint and Coatings Journal*, Vol 70, Nos. 50 and 51, 1991, pp. 36–40 and 36–51, respectively.
- (6) Souheng, Wu, *Polymer Interface and Adhesion*, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1982, p. 531.
- (7) Nelson, G. L., Gray, K. N., and Buckley, S. E., *Modern Paint and Coatings*, Vol 75, No. 10, 1985, pp. 160–172.
- (8) Nelson, G. L., and Gray, K. N., “Coating Adhesion to Plastics,” *Proceedings, Waterborne and Higher Solids Coatings Symposium*, Vol 13, New Orleans, LA, February 5–7, 1986, pp. 114–131.
- (9) K. L. Mittal, ed., “Symposium on Adhesion Aspects of Polymeric Coatings,” *Proceedings*, The Electrochemical Society, 1981, pp. 569–582.

**SUMMARY OF CHANGES**

Committee D01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D3359 - 08) that may impact the use of this standard. (Approved June 1, 2009.)

(1) **X1.6.6** was added to **Appendix X1**.

(2) Footnote 10 was added to identify a source of equipment.

Committee D01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D3359 - 07) that may impact the use of this standard. (Approved February 1, 2008.)

(1) **X1.6.5** was added to **Appendix X1**.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT/).*

**ANEXO B2**

**ASTM: TM0169/G31 – 12a**



# Standard Guide for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation NACE TM0169/G31; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This guide covers and describes the factors that influence laboratory immersion corrosion tests, particularly mass loss tests. These factors include apparatus, sampling, test specimen, test conditions (test solution composition, temperature, gas sparging, fluid motion, solution volume, method of supporting test specimens, duration of test), methods of cleaning test specimens, interpretation of results, and calculation of corrosion rates. This guide also emphasizes the importance of recording all pertinent data and provides a checklist for reporting test data.

1.2 The specific evaluation of localized attack, environmentally assisted cracking, and effects of solution flow are not within the scope of this guide.

1.3 This guide is intended to be used by those designing laboratory immersion tests who may not be familiar with all of the variables to consider and the pitfalls that could be encountered when designing and conducting this kind of testing. It should be used as a reference to ensure that the test will allow generation of data relevant to the application with the minimum of interferences.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 *ASTM Standards*:<sup>2</sup>

- A262 Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels
- D1193 Specification for Reagent Water
- E8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- E300 Practice for Sampling Industrial Chemicals
- G1 Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens
- G28 Test Methods for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion in Wrought, Nickel-Rich, Chromium-Bearing Alloys
- G34 Test Method for Exfoliation Corrosion Susceptibility in 2XXX and 7XXX Series Aluminum Alloys (EXCO Test)
- G46 Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion
- G48 Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution
- G66 Test Method for Visual Assessment of Exfoliation Corrosion Susceptibility of 5XXX Series Aluminum Alloys (ASSET Test)
- G67 Test Method for Determining the Susceptibility to Intergranular Corrosion of 5XXX Series Aluminum Alloys by Mass Loss After Exposure to Nitric Acid (NAMLT Test)
- G71 Guide for Conducting and Evaluating Galvanic Corrosion Tests in Electrolytes
- G78 Guide for Crevice Corrosion Testing of Iron-Base and Nickel-Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containing Aqueous Environments
- G82 Guide for Development and Use of a Galvanic Series for Predicting Galvanic Corrosion Performance
- G107 Guide for Formats for Collection and Compilation of Corrosion Data for Metals for Computerized Database Input
- G108 Test Method for Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steels

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of NACE/ASTM Committee J01, Joint Committee on Corrosion, and is the direct responsibility of Subcommittee J01.01, Working Group on Laboratory Immersion Tests.

Current edition approved July 1, 2012. Published October 2012. Originally approved in 1972. Last previous ASTM edition approved in 2012 as G31–12. NACE edition originally approved in 1969. Last previous NACE edition approved in 2000 as TM0169-2000. DOI: 10.1520/G0031-12A.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM Web site, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM Web site. For NACE standards, visit the NACE Web site, [www.nace.org](http://www.nace.org), or contact NACE FirstService at [firstservice@nace.org](mailto:firstservice@nace.org).

**G110** Practice for Evaluating Intergranular Corrosion Resistance of Heat Treatable Aluminum Alloys by Immersion in Sodium Chloride + Hydrogen Peroxide Solution

**G112** Guide for Conducting Exfoliation Corrosion Tests in Aluminum Alloys

**G116** Practice for Conducting Wire-on-Bolt Test for Atmospheric Galvanic Corrosion

**G135** Guide for Computerized Exchange of Corrosion Data for Metals

**G170** Guide for Evaluating and Qualifying Oilfield and Refinery Corrosion Inhibitors in the Laboratory

**G184** Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using Rotating Cage

**G185** Practice for Evaluating and Qualifying Oil Field and Refinery Corrosion Inhibitors Using the Rotating Cylinder Electrode

2.2 *NACE/ASTM Standards:*<sup>2</sup>

**G193** Terminology and Acronyms Relating to Corrosion

2.3 *NACE International Standards:*<sup>2</sup>

**SP0690** Standard Format for Collection and Compilation of Data for Computerized Material Corrosion Resistance Database Input

2.4 *International Organization for Standardization (ISO) Standards:*<sup>3</sup>

**ISO 3651-1** Austenitic Stainless Steels – Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels – Part I: Austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels – Corrosion test in nitric acid medium by measurement of loss in mass (Huey test)

**ISO 3651-2** Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels – Part 2: Ferritic, austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels – corrosion test in media containing sulfuric acid

**ISO 6509** Corrosion of metals and alloys – Determination of dezincification resistance of brass

**ISO 8407** Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens

**ISO 8993** Anodized aluminum and aluminum alloys – Rating system for the evaluation of pitting corrosion – Chart method

**ISO 8994** Anodized aluminum and aluminum alloys – Rating system for the evaluation of pitting corrosion – Grid method

**ISO 9400** Nickel-based alloys – Determination of resistance to intergranular corrosion

**ISO 11463** Corrosion of metals and alloys – Evaluation of pitting corrosion

**ISO 11845** Corrosion of metals and alloys – General principles for corrosion testing

**ISO 11846** Corrosion of metals and alloys – Determination of resistance to intergranular corrosion of solution heat-treatable aluminum alloys

**ISO 11881** Corrosion of metals and alloys – Exfoliation corrosion testing of aluminum alloys

### 3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this guide, see NACE/ASTM Terminology **G193**.

### 4. Significance and Use

4.1 Corrosion testing by its very nature precludes complete standardization. This standard, rather than a standardized procedure, is presented as a guide so that some of the pitfalls of such testing may be avoided.

4.2 Experience has shown that all metals and alloys do not respond alike to the many factors that affect corrosion and that accelerated corrosion tests give indicative results only, or may even be entirely misleading. It is impractical to propose an inflexible standard laboratory corrosion testing procedure for general use, except for material qualification tests where standardization is required. One purpose for this guide is to promote better correlation of results in the future and the reduction of conflicting reports through a more detailed recording of meaningful factors and conditions.

4.3 In designing any corrosion test, consideration should be given to the various factors discussed in this guide, because these factors have been found to affect the results obtained.

### 5. Factors Affecting Corrosion Behavior

5.1 The methods and procedures described herein represent the best current practices for conducting laboratory immersion corrosion tests as developed by corrosion specialists in the process industries. For proper interpretation of the results obtained, the specific influence of one or more of the following variables should be considered.

5.1.1 Metal specimens immersed in a specific hot liquid may not corrode at the same rate or in the same manner as in equipment where the metal acts as a heat transfer medium in heating or cooling the liquid. If the influence of heat transfer effects is specifically of interest, specialized procedures (in which the corrosion specimen serves as a heat transfer agent) shall be employed.

5.1.2 In laboratory immersion tests, the motion of the environment relative to the specimens will normally be provided by convection currents, gas sparging, or boiling. If the specific effects of fluid flow are to be studied, special techniques shall be employed to create and control the relative motion between the environment and the test specimens. This may be accomplished by either moving the environment as through a tube or mechanical stirrer or by moving the specimens as by rotation.

5.1.3 The behavior of certain metals and alloys may be profoundly influenced by the presence of dissolved oxygen. If this is a factor to be considered in a specific test, the solution should be air saturated at 1 atm or de-aerated, as appropriate.

5.1.4 In some cases, the rate of corrosion may be governed by other minor constituents in the solution, in which case they will have to be continually or intermittently replenished by changing the solution in the test.

5.1.5 Corrosion products may have undesirable effects on a chemical product. The amount of possible contamination can sometimes be estimated from the loss in mass of the specimen

<sup>3</sup> Available from International Organization for Standardization (ISO), 1, ch. de la Voie-Creuse, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland, <http://www.iso.ch>.

or from the changes in the chemical composition of the test environment. This is discussed in more detail in 9.8.3.

5.1.6 Corrosion products from the specimen may influence the corrosion rate of the metal itself or of different metals exposed at the same time. For example, the accumulation of cupric ions in the testing of copper alloys in intermediate strengths of sulfuric acid will accelerate the corrosion of copper alloys, as compared to the rates that would be obtained if the corrosion products were continually removed. It may be necessary to expose only alloys of the same general type in the same testing apparatus unless it is known that no interactions will occur.

5.1.7 Specimen corrosion testing is frequently designed to investigate general corrosion only. There are a number of other forms of corrosion of which one shall be aware in the design and interpretation of corrosion tests.

5.1.7.1 Galvanic corrosion may be investigated by special devices that couple one specimen to another in electrical contact. The behavior of the specimens in this galvanic couple is compared with that of insulated specimens exposed on the same holder. It should be observed, however, that galvanic corrosion can be greatly affected by the area ratios of the respective metals, the separation between the metals, and the conductivity of the electrolyte. The coupling of corrosion specimens then yields only qualitative results, as a particular specimen reflects only the relationship between these two metals at the particular area ratio involved. Galvanic corrosion testing is further discussed in ASTM Guide G71, ASTM Guide G82, and ASTM Practice G116.

5.1.7.2 Crevice corrosion or concentration cell corrosion may occur where the metal surface is partially blocked from the corroding liquid as under a spacer or supporting hook. It is necessary to evaluate this localized corrosion separately from the overall mass loss. Crevice corrosion testing is further discussed in ASTM Test Methods G48 and ASTM Guide G78.

5.1.7.3 Selective corrosion at the grain boundaries (for example, intergranular corrosion of sensitized austenitic stainless steels) will not be readily observable in mass loss measurements unless the attack is severe enough to cause grain dropping, and often requires microscopic examination of the specimens after exposure. This type of corrosion may also result in loss of strength or ductility of materials. Such losses can be evaluated by mechanical property determinations before and after exposure to the test environment. Testing for selective corrosion is further discussed in ASTM Practices A262, ASTM Test Methods G28, G34, G66, G67, G108, G110, and ASTM Guide G112 and ISO 3651-1, ISO 3651-2, ISO 9400, ISO 11846, and ISO 11881.

5.1.7.4 Dealloying or “parting” corrosion is a condition in which one constituent is selectively removed from an alloy, as in the dezincification of brass or the graphitization of cast iron. Close attention and a more sophisticated evaluation than a simple mass loss measurement are required to detect this phenomenon. Dealloying testing is further discussed in ISO 6509.

5.1.7.5 Certain metals and alloys are subject to a highly localized type of attack called pitting corrosion. This cannot be evaluated by mass loss alone. Pitting is a statistical phenom-

enon and the incidence of pitting may be directly related to the area of metal exposed. For example, a small specimen is not as prone to exhibit pitting as a large one and it is possible to miss the phenomenon altogether in the corrosion testing of certain alloys, such as the AISI Type 300 series stainless steels in chloride-containing environments. Pitting testing is further discussed in ASTM Guide G46, ASTM Test Methods G48, and ISO 8993, ISO 8994, and ISO 11463.

5.1.7.6 Most metals and alloys are subject to environmentally assisted cracking under some circumstances. This cracking occurs under conditions of applied or residual tensile stress, and it may or may not be visible to the unaided eye or upon casual inspection. A metallographic examination may confirm the presence of environmentally assisted cracking. This usually occurs with no significant loss in mass of the test specimen, although certain refractory metals are an exception to these observations. Generally, if cracking is observed on the specimen, it can be taken as positive indication of susceptibility, whereas failure to exhibit this phenomenon means that it did not occur under the duration and specific conditions of the test. Separate and special techniques are employed for the specific evaluation of the susceptibility of metals and alloys to environmentally assisted cracking. Multiple standards from many different organizations are available to describe stress-corrosion cracking tests.

5.2 The use of welded specimens is sometimes desirable, because some welds may be cathodic or anodic to the parent metal and may affect the corrosion rate.

5.2.1 The heat-affected zone is also of importance but should be studied separately because welds on test specimens may not adequately reproduce heat input or size effects of full-size vessels.

5.2.2 Corrosion of a welded specimen is normally localized and not representative of the entire surface and therefore separate thickness losses should be determined in the weld metal, heat-affected zone, and base metal.

5.2.3 A complete discussion of corrosion testing of welded specimens or the effect of heat treatment on the corrosion resistance of a metal is not within the scope of this guide. However, important factors to be considered include the welding technique to be used, the filler metal chemistry, and whether the weld will be ground smooth, cleaned, passivated, or left as-welded.

5.3 Cast and wrought alloys considered equivalent often have somewhat different chemical composition and metallurgical structure, resulting in different corrosion resistances in identical service conditions. Therefore, caution should be used in selecting representative test materials.

5.4 Additional discussion of testing considerations is contained in ISO 11845.

## 6. Apparatus

6.1 A typical testing apparatus consists of a kettle or flask of suitable size (usually 500 to 5000 mL), a reflux condenser with or without an atmospheric seal, a sparger for controlling atmosphere or aeration, a thermometer port, a temperature-regulating device, a heating device (mantle, hot plate, or bath),

and a test specimen support system. If agitation is required, the apparatus can be modified to accept a suitable stirring mechanism such as a magnetic stirrer. A typical flask setup for this test is shown in Fig. 1.

6.2 These components can be modified to fit the needs of a particular investigation. The chosen apparatus is limited only by the judgment and ingenuity of the investigator.

6.2.1 A glass reaction kettle can be used when configuration and size of test specimens do not permit entry through the narrow neck of a flask. For solutions corrosive to glass, suitable metallic or plastic kettles may be employed.

6.2.2 In some cases, a wide-mouth jar with a suitable closure may be sufficient for simple, ambient-temperature immersion tests.

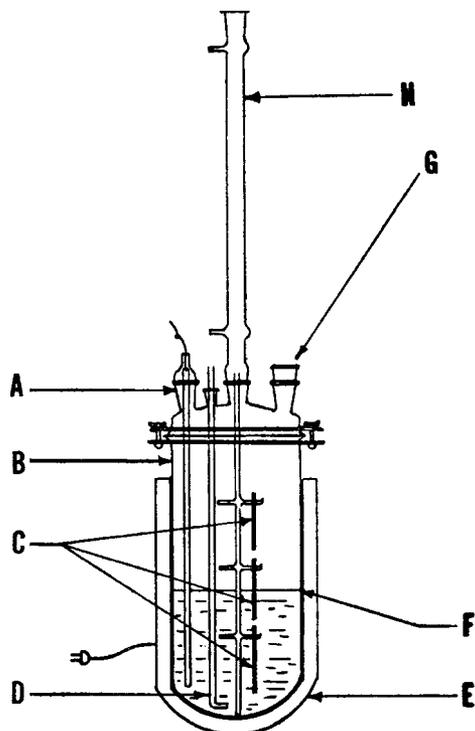
6.2.3 Open-beaker tests should not be used for long-term testing because of evaporation and contamination. If beakers are used, cover plates or watch glasses should be placed over the openings.

6.2.4 In more complex tests, provisions might be needed for continuous flow or replenishment of the corrosive liquid, while simultaneously maintaining a controlled atmosphere.

## 7. Sampling

7.1 *Statistical Sampling*—Statistical techniques for determining sample size, selecting materials for test, etc., should be used.

7.2 *Corrosion Products*—The bulk sampling of products is outside the scope of this guide.



NOTE 1—A = thermometer port, B = flask, C = specimens hung on supporting device, D = air inlet, E = heating mantle, F = liquid interface, G = opening in flask for additional apparatus that may be required, and H = reflux condenser.

FIG. 1 Typical Resin Flask

## 8. Test Specimen

8.1 At least duplicate test specimens should be exposed in each test. In laboratory immersion tests, corrosion rates of duplicate specimens are usually within  $\pm 10\%$  of each other when the attack is uniform. If the rates exceed this variance, retesting should be considered. Occasional exceptions, in which a large difference is observed, can occur under conditions of borderline passivity of metals or alloys that depend on a passive film for their resistance to corrosion. When large disparities in measured corrosion rates occur, rather than reporting an average corrosion rate, the reason for the disparity should be investigated and reported. If the reason for the disparity cannot be found, retesting should be considered.

8.1.1 If the effects of corrosion are to be determined by changes in mechanical properties, untested duplicate specimens should be preserved in a noncorrosive environment at the same temperature as the test environment, or at ambient temperature, or at both, for comparison with the corroded specimens. The mechanical property commonly used for comparison is the tensile strength. Measurement of percent elongation is a useful index of embrittlement. The procedures for determining these values are shown in detail in ASTM Test Methods E8.

8.2 The size and shape of corrosion test specimens vary with the purpose of the test, nature of the materials, and test apparatus. A rectangular or circular test specimen is preferred for laboratory corrosion testing. Its size and dimensions are typically determined by the test vessel being used and the volume of the test solution available. A ratio of surface area-to-solution mass smaller than in 9.8.2 and a ratio of edge area to total area of less than 20% are desirable. These ratios can be achieved through the use of specimens of minimum thickness, although thin specimens such as shims of some materials produced by heavy machining or cold rolling may have different corrosion rates from material not subjected to these processes. Masking may also be used to achieve the desired area ratios but may cause crevice corrosion problems.

8.2.1 If circular specimens are used, they should be cut from sheet or plate, not bar stock, to minimize the exposed end grain (unless the intent is to test or evaluate bar stock). A circular specimen of about 38 mm (1.5 in.) diameter is a convenient shape for laboratory corrosion tests. With a thickness of approximately 3 mm (0.125 in.) and an 8 mm ( $\frac{5}{16}$  in.) or 11 mm ( $\frac{7}{16}$  in.) diameter hole for mounting, these specimens will readily pass through a 45/50 ground-glass joint of a distillation kettle. Bar stock may contain long stringers near the center that can lead to corrosion behavior at the center of disk specimens cut from bar, which is not representative of the performance of the bulk alloy. This behavior can cause problems in interpreting performance.

8.2.2 Typically, rectangular test specimens 20 mm by 50 mm (0.75 in. by 2.0 in.) with a thickness of 1.6 mm to 4.8 mm (0.063 in. to 0.19 in.), with or without a hole, are preferred. Alternative dimensions may be more suitable for testing of liquid/vapor interface conditions.

8.2.3 All specimens should be measured carefully to permit accurate calculation of the exposed areas. A geometric area calculation accurate to  $\pm 1\%$  is usually adequate.

8.3 More uniform results can be expected if a uniform layer of metal is removed from the specimens to eliminate variations in condition of the original metallic surface. This can be done by chemical treatment (pickling), electrolytic removal, or by grinding with a coarse abrasive paper or cloth such as No. 50, using care not to work harden the surface. Abrasive materials may be picked up in the surface if the metal is soft, and may lead to pitting if not removed. At least 0.0025 mm (0.0001 in.) or 0.016 to 0.023 mg/mm<sup>2</sup> (5 to 10 mg/in.<sup>2</sup>) should be removed. (If clad alloy specimens are to be used, special attention shall be given to ensure that excessive metal is not removed.) After final preparation of the specimen surface, the specimens should be stored in a desiccator until exposure if they are not used immediately. Materials that form passive films may give different results if exposed after different rest times following polishing. In special cases (for example, for aluminum and certain copper alloys), a minimum of 24 h storage in a desiccator is recommended. The choice of a specific surface treatment shall be considered on the basis of the alloy to be tested and the reasons for testing. A commercial surface may sometimes yield the most significant results. Too much surface preparation may remove segregated elements, surface contamination, and so forth, and therefore not be representative of the application.

8.3.1 Final surface treatment of the specimens should include finishing with No. 120 abrasive paper or cloth or the equivalent, unless the surface is to be used in the mill-finished condition. This resurfacing may cause some surface work hardening, to an extent that will be determined by the vigor of the surfacing operation, but is not ordinarily significant. The surface finish to be encountered in service may be more appropriate for some testing.

8.3.1.1 Specimens of different alloy compositions should never be ground on the same cloth.

8.3.1.2 Wet grinding should be used on alloys that work harden readily, such as austenitic stainless steels.

8.4 Sheared edges should be removed unless the purpose of the test is to study effects of the shearing operation or unless the effect of the deformation resulting from shearing is known to have no effect on corrosion. A sheared edge can be removed before testing by wet grinding to a distance from the sheared edge equal to the thickness of the specimen. It may be desirable to test a surface representative of the material and metallurgical conditions used in practice.

8.5 As-laser-cut edges should be removed unless the purpose of the test is to study effects of the laser-cutting process. The effects of laser cutting can be removed from an edge before testing by sanding or wet grinding to a distance from the cut edge equal to 125 µm (0.005 in.).

8.6 The specimen may be stamped with an appropriate identifying mark. If metallic contamination of the stamped area may influence the corrosion behavior, chemical cleaning shall be employed to remove any traces of foreign particles from the surface of the coupon (for example, by immersion of stainless steel coupons in dilute nitric acid following stamping with steel dies).

8.6.1 The stamp, besides identifying the specimen, introduces stresses and cold work in the specimen that could be responsible for localized corrosion or stress-corrosion cracking, or both.

8.6.2 Environmentally assisted cracking at the identifying mark is a positive indication of susceptibility to such corrosion. However, the absence of cracking should not be interpreted as indicating resistance. Additional types of tests should be performed to specifically study the effects of stress.

8.6.3 The relative location of test specimens in the test apparatus should be recorded prior to testing to permit test specimen identification in the event the identification mark is corroded away.

8.7 Test specimens may be scrubbed with a bleach-free scouring powder followed by thorough rinsing in water and in a suitable solvent (such as acetone, methanol, or a mixture of 50% methanol and 50% diethylether), and air dried. For relatively soft metals such as aluminum, magnesium, and copper, scrubbing with abrasive powder is not always needed and can mar the surface of the test specimen.

8.7.1 Proper ultrasonic procedures are an acceptable alternate.

8.7.2 The use of towels for drying may introduce an error through contamination of the specimens with grease or lint.

8.7.3 Test specimens should be handled with gloves, tweezers, or tongs to avoid contamination of the surface after cleaning.

8.8 The mass of dried test specimens should be determined on an analytical balance to an accuracy of 1 mg or better. If cleaning deposits (for example, scouring powder) remain or lack of complete dryness is suspected, then recleaning and drying should be performed until a constant mass is attained.

## 9. Test Conditions

9.1 Selection of the conditions for a laboratory corrosion test shall be determined by the purpose of the test.

9.1.1 If the test is to be a guide for the selection of a material for a particular purpose, the limits of the controlling factors in service shall be determined. These factors include oxygen concentration, temperature, rate of flow, pH value, composition, and other important characteristics of the solution.

9.2 An effort should be made to duplicate all pertinent service conditions in the corrosion test.

9.3 Test conditions should be controlled throughout the test in order to ensure reproducible results.

### 9.4 *Composition of Solution:*

9.4.1 Test solutions should be prepared accurately from chemicals conforming to the laboratory-grade standards, such as those of the Committee on Analytical Reagents of the

American Chemical Society,<sup>4</sup> and using reagent water (ASTM Specification **D1193**, Type IV or better), except in those cases in which naturally occurring solutions or those taken directly from plant processes are used.

9.4.2 The composition of the test solution should be accurately controlled and should be described as completely and precisely as possible when the results are reported.

9.4.3 Minor constituents should be included because they often affect corrosion rates.

9.4.4 Chemical content should be reported as percentage by mass of the solutions. Molarity and normality are also helpful in defining the concentration of chemicals in some test solutions. Solution density and pH should also be reported.

9.4.5 An environmental sampling plan should be devised. The test solution components of interest should be determined before the test begins to avoid costs associated with measuring components not of interest and to ensure that all components of interest are measured before the test begins. Such a plan may follow the guidance of ASTM Practice **E300**. When components of interest in the solution are expected to change over time, the composition of the test solution should be checked by analysis before and after testing to determine the extent of change in composition. It may be useful to analyze samples of the test solution during the test as well. In many cases, only certain components of the test solution will be of interest, for example those components that affect corrosiveness such as pH. It may be of interest to measure soluble corrosion products such as metal ion content as a method of determining the amount of corrosion that has occurred.

9.4.6 Evaporation losses may be controlled by a constant level device or by frequent addition of appropriate solution to maintain the original volume within  $\pm 1\%$ . The use of a reflux condenser ordinarily precludes the necessity of adding to the original solution.

9.4.7 In some cases, composition of the test solution may change as a result of catalytic decomposition, by reaction with the test specimen, or through the buildup of corrosion products in the solution. These changes should be determined, if possible. When required, the exhausted constituents should be added or a fresh solution provided during the course of the test.

9.4.8 If several different metals are exposed in the same volume of test solution, the corrosion products from one metal may affect the rate of attack on another metal. For example, copper corrosion products can reduce corrosion of stainless steel and titanium but can accelerate corrosion of aluminum.

### 9.5 *Temperature of Solution:*

9.5.1 Temperature of the test solution is typically controlled to within  $\pm 1^\circ\text{C}$  or  $\pm 2^\circ\text{F}$ . In tests where the temperature is significantly above ambient (for example,  $>10^\circ\text{C}$  or  $18^\circ\text{F}$ ) some method of stirring is usually desirable to avoid temperature gradients in the solution. Magnetic stirring or gas sparging is usually sufficient to minimize temperature gradients.

9.5.2 If no specific temperature, such as boiling point, is required or if a temperature range is to be investigated, the selected temperatures used in the test, and their respective duration, should be selected to match the application being investigated.

9.5.3 For tests that are intended to simulate systems that are at ambient temperature, the tests should be conducted at the highest temperature anticipated for stagnant storage in summer months. This temperature may be as high as from  $40$  to  $45^\circ\text{C}$  ( $104$  to  $113^\circ\text{F}$ ) in some areas.

9.5.4 Tests at the boiling point of the solution should be conducted with minimum possible heat input, and inert material boiling chips should be used to minimize excessive bumping, turbulence, and bubble impingement. The use of a reflux condenser is strongly recommended when tests are conducted at the boiling point.

### 9.6 *Gas Sparging of Solution:*

9.6.1 Most tests related to process equipment should be run with the natural atmosphere inherent in the process, such as the vapors of the boiling liquid or a controlled gas atmosphere.

9.6.2 If gas sparging or a controlled gas flow is employed, the specimens should not be located in the direct air or gas stream from the sparger. Extraneous effects can be encountered if the air or gas stream impinges on the specimens. Gas spargers that create small bubbles are usually preferred to open tubes.

NOTE 1—Assuming that all other factors are equivalent, the ratio of the gas flow rate to the total solution volume and the average gas bubble diameter may be useful measures of sparging efficiency.

9.6.3 If complete exclusion of dissolved oxygen is necessary, specific techniques are required, such as prior heating of the test solution and sparging with an inert gas (usually nitrogen). A liquid atmospheric seal (that is, vapor lock, similar in function to a sink drain trap) is appropriate for use on the test vessel to prevent further contamination.

9.6.4 If a high oxygen concentration of the test solution is desired, one method of achieving this is by sparging with pure oxygen. For lower concentrations of oxygen in the solution, the solution may be sparged with a mixture of oxygen with air or an inert gas. The saturation concentration of oxygen in a solution is proportional to the partial pressure of oxygen in the gas mixture that is used for sparging. Care should be exercised when sparging with oxygen or oxygen-enriched gas, since many materials have enhanced flammability in gas enriched with oxygen.

9.6.5 Other atmospheres may also be used as required to simulate a specific service. Sparging the gas into the test solution allows the gas composition to approach saturation if the sparging is continued for sufficient time. However, other techniques may also be employed or required to achieve saturation specific concentration.

### 9.7 *Test Solution Flow:*

9.7.1 The effect of fluid flow is not usually determined in normal laboratory tests, although specific tests have been designed for this purpose. Controlled-flow tests are outside the scope of this guide. ASTM Guide **G170**, ASTM Practice **G184**,

<sup>4</sup> *Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications*, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Analar Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopeia and National Formulary*, U.S. Pharmacopeial Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

and ASTM Practice **G185** provide useful information regarding testing under flowing conditions.

9.7.2 In tests conducted below the boiling point, thermal convection may be an adequate source of liquid agitation.

9.7.3 In test solutions with viscosities above 100 cp, supplemental controlled stirring with a magnetic stirrer is recommended.

9.7.4 Gas sparging can effectively agitate the test solution and prevent stagnation and the development of unwanted concentration gradients during the test. Gas sparging should not be used in solutions that are prone to foaming.

#### 9.8 *Volume of Test Solution:*

9.8.1 The volume of the test solution should be large enough to avoid any appreciable change in the test solution's corrosiveness through either exhaustion of corrosive constituents or accumulation of corrosion products that might affect further corrosion.

9.8.2 For tests up to 30 days in duration, the preferred minimum ratio of test solution volume to test specimen surface area is 0.20 mL/mm<sup>2</sup> (130 mL/in.<sup>2</sup>).

9.8.3 When the test objective is to determine the effect of a metal or alloy on the characteristics of the test solution (for example, to determine the effects of metals on dyes), it is desirable to reproduce the ratio of solution volume to exposed metal surface that exists in practice. The actual time of contact of the metal with the solution should also be reproduced as closely as possible to assure that the effects are simulated.

#### 9.9 *Method of Supporting Specimens:*

9.9.1 The supporting device and container should not be affected by or cause contamination of the test solution.

9.9.2 The method of supporting test specimens varies with the test apparatus used but should be designed to hold the specimens securely enough to avoid rubbing against other specimens, to insulate the test specimens from each other electrically, and to insulate the test specimens from any metallic container or supporting device used within the test apparatus. The more tightly a specimen is held the more likely it is to suffer crevice corrosion. Therefore it is usually found that a gentle support with a minimum area in contact with the support device is best. The use of a small-diameter cylindrical hook through a larger-diameter hole in the specimen is most often effective.

9.9.3 The shape and form of the test specimen support should assure free contact of the test specimen with the test solution, the liquid line, or the vapor phase, as shown in **Fig. 1**. If clad alloys are exposed, special procedures are required to ensure that only the cladding is exposed, unless the purpose is to test the ability of the cladding to protect cut edges in the test solution.

9.9.4 Some common supports are glass or ceramic rods, glass cradles, glass hooks, fluorocarbon plastic strings, and various insulated or coated metallic supports.

#### 9.10 *Duration of Test:*

9.10.1 The duration of any test should be determined by the nature and purpose of the test.

9.10.2 Materials that experience severe corrosion generally do not need lengthy tests to obtain accurate corrosion rates.

However, there are cases in which this assumption is not valid. For example, lead exposed to sulfuric acid corrodes at an extremely high rate at first, while building a protective film; then the rate decreases considerably so that further corrosion is negligible. This phenomenon of forming a protective film is observed with many corrosion-resistant materials. Short tests on such materials could indicate a high corrosion rate and be misleading.

9.10.3 Short-time tests also can give misleading results on alloys that form passive films, such as stainless steels. With borderline conditions, a prolonged test may be needed to permit breakdown of the passive film and subsequent more rapid attack. Consequently, tests run for long periods are considerably more realistic than those conducted for short durations. On the other hand, corrosion should not proceed to the point where the original specimen size or the exposed area is drastically reduced or where the metal is perforated.

9.10.4 The planned-interval test is an excellent procedure for evaluating the effect of time on corrosion of the metal and also on the corrosiveness of the environment in laboratory tests. If the environment may change over time, short-duration exposures should be conducted at both the beginning and the end of a longer exposure to ensure that the effects of environmental changes can be separated from the effects of exposure time. Other procedures that require the removal of solid corrosion products between exposure periods do not accurately measure the normal changes of corrosion with time unless this simulates the operating conditions. For example, in laboratory tests simulating flow through systems (for example, vapor condensers), long-term tests that do not involve regular changing of the test solution may seriously underestimate the plant condition corrosiveness by allowing corrosion products to saturate the test solution and create films that do not occur in service. Electrochemical techniques such as polarization resistance, linear polarization, electrochemical impedance spectroscopy, electrical resistance probes, and electrochemical noise measurement often allow determination of the effects of time on corrosion behavior.

9.10.5 If anticipated corrosion rates are moderate or low, the following equation gives a suggested test duration:

$$\text{Duration of test (h)} \quad (1)$$

$$= 50/\text{corrosion rate (mm/y) or } 2000/\text{corrosion rate (mpy)}$$

9.10.5.1 *Example*—When the corrosion rate is 0.25 mm/y (10 mpy), the test should run for at least 200 h.

9.10.5.2 This method of estimating test duration is useful only as an aid in deciding, after a test has been completed, whether it is desirable to repeat the test for a longer period. Common testing periods are 24 to 240 h (1 to 10 days).

9.10.5.3 This equation for test duration is acceptable for general corrosion rates only. Localized attack, for example, pitting, environmentally assisted cracking, crevice attack, etc., normally have an initiation period before attack begins.

9.10.6 In some cases, it may be necessary to know the degree of contamination caused by the products of corrosion. This can be accomplished by analysis of the solution after corrosion has occurred. The corrosion rate can be calculated from the concentration of the matrix metal found in the

solution and it can be compared to that determined from the mass loss of the specimens. However, some of the corrosion products usually adhere to the specimen as a scale and the corrosion rate calculated from the metal content in the solution is not always correct. Corrosion rates based on post-test solution analyses may, in some cases, significantly underestimate the actual specimen corrosion rate.

## 10. Cleaning Specimens after Test

10.1 Before specimens are cleaned, their appearance should be observed and recorded. Location of deposits, variations in types of deposits, or variations in corrosion products are extremely important in evaluating localized corrosion, such as pitting and concentration cell attack. Photographic documentation of the test specimens, before and after testing, may assist in the evaluation of test results.

10.2 Cleaning specimens after the test is a vital step in the corrosion test procedure and if not done properly, can cause misleading results. Methods for chemical cleaning after testing of specific metals and alloys are described in ASTM Practice **G1** and ISO 8407.

10.2.1 Generally, the cleaning procedure should remove all corrosion products from test specimens with a minimum removal of sound metal.

10.2.2 Set rules cannot be applied to specimen cleaning, because procedures vary, depending on the type of metal being cleaned and on the degree of adherence of corrosion products.

10.3 Cleaning methods can be divided into three general categories: mechanical, chemical, and electrolytic.

10.3.1 Mechanical cleaning includes scrubbing, scraping, brushing, mechanical shocking, media blasting, and ultrasonic procedures. Scrubbing with a bristle brush (preferably nonmetallic) and mild abrasive is the most popular of these methods. The others are used principally as a supplement to remove heavily encrusted corrosion products before scrubbing. Care should be used to avoid the removal of sound metal.

10.3.2 Chemical cleaning implies the removal of material from the surface of the test specimen by dissolution in an appropriate chemical solution. Solvents such as acetone and alcohol are used to remove oil, grease, or resin and are usually applied prior to other methods of cleaning. Chemicals are chosen for application to a specific material.

10.3.3 Electrolytic cleaning should be preceded by scrubbing to remove loosely adhering corrosion products.

10.3.3.1 Precautions shall be taken to ensure good electrical contact with the test specimen, to avoid contamination of the cleaning solution with easily reducible metal ions, and to ensure that inhibitor decomposition has not occurred.

10.4 Whatever treatment is used to clean test specimens after a corrosion test, its effect in removing metal should be determined and the mass loss should be corrected accordingly. An unexposed control specimen should be weighed before and after exposure to the cleaning procedure to establish this mass loss (see also ASTM Practice **G1** and ISO 8407). Careful observation is needed to ensure that pitting does not occur during cleaning.

10.4.1 Following removal of all scale, the specimen should be treated as discussed in **8.8**.

## 11. Interpretation of Results

11.1 After corroded test specimens have been cleaned, their masses should be measured with an accuracy corresponding to that of the original mass measurements. The mass loss during the test period can be used as the principal measure of corrosion. If all corrosion products cannot be removed, the mass loss should be reported but the observation made that some corrosion products were not removed.

11.2 Following cleaning and mass loss determination, a careful inspection of all specimen surfaces (that is, under low magnification) for the presence of localized attack should be conducted. If pits are observed, they should be evaluated following the guidance of ASTM Guide **G46**.

11.2.1 Pit depths should be reported in millimetres or thousandths of an inch for the test period and not interpolated or extrapolated to millimetres per year, thousandths of an inch per year, or any other arbitrary period because rarely, if ever, is the time of initiation or rate of propagation of pits uniform.

11.2.2 The size, shape, and distribution of pits should be noted. A distinction should be made between those occurring underneath the supporting devices (in crevices) and those on the surfaces that were freely exposed to the test solution (see ASTM Guide **G46**).

11.2.3 General corrosion rates calculated from mass loss on materials that exhibit localized pitting or crevice corrosion may seriously underestimate the rate of corrosion penetration that is occurring. In these cases, mass loss rates may not be appropriate for predicting performance. Localized corrosion penetration does not usually proceed in a linear mode with exposure time so that penetration rates for localized corrosion cannot be determined from a single time exposure.

11.3 If the material being tested is suspected of being subject to dealloying forms of corrosion such as dezincification or to intergranular attack, a cross section of the specimen should be microscopically examined for evidence of such attack.

11.4 The specimen may be subjected to simple bending tests to determine whether any embrittlement attack has occurred.

11.5 It may be desirable to perform quantitative mechanical tests to compare the exposed test specimens with uncorroded specimens reserved for this purpose, as described in **8.1.1**.

## 12. Calculating Corrosion Rates

12.1 The calculation of corrosion penetration rates from mass loss data implies that the mass loss is distributed uniformly over the surface area. Localized corrosion such as pitting, crevice corrosion, intergranular corrosion, weld decay, etc., generally results in much greater penetration with the same mass loss as general corrosion. Pitting rates should not be based on a single test interval because pitting usually has an induction time for initiation. In cases in which localized corrosion has been observed, the following notation is recommended: “Localized corrosion (indicate type if known) was observed. The calculated penetration rate from mass loss

measurements does not represent the actual maximum penetration and may underestimate it significantly.”

12.2 The use of corrosion rates implies that the material has not been internally attacked as by dezincification or intergranular corrosion.

12.3 Internal attack may be expressed as a corrosion rate, if desired. However, the calculations should not be based on mass loss, which is usually small, but on microsections that show depth of attack.

12.4 Assuming that localized or internal corrosion is not present or is recorded separately in the report, the average corrosion rate can be calculated for flat prismatic geometries by the following equation:

$$\text{Corrosion rate} = (K \times W)/(A \times T \times D) \quad (2)$$

where:

- $K$  = a constant (see below),
- $T$  = time of exposure in hours to the nearest 0.01 h,
- $A$  = area in  $\text{cm}^2$  to the nearest 0.01  $\text{cm}^2$ ,
- $W$  = mass loss in g, to nearest 1 mg (corrected for any loss during cleaning (see 10.4)), and
- $D$  = density in  $\text{g}/\text{cm}^3$ , (see Appendix X1 of ASTM Practice G1).

12.4.1 Many different units are used to express corrosion rates. Using the above units for  $T$ ,  $A$ ,  $W$ , and  $D$ , the corrosion rate may be calculated in a variety of units with the following appropriate value of  $K$ :

Corrosion Rate Units Desired	Constant ( $K$ ) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	$3.45 \times 10^6$
inches per year (ipy)	$3.45 \times 10^3$
inches per month (ipm)	$2.87 \times 10^2$
millimetres per year (mm/y)	$8.76 \times 10^4$
micrometres per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8.76 \times 10^7$
picometres per second (pm/s)	$2.78 \times 10^6$
grams per square metre per hour ( $\text{g}/\text{m}^2\text{-h}$ )	$1.00 \times 10^4 \times D^4$
milligrams per square decimetre per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^4$
micrograms per square metre per second ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$ )	$2.78 \times 10^6 \times D^4$

<sup>4</sup> Density is not needed to calculate the corrosion rate in these units. The density in the constant  $K$  cancels out the density in the corrosion rate equation.

12.4.2 These constants may also be used to convert corrosion rates from one set of units to another. To convert a corrosion rate in units  $X$  to a rate of units  $Y$ , multiply by  $K_Y/K_X$ , for example:

$$15 \text{ mpy} = 15 \times [(2.78 \times 10^6)/(3.45 \times 10^6)] \text{ pm/s} \quad (3)$$

$$= 12.1 \text{ pm/s}$$

12.5 The average corrosion rate for cylindrical specimens such as wires can be calculated from the following equations:

$$\text{Corrosion rate} = (w \times d)/(4 \times m \times t) \quad (4)$$

or, when  $m/w > 50$

$$\text{Corrosion rate} = 1000 \times d [1 - w/(1000 \times m)]^{0.5}/2t \quad (5)$$

when corrosion rate is in mm/year,

where:

$w$  = mass loss in mg,

$m$  = specimen mass in g,

$d$  = specimen diameter in mm, and

$t$  = exposure time in years.

### 13. Report

13.1 The following is a recommended guide for reporting:

13.1.1 Name of laboratory and operator conducting the tests.

13.1.2 Corrosive media and concentration (including any changes during test).

13.1.3 Volume of test solution and any solution added or removed during test.

13.1.4 Temperature (maximum, minimum, average).

13.1.5 Gas sparging or controlled-atmosphere composition (describe conditions or technique).

13.1.6 Agitation (describe conditions or technique).

13.1.7 Type of apparatus used for test.

13.1.8 Location of test specimen within test apparatus (liquid, vapor, interface) and support method.

13.1.9 Testing dates and duration of each test.

13.1.10 Chemical composition, trade name, producing mill, and the UNS number (or material designation) of metals.

13.1.11 Form and metallurgical conditions of test specimens including weld details if relevant.

13.1.12 Exact size, shape, and area of specimens.

13.1.13 Method used to prepare test specimens for exposure.

13.1.14 Number of test specimens of each material tested, and whether specimens were tested separately or which specimens were tested in the same container.

13.1.15 Method used to clean specimens after exposure and the extent of any error expected by this treatment.

13.1.16 Initial and final masses and actual mass losses for each test specimen.

13.1.17 Appearance of each test specimen during and after exposure, and the evaluation of attack, if other than general corrosion, such as cracking, crevices, exfoliation, or pitting corrosion. Microscopic or photographic documentation may be of assistance.

13.1.18 Corrosion rates for each test specimen.

13.1.19 Number and depths of pits or crevices.

13.1.20 Extent of other types of localized corrosion (that is, intergranular attack, dealloying).

13.1.21 Minor occurrences or deviations from the proposed test program.

13.2 In cases in which replicate measurements of corrosion rates have been made, the report should include the average, standard deviation, and coefficient of variation (that is, the standard deviation divided by the average expressed as a percent) for each set of conditions.

13.3 Any computerized reporting or transfer of data should follow the guidelines of NACE SP0690 and ASTM Guides G107 and G135.

### 14. Keywords

14.1 accelerated; corrosion rate; immersion; laboratory; mass loss; metals; pitting

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website ([www.astm.org/COPYRIGHT/](http://www.astm.org/COPYRIGHT/)). This standard is copyrighted by NACE International, 1440 South Creek Drive, Houston, TX 77084. This standard may also be obtained by contacting NACE at 1440 South Creek Drive, Houston, TX 77084-4906, United States or at 281-228-6200 (phone), 281-228-6300 (fax), or through the NACE Web site ([www.nace.org](http://www.nace.org)). Comments may also be addressed to the NACE Technical Coordination Committee chair and NACE Headquarters, with a copy to the NACE Reference Publications Committee chair. Reprints and permission to photocopy may also be obtained from NACE.*

**ANEXO B3**

**ASTM: G46 – 94**



# Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G46; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This guide covers the selection of procedures that can be used in the identification and examination of pits and in the evaluation of pitting (See Terminology [G15](#)) corrosion to determine the extent of its effect.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

[E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens](#)

[G1 Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens](#)

[G15 Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing \(Withdrawn 2010\)](#)<sup>3</sup>

[G16 Guide for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data](#)

2.2 *National Association of Corrosion Engineers Standard: NACE RP-01-73 Collection and Identification of Corrosion Products*<sup>4</sup>

## 3. Significance and Use

3.1 It is important to be able to determine the extent of pitting, either in a service application where it is necessary to predict the remaining life in a metal structure, or in laboratory test programs that are used to select the most pitting-resistant materials for service.

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee [G01](#) on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee [G01.05](#) on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved May 1, 2013. Published July 2013. Originally approved in 1976. Last previous edition approved in 2005 as G46–94 (2005). DOI: 10.1520/G0046-94R13.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> The last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).

<sup>4</sup> Insert in *Materials Protection and Performance*, Vol 12, June 1973, p. 65.

## 4. Identification and Examination of Pits

4.1 *Visual Inspection*—A visual examination of the corroded metal surface is usually beneficial, and this is done under ordinary light, with or without the use of a low-power magnifying glass, to determine the extent of corrosion and the apparent location of pits. It is often advisable to photograph the corroded surface at this point so that it can be compared with the clean surface after the removal of corrosion products.

4.1.1 If the metal specimen has been exposed to an unknown environment, the composition of the corrosion products may be of value in determining the cause of corrosion. Follow recommended procedures in the removal of particulate corrosion products and reserve them for future identification (see NACE RP-01-73).

4.1.2 To expose the pits fully, use recommended cleaning procedures to remove the corrosion products and avoid solutions that attack the base metal excessively (see Practice [G1](#)). It may be advisable during cleaning to probe the pits with a pointed tool to determine the extent of undercutting or subsurface corrosion ([Fig. 1](#)). However, scrubbing with a stiff bristle brush will often enlarge the pit openings sufficiently by removal of corrosion products, or undercut metal to make the pits easier to evaluate.

4.1.3 Examine the cleaned metal surface under ordinary light to determine the approximate size and distribution of pits. Follow this procedure by a more detailed examination through a microscope using low magnification (20 $\times$ ).

4.1.4 Determine the size, shape, and density of pits.

4.1.4.1 Pits may have various sizes and shapes. A visual examination of the metal surface may show a round, elongated, or irregular opening, but it seldom provides an accurate indication of corrosion beneath the surface. Thus, it is often necessary to cross section the pit to see its actual shape and to determine its true depth. Several variations in the cross-sectioned shape of pits are shown in [Fig. 1](#).

4.1.4.2 It is a tedious job to determine pit density by counting pits through a microscope eyepiece, but the task can be made easier by the use of a plastic grid. Place the grid, containing 3 to 6-mm squares, on the metal surface. Count and record the number of pits in each square, and move across the grid in a systematic manner until all the surface has been covered. This approach minimizes eyestrain because the eyes can be taken from the field of view without fear of losing the area of interest.

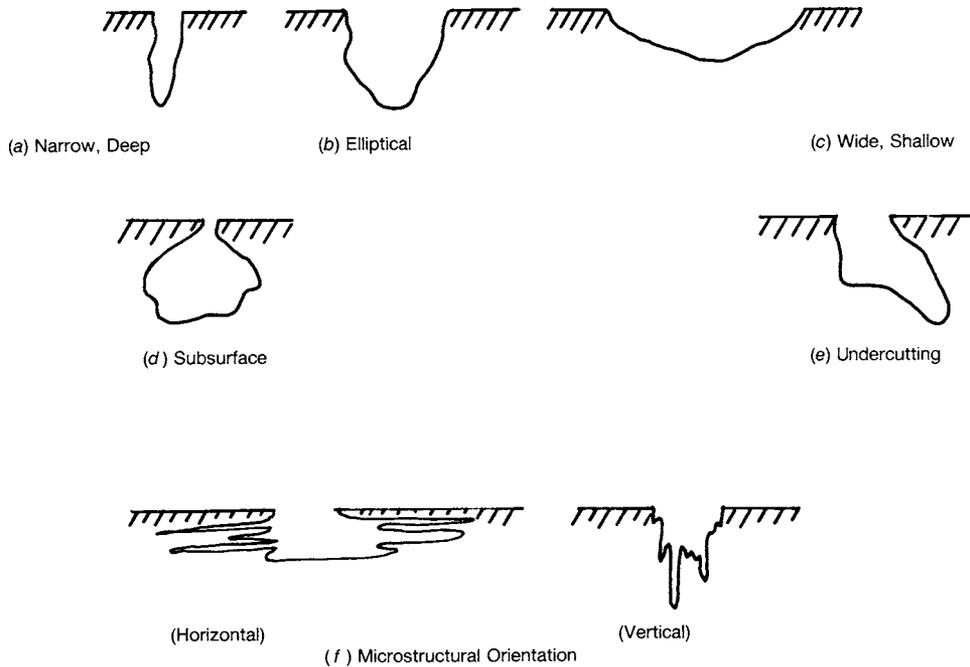


FIG. 1 Variations in the Cross-Sectional Shape of Pits

4.1.5 *Metallographic Examination*—Select and cut out a representative portion of the metal surface containing the pits and prepare a metallographic specimen in accordance with the recommended procedures given in Methods E3. Examine microscopically to determine whether there is a relation between pits and inclusions or microstructure, or whether the cavities are true pits or might have resulted from metal dropout caused by intergranular corrosion, dealloying, and so forth.

4.2 *Nondestructive Inspection*—A number of techniques have been developed to assist in the detection of cracks or cavities in a metal surface without destroying the material (1).<sup>5</sup> These methods are less effective for locating and defining the shape of pits than some of those previously discussed, but they merit consideration because they are often used in situ, and thus are more applicable to field applications.

4.2.1 *Radiographic*—Radiation, such as X rays, are passed through the object. The intensity of the emergent rays varies with the thickness of the material. Imperfections may be detected if they cause a change in the absorption of X rays. Detectors or films are used to provide an image of interior imperfections. The metal thickness that can be inspected is dependent on the available energy output. Pores or pits must be as large as 1/2 % of the metal thickness to be detected. This technique has only slight application to pitting detection, but it might be a useful means to compare specimens before and after corrosion to determine whether pitting has occurred and whether it is associated with previous porosity. It may also be useful to determine the extent of subsurface and undercutting pitting (Fig. 1).

<sup>5</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this practice.

4.2.2 *Electromagnetic*:

4.2.2.1 Eddy currents can be used to detect defects or irregularities in the structure of electrically conducting materials. When a specimen is exposed to a varying magnetic field, produced by connecting an alternating current to a coil, eddy currents are induced in the specimen, and they in turn produce a magnetic field of their own. Materials with defects will produce a magnetic field that is different from that of a reference material without defects, and an appropriate detection instrument is required to determine these differences.

4.2.2.2 The induction of a magnetic field in ferromagnetic materials is another approach that is used. Discontinuities that are transverse to the direction of the magnetic field cause a leakage field to form above the surface of the part. Ferromagnetic particles are placed on the surface to detect the leakage field and to outline the size and shape of the discontinuities. Rather small imperfections can be detected by this method. However, the method is limited by the required directionality of defects to the magnetic field, by the possible need for demagnetization of the material, and by the limited shape of parts that can be examined.

4.2.3 *Sonics*:

4.2.3.1 In the use of ultrasonics, pulses of sound energy are transmitted through a couplant, such as oil or water, onto the metal surface where waves are generated. The reflected echoes are converted to electrical signals that can be interpreted to show the location of flaws or pits. Both contact and immersion methods are used. The test has good sensitivity and provides instantaneous information about the size and location of flaws. However, reference standards are required for comparison, and training is needed to interpret the results properly.

4.2.3.2 An alternative approach is to use acoustic emissions in detecting flaws in metals. Imperfections, such as pits, generate high-frequency emissions under thermal or mechanical stress. The frequency of emission and the number of occurrences per unit time determine the presence of defects.

4.2.4 *Penetrants*—Defects opening to the surface can be detected by the application of a penetrating liquid that subsequently exudes from the surface after the excess penetrant has been removed. Defects are located by spraying the surface with a developer that reacts with a dye in the penetrant, or the penetrant may contain a fluorescent material that is viewed under black light. The size of the defect is shown by the intensity of the color and the rate of bleed-out. This technique provides only an approximation of the depth and size of pits.

4.2.5 None of these nondestructive test methods provide satisfactory detailed information about pitting. They can be used to locate pits and to provide some information about the size of pits, but they generally are not able to detect small pits, and confusion may arise in attempting to differentiate between pits and other surface blemishes. Most of these methods were developed to detect cracks or flaws in metals, but with more refined development they may become more applicable to pitting measurements.

## 5. Extent of Pitting

5.1 *Mass Loss*—Metal mass loss is not ordinarily recommended for use as a measure of the extent of pitting unless general corrosion is slight and pitting is fairly severe. If uniform corrosion is significant, the contribution of pitting to total metal loss is small, and pitting damage cannot be determined accurately from mass loss. In any case, mass loss can only provide information about total metal loss due to pitting but nothing about depth of penetration. However, mass loss should not be neglected in every case because it may be of value; for example, mass loss along with a visual comparison of pitted surfaces may be adequate to evaluate the pitting resistance of alloys in laboratory tests.

### 5.2 *Pit Depth Measurement:*

5.2.1 *Metallographic*—Pit depth can be determined by sectioning vertically through a pre-selected pit, mounting the cross-sectioned pit metallographically, and polishing the surface. The depth of the pit is measured on the flat, polished surface by the use of a microscope with a calibrated eyepiece. The method is very accurate, but it requires good judgment in the selection of the pit and good technique in cutting through the pit. Its limitations are that it is time consuming, the deepest pit may not have been selected, and the pit may not have been sectioned at the deepest point of penetration.

### 5.2.2 *Machining (2, 3):*

5.2.2.1 This method requires a sample that is fairly regular in shape, and it involves the destruction of the specimen. Measure the thickness of the specimen between two areas that have not been affected by general corrosion. Select a portion of the surface on one side of the specimen that is relatively unaffected; then machine the opposite surface where the pits are located on a precision lathe, grinder, or mill until all signs of corrosion have disappeared. (Some difficulty from galling and smearing may be encountered with soft metals, and pits

may be obliterated.) Measure the thickness of the specimen between the unaffected surface and subtract from the original thickness to give the maximum depth of pitting. Repeat this procedure on the unmachined surface unless the thickness has been reduced by 50% or more during the machining of the first side.

5.2.2.2 This method is equally suitable for determining the number of pits with specific depths. Count the visible pits; then machine away the surface of the metal in measured stages and count the number of visible pits remaining at each stage. Subtract the number of pits at each stage from the count at the previous stage to obtain the number of pits at each depth of cut.

### 5.2.3 *Micrometer or Depth Gage:*

5.2.3.1 This method is based on the use of a pointed needle attached to a micrometer or calibrated depth gage to penetrate the pit cavity. Zero the instrument on an unaffected area at the lip of the pit. Insert the needle in the pit until it reaches the base where a new measurement is taken. The distance traveled by the needle is the depth of the pit. It is best to use constant-tension instruments to minimize metal penetration at the base of the pit. It can be advantageous to use a stereomicroscope in conjunction with this technique so that the pit can be magnified to ensure that the needle point is at the bottom of the pit. The method is limited to pits that have a sufficiently large opening to accommodate the needle without obstruction; this eliminates those pits where undercutting or directional orientation has occurred.

5.2.3.2 In a variation of this method, attach the probe to a spherometer and connect through a microammeter and battery to the specimen (3, 4). When the probe touches the bottom of the pit, it completes the electrical circuit, and the probe movement is a measurement of pit depth. This method is limited to very regularly shaped pits because contact with the side of the pit would give a false reading.

5.2.4 *Microscopical*—This method is particularly valuable when pits are too narrow or difficult to penetrate with a probe type of instrument. The method is amenable to use as long as light can be focused on the base of the pit, which would not be possible in the case of example (e) in Fig. 1.

5.2.4.1 Use a metallurgical microscope with a magnification range from 50 to 500× and a calibrated fine-focus knob (for example, 1 division = 0.001 mm). If the latter is not available, a dial micrometer can be attached to the microscope in such a way that it will show movement of the stage relative to the microscope body.

5.2.4.2 Locate a single pit on the metal surface and center under the objective lens of the microscope at low magnification (for example, 50×). Increase the objective lens magnification until the pit area covers most of the field under view. Focus the specimen surface at the lip of the pit, using first the coarse and then the fine-focusing knobs of the microscope. Record the initial reading from the fine-focusing knob. Refocus on the bottom of the pit with the fine-focusing knob and record the reading. The difference between the initial and the final readings on the fine-focusing knob is the pit depth.

5.2.4.3 Repeat the steps in 5.2.4.2 to obtain additional measurements or until satisfactory duplication has been obtained. The repeatability of pit depth measurements on a single pit at four magnifications is shown in Annex A1.

5.2.4.4 A variation of the microscopical technique employs the use of an interference microscope. A beam of light is split, and one portion is projected on the specimen and the other on a reference mirror surface. The reflected light from these two surfaces is recombined, and interference fringes are formed that provide a topographical map of the specimen surface. These fringes can be used to measure vertical deviations on the metal surface. However, the method is limited to the shallower pits, that is, less than 25 μm, because the number of fringes increases to the point where they are difficult to count.

**6. Evaluation of Pitting**

6.1 There are several ways in which pitting can be described, given a quantitative expression to indicate its

significance, or used to predict the life of a material. Some of the more commonly used methods are described in this section, although it is often found that no single method is sufficient by itself.

6.2 *Standard Charts (3):*

6.2.1 Rate the pits in terms of density, size, and depth on the basis of standard charts, such as those shown in Fig. 2. Columns A and B relate to the extent of pitting at the surface of the metal (that is, Column A is a means for rating the number of sites per unit area and Column B a means for showing the average size of these sites). Column C rates the intensity or average depth of attack. A typical rating might be A-3, B-2, C-3, representing a density of  $5 \times 10^4$  pits/m<sup>2</sup>, an average pit opening of 2.0 mm<sup>2</sup>, and an average pit depth of 1.6 mm.

6.2.2 This method offers an effective means of communication between those who are familiar with the charts, and it is a simple means for storing data for comparison with other test

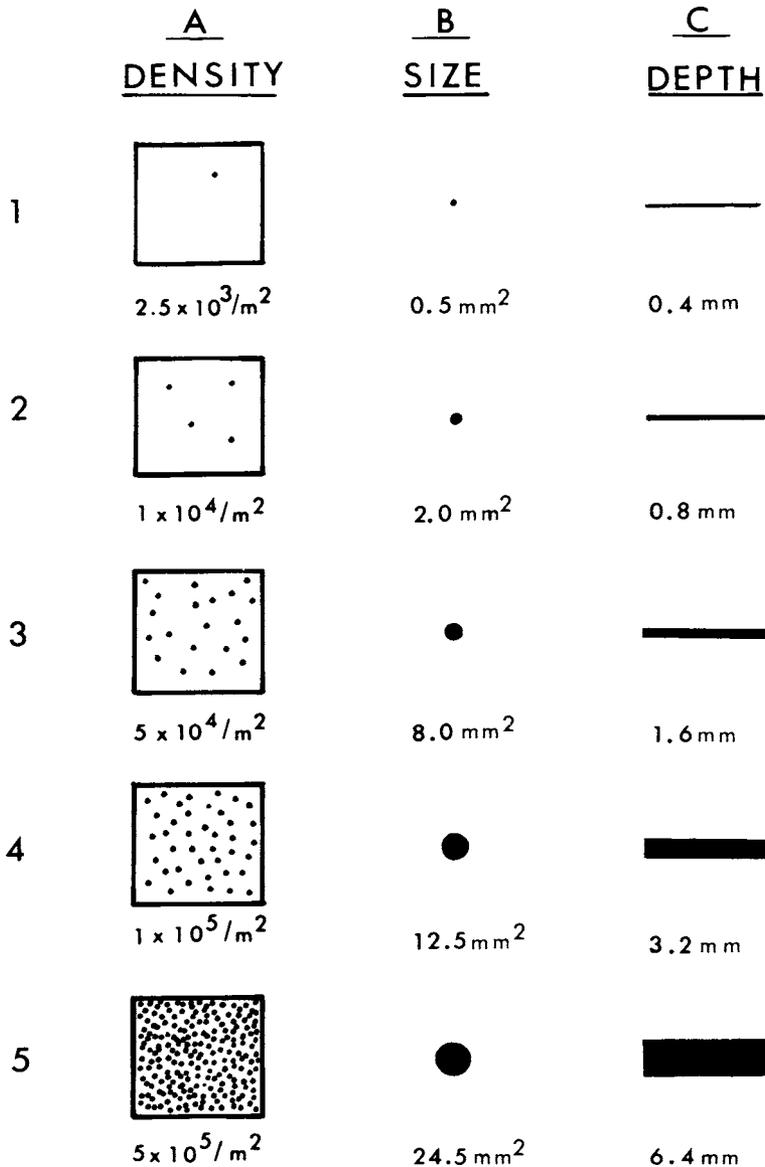


FIG. 2 Standard Rating Charts for Pits

results. However, it is tedious and time consuming to measure all pits, and the time is usually not justified because maximum values (for example, pit depths) usually have more significance than average values.

### 6.3 Metal Penetration:

6.3.1 Measure the deepest pits and express metal penetration in terms of the maximum pit depth or the average of the ten deepest pits, preferably both. This type of measurement is particularly significant when the metal is associated with an enclosure for a gas or liquid, and a hole could lead to a loss of fluid.

6.3.2 Metal penetration can also be expressed in terms of a pitting factor. This is the ratio of the deepest metal penetration to the average metal penetration, determined from weight loss, as shown in the following relationship:

$$\text{Pitting Factor} = \frac{\text{deepest metal penetration}}{\text{average metal penetration}} \quad (1)$$

A pitting factor of one represents uniform corrosion; the larger the number, the greater the depth of penetration. The factor does not apply in those cases where pitting or general corrosion is very small because values of zero or infinity can readily be obtained when dealing with a ratio.

### 6.4 Statistical:

6.4.1 The application of statistics to the analysis of corrosion data is covered in detail in Guide **G16**. The subject is discussed briefly in this standard to show that statistics have a bearing on the evaluation of pitting data; more detailed information can be obtained from other publications.

6.4.2 The probability that pits will initiate on a metal surface is dependent on a number of factors, such as the pitting tendency of the metal, the corrosivity of the solution, the specimen area, and the time of exposure. A pitting probability test can be conducted to determine the susceptibility of metals to pitting, but it will not provide information about the rate of propagation, and the results are only applicable to the conditions of exposure. The pitting probability ( $P$ ) in % after the exposure of a number of specimens to a particular set of conditions can be expressed as follows (**5, 6**):

$$P = \frac{N_p}{N} \times 100 \quad (2)$$

where:

$N_p$  = number of specimens that pit, and  
 $N$  = total number of specimens.

6.4.3 The relationship between pit depth and area or time of exposure may vary with the environment, the metal exposed, and other variables. The relationships cited in **6.4.3.1** and **6.4.3.2** are examples that have been found to apply under certain exposure conditions.

6.4.3.1 The following relationship was found between the maximum pit depth ( $D$ ) and the area ( $A$ ) of a pipeline exposed to soil (**7, 8, 9**):

$$D = bA^a \quad (3)$$

where  $a$  and  $b > 0$ , and  $a$  and  $b$  are constants that were derived from the slope and the y-intercept of a straight line curve obtained when the logarithms of the mean pit depth for

successively increasing areas on the pipe were plotted against the logarithms of the corresponding areas. The dependence on area is attributed to the increased chance for the deepest pit to be found when the size of the sample of pits is increased through an increased area of corroded surface.

6.4.3.2 The maximum pit depth ( $D$ ) of aluminum exposed to various waters was found to vary as the cube root of time ( $t$ ), as shown in the following relationship (**5, 10**):

$$D = Kt^{1/3} \quad (4)$$

$K$  is a constant that is a function of the composition of the water and alloy. This relationship has been found to apply to several aluminum alloys exposed to different waters.

6.4.4 Extreme value probability statistics (**11, 12**) have been applied successfully to maximum pit depth data to estimate the maximum pit depth of a large area of material on the basis of examination of a small portion of that area (**3, 5, 10**). The procedure is to measure maximum pit depths on several replicate specimens that have pitted, and then arrange the pit depth values in order of increasing rank. A plotting position for each order of ranking is obtained by substituting in the relation,  $M/(n+1)$ , where  $M$  = order of ranking, and  $n$  = total number of specimens or values. For example, the plotting position for the second value out of 10 would be  $2/(10+1) = 0.1818$ . These values are plotted on the ordinate of extreme value probability paper versus their respective maximum pit depths. If a straight line is obtained, it shows that extreme value statistics apply. Extrapolation of the straight line can be used to determine the probability that a specific depth will occur or the number of observations that must be made to find a particular pit depth.

6.5 *Loss in Mechanical Properties*—If pitting is the predominant form of corrosion and the density of pitting is relatively high, the change in a mechanical property may be used advantageously to evaluate the degree of pitting. Typical properties that are considered for this purpose are tensile strength, elongation, fatigue strength, impact resistance, and burst pressure (**13, 14**).

6.5.1 The precautions that must be taken in the application of these mechanical test procedures are covered in most standard methods, but it must be stressed that it is important to use as nearly replicate specimens as possible for both the exposed and unexposed specimens. Thus, consideration should be given to edge effects, direction of rolling, surface conditions, and so forth.

6.5.2 Representative specimens of the metal are exposed to the same conditions except for the corrosive environment. The mechanical properties of the exposed and unexposed specimens are measured after the exposure; the difference between the two results is attributed to corrosion.

6.5.3 Some of these methods are more properly suited to the evaluation of other forms of localized corrosion, such as intergranular or stress corrosion, so their limitations must be considered. The often erratic nature of pitting and the location of pits on the specimen can affect results. In some cases the change in mechanical properties due to pitting may be too small to provide meaningful results. Probably one of the most difficult problems is to separate the effects due to pitting from those caused by some other form of corrosion.

**7. Report**

7.1 The report should include as much detailed information as possible, such as the following:

- 7.1.1 Metallurgical treatment of the metal, surface preparation, and final surface finish before exposure to test,
- 7.1.2 Environmental conditions and duration of exposure,
- 7.1.3 Appearance of the corroded surface before and after cleaning,
- 7.1.4 Identification of corrosion products,
- 7.1.5 Characterization of pits to include: size, shape, density, uniformity of distribution, depth (average and

maximum), and location of pits with reference to microstructure, face, edge, crevice, and so forth,

- 7.1.6 Change in mechanical properties as the result of corrosion, and the method by which determined, and
- 7.1.7 Statistical information.

**8. Keywords**

8.1 metallographic inspection; pit density; pit depth; pit morphology; pitting corrosion; visual inspection

**ANNEX**

**(Mandatory Information)**

**A1. REPEATABILITY OF MICROSCOPICAL PIT DEPTH MEASUREMENTS**

A1.1 Repeatability of pit depth measurements on a single pit at four magnifications is shown in [Table A1.1](#).

A1.2 The data in [Table A1.1](#) indicate that as the magnification was increased (that is, from 65 to 370×), the average pit depth that was measured decreased from 0.174 mm to 0.151 mm. Repeatability of measurement improved with magnification, and, as will be shown in [A1.3](#), accuracy also showed marked improvement.

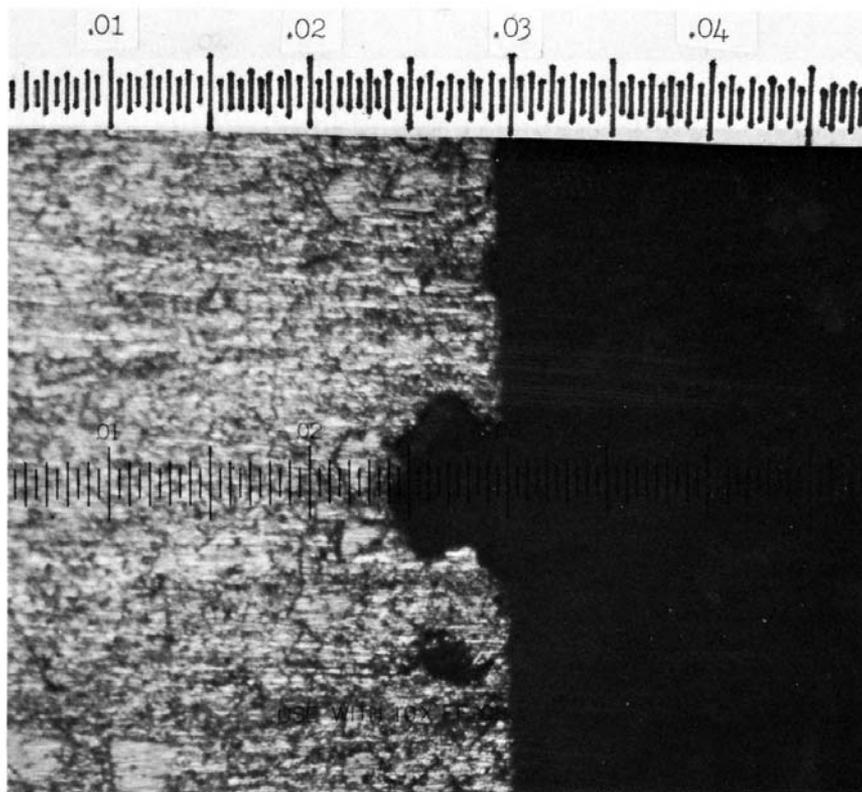
A1.3 The pit used for the measurements in [Table A1.1](#) was cross sectioned and photographed at 100× through a micro-

scope with a micrometer reticle. As shown in [Fig. A1.1](#), the depth measured in cross section is 0.152 mm. This result is in excellent agreement with that found under high magnification, and shown in [Table A1.1](#).

A1.4 Pit depth measurements have been made over the range from 0.04 to 0.34 mm. The only limitation to this method is that associated with the range of movement of the calibrated focusing knob on the microscope.

**TABLE A1.1 Microscopical Pit Depth Measurements**

Magnification	Pit Depth, mm
65	0.183
	0.159
	0.179
	0.174avg
132	0.159
	0.160
	0.155
	0.159avg
200	0.149
	0.157
	0.150
	0.153avg
370	0.151
	0.151
	0.152
	0.151avg



NOTE 1—Use with 10× F.F. Objective.

FIG. A1.1 Cross Section of Pit Used for Depth Measurements in Table A1 (Each Scale Division Equals 0.0005 in. (13 μm))

## REFERENCES

- (1) Mock, J. A., "A Guide to Nondestructive Testing," *Materials Engineering*, Vol 69, June 1969, p. 60.
- (2) Bengough, G. D. and Wormwell, F., Special Report for Corrosion Committee, *Iron and Steel Institute*, Vol 3, 1935, p. 168.
- (3) Champion, F. A., *Corrosion Testing Procedures*, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, NY, 1965, p. 205.
- (4) Thornhill, R. S., *Journal of the Iron and Steel Institute*, Vol 146, 1942, p. 90P.
- (5) Pathak, B. R., "Testing in Fresh Waters," *Handbook on Corrosion Testing and Evaluation*, W. H. Ailor, ed., John Wiley & Sons, New York, NY, 1971, p. 553.
- (6) Aziz, P. M., and Godard, H. P., "Influence of Specimen Area on the Pitting Probability of Aluminum," *Journal of the Electrochemical Society*, Vol 102, October 1955, p. 577.
- (7) Scott, G. N., "Adjustment of Soil Corrosion Pit Depth Measurements for Size of Sample," *Proceedings of the American Petroleum Institute*, Section IV, Vol 14, 1934, p. 204.
- (8) Romanoff, M., *Underground Corrosion*, National Bureau of Standards Circular 579, Washington, DC: U.S. Govt. Printing Office, 1957, p. 71.
- (9) Denison, I. A., "Soil Exposure Tests," *Corrosion Handbook*, H. H. Uhlig, ed., John Wiley & Sons, New York, NY, 1948, p. 1048.
- (10) Godard, H. P., "The Corrosion Behavior of Aluminum in Natural Waters," *Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol 38, October 1960, p. 1671.
- (11) Gumbel, E. J., *Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications*, U. S. Dept. of Commerce Applied Mathematics Series 33, 1954.
- (12) Aziz, P. M., "Application of the Statistical Theory of Extreme Values to the Analysis of Maximum Pit Depth Data for Aluminum," *Corrosion*, Vol 12, October 1956, p. 495t.
- (13) Summerson, T. J., Pryor, M. J., Keir, D. S., and Hogan, R. J., "Pit Depth Measurements as a Means of Evaluating the Corrosion Resistance of Aluminum in Sea Water," *Metals, ASTM STP 196*, ASTM, 1957, p. 157.
- (14) Baboian, R., "Corrosion Resistant High Strength Clad Metal System for Hydraulic Brake Line Tubing," *SAE Preprint No. 740290*, Detroit, MI, 1972.

 **G46 – 94 (2013)**

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website ([www.astm.org/COPYRIGHT/](http://www.astm.org/COPYRIGHT/)).*

**ANEXOS C**

**INFORMES**

**ANEXO C1**  
**INFORMES DE CORROSIÓN**

## LABORATORIO DE ENSAYOS CLIMATICOS Y TRATAMIENTOS TERMICOS

### ENSAYO DE NIEBLA SALINA ACÉTICA

**INFORME N°: UTA- ETT- M LARA – 01**

**Especificación del producto:** INEN 954:1984.

**Método de ensayo:** NTE INEN 1174:2013.

**Evaluación de la conformidad:** NTE INEN 1176:2013.

**Empresa / Cliente:** Ing. Mario Lara.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 01 de Noviembre de 2016.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 01 de Noviembre de 2016.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en materiales con recubrimiento. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio Ensayos climático y tratamiento térmicos del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

#### Descripción del recubrimiento o producto ensayado:

<b>Tipo de recubrimiento</b>	Recubrimiento electrolítico de Níquel + Cromo sobre acero.
<b>Dimensiones de la probeta</b>	Las dimensiones y forma de las probetas son acordadas entre el cliente y el C.F.P.M.C.
<b>Características del recubrimiento</b>	Níquel + cromo.
<b>Número de probetas</b>	5

#### Configuración del ensayo:

**Tipo de Ensayo:** Ensayo de niebla salina acética.

#### Solución de ensayo:

Cloruro sódico contiene: < 0,001% de Cu, < 0,001% de Ni, < 0,1% de NaI y < 0,5% de impurezas totales máximas, calculado respecto al residuo seco.

Ácido acético glacial al 95% de concentración tipo reactivo para análisis.

Agua destilada.

**Concentración de cloruro sódico:** (50 ± 5) g/l

**Cantidad de ácido acético glacial:** 10 ml (RG- TT -004)

**pH de la solución:** 3,0 - 3,1

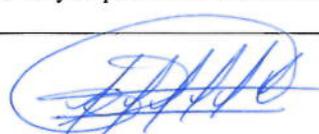
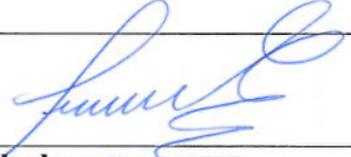
**Duración del ensayo:** 8 horas

**Temperatura del ensayo:** (35 ± 2) °C

**Cambios en la posición de las probetas:** No

**Colocación de las probetas:** Las probetas se colocan en el interior de la cámara de ensayo en una posición tal que mantienen un ángulo entre 15° y 25° respecto a la vertical.

**Limpieza de las probetas:** Una vez realizado el ensayo y antes de su evaluación las probetas se lavan con agua de red y se pulverizan con aire a presión.

	
<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Inspector ASNT VT Certificado N°: AD-NDT-4994	Inspector ASNT VT Certificado N°: AD-NDT-4993

**Ambato, 12 de Enero de 2016.**  
**N°. Factura. 001-002-000002072**



### Resultados

Muestra	Identificación de muestra	Tipo de recubrimiento	Evaluación					Resultado del ensayo	
			Manchas, picaduras, rajaduras		Índice de corrosión				
1	UTA-ENSA 01- M LARA -1	Níquel +cromo	SI	NO	X	NO	X	10	Conforme
2	UTA-ENSA 01- M LARA-2	Níquel +cromo	SI	NO	X	NO	X	10	Conforme
3	UTA-ENSA 01- M LARA -3	Níquel +cromo	SI	X	NO	NO		-	No conforme
4	UTA-ENSA 01- M LARA-4	Níquel +cromo	SI	NO	X	NO	X	10	Conforme
5	UTA-ENSA 01- M LARA-5	Níquel +cromo	SI	X	NO	NO		-	No conforme

**Comentario:** Para la presentación de resultados la evaluación de probetas se realiza con la norma INEN 954:1984, además se evalúa la conformidad del producto basado en el índice de corrosión está función en la norma NTE INEN 1176:2013.

## LABORATORIO DE ENSAYOS CLIMATICOS Y TRATAMIENTOS TERMICOS

### ENSAYO DE NIEBLA SALINA ACÉTICA

**INFORME N°: UTA- ETT- M LARA – 02**

**Especificación del producto:** INEN 955:1984.  
**Método de ensayo:** NTE INEN 1174:2013.  
**Evaluación de la conformidad:** NTE INEN 1176:2013.  
**Empresa / Cliente:** Ing. Mario Lara.  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 05 de Diciembre de 2016.  
**Fecha de Finalización de Ensayo:** 05 de Diciembre de 2016.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en materiales con recubrimiento. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio Ensayos climático y tratamiento térmicos del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

#### Descripción del recubrimiento o producto ensayado:

<b>Tipo de recubrimiento</b>	Recubrimiento electrolítico de Cobre + Níquel + Cromo sobre acero.
<b>Dimensiones de la probeta</b>	Las dimensiones y forma de las probetas son acordadas entre el cliente y le C.F.P.M.C.
<b>Características del recubrimiento</b>	Cobre + níquel + cromo.
<b>Número de probetas</b>	5

#### Configuración del ensayo:

**Tipo de Ensayo:** Ensayo de niebla salina acética.

#### Solución de ensayo:

Cloruro sódico contiene: < 0,001% de Cu, < 0,001% de Ni, < 0,1% de NaI y < 0,5% de impurezas totales máximas, calculado respecto al residuo seco.

Ácido acético glacial al 95% de concentración tipo reactivo para análisis.

Agua destilada.

**Concentración de cloruro sódico:** (50 ± 5) g/l

**Cantidad de ácido acético glacial:** 10 ml

**pH de la solución:** 3,0 - 3,1

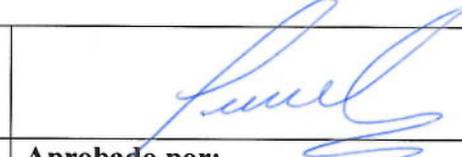
**Duración del ensayo:** 8 horas

**Temperatura del ensayo:** (35 ± 2) °C

**Cambios en la posición de las probetas:** No

**Colocación de las probetas:** Las probetas se colocan en el interior de la cámara de ensayo en una posición tal que mantienen un ángulo entre 15° y 25° respecto a la vertical.

**Limpieza de las probetas:** Una vez realizado el ensayo y antes de su evaluación las probetas se lavan con agua de red y se pulverizan con aire a presión.

	
<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Inspector ASNT VT Certificado N°: AD-NDT-4994	Inspector ASNT VT Certificado N°: AD-NDT-4993

**Ambato, 12 de Enero de 2017.**  
**N°. Factura. 001-002-000002072**



## Resultados

Muestra	Identificación de muestra	Tipo de recubrimiento	Evaluación			Índice de corrosión	Resultado del ensayo
			Manchas, picaduras, rajaduras				
6	UTA-ECM 02- M LARA -1	Cobre + níquel +cromo	SI	NO	X	10	Conforme
7	UTA-ECM 02- M LARA-2	Cobre + níquel +cromo	SI	NO	X	10	Conforme
8	UTA-ECM 02- M LARA -3	Cobre + níquel +cromo	SI	NO	X	10	Conforme
9	UTA-ECM 02- M LARA-4	Cobre + níquel +cromo	SI	NO	X	10	Conforme
10	UTA-ECM 02- M LARA-5	Cobre + níquel +cromo	SI	NO	X	10	Conforme

**Comentario:** Para la presentación de resultados la evaluación de probetas se realiza con la norma INEN 955:1984, además se evalúa la conformidad del producto basado en el índice de corrosión está función en la norma NTE INEN 1176:2013.

**ANEXO C2**

**INFORME DE ADHERENCIA Y DUREZA**

**GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO**

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
Maestría en diseño mecánico		

PRÁCTICA N°	LABORATORIO DE:	Materiales	DURACIÓN (HORAS)
1	TEMA:	ADHERENCIA Y DUREZA DE LOS RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES	2

**1 OBJETIVO**

- Medir la dureza y la adherencia de la capa cromada sobre la superficie de los aros de buses.

**2 INSTRUCCIONES**
**A. EQUIPO Y MATERIALES NECESARIOS**

- Durómetro
- Cortador de trama cruzada ELCOMETR 107
- Probetas de los aros
- Cinta adhesiva ASTM D 3359 – D
- Lupa
- Manual de operación

**B. TRABAJO PREPARATORIO**

Revisar manual de operación.

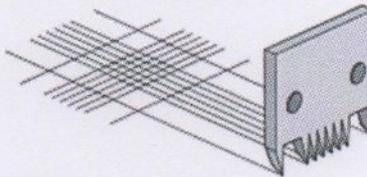
**3 ACTIVIDADES A DESARROLLAR**

## Procedimiento

1. Colocar el filo de corte sobre la muestra.
2. Presione con fuerza y tire hacia atrás con movimiento continuo asegurándose que atraviesa el revestimiento y llega al sustrato
3. Colocar el filo de corte con un ángulo de  $90^{\circ}$  con respecto al anterior y realizar el corte similar al paso dos tratando de crear una trama cruzada.
4. Limpiar con una brocha los residuos e inspeccionar que los cortes han atravesado.
5. Cortar un trozo de cinta ASTM de aproximadamente 75 mm y pegar sobre el entramado, asegurándose que este bien adherida.
6. Luego de que transcurra 90 segundos más o menos retirar la cinta con movimiento suave a un ángulo de  $180^{\circ}$  con respecto a la superficie del revestimiento.
7. Evaluar la adherencia comparando el entramado del corte con la tabla estándar ASTM.



Esposor de capa	Separación de cuchillas
0 - 60 $\mu\text{m}$	1 mm
60 - 120 $\mu\text{m}$	2 mm
> 120 $\mu\text{m}$	3 mm



- 8.- Utilizando el durómetro
- 9.- Medir la dureza Rockwell C de las probetas
- 10.- Transformar la dureza Rockwell C a Vickers



**4 RESULTADOS OBTENIDOS**

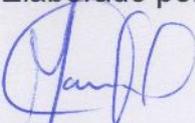
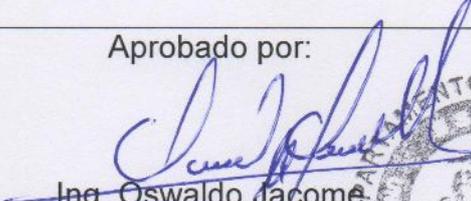
PROBETAS	ADHERENCIA ASTM	% DE ADHERENCIA	DUREZA Hv
1	5B	100	960
2	5B	100	940
3	5B	100	980
4	5B	100	940
5	5B	100	960

**5 CONCLUSIONES**

- Se ha comprobado que la adherencia es el 100%
- El promedio de la dureza es 956 Hv

**6 RECOMENDACIONES**

Latacunga, 30 de noviembre del 2016

<p>Elaborado por:</p>  <p>Ing. Mario Lara</p>	<p>Aprobado por:</p>  <p>Ing. Oswaldo Jacome Jefe de Laboratorio</p>
--	--



**ANEXO D**

**MANUAL ELCOMETER 107**

# Guía del usuario

## Elcometer 107

Medidor de adherencia por trama cruzada

## CONTENIDO

---

- es
- 1 Descripción general del medidor
  - 2 Contenido de la caja
  - 3 Introducción
  - 4 Procedimiento de prueba
  - 5 Evaluación de los resultados
  - 6 Repuestos y accesorios
  - 7 Declaración de garantía
  - 8 Especificaciones técnicas



Para despejar cualquier duda, consulte la versión original en inglés.

Dimensiones del medidor: 165 x 30 x 45mm (6,5 x 1,2 x 1,8 pulgadas)

Peso del medidor: 370 g (13 onzas)

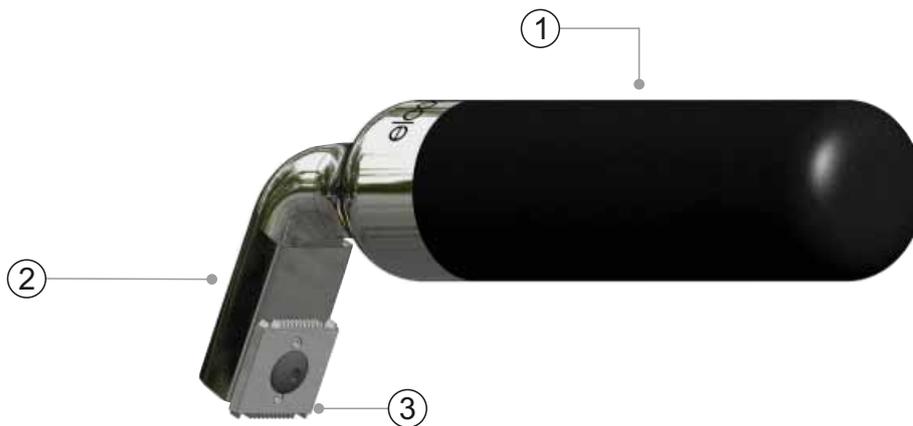
elcometer® es una marca comercial registrada de Elcometer Limited, Edge Lane, Manchester, M43 6BU.  
Reino Unido

Todas las demás marcas comerciales se dan por reconocidas.

© Elcometer Limited 2009-2015. Todos los derechos reservados. Este documento ni ningún fragmento del mismo pueden reproducirse, transmitirse, transcribirse, almacenarse (en un sistema de recuperación o de otro tipo) ni traducirse a ningún idioma, en ningún formato ni por ningún medio (ya sea electrónico, mecánico, magnético, óptico, manual o de otro tipo) sin permiso previo y por escrito de Elcometer Limited.

## 1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MEDIDOR

---



- 1 Asa del cortador de trama cruzada
- 2 Cabezal de cortador
- 3 Cuchilla de cortador

## 2 CONTENIDO DE LA CAJA

---

Contenido del kit básico de Elcometer 107:

- Medidor de adherencia por trama cruzada Elcometer 107
- Cortador de trama cruzada;  
6 x 1 mm, 6 x 2 mm, 6 x 3 mm, 11 x 1 mm o 11 x 1,5 mm
- Llave hexagonal; 2,5 mm
- Estuche de transporte
- Certificado de calibración (si se solicita)
- Guía del usuario

Contenido del kit completo de Elcometer 107:

Todos los artículos enumerados en el contenido del kit básico de Elcometer 107 más:

- Cinta adhesiva; ISO o ASTM (1 rollo)
- Brocha de trama cruzada
- Lupa de 3 aumentos

### 3 INTRODUCCIÓN

es

#### 3.1 SELECCIÓN DE LA CUCHILLA DEL CORTADOR ADECUADA

La cuchilla del cortador se selecciona en función del tipo de sustrato, del espesor del revestimiento y del método de prueba empleado; consulte la siguiente tabla.

Espesor del revestimiento		Método de prueba		
µm	mils	ASTM (Sustratos metálicos)	ISO/JIS (Sustratos duros)	ISO/JIS (Sustratos blandos)
0 - 50	0 - 2	11 x 1mm		
50 - 125	2 - 5	6 x 2mm	-	-
0 - 60	-	-	6 x 1mm	6 x 2mm
61 - 120	-	-	6 x 2mm	6 x 2mm
121 - 250	-	-	6 x 3mm	6 x 3mm

#### 3.2 COLOCACIÓN DE LA CUCHILLA DEL CORTADOR DE TRAMA CRUZADA

El Elcometer 107 se suministra con una cuchilla de cortador. Hay disponibles diferentes tamaños de cuchilla de cortador; consulte la sección 6.1, 'Cuchillas del cortador de trama cruzada', en la página 8; todas ellas pueden colocarse en el medidor de adherencia.

##### Para colocar un cortador:

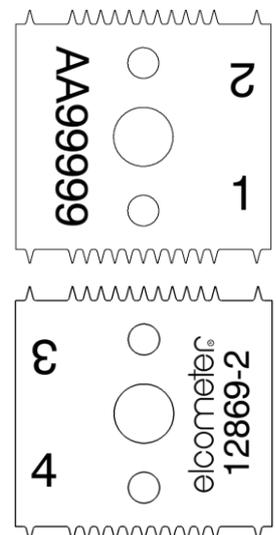
- 1 Utilice la llave hexagonal suministrada para extraer el tornillo que fija el cortador girando en sentido antihorario.
- 2 Extraiga el cortador existente (si hay uno instalado) y coloque el nuevo cortador.
- 3 Vuelva a colocar y apriete el tornillo que fija el cortador.

#### 3.3 CAMBIO DEL FILO DE CORTE

Cada cuchilla del cortador de trama cruzada dispone de un total de 4 filos de corte etiquetados del 1 al 4.

Cuando se desgaste un filo de corte, simplemente gire la cuchilla de corte 180° para utilizar el siguiente filo de corte de ese lado. Repita la operación hasta que se hayan desgastado ambos filos de corte.

Retire la cuchilla de corte, dele la vuelta y vuelva a colocarla (consulte la sección 3.2) para utilizar los filos de corte del otro lado.



*Nota: El estándar ISO/JIS recomienda sustituir la herramienta de corte cuando la parte superior de las cuchillas se haya aplanado a 0,1 mm.*

## 4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

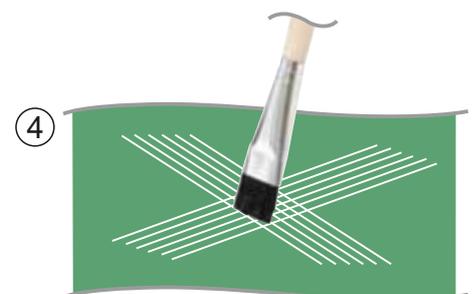
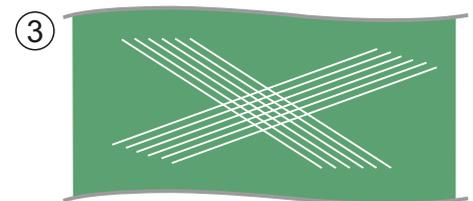
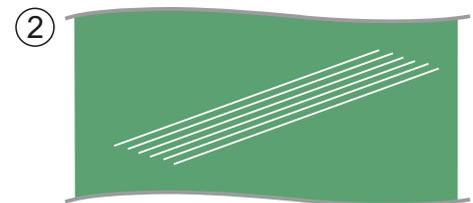
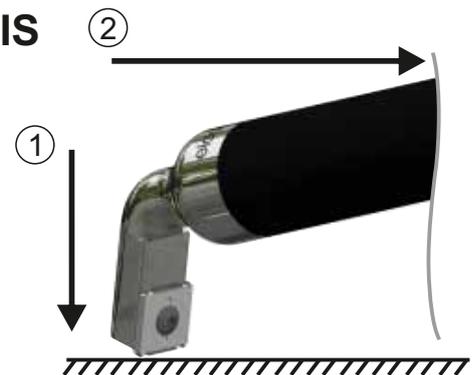
El Elcometer 107 puede utilizarse conforme a las normas ISO/JIS y ASTM. El procedimiento de prueba depende del estándar utilizado.

### 4.1 ANTES DE COMENZAR

- 1 Seleccione y coloque la cuchilla de cortador que resulte adecuada para el método de prueba -consulte las secciones 3.1 y 3.2 en la página 3.
- 2 Seleccione la cinta adhesiva adecuada - consulte la sección 6.2 en la página 9.

### 4.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: ISO/JIS

- 1 Coloque el filo de corte sobre la muestra.
- 2 Presione suavemente y tire del medidor de adherencia hacia usted en un movimiento continuo para realizar una serie de cortes paralelos de aproximadamente 20 mm de longitud. Aplique la presión suficiente para asegurarse de que atraviesa el revestimiento y llega a la superficie del sustrato.
  - ▶ Si el sustrato es madera o un material similar, realice los cortes a un ángulo de 45° con respecto a la dirección de la veta.
- 3 Coloque el filo de corte sobre la herramienta de muestra a un ángulo de 90° con respecto al primer corte y repita el paso 2 para crear un patrón de entramado en el revestimiento.
- 4 Cepille ligeramente la muestra varias veces, hacia delante y hacia atrás, a lo largo de las diagonales del entramado para retirar los residuos.
  - ▶ Con el kit completo de Elcometer 107 se suministra de serie una brocha, que también puede adquirirse como accesorio opcional; consulte la sección 6.3, 'Repuestos y accesorios diversos', en la página 9.
- 5 Inspeccione la muestra para asegurarse de que los cortes han penetrado hasta atravesar completamente el revestimiento.



## 4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA (continuación)

**es** Si el sustrato es blando, continúe con el paso 10. Si el sustrato es duro o madera, continúe con el paso 6.

6 Despegue y deseche dos giros completos de cinta adhesiva. Despegue otro giro más de cinta a una velocidad constante y corte un trozo de aproximadamente 75 mm de longitud.

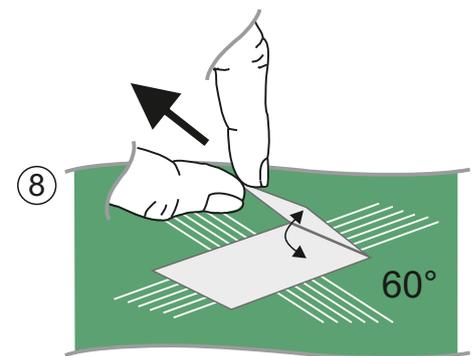
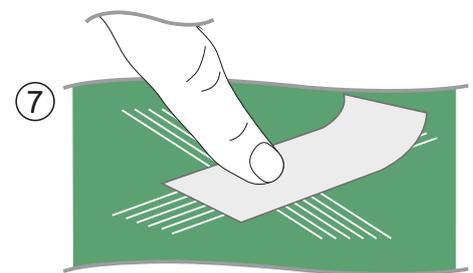
7 Centre el trozo de cinta cortado sobre el entramado y colóquelo suavemente con un dedo. Apriete la cinta firmemente con una uña o con la yema del dedo para asegurar una buena adherencia entre la cinta y el revestimiento.

8 Antes de que transcurran 5 minutos desde la aplicación de la cinta, retire la cinta tirando en un único movimiento suave de entre medio segundo y un segundo y a un ángulo de 60° con respecto a la superficie.

9 Para mantener un registro permanente de la prueba, conserve la cinta pegándola a una película transparente.

10 Evalúe la adherencia del revestimiento examinando el entramado de cortes con buena luz. Si se ha acordado así, utilice una lupa para facilitar el examen. Compare el entramado de cortes con la tabla de estándares ISO/JIS que se muestra en la sección 5, 'Evaluación de los resultados', en la página 7.

- ▶ Con el kit completo de Elcometer 107 se suministra de serie una lupa, que también puede adquirirse como accesorio opcional; consulte la sección 6.3, 'Repuestos y accesorios diversos', en la página 9.

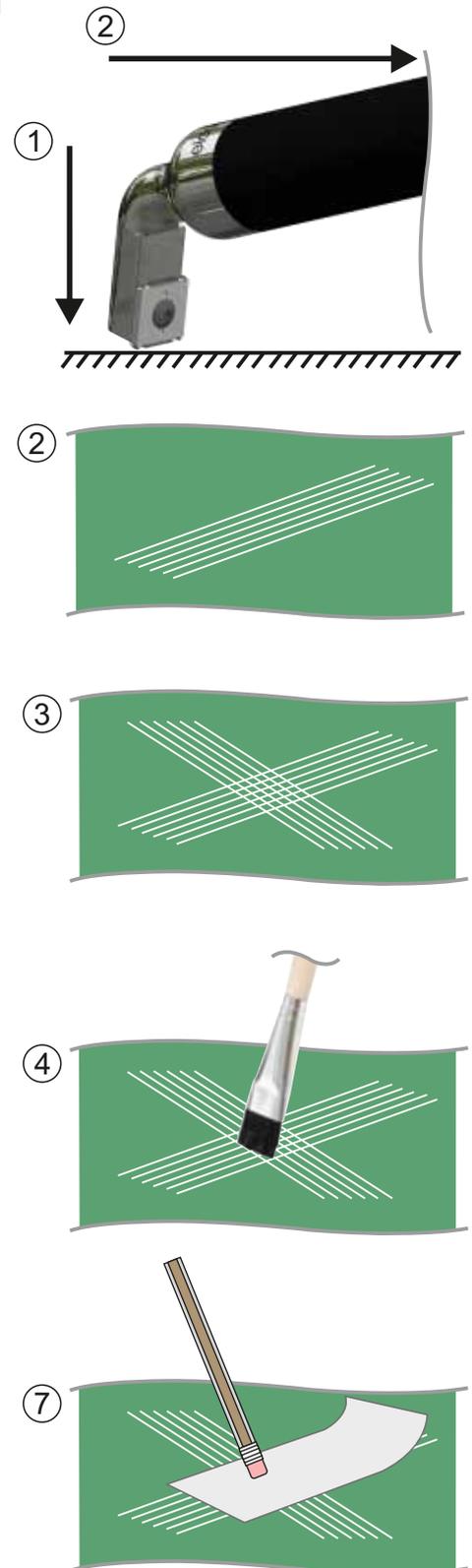


*Nota: Consulte el estándar correspondiente para obtener información completa sobre el método de prueba.*

## 4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA (continuación)

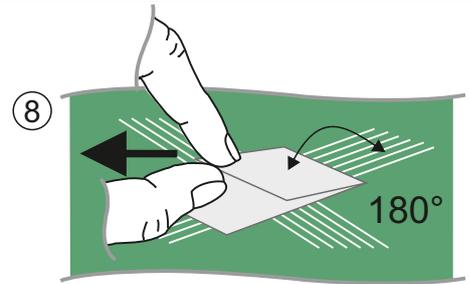
### 4.3 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA: ASTM

- 1 Coloque el filo de corte sobre la muestra.
- 2 Presione suavemente y tire del medidor de adherencia hacia usted en un movimiento continuo para realizar una serie de cortes paralelos de aproximadamente 20 mm de longitud. Aplique la presión suficiente para asegurarse de que atraviesa el revestimiento y llega a la superficie del sustrato.
- 3 Coloque el filo de corte sobre la muestra a un ángulo de 90° con respecto al primer corte y repita el paso 2 para crear un patrón de entramado en el revestimiento.
- 4 Cepille la muestra ligeramente para retirar los restos de revestimiento.
  - ▶ Con el kit completo de Elcometer 107 se suministra de serie una brocha, que también puede adquirirse como accesorio opcional; consulte la sección 6.3, 'Repuestos y accesorios diversos', en la página 9.
- 5 Inspeccione la muestra para asegurarse de que los cortes han penetrado hasta atravesar completamente el revestimiento.
- 6 Despegue y deseche dos giros completos de cinta adhesiva. Despegue otro giro más de cinta a una velocidad constante y corte un trozo de aproximadamente 75 mm de longitud.
- 7 Centre el trozo de cinta cortado sobre el entramado y colóquelo suavemente con un dedo. Apriete la cinta firmemente con la goma de borrar del extremo de un lápiz para asegurar una buena adherencia entre la cinta y el revestimiento.



## 4 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA (continuación)

es 8 Antes de que transcurran 90 segundos ( $\pm 30$  segundos) desde la aplicación de la cinta, retire la cinta tirando en un único movimiento suave a un ángulo de  $180^\circ$  con respecto a la superficie del revestimiento.



9 Evalúe la adherencia del revestimiento examinando el entramado de cortes con una lupa iluminada. Compare el entramado de cortes con la tabla de estándares ASTM que se muestra en la sección 5, 'Evaluación de los resultados', en la página 7.

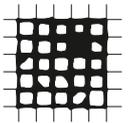
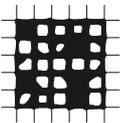
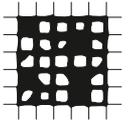
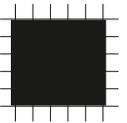
*Nota: Consulte el estándar correspondiente para obtener información completa sobre el método de prueba.*

## 5 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Las clasificaciones ISO/JIS y ASTM se reproducen en la siguiente tabla; no obstante, recomendamos obtener una copia de la versión más reciente de estos estándares.

Aspecto de ejemplo		Descripción	Clasificación	
Retirada mínima	Retirada máxima		ISO/JIS	ASTM
		Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado.	0	5B
		Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%.	1	4B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%.	2	3B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%.	3	2B

## 5 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS (continuación)

Aspecto de ejemplo		Descripción	Clasificación	
Retirada mínima	Retirada máxima		ISO/JIS	ASTM
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos cuadrados se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%.	4	1B
		Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B	5	0B

## 6 REPUESTOS Y ACCESORIOS

### 6.1 CUCHILLAS DE CORTADOR

El Elcometer 107 se suministra con una cuchilla de cortador. Hay disponibles diversas cuchillas de cortador para diferentes tipos de sustratos y espesores de revestimiento que deben utilizarse con arreglo a los diferentes métodos de prueba y estándares internacionales.

Las cuchillas del cortador son intercambiables y están disponibles con o sin certificado de calibración.

Cuchilla de cortador	Adecuada para el método de prueba			Número de pieza	
	ISO/JIS	ASTM	AS	Sin Certificado	Con Certificado
6 x 1mm	✓	✓		T99913700-1	T99913700-1C
6 x 2mm	✓	✓	✓	T99913700-4	T99913700-4C
6 x 3mm	✓			T99913700-5	T99913700-5C
11 x 1mm			✓	T99913700-2	T99913700-2C
11 x 1,5mm	✓			T99913700-3	T99913700-3C

## 6 REPUESTOS Y ACCESORIOS (continuación)

es

### 6.2 CINTA ADHESIVA

Los kits completos de Elcometer 107 se suministran con un rollo de cinta. No se suministra cinta con los kits básicos.

La cinta adecuada para los métodos de prueba ISO/JIS y ASTM puede adquirirse en rollos independientes o en paquetes de dos rollos, empleando los números de pieza que se indican a continuación.

Descripción	Adecuada para el método de prueba		Número de pieza	
	ISO/JIS	ASTM	1 Rollo	2 Rollos
Cinta adhesiva	✓		K0001539M002	T9999358-
Cinta adhesiva		✓	K0001539M001	T9998894-

### 6.3 REPUESTOS Y ACCESORIOS DIVERSOS

Los siguientes repuestos y accesorios pueden adquirirse de Elcometer o de su suministrador local de productos Elcometer.

Descripción	Número de pieza
Brocha de trama cruzada <sup>a</sup>	T99913357
Lupa de 3 aumentos <sup>a</sup>	T10713356
Lupa de 10 aumentos	KT1542N002

## 7 DECLARACIÓN DE GARANTÍA

El medidor de adherencia por trama cruzada Elcometer 107 se suministra con una garantía de un año para defectos de fabricación que excluye contaminación y desgaste.

Las cuchillas del cortador se suministran con una garantía de 3 meses para defectos de fabricación que excluye contaminación y desgaste.

<sup>a</sup> Se suministra de serie con el kit completo de Elcometer 107.

## 8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Cuchilla de cortador	6 x 1mm	6 x 2mm	6 x 3mm	11 x 1mm	11 x 1,5mm
Rango de espesor de revestimiento	0-60µm (0-2,4mils)	50-125µm (2-5mils)	121-250µm (4,8-9,8mils)	0-50µm (0-2mils)	-
Dimensiones del medidor	165 x 30 x 45mm (6,5 x 1,2 x 1,8 pulgadas)				
Peso del medidor	370 g (13 onzas)				
Cumple las siguientes normas: AS 3894.9, AS 1580.408.4, ASTM D 3359-B, BS-3900-E6, ECCA T6, EN 13523-6, ISO 2409, ISO 16276-2, JIS K 5600-5-6, NF T30-038					

**ANEXO E**

**PAPER**

# Estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas INEN, y su incidencia en la adherencia superficial.

## "STUDY OF METALLIC CHROME IN ROOF SURFACES FOR BUSES UNDER INEN STANDARDS, AND ITS INCIDENCE IN SURFACE ADHERENCE"

Mario Lara Núñez  
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
Universidad Técnica de Ambato  
Av. Los Chasquis y Río Payamino  
Ambato, Ecuador  
mariol874@hotmail.com

Segundo Espín Lagos  
Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
Universidad Técnica de Ambato  
Av. Los Chasquis y Río Payamino  
Ambato, Ecuador  
sespin@uta.edu.ec

**Resumen:** La presente investigación tiene por objetivo realizar el estudio del cromado metálico en superficies de aros para buses bajo normas INEN, y su incidencia en la adherencia superficial, para lo cual la investigación fue de modalidad experimental, variando parámetros del proceso de recubrimiento, como: El tiempo, la temperatura y el voltaje, para determinar las propiedades de adherencia, dureza y espesor de capa, donde se pudo obtener que el parámetro óptimo para un proceso de níquel + cromo es de 60 min. 40°C y 7V. Por los resultados obtenidos de los experimentos de resistencia a la corrosión se determinó que es baja y es por esta razón que se plantea la propuesta para adicionar una capa de cobreado alcalino y de esta manera tener un recubrimiento de tres capas, de cobre + níquel + cromo.

**Palabras clave:** Cromado metálico, adherencia.

**Abstract:** The main objective of this research is to study the metallic chromium on bushing surfaces under INEN standards, and its incidence on surface adhesion, the research was carried out on experimental modality, varying parameters of the coating process, such as: Time, temperature and voltage, to determine the properties of adhesion, hardness and layer thickness, the optimal parameter for a nickel + chromium process was obtained at 60 min. 40°C and 7V. From the results obtained from the corrosion resistance experiments it was determined that it is low and for this reason the proposal is put forward to add an alkaline copper layer and in this way to have a coating of three layers, copper + nickel + chromium.

**Key words:** Metallic chromium, adhesion.

### I. INTRODUCCIÓN

El creciente uso del recubrimiento metálico sobre la superficie de los aros para buses, como lo es el cromado electrolítico y su finalidad de protección y embellecimiento del metal base, nos permite hacer un estudio sobre su adherencia. La misma que se sustenta en algunas investigaciones como: Obtención de un recubrimiento de cromo decorativo a partir de soluciones de

cromo trivalente [1], Efecto de la temperatura del electrolito sobre la resistencia a corrosión de recubrimientos de nitruro de cromo, cromo duro y pinturas tipo epoxy [2]. Caracterización de residuos sólidos a partir de procesos galvánicos para una evaluación económica ambiental [3]. Corrosión a alta temperatura de los recubrimientos metálicos NiCr y NiCrBSiFe depositados mediante proyección térmica [4]. Fallas en recubrimientos de cromo duro en barriles de bombas de extracción de petróleo: características y orígenes [5]. Caracterización metalográfica de capas cromadas por difusión [6]. Obtención de un recubrimiento de cromo decorativo a partir de una solución de cromo trivalente [7]. Efecto del Cromo Hexavalente y Trivalente sobre el Crecimiento de Escherichia coli ATCC 35218 [8]. Características físicas del recubrimiento y tipos de cromado [9]. Caracterización superficial, electroquímica y de composición de aleaciones zinc níquel electrodepositadas [10].

Las empresas de nuestro medio que realizan este tipo de recubrimiento utilizan dos capas (Ni + Cr), sin tener una información técnica adecuada sobre la incidencia de este recubrimiento sobre el metal base, por lo que variando los parámetros de trabajo, como el tiempo, temperatura y voltaje aplicado al baño de níquel durante la exposición de este elemento, seguido con las pruebas de laboratorio como las de adherencia, dureza, espesor de capa y resistencia a la corrosión, obtenemos condiciones de trabajo adecuadas para realizar este tipo de recubrimiento.

### II. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. Proceso de cromado electrolítico.

Este proceso se realizó en 15 muestras, variando el tiempo de exposición en baño de níquel de 30, 60 y 90 minutos, bajo la temperatura de trabajo de 30, 35 y 40 °C y el de voltaje de 6, 7 y 8 V.

### ➤ Obtención de los aros y determinación del tipo de material

El punto de partida para el presente estudio fue la obtención del aro, para el análisis de los mismos fueron determinados en base a la marca de buses que más ocupa el mercado nacional como fue el Hino (Anuario de estadística de transporte INEC, 2013).

El material que está compuesto el aro es el acero al carbono SAE- 1026, y su forma está dado por un proceso de conformado en frío.

### ➤ Trazado y obtención de probetas

De acuerdo a la norma INEN 954- 7.1, el tamaño de la muestra se lo decide de acuerdo con las partes interesadas [11], por lo tanto se lo realizó las probetas con una área de 140 cm<sup>2</sup>. El seccionamiento se realizó por medio de un corte plasma, se seleccionó este método porque el calor que produce es puntual y no afecta a las propiedades del material

### ➤ Preparado de las probetas.

El preparado de las probetas consistió en el retiro de la escoria de su contorno y la elaboración de un agujero de un diámetro de  $\frac{1}{4}$ " que nos permitió colocar la ganchera de soporte a los baños electrolíticos.

### ➤ Despintado de las probetas

Por lo general los aros de los buses vienen pintados de color plomo con la finalidad de proteger contra la corrosión y dar una buena apariencia. Cuando deseamos realizar un recubrimiento metálico como el cromado, necesitamos realizar el retiro de la pintura y para este efecto lo quemamos a una temperatura de 350 °C por medio de un quemador a base de GLP (gas licuado de petróleo).

### ➤ Decapado de las probetas

Por el proceso de despintado y por la exposición del acero sin protección a medios ambientales, este tiende a oxidarse y a corroerse por lo que necesitamos hacer una limpieza de las superficies corroídas y para este efecto realizamos el proceso de decapado, que consiste en la inmersión de las probetas en una solución de ácido sulfúrico al 10% con agua, por un lapso de una hora, pudiendo este aumentar dependiendo del grado de corrosión, posteriormente se lo realiza un neutralizado sumergiendo estas piezas en una solución de sosa caustica.

### ➤ Proceso de pulido.

Una vez que se obtuvo las piezas decapadas se procedió a realizar el pulido, que consistió en aplicar presión a la pieza a pulir sobre unos rodillos hechos a base de discos de tela pegados en su periferia material abrasivo, que giran a una velocidad de 3000 rpm, hasta que el elemento presente una superficie homogénea y libre de rayaduras.

### ➤ Desengrase electrolítico

Para eliminar la grasa provenientes de procesos anteriores, se procedió a realizar un desengrase electrolítico, en un baño donde el electrolito fue una solución alcalina a base de detergentes, sosa caustica y carbonato de sodio, la misma que estuvo a una temperatura de 30°C, haciendo de cátodo la pieza y de ánodo la tina, esto se llevó a efecto por un tiempo de 2 a 3 minutos con una aplicación de una tensión de 6 V.

### ➤ Niquelado

Para este efecto primero realizamos un enjuague y activado en una solución de ácido sulfúrico al 10 % de concentración, luego se procedió a realizar el niquelado de las probetas utilizando una celda electrolítica. En este proceso se suspendió las probetas en las barras de agitación para luego ser sumergido en el electrolito, las mismas que en este caso hacen de cátodo. Los ánodos de níquel se colocaron en dos barras de cobre fijas en la parte lateral de la tina. Luego se acciono el sistema por un tiempo de 30 a 90 minutos y con una tensión de 6 a 8 voltios dependiendo del tamaño del elemento y del espesor de capa que se desea, ver tabla 1 y tabla.2.

Tabla 1 Características químicas del baño de níquel.

Características	
Ph	4
Densidad (°B)	21
NiSO <sub>4</sub> 6H <sub>2</sub> O (g/l)	280
NiCl <sub>2</sub> 6H <sub>2</sub> O (g/l)	50
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (g/l)	30
Base (cm <sup>3</sup> /l)	40
Abrillantante (cm <sup>3</sup> /l)	2.5
Antiporo (cm <sup>3</sup> /l)	7

Fuente: (El autor)

Tabla 2 Condiciones de trabajo del baño de níquel.

Condiciones de trabajo	
Voltaje (V)	6 - 8
Tiempo (min)	30 - 90
Temperatura °C	30 - 40
Ánodos	Ni Electrolítico

Fuente: (El autor)

### ➤ Cromado

Luego del niquelado se procedió a realizar el cromado electrolítico que no es más que el depósito de una capa fina de cromo con el fin de proteger de los ambientes corrosivos y dar una mejor apariencia, este proceso se realizó en un baño con las siguientes características, ver tabla.3.

**Tabla 3** Condiciones de trabajo del baño de cromo

Baño de Cromo Decorativo		
Ácido Crómico	250 - 255 g/l	
Densidad de Corriente	3 - 20 A/dm <sup>2</sup>	
Temperatura	18-25 °C	32-40 °C
Aditivo CKA	8 ml / l	15 ml / l
Aditivo CRB	30 ml / l	5 ml / l
Aditivo CRC	2 ml / l	4 ml / l

Fuente: (El autor)

El tiempo de inmersión es mayor a 3 segundos dependiendo del tamaño de la pieza, a una temperatura de 30<sup>0</sup> C con una tensión de 6 a 7 voltios.

### B. Pruebas y ensayos

#### ➤ Pruebas de la adherencia.

La prueba de adherencia es medir la fuerza con la que el revestimiento metálico está fijado a otra superficie también metálica.

Para este efecto nos basamos en la norma INEN 950 – 4.6 que es un método de la cinta adhesiva, la misma que tiene un esfuerzo de unión de 290 a 310 gr/cm<sup>2</sup> [12].

Para obtener los resultados se utilizó un equipo cortador de trama cruzada elcometer 107, que puede hacer la evaluación instantánea de la calidad de unión al sustrato, ideal para revestimientos finos, gruesos o duros sobre todas las superficies, además se utilizó una cinta adhesiva ASTM D 3359 – D.

#### ➤ Procedimiento para medir la prueba de adherencia.

1. Se colocó el filo de corte sobre la muestra.
2. Se presionó con fuerza y se jalo hacia atrás con movimiento continuo asegurándose que atraviesa el revestimiento y llega al sustrato
3. Luego se colocó el filo de corte con un ángulo de 90<sup>0</sup> con respecto al anterior y se realizó el corte similar al paso dos tratando de crear una trama cruzada.
4. Posteriormente se limpió con una brocha los residuos e inspecciono que los cortes hayan atravesado.
5. Se cortó un trozo de cinta ASTM de aproximadamente 75 mm y se pegó sobre el entramado, asegurándose que este bien adherida.
6. Luego de que transcurra 90 segundos más o menos se retiró la cinta con movimiento suave a un ángulo de 180<sup>0</sup> con respecto a la superficie del revestimiento.
7. Se evaluó la adherencia comparando el entramado del corte con la tabla 4.5 estándar ASTM [13].

**Tabla 4.** Tipos de entramado para evaluación de adherencia [13]

Aspectos de ejemplo		Descripción	Clasificación	
Retirada mínima	Retirada máxima		ISO / JIS	AST M
		Los bordes de los cortes están completamente lisos; no se desprende ninguno de los cuadrados del entramado	0	5B
		Desprendimiento de fragmentos del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz no superior al 5%	1	4B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 5% pero no superior al 15%.	2	3B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes total o parcialmente en grandes tiras, y/o se ha descascarillado total o parcialmente en diferentes partes de los cuadrados. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 15% pero no superior al 35%.	3	2B
		El revestimiento se ha descascarillado a lo largo de los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos se han desprendido total o parcialmente. Se ve afectado un área con corte en cruz superior al 35% pero no superior al 65%.	4	1B
		Cualquier grado de descascarillado que no pueda clasificarse incluso con la clasificación 4 o 1B	5	0B

#### ➤ Pruebas de dureza.

Para evaluar la dureza se utilizó el durómetro del laboratorio de materiales de la Universidad de la Fuerzas Armadas (ESPE) Latacunga, con una escala de dureza Vickers y bajo la norma INEN 1058, ver tabla 5. [14]

**Tabla 5.** Escala de dureza del recubrimiento

Condición del recubrimiento	Dureza Vickers (HV)
Recubrimiento sin tratamiento térmico	800 a 1 100 HV
Después de tratamiento térmico a 190-210°C.	800 a 1 100 HV
Después de tratamiento térmico a 440-480°C.	600 HV mínimo

Fuente: (INEN, 1058)

#### ➤ Medicion de espesores.

Para obtener la lectura de los espesores se utilizó el “Medidor de espesor de pintura y recubrimiento metálicos DT-156” que es un calibrador compacto y práctico diseñado para la medición de espesores de recubrimiento no-destructivo, rápido y preciso con rango de medida 0 ~ 1250 µm / 0 ~ 50 mil. En esta fase los espesores se determinan por la norma INEN 954 para índices de servicio 1 cuyo espesor de la capa de níquel es de 10 a 12 µm y la de cromo 0.3 µm, ver tabla 6.

**Tabla 6.** Espesores del recubrimiento ( $\mu\text{m}$ )

1	2	3
Recubrimiento - abreviatura	Espesor mínimo Ni( $\mu\text{m}$ )	Índice de servicio
Sobre acero o función		
Fe/el Ni 10 b Cr 0,3 r (Fe/el Ni 12 b Cr 0,3 r)	10 (12)	1
Fe/el Ni 12 v Cr 0,3 r	20	2
Fe/el Ni 25 d Cr 0,3 mp	25	3
Fe/el Ni 25 d Cr 0,3 mc	25	
Fe/el Ni 30 d Cr 0,8 f	30	
Fe/el Ni 30 de Cr 0,3 r	30	
Fe/el Ni 25 p Cr 0,3 mp	25	

Fuente: (INEN, 954)

➤ **Pruebas de corrosión**

La prueba de corrosión lo realizamos bajo la norma INEN 954 para índices de servicio 1, en la que menciona que el ensayo debe hacerse de acuerdo a la norma NTE INEN 1174: 2013 [15], para la determinación de la resistencia a la corrosión en recubrimientos metálicos, con ensayo de niebla salina acética.

**Tabla 7:** Tiempos de ensayo a la corrosión

Índice de servicio	Ensayo de corrosión – duración de horas		
	Cass	Corrodokote	Ácido acético
1	-	-	8
2	-	-	24
3	16	16	96
4	24	2 X 16	144

Fuente: (INEN, 954)

### III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

#### Resultados

➤ **Adherencia.**

Para el análisis de las pruebas de adherencia se realizó un resumen de todas las pruebas hechas bajo las variables de tiempo, temperatura y tensión de trabajo. Ver tabla 8.

**Tabla 8:** Resumen mediciones de adherencia

ANÁLISIS DE LA ADHERENCIA (%)				
TEMPERATURA	TENSIÓN	TIEMPO		
$^{\circ}\text{C}$	V	30 min	60 min	90 min
30	6	40	72	50,66
30	7	42,66	76	53,33
30	8	60	81,33	60
35	6	56	72	60
35	7	82,66	90,66	80
35	8	65,33	88	88
40	6	80	97,14	89,33
40	7	77,33	84	73,33
40	8	60	90,66	88
<b>PROMEDIO</b>		<b>62,66</b>	<b>83,53</b>	<b>71,40</b>

Fuente: (El autor)

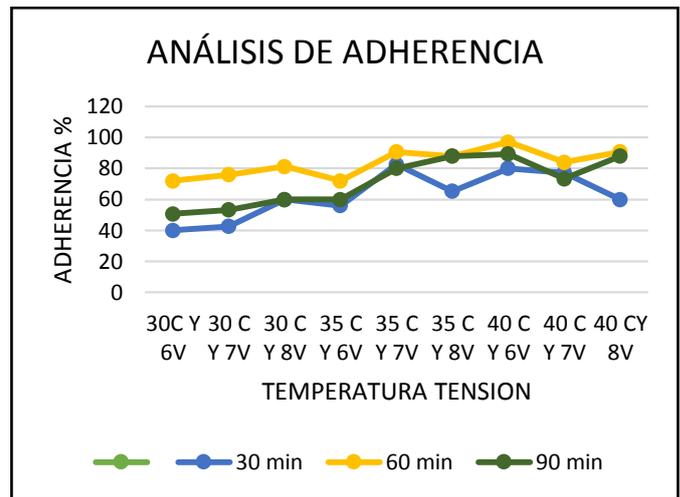


Fig 1. Curvas de análisis de adherencia

En la tabla 8 y en las figuras 1 se observó que el valor que corresponde al parámetro de 60 min, 40 $^{\circ}\text{C}$  Y 6V; es el que está enmarcado bajo la norma INEN 950 es decir tiene un valor de 97.14 % que corresponde a un esfuerzo de adherencia de 301.13 gr/cm $^2$ , algunos otros valores están cerca pero no cumplen con la norma.

➤ **Dureza.**

La dureza es la resistencia a ser rayado o penetrado en su superficie por otro elemento, es por esta razón que debemos analizar esta propiedad en la capa de níquel + cromo del recubrimiento de los aros de buses, ya que los mismos van estar en contacto con agentes externos agresivos como lodos, granillos, piedras, etc. Pero esta propiedad debe estar técnicamente enmarcado en una norma como lo es la INEN 1058 cuyos valores están entre 800 y 1100 Vickers (Hv).

**Tabla 9.** Resumen de mediciones de dureza

ANÁLISIS DE LA DUREZA (Hv)				
TEMPERATURA	TENSIÓN	TIEMPO		
$^{\circ}\text{C}$	V	30 min	60 min	90 min
30	6	1081,46	1084,66	1075,86
30	7	1084,46	1100,8	1035,53
30	8	1062,8	1079,26	1079,8
35	6	896,53	1080,06	1078,8
35	7	917,53	1051,13	1086,86
35	8	1080,86	1129,46	1222,33
40	6	823,33	842,67	932,67
40	7	1107,86	1151,33	1298
40	8	954,46	836,66	781,26
<b>PROMEDIO</b>		<b>1001,03</b>	<b>1039,55</b>	<b>1065,67</b>

Fuente: (El autor)

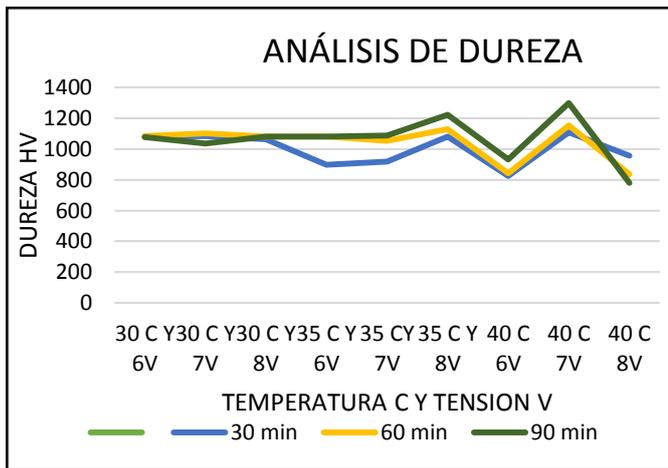


Fig 2. Curva de análisis de dureza.

En la tabla 9 y la Figura 2 se observó que casi todos los valores están dentro de los parámetros enmarcados bajo la norma INEN 1058 para la dureza en los procesos de niquelado + cromado.

### ➤ Espesores de capa de recubrimiento.

Para realizar el análisis de las pruebas de espesores se realiza un resumen de todas las pruebas hechas bajo las variables de tiempo, temperatura y tensión de trabajo.

Tabla 9. Resumen de espesores de capa del recubrimiento

ANÁLISIS DE LA ESPESORES (µm)				
TEMPERATURA °C	TENSION V	TIEMPO		
		30 min	60 min	90 min
30	6	4,56	9,45	14,37
30	7	4,53	10,15	14,71
30	8	4,96	9,72	14,88
35	6	5,14	10,58	14,81
35	7	5,22	10,89	15,13
35	8	5,51	11,06	15,56
40	6	5,46	11,21	15,48
40	7	5,57	11,38	15,62
40	8	5,93	11,6	15,95
PROMEDIO		5,20	10,67	15,16

Fuente: (El autor)

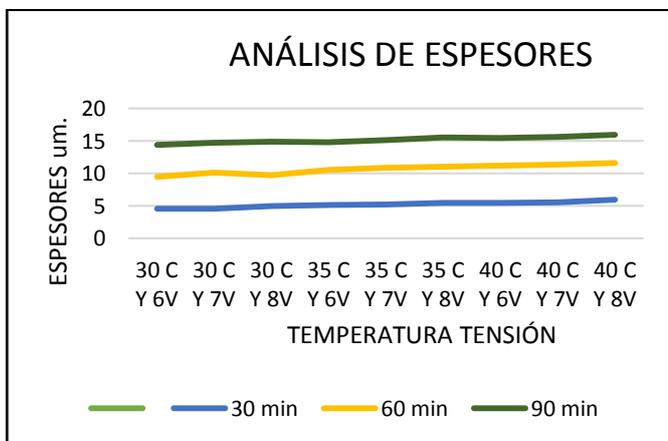


Fig.3. Análisis de la curva de espesores de la capa.

En la tabla 9 y las Figura 3 se observó que los valores que corresponden a los parámetros de:

- 60 min, 30 °C y 7V
- 60 min, 35 °C y 6V
- 60 min, 35 °C y 7V
- 60 min, 35 °C y 8V
- 60 min, 35 °C y 8V
- 60 min, 40 °C y 6V
- 60 min, 40 °C y 7V
- 60 min, 40 °C y 8V, son los espesores que exigen la norma INEN 954, para un índice de trabajo 1.

### Resistencia a la corrosión.

Para este efecto utilizo cinco probetas, las mismas que fueron seleccionadas de acuerdo al criterio de mayor adherencia esto es a la que corresponde a los parámetros de (60min, 40°C y 6V), ver tabla 8. Luego de ser sometido en la cámara salina a base de ácido acético por un tiempo de ocho horas obtuvimos los resultados que se detallan en la tabla 10.

Tabla 10: Resultados ensayos de corrosión

Muestra	Tipo de recubrimiento	Evaluación				Índice de corrosión	Resultado del ensayo	
		Manchas, picaduras, rajaduras						
1	Niquel+ Cromo	Defecto ≥ 2,5 mm <sup>2</sup>	SI		NO	X	10	Conforme
2	Niquel+ Cromo	Defecto ≥ 2,5 mm <sup>2</sup>	SI		NO	X	10	Conforme
3	Niquel+ Cromo	Defecto ≥ 2,5 mm <sup>2</sup>	SI	X	NO		-	Conforme
4	Niquel+ Cromo	Defecto ≥ 2,5 mm <sup>2</sup>	SI		NO	X	10	Conforme
5	Niquel+ Cromo	Defecto ≥ 2,5 mm <sup>2</sup>	SI	X	NO		-	Conforme

Fuente: (El autor)

Con los resultados de la tabla observamos que de las cinco muestras, dos presentan no conformidad a esta prueba es decir el área de los defectos mayores 2.5 mm<sup>2</sup> por lo que estas se rechazan.

### Discusión.

De acuerdo a (Oscar Suarez, 2010) en su revista "Obtención de un recubrimiento de cromo decorativo a partir de soluciones de cromo trivalente", manifiesta que el recubrimiento a base de cromo convencional (Cr VI) presenta mayor resistencia a la corrosión en cámara salina que el cromo trivalente (Cr III), por lo que no son muy óptimas para alcanzar la máxima efectividad de recubrimiento.

**Tabla 11.** Resultado de ensayos en cámara salina

T(horas)	Observaciones
<b>Cromo VI (placa 7)</b>	
24	Puntos de ataque corrosivo en el 20% del área expuesta
48	Puntos de ataque corrosivo en el 60% del área expuesta
72	Puntos de ataque corrosivo en el 75% del área expuesta
100	Puntos de ataque corrosivo en el 75% del área expuesta
<b>Cromo VI (placa 8)</b>	
24	Deterioro del recubrimiento en el 20% del área expuesta
48	Quince puntos de ataque corrosivo en el área interna, Deterioro del recubrimiento en el 20% del área expuesta
72	Ataque corrosivo e el 10% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 20% del área expuesta
100	Ataque corrosivo e el 20% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 20% del área expuesta
<b>Cromo III (placa 13)</b>	
24	Ataque corrosivo e el 60% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 90% del área expuesta
48	Ataque corrosivo e el 60% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 90% del área expuesta
72	Ataque corrosivo e el 70% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 90% del área expuesta
100	Ataque corrosivo e el 70% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 90% del área expuesta
<b>Cromo VI (placa 7)</b>	
24	Ataque corrosivo e el 40% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 80% del área expuesta
48	Ataque corrosivo e el 80% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 90% del área expuesta
72	Ataque corrosivo e el 80% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 90% del área expuesta
100	Ataque corrosivo e el 80% del área expuesta, deterioro Del recubrimiento en el 100% del área expuesta

**Fuente:**( Oscar Suarez, 2010)

Estos resultados confirman con los datos obtenidos en las pruebas que se desarrolló en la investigación del cromado metálico en la superficie de los aros para los buses, ya que en el proceso se utilizó el tipo de cromado trivalente, y por ende se demuestra en los ensayos de corrosión y en los niveles de adherencia que se obtuvieron; por lo que se recomienda utilizar una capa más de cobre en el proceso con el fin de mejorar este inconveniente y así poder garantizar el desempeño de este elemento en lugares de alta incidencia corrosiva.

### III. CONCLUSIONES

- En el estudio realizado de la capa cromada de los aros de los buses se pudo concluir que su adherencia al sustrato depende en gran medida de la forma en que se determine las variables del tiempo, la temperatura y la tensión eléctrica que se le proporcione al baño de níquel.
- En cuanto a la adherencia, luego de haber realizado algunas pruebas variando la temperatura, el tiempo y el voltaje en el proceso de niquelado se obtuvo que la mejor opción es 60min. 40°C y 7V, esto es tiene una adherencia de 97.14%, aproximadamente equivalente a 301.73 gr/cm<sup>2</sup>.
- En lo referente a la dureza de la capa del recubrimiento se concluye que casi todos los valores está dentro de los parámetros que exige la norma INEN 1058 para los procesos de niquelado + cromado.

- En lo referente al espesor de la capa niquelado + cromado, luego de hacer un análisis de las medidas tomadas aplicando los diferentes cambios de variables, se concluye que los parámetros ideales para que se cumplan con la norma INEN 954 están en un tiempo de 60 min. de (35 a 40)°C y con voltaje de (6 a 8) V.
- En el ensayo de corrosión realizado a cinco probetas que presentaron mayor adherencia y que corresponden a los parámetros de (60min, 40°C y 6V) se observó que dos presentaban defectos superficiales mayores a 2.5 mm<sup>2</sup> lo que corresponde al 40% en consecuencia quiere decir que no se tiene una buena resistencia a la corrosión,.

### IV. REFERENCIAS

- Ó. J. S. Garcí, «Obtaining decorative chromium plating from trivalent chromium solutions,» *Ingeniería e investigación*, vol. 26, n° 2, p. 6, 2006.
- M. Torres-Luque, «Effects of Electrolyte Temperature on the Corrosion Resistance of Chromium Nitride, Hard Chromium and Epoxy Paint Coatings,» *Ingeniería y Universidad*, vol. 17, n° 1, p. 7, 2013.
- L. C. Alves, «Solid waste characterization from galvanic process for an environmental economic evaluation,» *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, vol. 19, n° 4, p. 7, 2014.
- J. L. T. R, «High temperature corrosion of coatings NiCr and NiCrBSiFe,» *Ingeniería*, vol. 13, n° 1, p. 8, 2015.
- A. L. Burkart, «FALLAS EN RECUBRIMIENTOS DE,» *CONGRESO CONA*, vol. 1, n° 1, p. 7, 2004.
- R. Q. P. A. D. J. E. González Ruiz\*, «Caracterización metalográfica de capas cromadas por,» *Ingeniería Mecánica*, vol. 1, n° 1, p. 5, 1999.
- O. J. S. García, «Obtencion de un recubrimiento de cromo decorativo a partir de una solución de cromo trivalente,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 26, n° 2, p. 9, 2006.
- S. A. S. A. I. Ricardo R. Azario, «Efecto del Cromo Hexavalente y Trivalente sobre el,» *Información Tecnológica*, vol. 21, n° 1, p. 6, 2010.
- E. Julve, «CARACTERISTICAS FISICAS DEL RECUBRIMIENTO Y TIPOS DE CROMADO,» *QUIMICA E INDUSTRIA*, vol. 2, n° 1, p. 7, 2001.
- O. M. B. M. P. A. P. E. M. C. T. Jhon H. Sierra Uribe, «EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA DE RECUBRIMIENTOS DE BIOVIDRIO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,» *REVISTA LATINOAMERICANA DE METALURGIA Y MATERIALES*, vol. 35, n° 151, 2015.
- U. PIRATOBA, «SUPERFICIAL, ELECTROCHEMICAL AND COMPOSITIONAL CHARACTERIZATION OF ZINC NICKEL ELECTROCOATINGS,» *DYNA*, vol. 75, n° 156, p. 6, 2008.
- N. I. 0954, «Recubrimientos electrolíticos de níquel y,» *NORMAS INEN*, Vols. %1 de %2MT 05.01-406, n° 1, p. 18, 1984.
- N. I. 0950, «Recubrimientos metálicos. Determinación de,» *Norma Técnica*, Vols. %1 de %2MT 05.01-311, n° 4, p. 5, 1984.

- [14] M. Zimmerman, «Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.,» *ASTM INTERNATIONAL*, Vols. %1 de %2D 3359 - 09, p. 7, 2010.
- [15] N. I. 1058, «Recubrimientos de cromo duro sobre acero.,» *Norma Técnica*, Vols. %1 de %2MT 05.01-409 , nº 1, p. 6, 1986.
- [16] N. I. 1174, «Recubrimientos metálicos. Determinación de.,» *Norma Técnica Ecuatoriana*, Vols. %1 de %2MT.05-307, nº 1, p. 5, 2013.