



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“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 ING.  
INDUSTRIAL”**

**SALVADOR PEÑA SILVANA RAQUEL**

**RIVAS BERRONES RICHARD PATRICIO**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

**ESPOCH**

**Facultad de Mecánica**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-06-02

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**SALVADOR PEÑA SILVANA RAQUEL**

---

Titulada:

**“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 ING. INDUSTRIAL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán G.  
DECANO DE LA FAC. DE MÉCANICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Almendáriz  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Jorge Freire  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** Silvana Raquel Salvador Peña

**TÍTULO DE LA TESIS:** “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 ING. INDUSTRIAL”

**Fecha de Examinación:** 2015-02-12

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán M. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Almendáriz. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Jorge Freire ASESOR DE TESIS			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Carlos Santillán M.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**ESPOCH**

**Facultad de Mecánica**

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2014-06-02

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**RICHARD PATRICIO RIVAS BERRONES**

---

Titulada:

**“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 ING. INDUSTRIAL”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

---

Ing. Marco Santillán G.  
DECANO DE LA FAC. DE MÉCANICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Marco Almendáriz  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Jorge Freire  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** Richard Patricio Rivas Berrones

**TÍTULO DE LA TESIS:** “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 ING. INDUSTRIAL”

**Fecha de Examinación:** 2015-02-12

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán M. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Almendáriz. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Jorge Freire ASESOR DE TESIS			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Carlos Santillán M.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que se presenta a continuación, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Salvador Peña Silvana Raquel

---

Richard Patricio Rivas Berrones

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación con el cual concluyo los estudios de tercer nivel a mis padres que confiaron siempre en mí, a mis hermanos y familiares que me apoyaron siempre.

**Silvana Salvador Peña.**

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a DIOS que me dio la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa. A mis padres y abuelitos que me han dado la vida y que han estado conmigo en todo momento. Gracias por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, por todos los momentos difíciles que hemos pasado pero siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de corazón el que estén conmigo.

A todos mis profesores durante este ciclo universitario, al igual que a mi director y tutor por darme el apoyo suficiente en este mí último proyecto universitario. Gracias por ser tan buenas personas.

**Richard Rivas Berrones.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me han dedicado durante toda la etapa estudiantil, así también a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y al personal docente y administrativo que integra esta dignísima institución por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y así aportar con el desarrollo del país.

**Silvana Salvador Peña.**

Agradezco los resultados de este trabajo, a todas aquellas personas que de alguna forma, son parte de su culminación, a mis padres, a mis abuelitos, y a los docentes que han compartido su conocimiento durante este periodo académico de mi vida.

**Richard Rivas Berrones.**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.2 Objetivos específicos: .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	4
2.1 Baños electrolíticos.....	4
2.1.1 Baños de cobre.....	4
2.1.2 Baños de níquel.....	13
2.1.3 Baños de zinc – galvanizado.....	19
2.1.4 Anodizado.....	21
2.1.5 Latonado. ....	23
2.1.6 Baños de cromo .....	25
2.2 Pruebas típicas de control de calidad de recubrimientos.....	26
2.3 Definiciones generales.....	28
2.4 Norma ISO/IEC 17025. ....	33
2.4.1 Estructura de la norma ISO/IEC 17025 .....	34
<b>3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES</b> .....	35
3.1 Facultad de Ingeniería Mecánica.....	35
3.2 Escuela de Ingeniería Industrial.....	35
3.3 Infraestructura del laboratorio. ....	36
3.4 Ubicación del laboratorio.....	36
3.5 Servicios/ensayos que oferta el laboratorio .....	37
3.6 Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del laboratorio Procesos Industriales.....	38
<b>4. IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES</b> .....	39
4.1 Ensayos físicos de los recubrimientos.....	39
4.2 Medidores de adherencia.....	39

4.2.1 Selección del equipo para determinar adherencia.....	40
4.3 Medidores de dureza.....	41
4.3.1 Selección del equipo para determinar dureza.....	44
4.4 Medidores de espesor.....	45
4.4.1 Beneficios y desventajas medidores por inducción magnética.....	46
4.4.2 Beneficios y desventajas medidores tipo mecánicos.....	47
4.4.5 Selección del medidor de espesor.....	47
4.5 Procedimiento para determinar adhesión según la norma ASTM D 3359.....	48
4.6 Procedimiento para determinar dureza según la norma ASTM D 3363.....	53
4.7 Procedimiento para determinar espesor según la norma ASTM D 4138.....	58
4.8 Resultados Obtenidos.....	65
4.8.1 Resultados de pruebas de adherencia.....	65
4.8.2 Resultados de pruebas de espesores.....	69
4.8.2 Resultados de pruebas de dureza.....	73
<b>5. ESTUDIO COMPARATIVO DE LABORATORIO SEGÚN REQUISITOS ISO/IEC 17025: 2005.....</b>	<b>76</b>
5.1 Análisis e interpretación de resultados de la primera evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.....	80
5.2 Análisis e interpretación de resultados de la segunda evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.....	82
5.3 Resultados comparativos entre los valores de referencia de la norma y los resultados de la primera y segunda evaluación.....	83
<b>6. DESARROLLO DE LOS REQUISITOS DE LA NORMA ISO/IEC 17025.....</b>	<b>85</b>
6.1 Manual de calidad del laboratorio de Procesos Industriales.....	85
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>86</b>
7.1 Conclusiones.....	86
7.2 Recomendaciones.....	87

## **BIBLIOGRAFIA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE FIGURAS.

1	Baño de cobre cianurado.....	6
2	Aplicaciones más comunes del baño de cobre.....	12
3	Latonado aleación de (cobre y zinc). ....	23
4	Principios básicos de la gestión de calidad. ....	32
5	Estructura de la norma ISO/IEC 17025 .....	34
6	Logotipo del laboratorio .....	36
7	Ensayos de adherencia. ....	40
8	Cortador de trama cruzada Elcometer 107. ....	41
9	Métodos para determinar dureza.....	42
10	Durómetro de péndulo .....	43
11	Escala de dureza en lápices.....	44
12	Medida de dureza Buchholz .....	44
13	Durómetro de lápices Elcometer 501.....	45
14	Tipos de medidores de espesor .....	46
15	Medidor de inspección de recubrimientos Elcometer 104.....	48
16	Posición de la cinta adhesiva respecto al corte .....	52
17	Posición de remoción de la cinta ASTM3359/ISO 2409.....	52
18	Durómetro de lápices Elcometer 501.....	55
19	Preparación correcta del lápiz.....	56
20	Montaje de lápiz.....	56
21	Medidor de inspección de recubrimientos Elcometer 141.....	59
22	Rayado sobre recubrimiento .....	61
23	Corte en ángulo recto para espesores.....	61
24	Enfoque del microscopio con el sustrato .....	62
25	Alineación de la escala con el corte realizado. ....	62
26	Vista lateral y superior del corte .....	63
27	Posición de la cuchilla .....	65
28	Resultados obtenidos en la primera evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.....	80
29	Resultados obtenidos en la segunda evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.....	82
30	Resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas en el laboratorio de Procesos Industriales.....	83
31	Resultados comparativos entre los valores de referencia de la norma y los resultados de la primera y segunda evaluación.....	83

## LISTA DE TABLAS

1	Formulación general para baños de cobre al sulfato.....	10
2	Composición típica de los baños de níquel decorativos. ....	15
3	Baño de zinc alcalino cianurado. ....	20
4	Impurezas metálicas.....	21
5	Parámetros del anodizado. ....	22
6	Composición química del latonado.....	24
7	Composición de los baños de cromo.....	25
8	Condiciones de operación típicas de los baños de cromo .....	25
9	Pruebas normativas en recubrimientos .....	27
10	Ensayos/servicios que oferta el laboratorio .....	37
11	Análisis FODA en el laboratorio de Procesos Industriales.....	38
12	Beneficios y desventajas medidor espesor por inducción magnética .....	46
13	Beneficios y desventajas medidor espesor tipo destructivo.....	47
14	Resultados de adherencia por trama cruzada .....	52
15	Accesorios Elcometer 141 .....	60
16	Referencias normativas para espesores.....	61
17	Selección de la cuchilla en función del espesor del recubrimiento .....	63
18	Tabla adicional para cálculo de espesor .....	64
19	Prueba de adherencia en cobreado .....	65
20	Pruebas de adherencia en latonado .....	66
21	Pruebas de adherencia en niquelado .....	67
22	Pruebas de adherencia en cromado .....	68
23	Prueba de espesores en cobreado.....	69
24	Prueba de espesores en latonado.....	70
25	Prueba de espesor en niquelado .....	71
26	Prueba de espesor en cromado.....	72
27	Prueba de dureza en cobreado .....	73
28	Prueba de dureza en latonado .....	74
29	Prueba de dureza en niquelado .....	75
30	Prueba de dureza en cromado .....	76
31	Asignación de puntaje para evaluación .....	77
32	Resultados de la evaluación al laboratorio de Procesos Industriales según la lista de verificación de la OEA.....	77
33	Resultados de la primera evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.....	78
34	Resultados de la segunda evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.....	81

## LISTA DE ABREVIACIONES

ISO	Organización Internacional de Normalización
SGC	Sistema de Gestión de Calidad
IEC	Instituto Ecuatoriano de Acreditación
NTE	Normas Técnicas Ecuatorianas
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
SSPC	Steel Structures Painting Council
ASTM	American Society for Testing and Materials
SF	Federal Standards.
PIB	Producto Interno Bruto
DIN	Instituto Alemán Normalización
BS	Normalización Británica

## **LISTA DE ANEXOS**

- A Manual de calidad bajo la norma ISO/IEC 17025:2005
- B Cuestionario de verificación con los criterios de acreditación del OAE
- C Certificados de calibración de equipos medidores de espesor, dureza y adherencia
- D Norma para medir adherencia ASTM D 3359
- E Norma para medir dureza ASTM D 3363
- F Registros de medición de espesor, dureza y adherencia

## RESUMEN

El 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 tiene la finalidad de realizar pruebas de control de calidad en recubrimientos metálicos, y contar con un manual que especifique los requisitos que el laboratorio debe cumplir en base a la exigencia del Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE).

Para la implementación de los equipos que constituyen el banco de pruebas, se realizó un análisis cualitativo de las principales necesidades del laboratorio, respecto a que propiedades físicas se desea evaluar en los recubrimientos. Este procedimiento inicial permitió determinar equipos considerando las características de cada uno y estableciendo cual es de mejor uso en el laboratorio. Es así que se concluyó la adquisición de un medidor de espesores, de adherencia y de dureza; acoplados en un modular específico construido para facilitar su manejo y manipulación dentro del laboratorio de Procesos Industriales.

Con los equipos implementados se realizaron pruebas en diversos tipos de recubrimientos como en el latonado, niquelado, cobreado y cromado, obteniendo mediciones cuantitativas de las propiedades físicas de estos, ampliando el nivel técnico práctico del laboratorio en beneficio a los estudiantes.

Además se aplicó la norma ISO/IEC 17025 para determinar la situación actual del laboratorio y elaborar los procedimientos requeridos en la implementación de la documentación.

Con la elaboración del manual se alcanzó un 70,42% de cumplimiento de los requisitos que especifica el (OAE) ayudando de esta manera a que el laboratorio tenga un desarrollo organizado en sus actividades y alcance la acreditación.

## ABSTRACT

Superficial treatment test bench and quality-manual elaboration with ISO/IEC 17025 norm has been designed in the industrial- process laboratory of School of Industrial Engineering in order to carry out quality-control tests in metallic coating and to have a manual to know the qualification requirements in the Ecuadorian Accreditation Organism (OAE).

A qualitative analysis of the main laboratory needs was carried out for the test bench equipment implementation in order to evaluate the physical coating properties. This first process determined the best equipment to be used in the laboratory. That is why, thickness gauges, sticking and hardness which were adapted to an specific unit to make easy operation and handling in the industrial-process laboratory were acquired.

Test in different kinds of coating such as brass plating, niquel-plated, coppering and chrome plating were carried out by using this equipment getting quantitative measures of the physical properties and improving the practical-technical level of the laboratory was widen in benefit of the students.

ISO IEC 17025 norm was also applied to determine the current laboratory situation and to elaborate the procedures required in the documentation implementation.

70,42% of the requirements specified by (OAE) were reached with this manual, so that this laboratory can have an organized development in the activities and accreditation can be gotten.



# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, desde sus inicios, posee laboratorios especializados que permiten el aprendizaje práctico de los estudiantes, con la expectativa de formar líderes de producción, capaces de analizar y dar solución a posibles dificultades en su campo de trabajo.

Es por eso que cada laboratorio debe contar con un sistema que asegure el correcto desempeño de los procesos, así que el Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Industrial también debe cumplir con esta normativa y puntualizar todos los elementos necesarios para que los estudiantes puedan realizar ensayos prácticos y comprobar por ellos mismos la teoría aprendida en clase, siendo así que la instalación de un banco de pruebas para tratamientos superficiales ayudara a cumplir esta perspectiva.

Actualmente el laboratorio no consta con equipos aptos para medir el espesor, adherencia y dureza de los revestimientos obtenidos mediante los tratamientos superficiales por electrolisis como son el niquelado, cobreado, zincado, cromado y latonado por lo que el banco de pruebas será un gran progreso.

Además el Laboratorio debe adoptar un sistema de gestión de calidad basado en la norma ISO/IEC 17025 la cual permitirá demostrar que el Laboratorio es competente en el trabajo que realiza. La norma ISO/IEC 17025 contiene todos los requisitos que los laboratorios de ensayo y calibración tienen que cumplir si quieren demostrar que operan un sistema de calidad, son competentes y se encuentran en capacidad de generar resultados técnicamente válidos, este procedimiento se da por medio de la creación de un manual de calidad.

## **1.2. Justificación**

Es importante que el Ingeniero Industrial graduado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo tenga conocimientos firmes de tratamientos superficiales por electrolisis, ya que estas técnicas ocupan un lugar trascendental dentro de la industria manufacturera de nuestro país, es necesario que tanto los estudiantes como las personas que se dedican a esta rama sean capaces de realizar procedimientos de inspección y control de calidad de estos tipos de revestimientos, con el fin de conocer las variables que interactúan en los mismo.

Además cabe resaltar que la implementación de un manual de calidad bajo la norma ISO/IEC 17025 que especifique, documente, registre y controle estos procedimientos incrementa la reputación del laboratorio ya que si estos laboratorios quieren ser competitivos y reconocidos deben ofrecer además de sus servicios, calidad en todos sus procesos, por lo tanto la adopción de un sistema de calidad les permitirá asegurar y garantizar todas sus actividades y brindar un valor adicional que será de interés para sus usuarios.

En la aplicación de un sistema de gestión de calidad uno de los principales pasos es la creación y actualización de toda la documentación relacionada con los procesos llevados a cabo por el laboratorio, en este punto es donde la norma ISO/IEC 17025 se convierte en un apoyo ya que garantiza que todos los documentos que se van a realizar tengan credibilidad y confianza.

En lo que se refiere a los estudiantes, es necesario que cuenten con esta información ya que les servirá para tener una formación profesional más completa, así como una visión más amplia de los campos en los que el Ingeniero Industrial puede aplicar sus conocimientos especialmente en el área de Control y/o Gestión de la Calidad.

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general.** Implementar un banco de pruebas para tratamientos superficiales y elaborar el manual de calidad bajo la norma ISO/IEC 17025, en el laboratorio de procesos industriales de la Escuela de Ing. Industrial.

### **1.3.2 *Objetivos específicos:***

Realizar un conjunto de pruebas de control de calidad respecto a la adherencia, espesor, dureza en los recubrimientos aplicados con la utilización de los equipos implementados.

Elaborar guías prácticas de procedimientos, correcta manipulación, conservación y mantenimiento de los equipos, elementos y accesorios que se integraran en el Laboratorio de Procesos Industriales.

Realizar una evaluación al laboratorio de procesos industriales antes y después de la creación del manual de calidad y comparar los resultados.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1 Baños electrolíticos.

Son recubrimientos que consisten en la deposición sobre una pieza metálica de una capa muy delgada de un metal más resistente a la corrosión que el metal base, mediante electrólisis, con el objetivo de aumentar la resistencia a la corrosión de la pieza. El espesor de este tipo de recubrimientos no es habitual que supere las 20 micras.

El principio básico de los procesos de recubrimientos electrolíticos consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en su superficie. También existen procesos en los cuales el metal se deposita sin fuente externa de corriente eléctrica.

En ambos procesos de recubrimientos la capa depositada forma cristales metálicos. En función del tipo de estructura cristalina se derivan las diferentes propiedades del recubrimiento y así los campos de aplicación más adecuados.

El recubrimiento electrolítico de las piezas se produce casi exclusivamente por inmersión en un baño. Para ello se introducen las piezas en las cubas donde se encuentra el electrolito, se les aplica la corriente como cátodo, se recubren y se secan. Al extraer las piezas del baño arrastran una cantidad del electrolito sobre la superficie de las piezas. Esa película superficial arrastrada se elimina en un proceso de lavado posterior para que no interfiera en las siguientes operaciones o presente las condiciones de acabado exigidas.

**2.1.1 Baños de cobre.** El cobreado electrolítico es un proceso que permite aplicar un recubrimiento de cobre sobre materiales como el acero, hierro, latón y zamak. Con un espesor variable según las necesidades, tiene como objetivo mejorar las propiedades del material base gracias a su elevada maleabilidad, ductilidad y conducción de la

electricidad. Frecuentemente, el cobre forma la primera capa en un sistema de capas de recubrimiento, puesto que es fácil de depositar en metales y plásticos, ya que presenta una elevada conductividad; además, la capa de cobre es muy resistente, económica de aplicar y forma una buena base adhesiva para otros metales. El cobreado puede aplicarse a partir de baños alcalinos cianurados y baños ácidos con ácido sulfúrico. El cobreado ácido con sulfatos, generalmente requiere un control más estricto del baño a fin de mantener los parámetros en el rango óptimo, sin embargo, se evita el uso de cianuro.

El baño ácido, también puede utilizarse como primer revestimiento metalizado en plásticos, por su gran ductilidad. En un baño ácido, el sulfato de cobre  $\text{CuSO}_4$  representa la fuente de iones de cobre que se deposita en la superficie a recubrir. Para este proceso se recomienda sulfato de cobre químicamente puro. El baño de cobre típico contiene sulfato de cobre, ácido sulfúrico, iones de cloruro y aditivos de brillo.

Sólo dos son los tipos de solución que se utilizan en gran escala, esto es, las soluciones de cianuro y las soluciones ácidas. El primer tipo consiste esencialmente en una solución de cianuro cuproso en un cianuro de metal alcalino, con o sin varios agentes de adición. Las soluciones de cianuro tienen un excelente poder de penetración; no obstante, en general, son inapropiadas para la obtención de depósitos de un espesor apreciable, pero tienen la ventaja de poder ser aplicadas directamente a los metales ferrosos. Las soluciones ácidas consisten en una solución de sulfato de cobre y ácido sulfúrico, y se utilizan principalmente para recubrir aquellos metales que no son atacados químicamente por la solución, y especialmente cuando se requiere un espesor apreciable.

**2.1.1.1 Baños de cobre cianurado.** El cobre electro depositado de las soluciones en base cianuros ha sido ampliamente utilizado tanto para acabados decorativos como de ingeniería, y como un recubrimiento primario para otros metales a depositar. Este tipo de proceso se ha utilizado para recubrir una amplia variedad de metales base incluyendo al hierro, acero, aleaciones de zinc, aleaciones de aluminio, aleaciones de magnesio, aleaciones de níquel y aleaciones de plomo. Una importante propiedad del cobre de los sistemas basados en cianuros es la habilidad para adherirse muy bien a estas aleaciones. (GALVANOLYTE, 2010).

Figura 1. Baño de cobre cianurado.



Fuente: Autores.

Otras propiedades del electro depósito de cobre que son de interés para varias aplicaciones tenemos:

- Depósitos dúctiles y suaves.
- Es fácilmente pulido.
- Buen conductor eléctrico.
- Buena soldabilidad.
- Modifica las propiedades sobre el acero para selectivos casos de endurecimiento.
- Los acabados decorativos pueden ser brillantes con los aditivos apropiados, o dar un acabado antiguo atractivo tales como los óxidos o las platinas.
- El baño de cobre cianurado protege del ataque ácido a los metales base sensibles por la subsecuente aplicación de cobre de un baño ácido.
- Se recubre fácilmente por otros metales.

Este tipo de baño, a pesar de los peligros que representa el manejo de los materiales y la operación en línea, aún sigue siendo en algunos casos una opción insustituible.

En el trato con la química del baño de cobre cianurado, se debe hacer la distinción entre el cianuro total y el cianuro libre. El cianuro de cobre debe ser acomplejado ya sea por el cianuro de sodio o el cianuro de potasio para formar compuestos solubles de cobre en soluciones acuosas. Se considera que el principal complejo formado es el cianuro de cobre y sodio,  $K_2Cu(CN)_4$  o el cianuro de cobre y potasio,  $Na_2Cu(CN)_4$  según sea

el caso. La suma de lo que se requiere para el acomplejamiento del cianuro de cobre más la cantidad de cianuro requerido para el propio funcionamiento del baño (cianuro libre) es el cianuro total.

Los ánodos para los baños deben ser de cobre de la mayor pureza y en algunas aplicaciones es recomendable utilizarlos con fundas. Estos pueden ser laminados o elípticos. La relación de superficie ánodo-cátodo debe ser 1:1 como mínimo y 2:1 como máximo.

***Preparación de baños de cobre cianurado.*** Llenar el tanque hasta 2/3 partes de su volumen con agua fría. Adicionar el cianuro de sodio o potasio lentamente con agitación hasta la completa disolución. En un contenedor por separado mezcle el cianuro de cobre con agua hasta formar un lodo delgado. Adicionar la mezcla de cianuro de cobre y agua a la solución de cianuro de sodio o potasio lentamente y con agitación. Adicionar el resto de los materiales requeridos después de haber adicionado y mezclado completamente el cianuro de cobre.

Agitar para la completa disolución de los materiales. Ajustar con agua el nivel de la solución al volumen de operación. Homogeneizar la solución. Colocar los ánodos dentro de la tina. Iniciar el ciclo de trabajo.

Las reacciones de la disolución son exotérmicas y no se debe permitir que la solución se sobrecaliente ya que esto puede descomponer algo del cianuro libre presente. Se recomienda la aplicación de tratamiento con carbón activado antes de su uso. Todas las sales utilizadas en la preparación del baño deben estar libres de azufre para prevenir opacidad y depósitos rojizos en las zonas de baja densidad de corriente.

***Mantenimiento y control de baños de cobre cianurado.*** El fundamento para realizar el mantenimiento y control de los baños, sales o electrolitos es mantener o recuperar el estado inicial u óptimo de trabajo, para así garantizar el desarrollo normal o ideal de los procesos, el mantenimiento consiste en limpiar, quitar o retirar impurezas que pueden dejar los elementos constitutivos de los procesos, como son residuos de materiales, además se pueden añadir elementos o compuestos químicos que la sal haya perdido en el proceso.

**Constituyentes.** Se recomienda que todos los constituyentes de la formulación estén controlados dentro de un 10% de su valor normal, en especial el cianuro libre. La concentración de cianuro de cobre, en combinación con la agitación, controla las densidades de corriente permitidas en el proceso de chapado. La concentración de cianuro libre controla la eficiencia, el poder de penetración y la polarización anódica. La concentración de hidróxido controla la conductividad y el poder de penetración.

**Temperatura.** La temperatura también es un factor importante a considerar ya que si excede los 71°C se promoverá la descomposición del cianuro y el rápido aumento de los carbonatos.

**Agitación.** En cuanto a la agitación, se recomienda que se utilice cuando se requiera, ya sea mecánica y/o por movimiento de la solución, ya que promueve el incremento de los carbonatos.

**Contaminación.** Los contaminantes orgánicos causan un depósito no uniforme, rugoso, con piquetes y/o falta de cuerpos. En casos severos de contaminación orgánica suelen polarizarse los ánodos (se cubren con una película no conductora de sales de cobre), disminuyendo por lo tanto el flujo de corriente eléctrica. Un tratamiento con carbón activado y su posterior filtración removerá la contaminación.

El cromo hexavalente, como contaminante, provoca depósitos incompletos en la zona de baja densidad de corriente. El mejor método para eliminar el problema de contaminación con cromo es eliminando la fuente. El cromo hexavalente en el baño puede ser reducido a trivalente mediante el uso de los agentes reductores adecuados.

La contaminación con zinc produce depósitos color bronce o no uniformes. Este puede removerse de la solución electrolizando a bajas densidades de corriente con un cátodo de hierro o latón. La corriente a aplicar será de 0,2 a 0,4 A/dm.

Los sulfuros producen coloraciones rojizas en las zonas de baja densidad de corriente. Normalmente provienen de residuos o impurezas de los cianuros o de los revestimientos de las tinas. Pequeñas adiciones de cianuro de zinc eliminan el contenido de sulfuros en los electrolitos. Otro tipo de contaminaciones metálicas causan rugosidad en los

depósitos, pudiendo ser eliminadas por electrolisis a baja densidad de corriente y su posterior filtrado.

Una cantidad excesiva de carbonatos puede ser removida de la solución enfriándola a baja temperatura, ya que la solubilidad de estos es limitada por debajo de  $-3^{\circ}\text{C}$ .

Debido a su baja solubilidad a bajas temperaturas, estos pueden ser removidos por la cristalización que se producirá en el fondo de la tina. También, tanto el carbonato de sodio como el de potasio pueden removerse por precipitación con óxido de calcio, hidróxido de calcio o sulfato de calcio.

**2.1.1.2 Baños de cobre ácidos - sulfato.** Estos baños resultan económicos de preparar, de operar y de tratar los residuos. Las aplicaciones son múltiples, como puede ser en la industria electrónica (circuitos impresos), en la industria en la confección de cilindros para imprenta, en el electro formado (fabricación de moldes o matrices por electrolisis), en usos decorativos y para metalizado sobre plástico.

La química de la solución de este tipo de baños es simple, los componentes básicos son el sulfato de cobre y el ácido sulfúrico. Estas sales son altamente conductoras de electricidad y fácilmente dissociables, pudiendo así trabajar con densidades de corriente suficientemente elevadas. Los problemas anteriores referentes al poder de penetración han sido superados con el advenimiento de aditivos y formulaciones modernas de alta penetración.

Si las piezas a trabajar son de hierro, éstas deben ser cubiertas con una película previa de cobre alcalino para evitar depósitos por inmersión y el inconveniente de una pobre adhesión del depósito. Las aleaciones de zinc y de otros metales sensibles a los ácidos deben tener el suficiente depósito previo para prevenir el ataque por el ácido sulfúrico. Este tipo de baños son operados a temperatura ambiente.

El cobre de los ánodos denominado cobre fosforoso, debe contener 0.02 a 0.08% partes en peso de fósforo. Deben, además estar libres de óxido y ser de la mayor pureza posible. La relación ánodo-cátodo debe ser de 2:1. El rendimiento catódico y anódico

está cercanos al 100% dependiendo de las condiciones de trabajo u operación. Estas soluciones resultan muy sensibles a las bajas temperaturas (inferiores a 20°C).

En las soluciones brillantes y semi brillantes, el agente de adición utilizado para lograr este fin es la thiourea (ácido sulfúrico de formamidina), que debe ser adicionada en cantidades exactas, ya que el exceso de este producto favorece la polarización anódica, disminuyendo el rendimiento por el menor paso de corriente eléctrica y por la caída en el régimen de disolución anódica.

Existen otros tipos de agentes de adición para lograr depósitos brillantes. Ellos son: la peptona, la dextrina y los fenoles. La siguiente formulación estándar es para baños de cobre ácido, se recomienda la agitación por aire en el uso de cada una de ellas.

Tabla 1. Formulación general para baños de cobre al sulfato

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad y condiciones</b>
Sulfato de cobre	195 a 248 g/l
Acido sulfúrico	30 a 75 g/l
Cloruros	50 a 120 PPM

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

***Preparación de baños de cobre al sulfato.*** Los baños pueden ser preparados disolviendo el sulfato de cobre en agua y luego adicionando el ácido sulfúrico. Posterior a la preparación se recomienda dar tratamiento con carbón activado o el uso de un purificador líquido para sulfato de cobre.

***Mantenimiento y control de baños de cobre al sulfato.*** El fundamento para realizar el mantenimiento y control de los baños, sales o electrolitos es mantener o recuperar el estado inicial u óptimo de trabajo, para así garantizar el desarrollo normal o ideal de los procesos, el mantenimiento consiste en limpiar, quitar o retirar impurezas que pueden dejar los elementos constitutivos de los procesos, como son residuos de materiales, además se pueden añadir elementos o compuestos químicos que la sal haya perdido en el proceso.

**Constituyentes.** El sulfato de cobre es la fuente de iones de cobre dentro de la solución. Debido a que la eficiencia anódica y catódica es normalmente cercana al 100%, los ánodos reponen el cobre electro depositado en el cátodo, es por ello que el equilibrio de la solución se mantiene prácticamente estable. El ácido sulfúrico incrementa la conductividad de la solución y reduce la polarización anódica y catódica, evita la precipitación de las sales y mejora la penetración. En formulaciones de alta penetración, la relación de cobre metálico/ácido sulfúrico debe conservarse 1:10. La reducción de sulfato de cobre en las formulaciones de alta penetración se hace para prevenir los efectos de la precipitación del ion común.

El ácido sulfúrico a concentraciones por arriba del 11% por volumen empieza a reducir la eficiencia catódica. El ion cloruro, tanto en baños brillante como de alta penetración, reduce la polarización anódica y eliminan los depósitos estriados en las zonas de alta densidad de corriente.

**Temperatura.** Los baños se operan a temperatura ambiente en la mayoría de las aplicaciones. Si la temperatura es muy baja, la eficiencia catódica disminuye y el rango de operación se reduce. Los baños que no requieren depósitos brillantes pueden ser operados a temperaturas hasta de 50°C, incrementando así la velocidad del depósito en forma considerable, sobre todo en procesos de grabado, electro formado y circuitos impresos.

**Agitación.** La agitación por aire, mecánica o la agitación por inyección de la solución puede ser utilizada. Cuanto más vigorosa sea la agitación, mayor puede ser la densidad de corriente de trabajo.

**Contaminación.** Los contaminantes comunes en los baños al sulfato provienen de la descomposición de los abrillantadores (contaminantes orgánicos) o por impurezas metálicas (sales con baja pureza, tinas metálicas con recubrimientos defectuosos, etc.). En ambos casos, las características del depósito se ven alteradas. Una coloración verdosa de la solución indica una contaminación orgánica significativa, en este caso la contaminación se debe remover mediante tratamiento con carbón activado. En caso de contaminaciones severas, se debe tratar el baño con agua oxigenada o con permanganato de potasio. Una vez descompuestos los contaminantes orgánicos, se debe

tratar finalmente con carbón activado. Por ningún motivo deberán utilizarse ayuda filtros para el proceso de filtración. (GALVANOLYTE, 2010)

**Los contaminantes metálicos más comunes y sus efectos son los siguientes:**

**Antimonio** (10 – 80 gr/l): Depósito rugoso y quebradizo. Se adiciona gelatina o tanino.

**Arsénico** (20 – 100 PPM): Igual que en el antimonio.

**Bismuto**: Igual que en el antimonio.

**Cadmio** (> 500 PPM): Puede dar origen a depósitos por simple inmersión y la polarización anódica durante el tiempo de reposo. Puede inhibir la acción de los iones cloruro.

**Hierro** (> 1000 PPM): Reduce la conductividad del baño y el poder de penetración.

**Selenio** (> 10 PPM): Polarización anódica, aspereza.

**Telurio** (> 10 PPM): igual que en el selenio.

**Estaño** (500 – 1500 PPM): Puede dar origen a depósitos por simple inmersión y la polarización anódica durante el tiempo de reposo.

**Zinc** (> 500 PPM): Igual que en el cadmio.

### 2.1.1.3 Aplicaciones más comunes del baño de cobre:

- El cobre se emplea como protector de los metales y como pre capa para diferentes tratamientos posteriores.
- Su aplicación se ha extendido a todo tipo de sectores como ferretería, material eléctrico, estampación metálica, material de saneamiento y grifería.
- Mejora su aspecto en elementos ornamentales.

Figura 2. Aplicaciones más comunes del baño de cobre.



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/55279712/Cobreado-Electrolitico#scribd>

**2.1.1.4 Ventajas de un recubrimiento de cobre.** Las principales ventajas para realizar el cobreado de piezas son:

**Adherencia.** La adherencia entre el material base y el material aportado se realiza a nivel molecular, evitando el desprendimiento de la capa aportada.

**Tenacidad.** El cobre electrolítico no presenta problemas de fragilidad, por lo que no se producen saltos de material aportado.

**Conducción eléctrica.** Ayuda a la conducción de la electricidad debido a sus características.

**Ductilidad.** Mejora la ductilidad del material al aplicar el tratamiento electrolítico.

**2.1.2 Baños de níquel.** Los depósitos de níquel pueden ser usados con fines decorativos en ingeniería o electro formado debido al amplio control que el operador puede tener sobre el comportamiento del electrolito y de las condiciones de trabajo. Los niquelados decorativos se logran de un electrolito conteniendo agentes de adicción orgánicos de diversos tipos. Los depósitos obtenidos resultan protectores lisos de alta nivelación y con un brillo espectacular.

Las aplicaciones de ingeniería utilizan electrolitos que depositan níquel puro y las características habitualmente necesarias para este tipo de aplicaciones son:

- Alta resistencia a la corrosión
- Resistencia a la abrasión
- Soldabilidad
- Propiedades magnéticas

Este proceso se lleva a cabo mediante una corriente continua aplicada a los electrodos, lo cual disocia en iones las sales contenidas en la solución produciéndose un depósito de níquel metálico sobre el cátodo (negativo), y disolución de níquel sobre el ánodo (positivo). Es necesario, no obstante, tener presente en la solución ciertos agentes reductores y compuestos químicos para favorecer la disolución de los ánodos y para ser la solución más conductora lo cual dependerá básicamente del contenido de sales disueltas de manera que puedan circular altas corrientes por el electrolito con diferencias de potencial (voltajes) relativamente bajas. Además, es esencial que todos los productos químicos empleados sean puros porque la presencia de pequeñas trazas de

impurezas en determinadas soluciones incrementara la posibilidad de defectos y problemas aparentemente inexplicables.

Por ejemplo es fundamental que las sales de níquel estén libres de cobre y zinc pues cualquier rastro de estos metales originara un depósito muy oscuro y la solución nunca dará un níquel blanco y brillante. La forma de asegurarse que se está trabajando con productos de buena calidad es abastecerse de sales, ánodos, aditivos y abrillantadores en algún lugar reconocido y especializados en productos para el uso exclusivo en galvanoplastia. Cuando las sales están disueltas en agua, el níquel de la solución es bivalente ( $Ni^{+2}$ ).

Mediante la circulación de corriente eléctrica el ion metálico reacciona con dos electrones ( $2e^-$ ) y pasa a su estado metálico ( $Ni^0$ ) sobre el cátodo. Lo inverso ocurre en el ánodo donde el níquel metálico se disuelve formando iones bivalentes.

La reacción electroquímica es la siguiente:  $Ni^{+2} + 2e^- = Ni^0$ . Ya que los iones metálicos convertidos sobre cátodo a ( $Ni^0$ ) son disueltos en la misma proporción en el ánodo, el proceso de niquelado puede operar sin interrupción durante periodos prolongados.

La cantidad de níquel depositado en el cátodo está determinado por la cantidad de corriente (amperios) multiplicado por el tiempo de proceso (horas). En condiciones ideales, 26.8 A/h depositan 29,4 gramos de níquel. El rendimiento de estos electrolitos es casi optimo cercano al 100% existiendo una ligera diferencia porcentual. Estos se deben a que un pequeño porcentaje de la corriente circulante total es consumida en disociar iones hidrógeno sobre el cátodo.

El rendimiento catódico real oscila entre 93 - 98 %, mientras que el anódico es del 100%. Esta pequeña diferencia, hace que la solución tienda a incrementar su concentración de iones níquel y a subir su pH lentamente en la medida en que la misma es utilizada. Las posibles variaciones mencionadas deben ser controladas y corregidas en forma periódica.

La cantidad de níquel depositado sobre una pieza determinada, será directamente proporcional a la corriente que llegue a la misma. Las zonas hundidas, tendrán menor

densidad de corriente ( $A / dm^2$ ) que el resto de la pieza, por consiguiente, el espesor del depósito será menor en estas zonas que en el resto. Además las líneas de corriente, ingresan a la superficie de la pieza formando un ángulo de  $90^\circ$ , favoreciendo esto la diferencia de espesores que habitualmente se observa en casi todos los baños electrolíticos.

**2.1.2.1 Baños de níquel en procesos decorativos.** Las soluciones para niquelado decorativo difieren de otras usadas para otros propósitos, por la característica de contener aditivos orgánicos los cuales modifican el crecimiento del depósito de tal modo que este puede ser brillante, semibrillante o satinado. Los constituyentes básicos son sulfato de níquel, cloruro de níquel y ácido bórico en las cantidades que se mencionan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Composición típica de los baños de níquel decorativos.

Componentes	Cantidad y condiciones
Sulfato de níquel	240 - 300 g/l
Cloruro de níquel	40 - 60 g/l
Ácido bórico	25 - 40 g/l
Temperatura	25 - 50 °C
Agitación	Aire
pH	4 - 5

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

El sulfato de níquel es la principal fuente de iones de níquel en una formulación de este tipo, y su concentración limita la densidad de corriente del baño. En general, aumentando la cantidad de sulfato, se incrementara la densidad de corriente y debido a ello se obtendrán mayores velocidades de depósito. El cloruro de níquel incrementa la corrosión anódica (disolución del ánodo para formar iones níquel) y la conductividad del electrolito.

Al incrementar la conducción de la solución se puede reducir el voltaje para lograr la misma densidad de corriente. El ácido bórico estabiliza el pH de la solución y ayuda a producir depósito más blancos, lisos y dúctiles. El agua se requiere para disolver los productos y debe ser pura.

La composición y condiciones de operación dadas en la Tabla 2 son típicas para muchas de las soluciones de niquelado decorativo, pero existe una amplia variación en las concentraciones de sulfato y cloruro de níquel. Por ejemplo, al aumentar la concentración de cloruro respecto a la de sulfato de níquel se pueden obtener altas velocidades de deposición, sobre todo en algunos procesos de patente, los cuales contienen una alta concentración de cloruro de níquel. Desde el momento en que la mayoría de las soluciones de níquel decorativo son patentadas, las concentraciones y condiciones de operación deben ser controladas dentro de los límites recomendados por el proveedor.

**2.1.2.2 Baños de níquel brillante.** La mayoría de las soluciones de níquel decorativo contienen aditivos orgánicos los cuales modifican el crecimiento del depósito de níquel hasta llegar a un brillo total de depósito, el cual puede ser cromado inmediatamente sin pulido mecánico previo.

Varias sustancias orgánicas se usan en concentración adecuadas, para dar brillo, nivelación y controlar las tensiones internas. Algunas porciones de estos aditivos se incorporan al depósito, dando como resultado una capa dura, de grano fino, la cual también contiene azufre. El azufre hace que el depósito sea electroquímicamente menos noble que aquellos depósitos de níquel puro, por la razón anterior los depósitos de níquel brillante son menos resistentes a la corrosión que los depósitos de níquel opaco o semibrillante, los cuales están libres de azufre. Los productos de descomposición de los aditivos que se forman en el baño se remueven con carbón activado.

En las soluciones modernas la filtración continua a través de carbón activado, puede remover los productos de descomposición sin remover en forma significativa los propios aditivos. En las soluciones modernas, un sistema de abrillantadores comprende varios aditivos, los cuales producen brillo en un amplio rango de densidades de corriente. Esto se manifiesta en piezas que tienen un diseño complicado y con huecos profundos.

Los abrillantadores se dividen en primarios y secundarios aunque esta división no es tan drástica. Los abrillantadores primarios tienen un poderoso efecto en el depósito y son normalmente usados en bajas concentraciones, las cuales son cuidadosamente

controladas. Los abrillantadores primarios, con frecuencia, a altas concentraciones afectan adversamente las propiedades mecánicas del depósito.

Los abrillantadores secundarios tienen un efecto menor en el depósito cuando se usan solos y modifican el efecto de los abrillantadores primarios. Acertadamente, las combinaciones de abrillantadores primarios y secundarios dan un brillo total, relativamente dúctil y con bajas tensiones internas. La mayoría de los electrodepósitos tienen una apreciable cantidad de tensiones internas.

**2.1.2.3 Baños de níquel semibrillante.** Las soluciones de níquel semibrillante contienen sulfato de níquel, cloruro de níquel, ácido bórico y un agente nivelador como alcoholes acetilénicos. Como su nombre lo indica, el proceso produce un depósito semilustroso. El depósito es terso y tiene una estructura columnar que es diferente a la estructura laminar de los depósitos brillantes.

Se ha desarrollado para facilitar el pulido y abrillatado ya que el níquel semibrillante se puede pulir a un acabado de espejo. Los esfuerzos para eliminar el pulido han llevado al uso de la combinación de depósitos de níquel semibrillante y brillante. Esto subsecuentemente lleva al uso de capas múltiples de níquel, no solamente para disminuir el pulido, sino para aumentar la resistencia a la corrosión del níquel decorativo.

**2.1.2.4 Capas de níquel sencillas y múltiples.** Las capas de níquel sencillas son decorativas y adecuadas para usarse como protección anticorrosiva mediana poniendo espesores de aproximadamente de 5 a 12 micras. No son adecuados para condiciones severas de corrosión, para las que se requieren capas dobles de níquel. Las capas dobles de níquel consisten en una primera capa de níquel de alta nivelación libre de azufre, recubierta con suficiente níquel brillante, lo cual requiera un mínimo (o nulo) pulido mecánico posterior.

Debido a que la capa de níquel semibrillante y libre de azufre es electroquímicamente más noble que la superior de níquel brillante, cuando haya ataque por corrosión, ésta actuará sobre el níquel brillante formando una picadura con fondo plano. Este proceso hace que se retarde la acción de penetrar en la siguiente capa hasta que parte de la capa

brillante desaparezca. En la práctica los sistemas de doble capa muestran una importante mejora en la resistencia a la corrosión sobre los sistemas de capa simple. Otra alternativa, aunque de uso limitado, es la capa triple de níquel. En este sistema, las capas de níquel semibrillante y brillante están separadas por una capa delgada de níquel, la cual es electroquímicamente menos noble que las otras dos capas. Cuando este recubrimiento de triple capa es sometido a un ataque corrosivo, después de que dicha corrosión penetra el níquel brillante, la corrosión prosigue en forma lateral bajo el níquel brillante. El producto de la corrosión no es voluminoso y el único signo visible de corrosión después de un extenso periodo de servicio es un ligero picado en la superficie.

#### **2.1.2.6 Aplicaciones más comunes del baño de níquel:**

- En la industria automotriz el níquel brillante se puede encontrar en los parachoques, llantas y tubos de escape.
- Es utilizado para trabajos brillantes en bicicletas y motocicletas.
- Se utiliza en elementos de presión como válvulas de paso, válvulas check y diferentes accesorios de esta rama.
- También se ocupa en el acabado superficial de herramientas de mano, artículos del hogar tales como iluminación, accesorios de baño y electrodomésticos.
- Cuando se utiliza como aplicaciones no decorativas proporcionan protección contra la corrosión y el desgaste.
- Manipulación de alimentos, la protección del molde, herramientas de fundición, placas a los no conductores y la industria de la impresión son algunas otras aplicaciones donde se encuentra el uso de níquel electrolítico significativo.

#### **2.1.2.7 Ventajas de recubrimiento de níquel en áreas modernas:**

**Automóvil.** Las propiedades de la película tales como la uniformidad, la resistencia a la corrosión, la lubricidad y la resistencia al desgaste son razones por las que el uso en aplicaciones de automoción continúa creciendo.

**Aeroespacial.** Los ingenieros de diseño han encontrado que la combinación de las propiedades funcionales de níquel químico es muy atractivas para su uso aeroespacial. Debido a los problemas de fiabilidad obvios asociados con este segmento de mercado, a

largo plazo, la evaluación, a fondo de níquel electrolítico ha estado en marcha y ha realizado un lento progreso. El éxito de las pruebas y la solicitud de un número de años dieron lugar a una mejor comprensión de cuándo y cómo utilizar el níquel no electrolítico. Su empleo en los montajes de motor, servo válvulas, tren de aterrizaje, álabes de turbina y similares han encontrado un uso extendido.

**Electrónica.** El uso de níquel electrolítico para aplicaciones electrónicas sigue creciendo y es sin duda el segmento de mercado más diverso. Las propiedades magnéticas, la resistencia a la corrosión y soldabilidad son las características que más han contribuido a su éxito.

Generalmente los baños de níquel aportan con:

- Fuerte resistencia al desgaste.
- Resistencia a la corrosión.
- Soldabilidad.
- Exposición a altas temperaturas.
- Brillo.
- Uniformidad.
- Lubricidad.

**2.1.3 Baños de zinc – galvanizado.** El zinc y sus aleaciones se han utilizado como capa decorativa y de protección sobre una variedad de metales, principalmente del acero, se han desarrollado varios procesos para la aplicación de capas de zinc y están en función del sustrato, los requerimientos del depósito y el costo.

La electrodeposición de zinc es el más usual para las aplicaciones funcionales y decorativas. Cuando se elige un proceso de zincado, es importante conocer que procesos están disponibles y cuáles son sus ventajas o desventajas particulares.

**2.1.3.1 Ventajas en la utilización de baños de zinc:**

- El espesor de la capa protectora de zinc suele ser de 10 micras y no superior a las 30 micras, consiguiendo que no se aumente el volumen de la pieza. En algunos casos esto se hace imprescindible.

- La capa protectora se adhiere electrolíticamente a la pieza. Esta capa pasa a formar parte de la pieza, con lo que se podrá doblar, plegar y modificar la pieza sin pérdida de capa protectora.
- El zincado electrolítico no deforma los materiales, el proceso se realiza a temperatura ambiente.
- El precio del zincado electrolítico es más económico, que otras opciones de recubrimiento.
- Versatilidad en acabados, distintos recubrimientos. El zincado electrolítico tiene un aspecto fino y brillante, no deja rebabas, ni impurezas.
- Posiblemente una de las mejores opciones para proteger sus materiales contra la corrosión.

#### **2.1.3.2** *Desventajas en la utilización de baños de zinc:*

- El hidrógeno generado por el zincado electrolítico afecta negativamente a las piezas de acero endurecido. El riesgo de rotura por fragilidad aumenta.
- El tamaño de las piezas determina que se puedan revestir o no.
- Es un acabado industrial, no decorativo.

#### **2.1.3.3** *Aplicaciones más comunes de baños de zinc:*

- Se usa principalmente en la construcción (armaduras metálicas, vallas protectoras, rejillas electro soldadas etc.)
- Mobiliario urbano (iluminación, señalización, barreras).
- Se usa en las porta catenarias (línea aérea de alimentación que transmite energía eléctrica a las locomotoras u otro material motor).
- Es utilizado en diversos medios de señalización utilizados en las piscinas o en el mar (ambiente húmedo particularmente agresivo y/o que contienen cloro).
- En plantas de tratamiento de aguas residuales.
- En edificios para la cría de ganado (ambiente ácido).

#### **2.1.3.4.** *Composición del baño de zinc cianurado.*

Tabla 3. Baño de zinc alcalino cianurado.

<b>Componentes y datos</b>	<b>Baja concentración</b>	<b>Media concentración</b>	<b>Alta concentración</b>
Zinc metálico	7.5 - 11.2g/l	13.5 - 18.7g/l	26.2 - 33.7g/l
Cianuro de sodio	11 - 19 g/l	26 - 45g/l	82 - 105 g/l
Sosa cáustica	75 - 90g/l	75 - 90g/l	75 - 90g/l

Fuente: (Galvanolyte 2010)

**2.1.3.5 Principales problemas de contaminación en los baños de zinc.** Dentro de los principales problemas de contaminación en los baños de zinc se encuentra la contaminación con impurezas metálicas, la Tabla 4 indica los diferentes tipos de impurezas metálicas encontradas, la fuente de las mismas, el efecto que producen cada una de ellas y el posible tratamiento de purificación. (ver tabla 4).

Tabla 4. Impurezas metálicas

<b>Impureza</b>	<b>Fuente</b>	<b>Efecto</b>	<b>Tratamiento</b>
Cadmio.	Impureza anódica.	Depósitos negros y opacos.	Polvo de zinc 1-3g/l. Electrolisis.
Cobre.	Barras anódicas y catódicas colgando de un hilo con área cobreada.	Rayas blancas y oscuras después del abrillantado.	Polvo de zinc 1-3g/l. Electrolisis.
Cromo.	Cromados arrastrados.	Ampolla miento. Depósitos lechosos no uniformes.	Hidro sulfito de sodio.
Plomo.	Substratos anódicos de plomo o de componentes soldados.	Recubrimiento gris opaco.	Electrolisis.
Estaño.	Componentes soldados.	Opacidad.	Electrolisis.

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

**2.1.4 Anodizado.** Es un proceso electroquímico que origina una película estable de alúmina  $Al_2O_3$  sobre la superficie de un metal. Para el caso del aluminio, la película anódica puede producirse empleando una amplia variedad de electrolitos, ya sea con corriente alterna, corriente directa o una combinación de ambas. Durante el proceso, la pieza de aluminio actúa como ánodo y los cátodos que se emplean también son de aluminio o de materiales como grafito, acero inoxidable y plomo. El proceso de anodizado no es más que un refuerzo de la formación natural del óxido por exposición del metal al medio ambiente, con que se multiplica el espesor de la película por un factor próximo a  $10^4$ , y mejora ciertas propiedades en el material: dureza, resistencia a la corrosión, a la abrasión y al desgaste. De acuerdo a las condiciones del proceso se

pueden obtener películas anódicas con un amplio espectro de propiedades, desde los óxidos delgados para aplicaciones decorativas y arquitectura hasta los óxidos extremadamente duros y resistentes al desgaste, que se emplean en aplicaciones ingenieriles. (GALVANOLYTE, 2010)

El anodizado con solución de ácido sulfúrico es el proceso más utilizado porque produce un amplio rango de espesores de película anódica y un recubrimiento poroso que puede ser fácilmente coloreado por varios métodos y sellado para mejorar su estabilidad y comportamiento en servicio.

En la formación de la capa anódica mediante ácido sulfúrico existen dos factores principales:

- Crecimiento de la capa de óxido desde el interior al exterior provocado por un fenómeno puramente electroquímico.
- Disolución de la capa de óxido debido a su solubilidad respecto al electrolito, esto consiste en mantener relación de los parámetros de tal forma que la velocidad de oxidación se conserve siempre por encima de la velocidad de disolución.

#### 2.1.4.1 Parámetros del anodizado.

Tabla 5. Parámetros del anodizado.

Concentración del ácido sulfuro en peso	Densidad de corriente	Voltaje	Temperatura	Tiempo
10% al 20%	1 a 2 A. $dm^2$	12 a 20 V	18 a 25 <sup>0</sup> C	60min.

Fuente: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612010000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612010000200002&script=sci_arttext).

**2.1.4.2 Ventajas del anodizado.** El proceso de anodizado ofrece muchas ventajas, algunas de estas ventajas son:

- Logra una dureza mayor en la superficie del aluminio que la que se puede obtener pintándola con resinas sintéticas.
- Protege contra la corrosión y la abrasión.

- Se obtiene una apariencia metálica en el aluminio más intensa de la que puede lograrse con pinturas orgánicas.
- No se ve afectado por la luz solar.

**2.1.4.3 Aplicaciones del proceso de anodizado.** Entre las principales aplicaciones del proceso de anodizado se encuentran:

- Acabado de aparatos electrónicos.
- Coloración de diversos objetos.
- Fabricación de películas dieléctricas.
- Base y anclaje para pintura.
- Protección de puertas y ventanas.
- Base para electro depósitos.

**2.1.5 Latonado.** Este acabado es de un color amarillo brillante el cual es una aleación de cobre y zinc, que utiliza una solución basada en sulfato o cianuro de cobre y zinc que está expuesta al paso de corriente eléctrica continua. Debido a su brillo así como su apariencia uniforme, es utilizado casi exclusivamente para fines decorativos.

Figura 3. Latonado aleación de (cobre y zinc).



Fuente: <http://www.invdes.com.mx/tecnologia/1272-ofrecen-alternativa-de-latonado-libre-de-cianuros>.

Otra de las aplicaciones del latonado es sustituir a metales más costosos como el bronce y el mismo Latón. Todas las piezas latonadas llevan una capa inicial de Níquel, la cual le da el brillo al latonado así como penetración al metal base. En algunos casos se aplica una capa adicional de cobre (Níquel-Cobre-Latón) para lograr mayor protección, uniformidad y brillo. Este acabado se recomienda para usos interiores libres de

humedad ya que por la naturaleza del Latón, al exponerse al ambiente tiende a sufrir oxidaciones rojizas. Para disminuir el efecto del ambiente sobre el latonado se recomienda utilizar una laca transparente.

#### 2.1.5.1 Principales aplicaciones del latonado:

- El latón tiene un color amarillo brillante, con gran parecido al oro y por eso se utiliza mucho en joyería conocida como bisutería, y elementos decorativos.
- Se utiliza el latonado en armamento, calderería y soldadura.
- Se usa en la fabricación de alambres, tubos de condensador, terminales eléctricas.
- También en la elaboración de dinero moneda.
- En acabados de instrumentos musicales, como ejemplo el saxofón y en la fabricación de muchos instrumentos musicales de viento
- Se usa mucho en las construcciones de barcos, en equipos pesqueros y marinos.
- Además, por su acción antimicrobiana, se usa en los pomos de las puertas en los hospitales, que se desinfectan solos a diferencia de los metálicos.

#### 2.1.5.2 Ventajas del latonado:

- Tiene buen brillo y apariencia uniforme.
- Sustituye a materiales más costosos como el bronce y el mismo latón.
- Se desinfecta solo a diferencia de otros metales.
- Sirve para aumentar la resistencia, la oxidación, la corrosión o el desgaste.
- Mejora aspecto en elementos ornamentales.
- Favorece la adherencia del caucho sobre el acero.
- El latonado se usa como depósito intermedio para otros recubrimientos.

#### 2.1.5.3 Composición química del latonado.

Tabla 6. Composición química del latonado.

Cantidad	Elemento	Fórmula química
1 litro	Agua	$H_2O$
30g	Cianuro potásico de cobre	$Cu_2K_4(Cn)_6$
30g	Cianuro potásico de zinc	$ZnK_2(Cn)_4$
3g	Cianuro de potasio	$CNK$
5g	Cianuro de sodio	$Na_2Co_3$

5g	Sulfito de sodio	$Na_2CO_3$
4g	Cloruro de amonio	$NH_4Cl$

Fuente. <http://www.dsplace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10316/1/D-42168.pdf>

**2.1.6 Baños de cromo.** Generalmente las soluciones de ácido crómico se utilizan para fines decorativos y para trabajos de ingeniería en los cuales son necesarios espesores y dureza apreciables. El depósito es altamente reflejante y se mantiene en servicio debido a que es muy resistente a las manchas, a la corrosión, a la abrasión y a las rayaduras. El cromo es un recubrimiento casi exclusivo para el electro depósitos de níquel, el cual puede ser fácilmente aplicado sobre sustratos tales como plásticos, acero, aluminio, aleaciones de cobre y zinc. El níquel tiene esta preferencia ya que protege al sustrato de la corrosión, y ayuda al depósito de cromo a tener un color blanco. El acero inoxidable es el único sustrato que es directamente recubierto con cromo.

#### 2.1.6.1 Composición de los baños de cromo.

Tabla 7. Composición de los baños de cromo

Componentes	Baño A (g/l)	Baño B (g/l)	Baño C (g/l)
$CrO_3$	206	337.5	162.5
$SO_4^{2-}$	2.06	3.37	1.25
$F$	-	-	0.69

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

#### 2.1.6.2 Condiciones de operación típicas de los baños de cromo.

Tabla 8. Condiciones de operación típicas de los baños de cromo

Condiciones	Típica	Rango
Temperatura	40°C	32 a 50°C
Densidad de corriente	15.5A/dm <sup>2</sup>	4a31A/dm <sup>2</sup>
Agitación	Recomendable	Recomendable
Voltaje de operación	5V	3 a 8V
Relación ánodo/cátodo	2:1	1:1 a 3:1
Composición de los ánodos	Pb 93% - Sn 7%	Pb 93% - Sn 7%

Fuente: (GALVANOLYTE, 2010)

### **2.1.6.3 Principales aplicaciones del cromado:**

**Automación.** Metalización de los componentes, recubrimientos duros para piezas del motor.

**Mecánico.** Recubrimientos duros para herramientas de corte, moldes y piezas móviles.

**Sanitarios y domésticos.** Recubrimientos de grifos, tuberías, pomos y tiradores de puertas.

**Construcción.** Recubrimientos térmicos y óptimos para paneles de vidrio utilizados en la construcción de edificios acristalados.

**Micro electrónica.** Capas de protección para componentes eléctricos.

**Óptica.** Capas anti reflectantes, antihumedad para lentes, visores, espejos.

**Dispositivos Magnéticos.** Discos duros, registros magnéticos, etiquetas magnéticas.

**Juguetes y bisutería.** Recubrimientos protectores y decorativos.

**Alimentación.** Capas protectoras y decorativas para empaquetamiento de alimentos y de botellas.

### **2.1.6.4 Ventajas del cromado:**

- El cromado puede hacerse para protección contra la corrosión o contra el desgaste y la abrasión.
- Para mejorar la apariencia, para re trabajar la pieza aumentando su tamaño.
- Para hacer piezas fáciles de soldar y para proporcionar una superficie homogénea.
- Los depósitos obtenidos poseen excelentes características de uniformidad.
- En la industria, el cromado es muy útil en la producción de acero, debido a que los trabajos en las áreas son pesados por la característica del material, las piezas como rodillos, rolos, flechas, soportes, etc., que tienen contacto directo con la producción (tubos, láminas, cilindros, etc.), son sometidas a mucho esfuerzo y por ende al desgaste.

## **2.2 Pruebas típicas de control de calidad de recubrimientos.**

Tener un control sobre los recubrimientos que vayamos o que hayamos adquirido. Para poder tener una constancia de la calidad de los recubrimientos, es necesario conocer el desenvolvimiento de la misma en aplicación y servicio además de la calidad de los componentes, del proceso de fabricación y del criterio del diseño de esta.

Estas pruebas comprenden una muy extensa lista que examinarán propiedades físicas, químicas y mecánicas, así como aspectos estéticos, y la clasificación de dichas pruebas será dependiendo de qué tipo de propiedad se desea evaluar.

Estas pruebas se encuentran especificadas y estandarizadas por diferentes instituciones regidoras. Como referencia en nuestro caso usaremos el listado de "Pruebas normativas de Calidad de Recubrimientos que toma en consideración las pruebas establecidas por organismos como la ASTM, FS, que se muestra a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Pruebas normativas en recubrimientos

<b>Tipo de prueba</b>	<b>Referencia normativa</b>
<b>I. Viscosidad (consistencia)</b>	
Viscosidad Brookfield	ASTM D 2196
Viscosidad Stormer	ASTM D 562
Copa Ford # 4	ASTM D 1200
Copas Zahn	ASTM D 1084
Tubos de Gardner-Holdt	ASTM D 1545
<b>II. Dispersión - densidad</b>	
Medidor de Hegman	ASTM D 1210
Copa de peso/Galón	ASTM D 1475
Pycnómetro	ASTM D 819
Balanza de Wastphal	ASTM D 819
Hidrómetro	ASTM D 819
<b>III. Características de aplicación</b>	
Uniformidad, Lisura	ASTM D 2801
Propiedad de Humedecer	ASTM D 823
Olor	ASTM D 1296
<b>IV. Características de película</b>	
Tiempo de secado	ASTM D 1640
Brillo	ASTM D 523
Color	ASTM D 3134
<b>V. Características físicas de la película</b>	
Flexibilidad	

- Mandril cónico	ASTM D 522
- Mandril	ASTM D1737
Dureza	
- Durómetro Lápices	ASTM D 3363
- Sward Rocker	ASTM D2134
- Idéntica	ASTM D1474
- Durómetro	ASTM D2240
Resistencia a la abrasión	
- Caída de arena	ASTM D 968
- Tambor abrasivo	ASTM D1044
Adherencia	
- Trama cruzada.	ASTM D 2197
<b>VI.</b> Composición	
- Contenido de volátiles y no volátiles	ASTM D 2369
- Contenido de pigmentos	ASTM D2698
- Contenido de agua	FS 4081

Fuente: ASTM. American Society for Testing and Material, Standards

Todas estas pruebas requieren de equipos de mucha tecnología y de operarios de los mismos con conocimientos suficientes para conducir e interpretar los resultados de las mismas, pues debido a la cantidad de variables que afectan en los procedimientos es necesario tener consideraciones de humedad ambiental y temperatura, que solo pueden obtenerse en laboratorio y que al variar darán resultados fuera de los márgenes establecidos por la estandarización y completamente irreales.

### **2.3 Definiciones generales.**

**2.3.1 Norma.** Una norma es una fórmula que tiene valor de regla y tiene por finalidad definir las características que debe poseer un objeto, producto o servicio y que ha de tener una compatibilidad para ser usado a nivel internacional. Es decir que una norma es un modelo, un patrón, ejemplo o criterio a seguir.

**2.3.2 Siglas ISO.** Es una federación mundial que agrupa a representantes de cada uno de los organismos nacionales de estandarización (como lo es el INEN en nuestro país Ecuador), y que tiene como objeto desarrollar estándares internacionales que faciliten el comercio internacional. Los fundadores decidieron darle la forma corta ISO. Ya que ISO se deriva del griego isos, que significa igual, y así sea cual sea el país, cualquiera que sea su idioma, la forma corta siempre será ISO. Cuyas siglas traducidas al español significan "Organización Internacional de Normalización".

El trabajo de preparación de las Normas Internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

**2.3.3 Relación entre ISO 9000 e ISO 17025.** La ISO 9000 impone requisitos para operar un sistema de calidad en una organización mientras que la ISO 17025 es más específica con respecto a las exigencias para operar un laboratorio y verificar su idoneidad técnica para realizar ensayos y calibraciones. ISO/IEC 17025 requiere de un mayor grado de competencia técnica que los requisitos ISO 9001. La selección de auditores incluirá personal especialista en disciplinas de metrología, ensayos o prueba que realiza el laboratorio y que incluye en su alcance. Estos criterios más específicos para un laboratorio incluyen:

- Factores que promuevan independencia en la medición.
- Designar personal técnico y gerencia competente en temas de calidad, ensayos y pruebas.
- Aspectos de confidencialidad y protección de propiedad intelectual.
- Requisitos con mayor alcance específicos para evaluar.
- Requiere ISO/IEC 17025 identificar y definir metodología para asegurar consistencia de la calibración, pruebas y ensayos.
- Identificar y controlar los requisitos de ambiente interno (plantel físico, instalaciones) donde se realizan la medición y calibración.

- Aspectos de organización, sanidad y limpieza en las premisas de actividades.
- Requisitos específicos para segregar, mantener, manejar y almacenar.
- Medición y trazabilidad a patrones de calibración reconocidos (internacionalmente) y extender a medición, pruebas y ensayos según sea apropiado,
- Metodología consistente para pruebas, ensayos y calibración,
- Controles estrictos sobre procesos y actividades inclusive cuando se contraten las mismas, registros de los aspectos previamente indicados.
- ISO/IEC 17025 permite, cuidadosamente, expresar opinión y ofrecer interpretación.

Aseguramiento de la calidad de la información de pruebas, inspección o calibración. Lo que concierne a laboratorios de ensayos y calibración la certificación del sistema de calidad conforme a ISO 9001 se constituye en una indicación necesaria pero no suficiente siendo, además, imprescindible demostrar su competencia técnica ya que de acuerdo con las prácticas internacionales, se convierte en obligatorio demostrar a los clientes y usuarios de los servicios que los certificados e informes de ensayo emitidos son confiables.

Por tanto, en lo que concierne a la formalización de la credibilidad del laboratorio, el instrumento a ser adoptado no debe ser solo la certificación ISO 9001 del sistema de calidad del laboratorio ya que esta certificación no asegura la confiabilidad ni la exactitud de ensayos y calibraciones, sino su acreditación basándose en los requisitos de la norma ISO/IEC 17025, ya que esta, además del sistema de calidad, también testimonia la competencia técnica del laboratorio ya que aunque son varias las equivalencias entre ambas normas y se conciben bajo una misma filosofía, existen aspectos específicos que solo contempla la ISO/IEC 17025 y no se ven reflejados en un sistema de calidad ISO 9000.

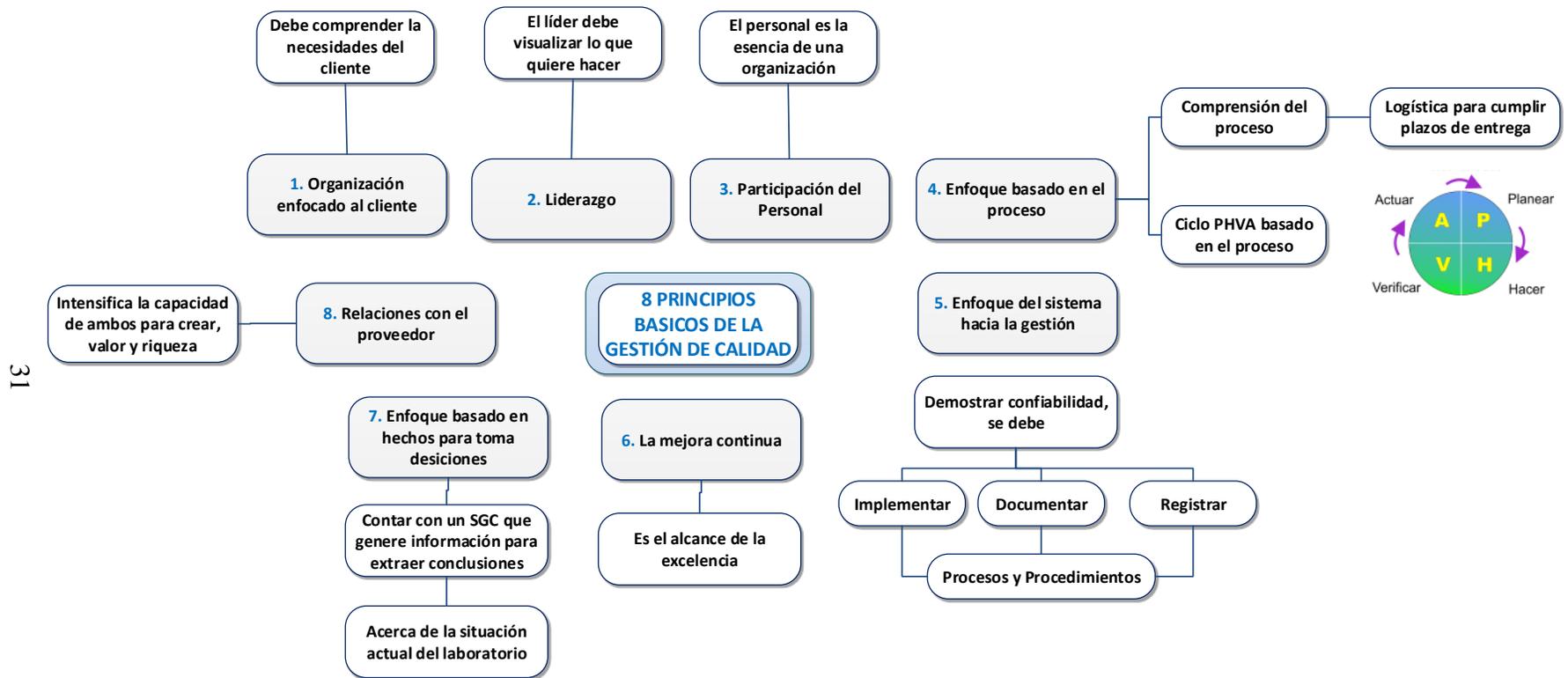
**2.3.4 Control de calidad.** Es un conjunto de técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para verificar los requisitos relativos a la calidad de las pruebas de un laboratorio.

**2.3.5 Gestión de calidad.** La gestión de la calidad es el conjunto de acciones planificadas y sistemáticas, necesarias para dar la confianza adecuada de que un ensayo va a satisfacer los requisitos de calidad.

**2.3.6 Calidad total.** Es una estrategia de gestión cuyo objetivo es que una organización satisfaga de una manera equilibrada las necesidades y expectativas de los clientes, de los empleados, de los estudiantes y de la sociedad en general que esté involucrada.

2.3.7 Los ocho principios básicos de la gestión de calidad.

Figura 4. Principios básicos de la gestión de calidad.



Fuente: Autores.

## **2.4 Norma ISO/IEC 17025.**

La norma ISO vigente en el Ecuador para acreditar laboratorios es la NTE-INEN ISO/IEC 17025:2005. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Esta Norma Internacional establece los requisitos generales para la competencia empresarial y es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos y/o calibraciones, incluido muestreo utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio organismo. Es aplicable además a todos los laboratorios independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo o de calibración que posean.

También puede ser utilizada por los clientes del laboratorio, las autoridades reglamentarias y los organismos de acreditación cuando confirman o reconocen la competencia de los mismos. Esta norma opera bajo un sistema de calidad, evalúa la competencia técnica de los laboratorios. Y los laboratorios acreditados tienen la capacidad de generar resultados válidos y hay un reconocimiento mutuo con otros laboratorios del mundo.

La nueva versión 2005 se alinea con la ISO 9001:2008, para que ambas normas sean compatibles. En la calidad intervienen factores económicos, técnicos y humanos.

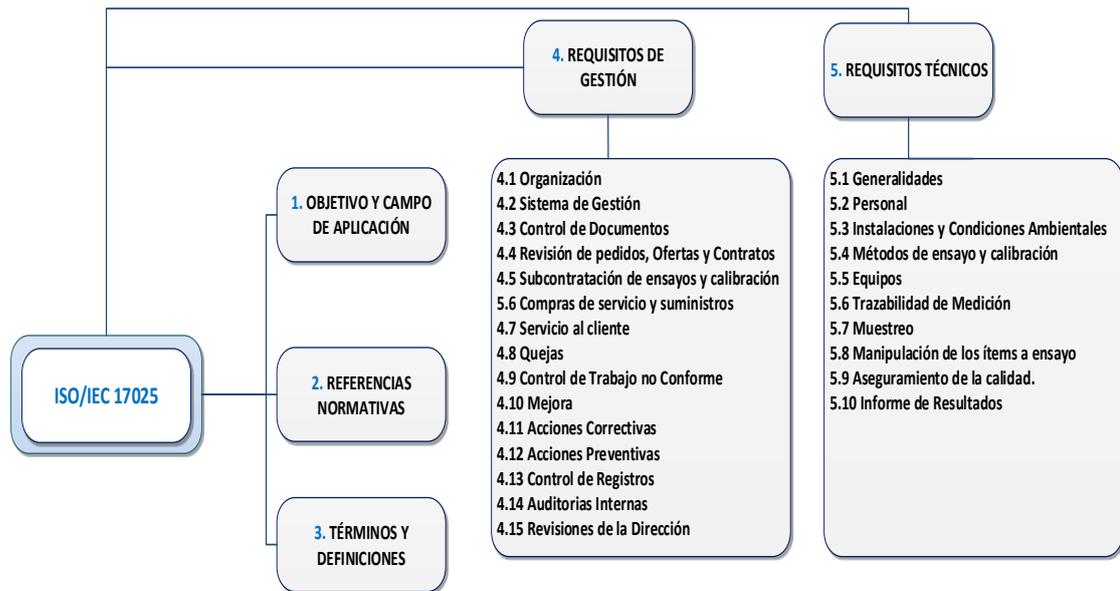
El motor del sistema de calidad son las personas. Estos empleados tienen el conocimiento, las habilidades, la autoridad y el deseo necesario para tomar decisiones y actuar dentro de los límites establecidos. El empleado se responsabiliza de las consecuencias de sus acciones y de su contribución al éxito de la empresa, lo cual se refleja por los aportes de nuevas ideas al sistema. Para llevar la implementación de un sistema de calidad a cabo se requiere de organizaciones no rígidas, con directivos con liderazgo, y éstos deben buscar el cambio cultural para la formación de equipos de trabajo en colaboración que se responsabilicen de las actividades de planificación, control y mejoramiento continuo de los diferentes procesos.

Este proceso requiere el total compromiso de la dirección de una organización y un liderazgo activo de todo el equipo directivo. Otro punto importante es la comunicación la cual tiene que ser fluida y desplegada a toda la organización. La competencia técnica

necesaria para acreditar los ensayos según ISO 17025 se apoya en tres pilares. Estos pilares son el personal, el equipamiento y ambiente, y el método.

#### 2.4.1 Estructura de la norma ISO/IEC 17025

Figura 5. Estructura de la norma ISO/IEC 17025



Fuente: Autores.

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL LABORATORIO DE PROCESOS INDUSTRIALES

#### 3.1 Facultad de Ingeniería Mecánica.

La Escuela de Ingeniería Mecánica fue creada el 3 de Abril de 1973, es una Unidad Académica de la ESPOCH comprometida con los más altos intereses de la sociedad, cuyo objetivo es responder a las exigencias del entorno industrial que busca constante evolución y desarrollo. Se dispone de una planta docente de cuarto nivel; laboratorios y talleres de apoyo que garantizan la formación eficiente y efectiva de sus profesionales, asegurando el campo ocupacional a sus egresados.

#### 3.2 Escuela de Ingeniería Industrial.

La Escuela de Ingeniería Industrial fue creada el 22 de junio de 1999 gracias a la aprobación del organismo colegiado superior. Es una entidad comprometida en formar Ingenieros Industriales con capacidad de analizar y especificar componentes integrados de las personas, de las máquinas, y de recursos para crear sistemas eficientes y eficaces que producen las mercancías y los servicios beneficiosos integrados al buen vivir de la sociedad. En su ámbito profesional su desempeño lo realiza enmarcado en la realidad actual y proyección futura de la demanda productiva nacional e internacional, participando activamente en el proceso de transformación del país, con espíritu crítico y mentalidad de servicio.

##### *Misión de la carrera:*

Formar Ingenieros Industriales críticos, humanistas, éticos, respetuosos de la cultura y el ambiente. Su accionar se sustenta en la base del conocimiento de las ciencias básicas y de la ingeniería, se adapta fácilmente a trabajar en equipos multidisciplinarios, contribuyendo de manera eficaz en el ámbito de su especialidad: calidad, seguridad, producción, productividad.

### *Visión de la carrera:*

Los Ingenieros Industriales de la Epoch, son formados con conocimientos científico-técnicos con los más altos estándares de formación profesional, constituyéndose en un profesional clave en la solución de múltiples problemas en diferentes instituciones, empresas o a nivel particular. Transformándose en un referente a nivel de Latinoamérica y el Mundo.

### **3.3 Infraestructura del laboratorio.**

El Laboratorio de Procesos Industriales, comienza sus operaciones en el año 2009, destacando desde su comienzo un crecimiento en todos los años anteriores, proporcional a la excelente calidad y mejora de los ensayos que realiza.

Figura 6. Logotipo del laboratorio



Fuente: Autores.

La infraestructura del laboratorio es básicamente la apropiada, cuenta con la señalización básica adecuada. El laboratorio posee de todas sus instalaciones y condiciones de trabajo adecuadas para la realización de los ensayos que realiza, principalmente ensayos tipo electrodeposición. El acceso al laboratorio es únicamente para Estudiantes/practicantes y previo al ingreso se debe tener un equipo de protección básico como: mandil, mascarilla, guantes de nitrilo.

### **3.4 Ubicación del laboratorio.**

Refiriéndonos a la ubicación del laboratorio, se encuentra en la misma edificación de la Biblioteca de la Facultad de Mecánica. Desde la cual el laboratorio sigue actualizándose

cada día para ofrecer y prestar un mejor servicio a los estudiantes. Dentro de los conceptos de un SGC (Sistema de Gestión de Calidad).

### 3.5 Servicios/ensayos que oferta el laboratorio

Descripción de los Servicios/Ensayos que realizan en el laboratorio de Procesos Industriales LAPI.

Tabla 10. Ensayos/servicios que oferta el laboratorio

<b>Ensayos/pruebas</b>	<b>Descripción</b>
Niquelado	Baño electrolítico que aporta: Resistencia al desgaste, aumento de la dureza., resistencia a la corrosión. Mejor aspecto (color, brillo).
Cobreado	Baño electrolítico que aporta, aumenta la resistencia a la oxidación, corrosión o desgaste, mejora la conductividad y soldabilidad, mejora aspecto en elementos ornamentales.
Zincado	Baño electrolítico que, protege las piezas de la oxidación, corrosión o desgaste, mejora su aspecto visual.
Latonado	Sirve como base fundamental para favorecer la adherencia del caucho sobre el acero y como depósito intermedio para otros recubrimientos.
Anodizado	Proceso electrolítico de pasivación utilizado para incrementar el espesor de la capa natural del óxido en la superficie de piezas metálicas.
Cromado	Se utiliza para fines decorativos y para trabajos de ingeniería en los cuales son necesario espesores y dureza apreciables.
Medición de Espesores	Prueba destructiva para determinar el espesor, utiliza el principio básico de la trigonometría.
Dureza	Lápices de ensayo para determinar la dureza es una técnica simple pero eficaz para evaluar la dureza de muchos revestimientos.
Adherencia	Indica la fuerza con la que el revestimiento está afianzado en la superficie o en otra capa de revestimiento, o la fuerza de cohesión de algunos sustratos.
Tintas Penetrantes.	Es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades presentes en la superficie de los materiales examinados.

Fuente: Autores.

### 3.6 Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del laboratorio de Procesos Industriales.

Tabla 11. Análisis FODA en el laboratorio de Procesos Industriales.

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporta con el entendimiento práctico del estudiante.</li> <li>• Ventilación apta para la realización de ensayos.</li> <li>• Organización adecuada del laboratorio.</li> <li>• Cuenta con equipos adecuados para la realización de pruebas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fomentar el aprendizaje en otras instituciones educativas.</li> <li>• Accesibilidad en la implementación de nuevos equipos.</li> <li>• Inexistencia de otros laboratorios afines en la facultad.</li> <li>• Participación en el desarrollo e innovación de las empresas con los conocimientos adquiridos.</li> </ul>
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura no adecuada en su totalidad.</li> <li>• Déficit de espacio físico.</li> <li>• Carencia de algunos servicios básicos.</li> <li>• Áreas de trabajo no especificadas.</li> <li>• No cuenta con un manual de trabajo determinado.</li> <li>• No cuenta con un manual de gestión de la calidad.</li> <li>• Escaso presupuesto para realizar mejoras en el laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios constantes de las tecnologías en tratamientos superficiales por electrolisis.</li> <li>• Costos elevados de equipos nuevos para el laboratorio.</li> <li>• Dificil acceso en la compra de sales para la electrolisis.</li> <li>• Inexistencia de otros laboratorios para realizar pruebas comparativas.</li> <li>• Altos costos en mantenimiento de equipos.</li> </ul>

Fuente:  
Autores

## **CAPÍTULO IV**

### **4. IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

#### **4.1 Ensayos físicos de los recubrimientos.**

Una vez recubierto un objeto con el metal deseado es preciso comprobar si la deposición ha sido correcta, es decir, si el recubrimiento posee las cualidades de brillo, espesor, dureza, adherencia, apetecidas. Esta comprobación reviste la máxima importancia cuando no se persigue sólo la mera presentación del artículo, sino que se busca además una eficaz protección contra el desgaste por el uso y sobre todo contra el ataque de la corrosión.

Generalmente la mayor parte de las piezas en el laboratorio se comprueban por simple inspección rutinaria, existen métodos que nos permiten conocer con mucha mayor exactitud las cualidades físicas de un depósito. Entre estas cualidades la de mayor interés son, sin duda, las de: brillo, espesor, porosidad, espesor, dureza, adherencia y resistencia a la corrosión, dado a continuación los métodos más adecuados para la determinación de dichas cualidades físicas.

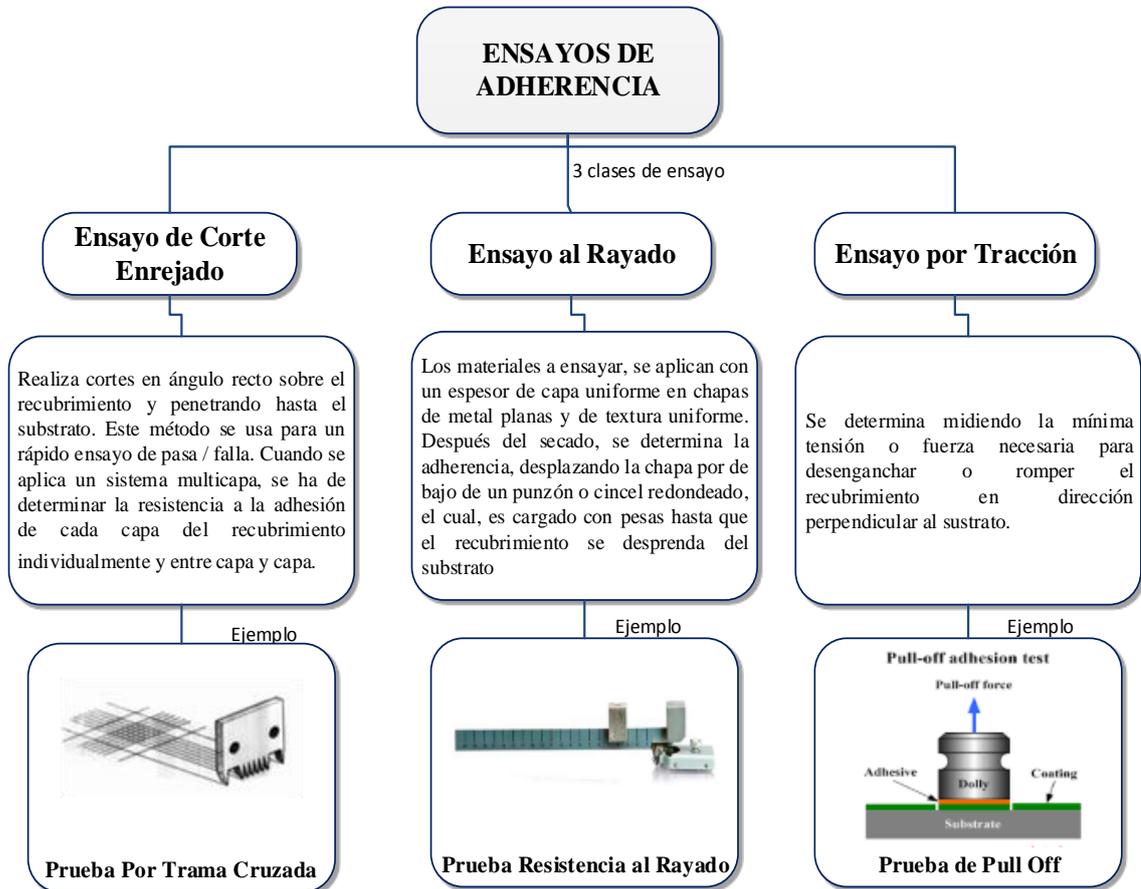
En el laboratorio de Procesos Industriales se implementara pruebas respecto a la dureza, adherencia y medición de espesores destructivo.

#### **4.2 Medidores de adherencia.**

La cualidad de adherencia es también muy importante para un depósito, ya que de poco servirá el que éste tenga una dureza, brillo, espesor óptimo, si se desprende fácilmente del metal-base (sustrato) a proteger o simplemente a decorar. Un factor muy importante en los procesos de electrodeposición es la corriente que utiliza el sistema para llevar a cabo la operación, será determinante para las propiedades del recubrimiento, ya que establece la adherencia de la capa tanto como su calidad y velocidad de deposición, esta última es directamente proporcional al voltaje.

Los recubrimientos deben adherirse satisfactoriamente al sustrato donde son aplicados. En la práctica se emplean tres procedimientos de ensayo diferentes para la determinación de la resistencia en los recubrimientos al ser separados de los sustratos.

Figura 7. Ensayos de adherencia.



Fuente: Autores

**4.2.1 Selección del equipo para determinar adherencia.** De acuerdo a los ensayos que se realizan en el laboratorio de tratamientos superficiales, el equipo apto para determinar la adhesión de estos recubrimientos al sustrato, sería mediante “corte enrejado” o también llamado por “trama cruzada”, ya que en el mismo laboratorio las piezas recubiertas no son de mayor tamaño y generalmente son probetas planas y de fácil manipulación.

A continuación se detalla el equipo seleccionado:

### **Cortador de trama cruzada Elcometer 107.**

Con el presente cortador se puede hacer una evaluación instantánea de la calidad de unión al sustrato. Debido a su robusta construcción, este medidor es ideal para revestimientos finos, gruesos o duros sobre todas las superficies. Ideal para pruebas en campo o laboratorio.

Diseño robusto, Mango grande y antideslizante, Ideal para revestimientos finos, gruesos o duros, Cortador de 4 lados, de fácil cambio, para pruebas de adherencia en un amplio margen de espesores de revestimiento.

Figura 8. Cortador de trama cruzada Elcometer 107.



Fuente: Elcometer Website.

El equipo seleccionado puede utilizarse con las siguientes Normas Internacionales que hacen referencia a procedimientos para determinar adhesión de recubrimientos:

- AS 33894.9
- ASTM D 3359-B
- ISO 2409
- AS 1560.408.4
- ISO 16276-2
- NF T30-03

### **4.3 Medidores de dureza.**

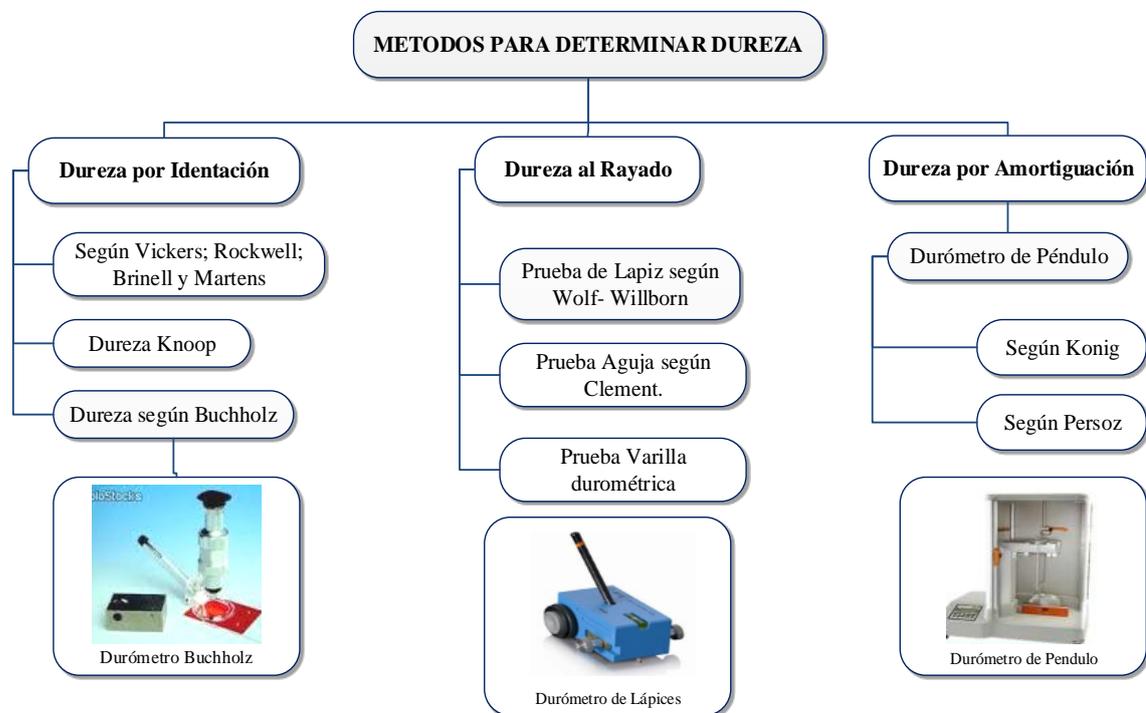
La mejora de la resistencia mecánica forma parte de numerosos requerimientos de calidad. Uno de los criterios más importantes para evaluar esta capacidad es la dureza.

El término "Dureza" se utiliza para referirse a diferentes propiedades del material, en concreto las siguientes:

- Resistencia al rayado y al desgaste
- Resistencia a la penetración

Dependiendo de los requisitos, hay varios métodos para comprobar la dureza. Algunos se emplean exclusivamente para caracterizar revestimientos y otros son más apropiados para probar materiales en masa, como metales, plásticos, caucho o elastómeros.

Figura 9. Métodos para determinar dureza.



Fuente: Autores.

Para materiales en masa como los metales, se aplican durómetros de indentación según la dureza Vickers, Rockwell, Brinell, donde el principio de funcionamiento es la profundidad de penetración. Dichos durómetros no son aplicables para medir dureza en recubrimientos como cobreados, latonados, zincados, cromados debido a que los indentadores utilizados (cónico esferoidal de diamante o el indentadora de bola de acero), pueden penetrar el recubrimiento y llegar a penetrar el sustrato, por lo que se obtendrían

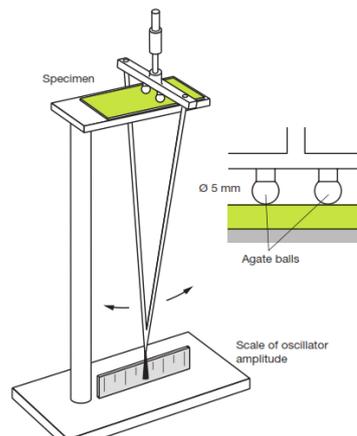
resultados erróneos. En la industria de los recubrimientos, se emplean diferentes métodos de ensayo para determinar la dureza, los más prácticos son:

### **Durómetro de péndulo**

Consiste en un péndulo con oscilación libre sobre dos bolas que yacen sobre un panel de prueba revestido. Estos durómetros de péndulo se basan en el principio de la amplitud de oscilación del péndulo, que disminuye más lentamente si se apoya sobre una superficie más dura y se reduce más rápido sobre una superficie más suave.

La dureza viene dada por el número de oscilaciones, realizada por el péndulo entre dos ángulos predeterminados. Estos ángulos son de  $12^\circ$  para el ensayo de Persos y  $6^\circ$  para el Konig.

Figura 10. Durómetro de péndulo



Fuente: (Handbook, 2007).

### **Durómetro de lápices.**

Las pruebas de dureza con lápiz son para determinar la resistencia de ciertos materiales y/o capas de recubrimiento a los efectos del rayado o rasguño sobre el recubrimiento. En la prueba de Wolff-Wilborn, los lápices de varios grados de dureza se mueven rayando la superficie bajo una presión y ángulos fijos con respecto a la superficie. El grado de dureza del lápiz que dañe la pintura de la superficie recubierta se toma como medida de la dureza al rasguño. Ejemplo: Dureza "6H".

Figura 11. Escala de dureza en lápices

Softer (darker)										Harder (lighter)									
9B	8B	7B	6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	F	H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H
								#1	#2	#2½	#3	#4							

Fuente: (ASTM D3363, 2000)

### Durómetro Buchholz.

El Durómetro Buchholz, está diseñado para medir la dureza de un revestimiento por el método de indentación, consiste en una herramienta indentadora con un disco biselado que se instala en un bloque de acero inoxidable que ejerce una carga constante de prueba de 500 g (17.6 oz). El medidor se coloca sobre el revestimiento durante 30 segundos y la longitud de la indentación en el revestimiento se mide con un microscopio graduado. El resultado se expresa como unidades de resistencia a la indentación Buchholz.

Figura 12. Medida de dureza Buchholz

Profundidad de indentación		Resistencia a la indentación	Profundidad de indentación		Espesor de revestimiento mínimo para el cual una medida es válida	
µm	mm		µm	mils	µm	mils
20	0,8	125	5	0,2	15	0,59
21	0,85	118	6	0,24	20	0,79
23	0,9	111	7	0,28	20	0,79
24	0,95	105	7	0,28	20	0,79
25	1,0	100	8	0,31	20	0,79
38	1,05	95	9	0,35	20	0,79
28	1,1	91	10	0,39	20	0,79
29	1,15	87	11	0,43	25	1
30	1,2	83	12	0,47	25	1
33	1,3	77	14	0,55	25	1
35	1,4	71	16	0,63	30	1,18

Fuente: (Handbook, 2007)

**4.3.1 Selección del equipo para determinar dureza.** Según lo analizado para determinar la dureza en recubrimientos, se descarta el uso de durómetros Vickers, Rockwell, Brinell, debido a que estos son utilizados para determinar durezas en materiales en masa, además que sus indentadores penetran el recubrimiento y pueden llegar hasta el sustrato obteniendo lecturas erróneas.

Se descarta el uso de un durómetro de Buchholz ya que para este se necesita de un espesor del recubrimiento mínimo ( $15\mu\text{m}$ ) para obtener una medida válida. Los recubrimientos superficiales como el cobreado, latonado, zincado, niquelado, anodizado y cromado se obtienen espesores en un rango de 2 a  $10\mu\text{m}$  y no es eventual que superen  $20\mu\text{m}$ . Los durómetros que aplican para pruebas de dureza en este tipo de revestimientos son: el durómetro de péndulo, y el durómetro de lápices. Verificando la disponibilidad en el mercado, se dispone del durómetro de lápices. A continuación se detalla el equipo seleccionado:

### **Durómetro de Lápices Elcometer 501.**

El Elcometer 501 ha sido diseñado para asegurarse que la mina del lápiz cilíndrico se mantiene a un ángulo constante de  $45^\circ$  y ejerce una fuerza de  $7.5\text{ N}$  ( $1.68\text{ lbF}$ ).

La mina del lápiz, preparada previamente usando un sacapuntas especial y papel abrasivo, se inserta en el Elcometer 501 y se empuja contra la superficie revestida suave y plana. El valor más bajo de dureza del lápiz que marca el revestimiento que determina el grado de dureza del mismo. La prueba de dureza con lápiz, a la que también se hace referencia como la prueba de Wolff-Wilborn, utiliza los valores variables de dureza de lápices de grafito para evaluar la dureza de un revestimiento.

Figura 13. Durómetro de lápices Elcometer 501



Fuente: Elcometer Website.

### **4.4 Medidores de espesor.**

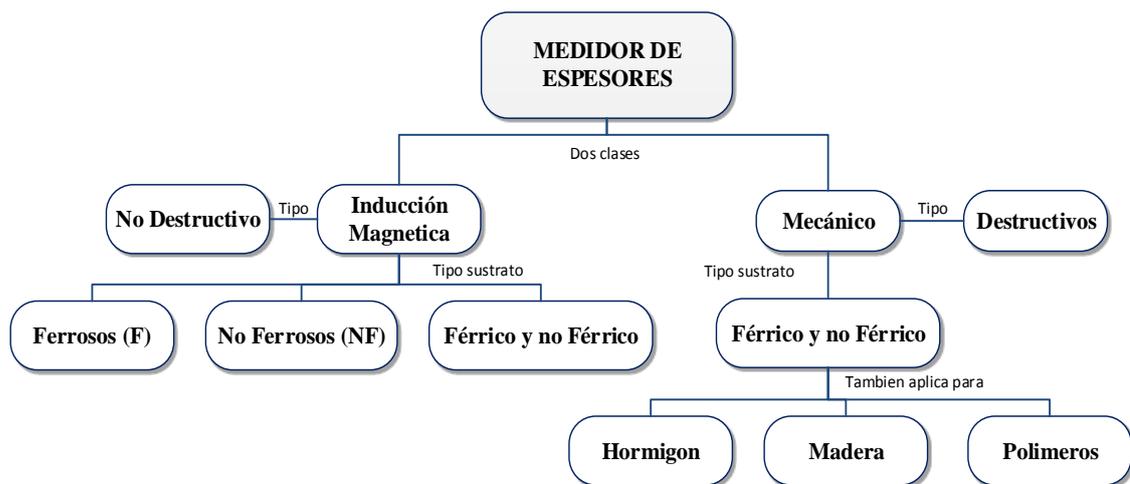
El espesor de un depósito galvánico, como es fácil suponer, es calidad importantísima, ya que de este espesor depende en gran manera su capacidad de resistencia a los ataques

de la corrosión. Esta resistencia está directamente relacionada con el espesor de la capa depositada, siendo mayor cuanto mayor sea ésta, y con la porosidad del depósito, la cual suele ser mayor cuanto más delgado sea el depósito.

Directa o indirectamente, pues, el espesor de un depósito constituye la salvaguarda principal contra el ataque de la corrosión del metal base o sustrato, siendo el conocimiento de este espesor la garantía de dicha protección. En la industria de los revestimientos, esta es la medida más crítica puesto que ofrece información vital en cuanto a la vida prevista del sustrato, la idoneidad del producto a los fines que se pretende y su aspecto, además de asegurar el cumplimiento de una gran cantidad de Normas Internacionales.

Existen diversos tipos de medidores según su tipo:

Figura 14. Tipos de medidores de espesor



Fuente: Autores.

#### 4.4.1 Beneficios y desventajas medidores por inducción magnética.

Tabla 12. Beneficios y desventajas medidor espesor por inducción magnética

Beneficios	Desventajas
Mediciones rápidas	Necesita laminas o patrones de calibración antes de cualquier ensayo

Mayor amplitud de lecturas	Limitación de sustratos Férricos (F); No Férricos (NF)
Precisión de medición +- 1%	Más costoso
Almacenar lecturas en Lotes.	Inapropiado para altas temperaturas
Comunicación Inalámbrica	No permitido en atmosferas inflamables, producción petróleo o gas.
Medición final de multicapas	No permite medición individual en sistema de capas múltiples.
Tipo no destructivo, no altera ni daña el material revestido	

Fuente: Autores.

#### 4.4.2 Beneficios y desventajas medidores tipo mecánicos.

Tabla 13. Beneficios y desventajas medidor espesor tipo destructivo.

<b>Beneficios</b>	<b>Desventajas</b>
Ideal para revestimientos Duros y Gruesos.	Tipo destructivo por lo que daña o altera el material revestido
Medición de capas individuales en un sistema de capas múltiples.	El sustrato necesita ser reparado después del ensayo para prevenir oxidación.
Aptos para trabajos en áreas de alto riesgo, alta temperatura o inflamables	Precisión de medición +- 5%
Puede emplear en sustratos bajo el agua o donde el riesgo de explosión sea alto.	
Puede medirse bien en superficies magnéticas, no magnéticas, hormigón, madera, plástico.	

Fuente: Autores.

**4.4.5 Selección del medidor de espesor.** De acuerdo a lo expuesto y a las necesidades del Laboratorio de Procesos Industriales, se debería optar por un medidor de espesores

tipo destructivo, ya que este propone ventajas más aplicables al laboratorio especialmente que se puede aplicar en cualquier tipo de sustrato ya sea ferroso (acero, hierro) y No Ferroso (aluminio y aleaciones de este), además que ofrece una manera más práctica y educativa de entender la importancia del espesor en recubrimientos, mas no solo fiarse de un instrumento electrónico. La medición de espesor de tipo destructivo es comúnmente el método más garantizado disponible para hacer ciertas pruebas en combinaciones recubrimiento/sustrato. A continuación se detalla el equipo seleccionado.

### **Medidor de Recubrimientos Elcometer 141**

Es un método rápido y versátil de examen y de medida destructiva del revestimiento en un instrumento portátil y sencillo. Ergonómicamente diseñado para establecer una distribución equilibrada del peso a fin de hacer un corte uniforme, es ideal para revestimientos resistentes. Ideal cuando es necesario el medir la capa individual de espesor de un sistema de capas múltiples

Figura 15. Medidor de recubrimientos Elcometer



inspección de 104

Fuente: Elcometer Website.

## **4.5 Procedimiento para determinar adhesión según la norma ASTM D 3359**

### **Introducción**

Las pruebas de adherencia después de la aplicación del revestimiento, cuantifica la resistencia de la unión entre el sustrato y el revestimiento, o entre diferentes capas de revestimiento o bien la fuerza cohesiva de algunos sustratos. Desde las estructuras más grandes hasta los electrodomésticos más pequeños, la mayor parte de los productos manufacturados tienen un revestimiento protector o embellecedor. Comprobar la adherencia de los revestimientos no solo contribuye a detectar fallos potenciales de los

revestimientos, sino también a definir las propiedades físicas de un revestimiento durante su formulación. El fallo prematuro de este revestimiento puede llegar a ser motivo de costos adicionales de reparación. Esta es la razón por la que la comprobación de la adherencia es esencial para reducir al mínimo el riesgo de una adherencia deficiente.

## **Objetivo**

Fija las condiciones de inspección y la metodología para la evaluación del grado de adherencia en recubrimientos de superficies metálicas, con base en especificaciones según el espesor de la capa del recubrimiento.

## **Alcance**

Este procedimiento abarca los métodos para evaluar el grado de adhesión en películas de recubrimientos aplicadas sobre superficies metálicas.

## **Definiciones**

Para el propósito de este documento, se designan las definiciones:

*Adherencia:* La adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.

*Recubrimiento:* Es un material que es depositado sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato

*Mil:* El mil es la mínima unidad de longitud en el sistema inglés de medidas, es la milésima parte de una pulgada. Equivale a 0,0254 milímetros; en otras unidades: 25,4 micrómetros. Se utiliza para medir la longitud de cuerpos vistos con microscopios y se suele usar en Estados Unidos y Latinoamérica para medir espesores y longitudes muy cortas en áreas técnicas (como aplicación de recubrimientos o maquinado de piezas).

*Micron:* Es una unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro. Su símbolo científico es  $\mu\text{m}$

*ISO:* International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

*ASTM*: American Association for Testing Materials

### **Métodos De Prueba De Adherencia.**

La aplicabilidad de los métodos de prueba está determinada por el espesor del recubrimiento, así:

- Espesores mayores o iguales a 5 mils = Método de Prueba A
- Espesores menores a 5 mils = Método de Prueba B

Instrumentos y Materiales:

- Elemento de corte Elcometer 251
- Cuchilla de corte según el espesor
- Cinta ASTM D3359 (Opcional)
- Fuente de Luz
- Regla o escuadra
- Goma de lápiz (borrador).

### **Método de Prueba A (Sistema de la X).**

Se selecciona un área libre de manchas y con la mayor cantidad de imperfecciones en su superficie, seca y dentro de unos parámetros adecuados de humedad relativa y temperatura. Se realizan dos cortes de 1.5 pulgadas cada uno cruzados en sus longitudes medias; formando un ángulo entre 30° y 45°; utilizando para ello la regla o escuadra y el elemento de corte (cuchilla).

Haciendo sólo un movimiento a la vez; inmediatamente inspeccione las incisiones por reflexión de la luz sobre la superficie seleccionada para asegurarse que la película del recubrimiento haya sido plenamente penetrada.

*Opcional*: Se toma una longitud de tres (3) pulgadas de cinta adhesiva, que será pegada en el centro de la intersección de los dos cortes sobre la misma dirección de los ángulos pequeños; se presiona la cinta en el lugar de las intersecciones con el uso de la goma

elástica (preferiblemente la goma de un lápiz), el color bajo la cinta es una indicación de si el contacto está bien hecho.

Se remueve la cinta del extremo libre de la aplicación, en contra sentido, formando en lo posible un ángulo de 180°. Se inspecciona el área de la X para remoción del recubrimiento o capas del recubrimiento, la razón de la adherencia se basa en las siguientes escalas:

- 5 A No removido
- 4 A Removido a lo largo de las incisiones
- 3 A Removido a lo largo de las incisiones por encima de 1 / 16
- 2 A Removido a lo largo de las incisiones por encima de 1 / 4
- 1 A Removido más del área de la intersección de la X
- 0 A Removido más allá del área de la X

Repita la prueba en otras dos partes de la superficie metálica y consigne los resultados en el respectivo registro de control.

### **Método de Prueba B (Sistema de cuadrícula)**

Seleccione un área libre de manchas y con la mayor cantidad de imperfecciones. Para películas con espesores menores o iguales a 5 mil realice sobre la superficie cortes perpendiculares de longitud 3 / 4" (20 mm) con una separación de 2 mm a lado y lado de las mismas, de tal forma que se genere una cuadrícula.

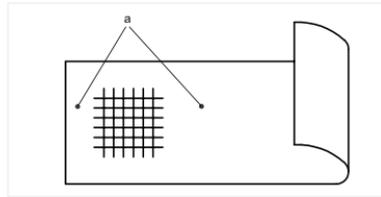
Después de realizados los cortes, limpie la superficie con una brocha o cepillo suave para eliminar los residuos del recubrimiento desprendidas en el corte; inspeccione por reflexión de la luz que los cortes hayan penetrado plenamente la película del recubrimiento.

Si no ha sido alcanzada una satisfactoria penetración, se debe realizar una nueva cuadrícula en otra parte de la superficie metálica.

*Opcional:* Una vez generada la cuadrícula sobre el área seleccionada se toma tres (3) pulgadas de cinta adhesiva y se ubica en el centro de la cuadrícula presionándola.

Suavemente con la goma elástica; el color bajo la cinta en una buena indicación para saber cuándo se ha hecho un buen contacto.

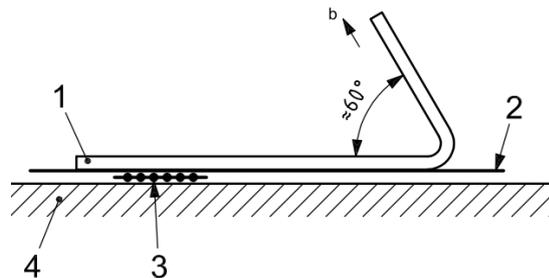
Figura 16. Posición de la cinta adhesiva respecto al corte



Fuente: American Society for Testing Materials D 3359-B

Se remueve la cinta del extremo libre de la aplicación, en contrasentido, formando en lo posible un ángulo de 60° (ISO 2409) o un ángulo de 180° (ASTM D3359).

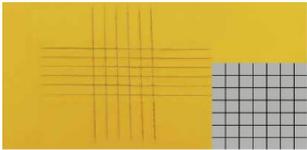
Figura 17. Posición de remoción de la cinta ASTM3359/ISO 2409

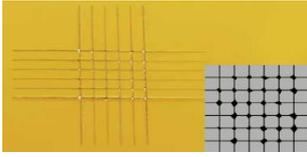
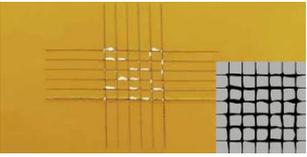
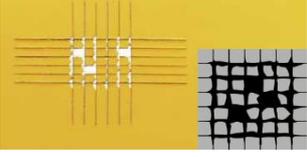
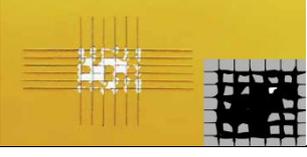
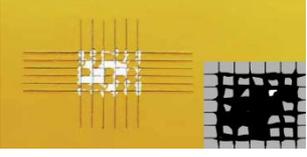


Fuente: American Society for Testing Materials D 3359-B.

Se inspecciona el área de la cuadrícula y se avala el grado de adherencia de acuerdo a la siguiente escala. Ver tabla 14

Tabla 14. Resultados de adherencia por trama cruzada

Superficie	Descripción	ISO	ASTM
	Los Cortes de la cuchilla son limpios, no se ha desprendido cuadros del enrejado	0	5B

	Desprendimiento de pequeñas partes del revestimiento en las intersecciones de los cortes. Sólo se afecta a un área de corte no mucho mayor al 5%	1	4B
	El revestimiento se desconcha por los bordes y/o en las intersecciones de los cortes. Afecta a un área de corte mucho mayor del 5%, pero no muy superior al 15%	2	3B
	Revestimiento se desconcha por los bordes de los cortes parcialmente o en grandes tiras y/o se desconcha parcial o completamente en varias partes de los cuadrados. Afecta a un área bastante superior al 15% , pero no mucho mayor del 35%	3	2B
	El revestimiento se desconcha por los bordes de los cortes en grandes tiras y/o algunos cuadrados se desprenden parcial o completamente. Afecta a un área de corte mucho mayor del 35%. pero no muy superior al 65%	4	1B
	Cualquier nivel de desconchado que no puede clasificarse en ISO 4/ ASTM 1B	5	0B

Fuente: ISO/ASTM Standars.

En el anexo se muestra el ejemplo del registro de medición de adherencia.

#### 4.6 Procedimiento para determinar dureza según la norma ASTM D 3363

##### Introducción

La dureza se puede definir como la resistencia de un material a la deformación permanente. En la industria de los revestimientos, la medida de la dureza puede utilizarse para determinar la resistencia de los revestimientos al rayado provocado por el uso y el desgaste incluso si él está totalmente curado.

El término "Dureza" se utiliza para referirse a diferentes propiedades del material, en concreto las siguientes: a) Resistencia al rayado y al desgaste, b) Resistencia a la penetración.

### **Objetivo**

Fijar las condiciones de inspección y la metodología para la evaluación del grado de dureza de la película del recubrimiento en base al grado de dureza del lápiz.

### **Alcance**

Este procedimiento abarca los métodos para evaluar el grado de dureza en películas de recubrimientos aplicadas sobre superficies metálicas y no metálicas.

### **Definiciones**

Para el propósito de este documento, se designan las definiciones:

*Dureza*: La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras.

*Durómetro*: Es un aparato/instrumento que mide la dureza de los materiales, existiendo varios procedimientos para efectuar esta medición

*Sustrato*: capa del material debajo de la capa superficial del mismo

*Iso*: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

*ASTM*: American Association for Testing Materials

### **Aplicación.**

El medidor de dureza de lápiz Elcometer 501 ha sido diseñado y manufacturado de acuerdo a la norma ASTM D3363 para la prueba de dureza de cualquier recubrimiento (ver figura 18.).

Éste determina la dureza de la película de recubrimiento en base al grado de dureza del lápiz. Tiene un volumen pequeño y un peso ligero y puede usarse tanto en el laboratorio como en el sitio de construcción para determinar la dureza.

Figura 18. Durómetro de lápices Elcometer 501



Fuente: Autores

### **Principio de trabajo.**

El instrumento es de tipo mecánico. Ofrece tres puntos de contacto con la superficie de la capa de recubrimiento a ser probado (dos son ruedas y uno es la punta de un lápiz) garantizando un ángulo de 45° entre la mina del lápiz y la superficie. Se desplaza el instrumento sobre la superficie para realizar la prueba.

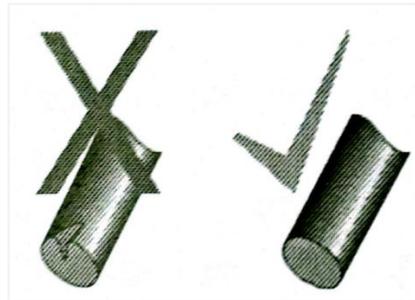
### **Parámetros técnicos.**

Carga aplicada por el lápiz:	750 gramos (7.36 N)
Dimensiones:	Alto: 63mm, Largo: 130mm, Ancho: 50mm
Peso:	2.1 Kg. (4lb 10 ¼ oz)
Cantidad lápices:	14 piezas
Marca:	Faber Castell 9000
Grados:	6H – 6B

### **Preparación.**

Afile el lápiz (sacar punta) hasta que la mina tenga una dimensión de 5 a 6 mm (asegúrese de que la punta no este suelta o cortada). Coloque el lápiz perpendicularmente (a 90°) sobre la superficie de una lija del No.400. Haciendo un movimiento circular, lije el extremo puntiagudo de la puntilla del lápiz hasta obtener una superficie plana con bordes afilados y bien definidos (sin cuarteaduras). Repita este procedimiento cada vez que inicie una prueba.

Figura 19. Preparación correcta del lápiz



Fuente: Elcometer Website

La prueba debe realizarse a una temperatura ambiente de alrededor de 16 a 23 ° C + - 2 ° C y humedad relativa <80%.

Utilice T99923040-1 sacapuntas para lápices 6H, 5H, 4H, 3H, 2H, H, F, HB y 2B.

Utilice T99923040-2 sacapuntas para lápices 3B, 4B, 5B y 6B.

## Operación

Apoyar el probador del lápiz en el bloque de configuración. Montar el lápiz más suave, 6B, en el cuerpo del probador, con la punta del lápiz de descanso en la superficie de la película del recubrimiento. Bloquear el lápiz en su lugar con el tornillo de ajuste el tornillo de ajuste (Thumbscrew) y luego retire el bloque de ajuste o nivelación (Setting Block).

Figura 20. Montaje de lápiz





Fuente: Autores.

Coloque el instrumento sobre la superficie a probar. Empújelo hacia el frente con fuerza para que se rompa la punta del lápiz o se rasgue la superficie del filme de recubrimiento aplicando una velocidad aproximada de 1 mm/s. A una distancia de aproximadamente 6 mm (0.25"). Inicie la prueba con el lápiz más suave haciendo cinco trazos lineales de 6 mm antes de cambiar a un lápiz más duro hasta que encuentre uno que rasgue la capa de recubrimiento.

### **Inspección de la prueba**

Compruebe la superficie de arañazos o estrías ya sea por inspección visual de cerca, por el tacto con la uña o, si así se acuerda, utilizando un microscopio con entre x6 y magnificación x10, puede utilizar el microscopio del equipo Elcometer 141 que se encuentra en el mismo laboratorio de procesos Industriales.

El código de dureza del último lápiz representará la dureza superficial del filme de recubrimiento que está probando.

Si no se ha producido un marcado repetir la prueba, con el siguiente lápiz más duro. La prueba se debe repetir 12 mm de distancia de la primera prueba. Al repetir la prueba, gire el lápiz para asegurarse de que el borde de la delantera en contacto con el panel de ensayo no esté quebrada o se desmoronó. Si es necesario el lápiz debe prepararse de nuevo.

La siguiente información debe estar contenida en cualquier informe sobre los resultados de la prueba lápices:

- El tipo de defecto resultante de la prueba
- La marca y fabricación de lápices
- El aumento del microscopio, si se utiliza
- Cualquier desviación de condición estándar incluyendo las condiciones de temperatura y humedad de la prueba y la rugosidad de la superficie del revestimiento.

## **Mantenimiento y Servicio**

Después de un experimento u ensayo, coloque el instrumento dentro de su caja y almacénelo en un lugar seco.

En el anexo F se describe el ejemplo para el registro del ensayo de dureza.

### **4.7 Procedimiento para determinar espesor según la norma ASTM D 4138.**

#### **Introducción**

Los medidores de espesor de revestimiento se utilizan para medir el espesor de películas secas. El espesor de películas secas es probablemente la medición más crítica del sector de revestimientos. Un medidor de espesor de revestimiento proporciona información vital para determinar la vida esperada del sustrato, la adecuación del producto para el fin al que ha sido destinado y su aspecto, al tiempo que garantiza el cumplimiento de una serie de normas internacionales.

#### **Objetivo**

Fijar las condiciones de inspección y la metodología para la medición del espesor de una película seca de un recubrimiento mediante un método destructivo, y evaluar el grado de la cuba electrolítica para producir un determinado espesor.

#### **Alcance**

Este procedimiento abarca los métodos para evaluar el espesor de una película seca de un recubrimiento aplicada sobre superficies metálicas.

#### **Definiciones**

Para el propósito de este documento, se designan las definiciones:

*Espesor*: anchura o grosor de un cuerpo sólido o capa de un sustrato

*Adherencia:* La adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.

*Sustrato:* capa de suelo debajo de la capa superficial del mismo.

*Recubrimiento:* Es un material que es depositado sobre la superficie de un objeto, por lo general denominado sustrato

*Mil:* El mil es la mínima unidad de longitud en el sistema inglés de medidas, es la milésima parte de una pulgada. Equivale a 0,0254 milímetros; en otras unidades: 25,4 micrómetros. Se utiliza para medir la longitud de cuerpos vistos con microscopios y se suele usar en Estados Unidos y Latinoamérica para medir espesores y longitudes muy cortas en áreas técnicas (como aplicación de recubrimientos o maquinado de piezas).

*Micrón:* Es una unidad de longitud equivalente a una millonésima parte de un metro. Su símbolo científico es  $\mu\text{m}$

*ISO:* International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

*ASTM:* American Association for Testing Materials

### **Medidores de espesor de revestimiento tipo destructivo**

La medición de espesor de tipo destructivo es comúnmente el método más garantizado disponible para hacer ciertas pruebas en combinaciones recubrimiento/sustrato incluyendo recubrimientos aplicados a metales, concreto, madera, yeso, plástico etc.

Figura 21. Medidor de inspección de recubrimientos Elcometer 141



Fuente: Autores

El Medidor Inspección de Recubrimientos Elcometer 141 es un método rápido y versátil de examen y de medida destructiva del revestimiento en un instrumento portátil y sencillo. Diseñado para establecer una distribución equilibrada del peso a fin de hacer un corte uniforme, es ideal para revestimientos resistentes y esmaltes.

### Principio de trabajo

El instrumento es de tipo mecánico. Ofrece tres puntos de contacto con la superficie de la capa de recubrimiento a ser probado (dos son ruedas y uno es la punta de una cuchilla con determinado Angulo) Se desplaza el instrumento sobre la superficie para realizar la prueba.

### Parámetros Técnicos:

Rango: 0 a 1.8mm (0 a 0.07")

Resolución de Escala: 0.02mm (0.001")

Dimensiones (montado en el mango): 160 x 100 x 35mm (6.3 x 4 x 1.4")

Peso (montado en el mango): 510g (1lb 2oz)

Elcometer 141 M.I.R., microscopio x50, 3 cuchillas, bolígrafo marcador, llave de tuercas hexagonal, estuche de transporte, instrucciones de funcionamiento.

Tabla 15. Accesorios Elcometer 141

Accesorios				
Referencias	Descripción	Angulo de Corte	Rango	Factor de Escala de Cuadrícula
T99915761-1	Cuchilla carburo de tungsteno N.º 1	45°	20 - 2000µm (1 - 80mils)	20µm (1mil)
T99915761-4	Cuchilla carburo de tungsteno N.º 4	26.6°	10 - 1000µm (0.5 - 35mils)	10µm (0.5mil)
T99915761-6	Cuchilla carburo de tungsteno N.º 6	5.7°	2 - 200µm (0.1 - 8mils)	2µm (0.1mil)

	6			
--	---	--	--	--

Fuente: Elcometer 141 Operating Instructions

Tabla 16. Referencias normativas para espesores

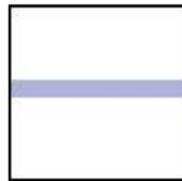
Puede utilizarse de acuerdo con:	
ASTM D 4138-A	ISO 2808-6B
DIN 50986	ASV1580-108.2
BS 3900-C5-5B	

Fuente: Autores

### Uso del medidor de inspección de recubrimientos.

A. Marque la superficie a ensayar con un trazo de la pluma de punta de fieltro negro (marcador) suministrado con el kit prueba. Siempre debe haber un marcado contraste entre la tinta de la pluma y el color de la capa. Pueden ser necesarios distintos colores de tinta pluma.

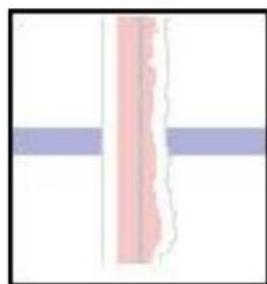
Figura 22. Rayado sobre recubrimiento



Fuente: Elcometer 141 Operating Instructions

B. Con el Tipo de cuchilla seleccionado corte en la superficie a ensayar en ángulo recto a la marca del rayado diríjala hacia usted, aplicando un poco de presión. Una ligera presión es normalmente suficiente para penetrar a la base del material. Más presión puede ser necesaria para recubrimientos muy gruesas y superficies muy duras.

Figura 23. Corte en ángulo recto para espesores



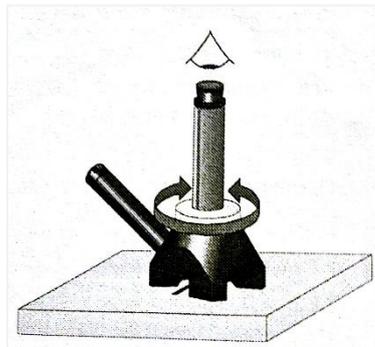
61



Fuente: Autores.

C. Ponga la cuchilla a un lado, tomar el microscopio y colocarlo de manera que la lente este sobre el corte con la base de tocar la superficie. Para enfocar el microscopio, mantenga la base en la línea de corte y gire el anillo estriado.

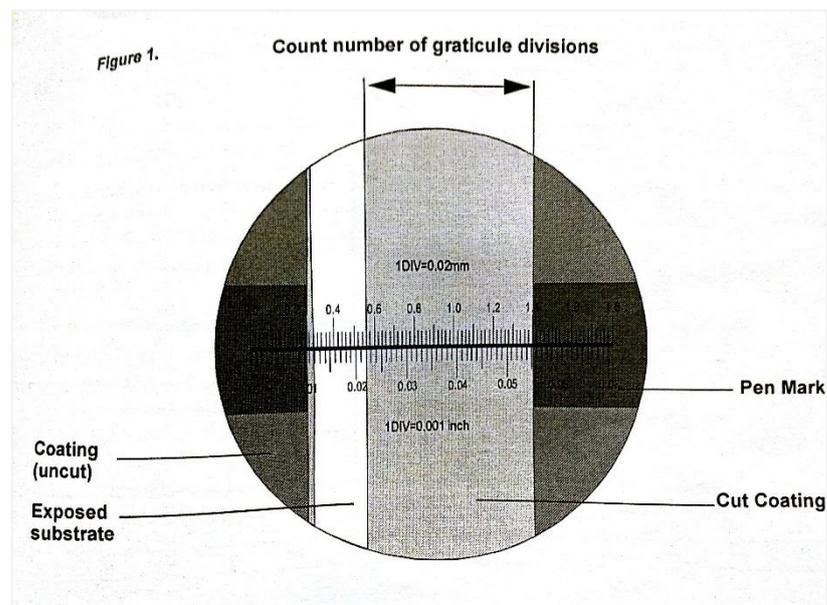
Figura 24. Enfoque del microscopio con el sustrato



Fuente: Autores.

D. Alinee la escala de la retícula hasta que está en ángulo recto con el corte y las divisiones de la escala son paralelos a la corte. Tenga en cuenta que uno de los lados del corte tendrá un borde recto y es probable que sea desigual el otro lado.

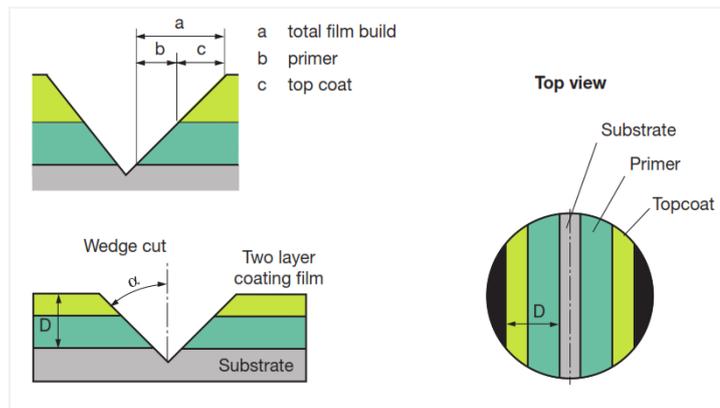
Figura 25. Alineación de la escala con el corte realizado.



Fuente: Elcometer 141 Operating Instructions

E. Medir el ancho del recubrimiento cortado (o recubrimientos) contando el número de divisiones de la retícula. Para convertir la anchura de la capa de corte en el espesor del recubrimiento, ya sea de la primera capa recubierta que puede ser un cobreado y/o de la segunda que puede ser un niquelado.

Figura 26. Vista lateral y superior del corte



Fuente: Elcometer 141 Operating Instructions.

Este proceso utiliza el principio básico de trigonometría para la medición de espesores, describe la medición de espesores de películas de recubrimiento mediante la observación microscópica de precisión de los cortes angulares en la película del revestimiento y su relación con el ángulo de la cuchilla utilizada.

Cutting tool #	Practical maximum thickness <sup>a</sup>		Cutting angle	Graticule scale factor	
	( $\mu\text{m}$ )	(mils)		mm scale ( $\mu\text{m}$ )	inch scale (mils)
1	1600	64	45°	20	1
4	800	32	26.6°	10	0.5
6	160	6.4	5.7°	2	0.1

Tabla 17. Selección de la cuchilla en función del espesor del recubrimiento

Fuente: Elcometer 141 Operating Instructions

En el ejemplo mostrado, el espesor del recubrimiento usando la herramienta de corte # 4 es:

42 divisiones x 10  $\mu\text{m}$  por división = 420  $\mu\text{m}$  o;

33 divisiones x 0,5 mils por división = 16,5 milésimas de pulgada o alternativamente, calcular el espesor del recubrimiento mediante la tabla X "tabla de adiciones"

### Irregularidades

Las irregularidades pueden ocurrir si se presentan películas muy duras y quebradizas, o películas con suficiente adherencia al sustrato están probadas.

Para ello es recomendable verificar previamente la adherencia del recubrimiento.

Tabla 18. Tabla adicional para cálculo de espesor

Graticule Divisions	Cutting tool #1		Cutting tool #4		Cutting tool #6	
	$\mu\text{m}$	mils	$\mu\text{m}$	mils	$\mu\text{m}$	mils
1	20	1	10	0.5	2	0.1
2	40	2	20	1.0	4	0.2
3	60	3	30	1.5	6	0.3
4	80	4	40	2.0	8	0.4
5	100	5	50	2.5	10	0.5
6	120	6	60	3.0	12	0.6
7	140	7	70	3.5	14	0.7
8	160	8	80	4.0	16	0.8
9	180	9	90	4.5	18	0.9
10	200	10	100	5.0	20	1
20	400	20	200	10	40	2
30	600	30	300	15	60	3
40	800	40	400	20	80	4
50	1000	50	500	25	100	5
60	1200	60	600	30	120	6
70	1400	70	700	35	140	7
80	1600	80	800	40	160	8

Fuente: Elcometer 141 Operating Instructions

### Mantenimiento y Servicio

Después de un experimento, coloque el instrumento dentro de su caja y almacénelo en un lugar seco.

### *Reemplazo de Cuchillas:*

- A. Afloje el tornillo prisionero debajo del espacio de almacenamiento tornillo con la llave hexagonal suministrada.
- B. Cuchillas de repuesto se pueden almacenar en el cuerpo del instrumento. Para extraerlos, desenroscar y quitar el tornillo y la punta del instrumento, teniendo cuidado de no dejar caer las cuchillas mientras se deslizan desde el instrumento (puntas de corte puede ser dañado por el impacto). Reemplazar las cuchillas de repuesto y volver a montar el tornillo de mariposa.
- C. Vuelva a colocar la cuchilla con su punto más alto entre los dos rodillos en la parte posterior del instrumento

Figura 27: Posición de la cuchilla



Fuente: Autores.

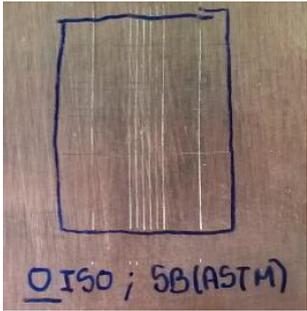
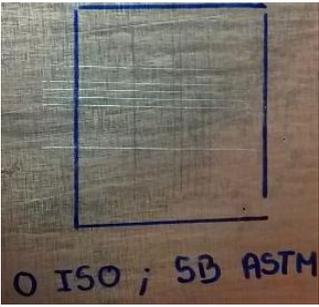
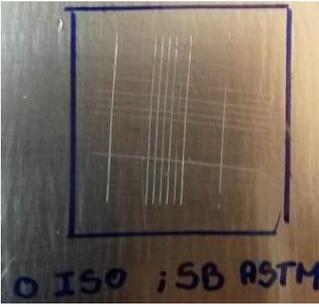
D. Siempre que el tornillo se monta, empujar la cortadora hasta que se detenga. Si el tornillo de apriete manual no está equipado, el cortador debe sobresalir de la base del instrumento a la misma medida que los rodillos. Apriete el tornillo de presión para asegurar el cortador. En el anexo F se describe el ejemplo para el registro del ensayo de dureza.

## **4.8 Resultados Obtenidos**

### **4.8.1 Resultados de pruebas de adherencia**

Tabla 19. Prueba de adherencia en cobreado

<b>Parámetros</b>	<b>Foto</b>
-------------------	-------------

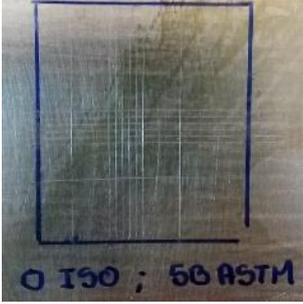
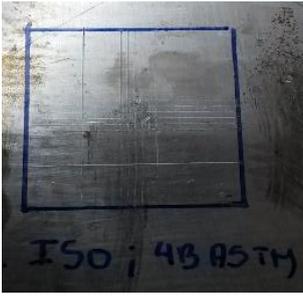
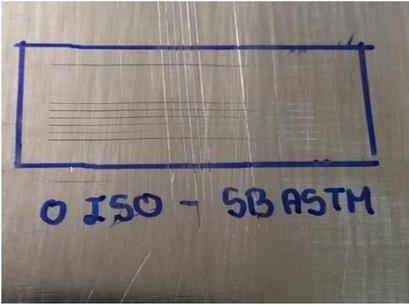
<p>Tiempo = 30''          Voltaje = 3,09 V          Amperaje = 1,1 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>
<p>Tiempo = 60''          Voltaje = 3,09 V          Amperaje = 1,1 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>
<p>Tiempo = 90''          Voltaje = 1,52 V          Amperaje = 0,54 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>

Fuente: Autores.

Después de haber realizado las pruebas de adherencia en las probetas cobreadas a diferentes parámetros, se comprobó que todas poseen la misma adherencia (0 ISO/5B ASTM) en donde los cortes de la cuchilla son limpios y no se ha desprendido cuadros del enrejado, gracias a que este proceso entre el material base y el material aportado se realiza a nivel molecular, evitando el desprendimiento de la capa aportada.

Tabla 20. Pruebas de adherencia en latonado

Parámetros	Foto
------------	------

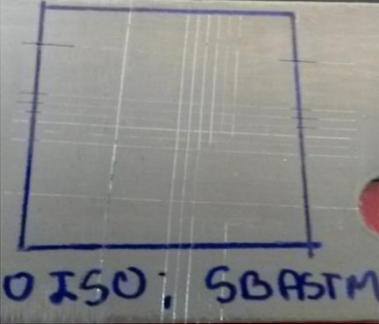
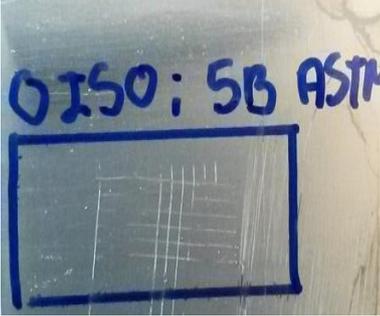
<p>Tiempo = 60''          Voltaje = 6 V          Amperaje = 0,02 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>
<p>Tiempo = 120''          Voltaje = 6 V          Amperaje = 0,02 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 1 ISO ; 4B ASTM</p>
<p>Tiempo = 240''          Voltaje = 12 V          Amperaje = 0,03 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>

Fuente: Autores.

A continuación de haber realizado las pruebas de adherencia en las probetas latonadas a diferentes parámetros, se observó que en la primera y segunda probeta se obtuvo una adherencia (0 ISO/5B ASTM) donde los cortes de las cuchillas son limpios y no se ha desprendido cuadros del enrejado, a diferencia de la segunda probeta en la cual existen desprendimiento de pequeñas partes del revestimiento en las intersecciones de los cortes que afecta a un área de corte no mucho mayor al 5% en la que se denomina como adherencia (1 ISO/4B ASTM) y se produjo por la falta de control en el voltaje.

Tabla 21. Pruebas de adherencia en niquelado

Parámetros	Foto
------------	------

<p>Tiempo = 3 min          Voltaje = 4 V          Amperaje = 2,6 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>
<p>Tiempo = 4 min          Voltaje = 6 v          Amperaje = 4,5 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>
<p>Tiempo = 5 min          Voltaje = 6 V          Amperaje = 4,4 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia: 0 ISO ; 5B ASTM</p>

Fuente: Autores

Luego de haber realizado las pruebas de adherencia en las probetas niqueladas a diferentes parámetros, se observó que todas poseen una adherencia (0 ISO/5B ASTM) donde los cortes de las cuchillas son limpios y no se ha desprendido cuadros del enrejado debido a que el niquelado tiene gran capacidad de adherencia especialmente si la probeta es preparada con anterioridad.

Tabla 22. Pruebas de adherencia en cromado

Parámetros	Foto
------------	------

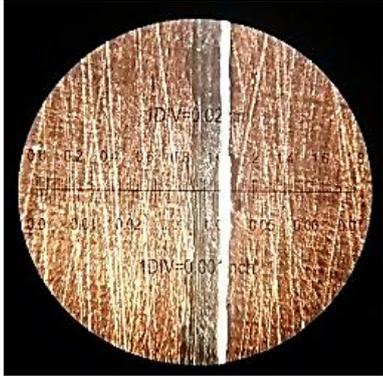
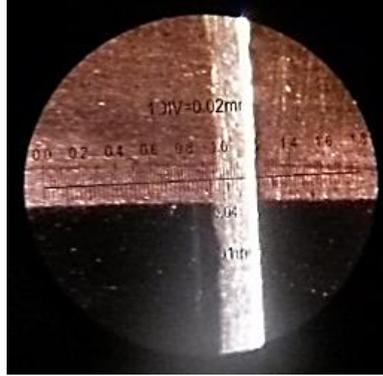
<p>Tiempo = 3 min          Voltaje = 3,20 V          Amperaje = 0,38 A          Temperatura de la Sal = 20°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Adherencia:          3 ISO          ; 2B          ASTM          M</p>
---	---

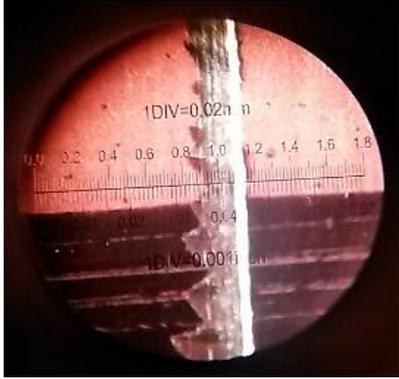
Fuente: Autores.

Después de haber realizado la prueba en la probeta cromada, se observó que posee una adherencia (3 ISO/2B ASTM), donde el revestimiento se desconcha por los bordes de los cortes en grandes tiras que afecta a un área bastante superior al 15%, esto sucede cuando el recubrimiento tiene gran dureza por lo que aumenta su fragilidad y al ser sometido a una fuerza externa tiende a separarse del sustrato.

#### 4.8.2 Resultados de pruebas de espesores

Tabla 23. Prueba de espesores en cobreado

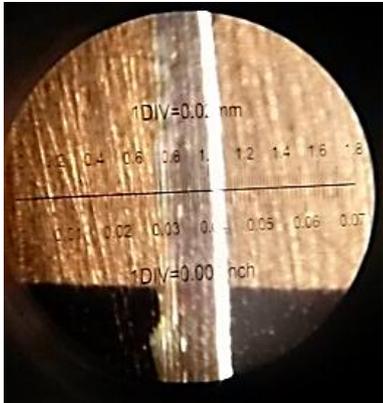
Parámetros	Foto
<p>Tiempo = 30''          Voltaje = 3,09 V          Amperaje = 1,1 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Espe-          so-          r:          6μ          m –          0,2          mil          s</p>
<p>Tiempo = 60''          Voltaje = 3,09 V          Amperaje = 1,1 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	

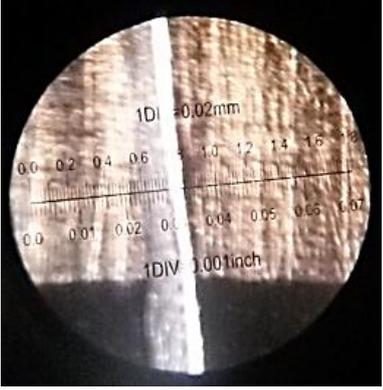
	Espesor: 6 $\mu$ m – 0,2 mils
Tiempo = 90'' Voltaje = 1,52 V Amperaje = 0,54 A Temperatura de la Sal = 30°C Superficie = 100 cm <sup>2</sup>	 Espesor: 6 $\mu$ m – 0,2 mils

Fuente: Autores.

En la prueba de espesores realizada a diferentes placas cobreadas, se obtuvo una medición de 6 $\mu$ m en las tres probetas a pesar de que tenían diferentes parámetros, es decir obteniendo el mismo espesor en los 3 casos. El único factor variable fue el brillo.

Tabla 24. Prueba de espesores en latonado

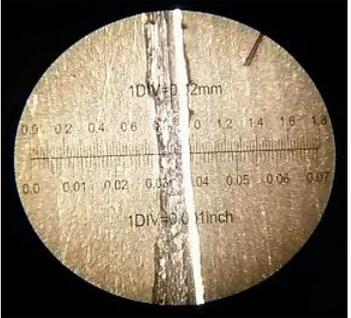
Parámetros	Foto
Tiempo = 60'' Voltaje = 6 V Amperaje = 0,02 A Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente) Superficie = 100 cm <sup>2</sup>	 Espesor: 6 $\mu$ m – 0,2 mils

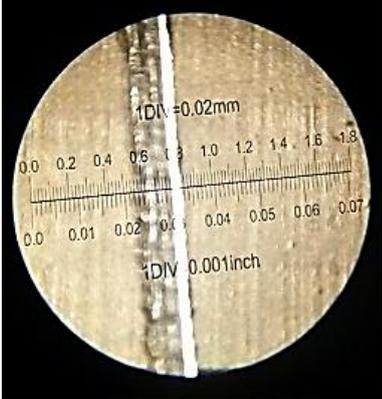
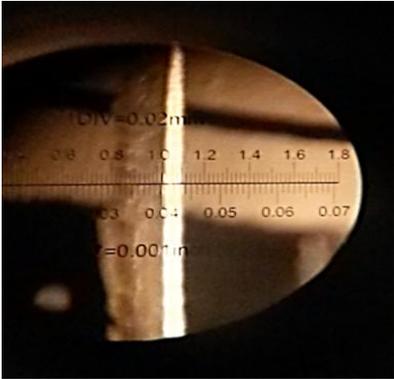
<p>Tiempo = 120''          Voltaje = 6 V          Amperaje = 0,02 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Espesor: 6µm – 0,2 mils</p>
<p>Tiempo = 240''          Voltaje = 12 V          Amperaje = 0,03 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Espesor: 10µm – 0,5 mils</p>

Fuente: Autores

En la primera y segunda probeta de latonado se obtuvo un espesor de 6µm a pesar de que tuvieron diferentes tiempos en el proceso, sin embargo para la tercera probeta se optó por variar el voltaje y el tiempo, obteniendo un espesor de 10µm esto da como resultado que el voltaje influye en gran parte para que los recubrimientos de latón tengan mayor espesor.

Tabla 25. Prueba de espesor en niquelado

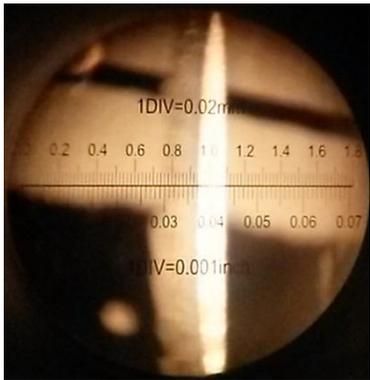
Parámetros	Foto
<p>Tiempo = 3 min          Voltaje = 4 V          Amperaje = 2,6 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	

	<p>Espesor: 6<math>\mu</math>m – 0,3 mils</p>
<p>Tiempo = 4 min          Voltaje = 6 v          Amperaje = 4,3 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Espesor: 6<math>\mu</math>m – 0,3 mils</p>
<p>Tiempo = 5 min          Voltaje = 6 V          Amperaje = 4,4 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Espesor: 8 <math>\mu</math>m – 0,4 mils.</p>

Fuente: Autores.

En la primera y segunda probeta de niquelado se obtuvo un espesor de 6 $\mu$ m aunque los parámetros de trabajo fueron distintos, pero en la tercera probeta se aumentó el tiempo, voltaje y amperaje obteniendo un espesor de 8  $\mu$ m, concluyendo así que estos tres parámetros influyen directamente con el resultado final de espesor de cada probeta.

Tabla 26. Prueba de espesor en cromado

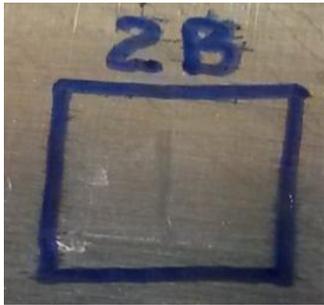
<p>Tiempo = 4 min          Voltaje = 6 v          Amperaje = 4,5 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Espesor: 12 μm – 0,6 mils.</p>
---	--

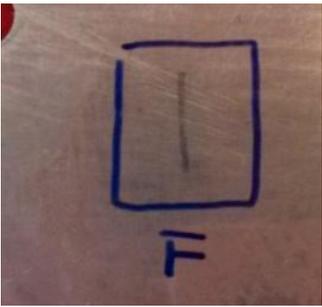
Fuente: Autores.

El cromado es caracterizado por utilizarse en trabajos de ingeniería debido a que tiene la propiedad de brindar grandes espesores, esta teoría fue comprobada al medir el espesor en la probeta cromada obteniendo 12 μm de revestimiento.

#### 4.8.2 Resultados de pruebas de dureza.

Tabla 27. Prueba de dureza en cobreado

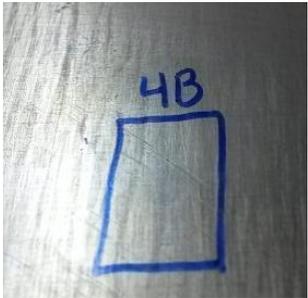
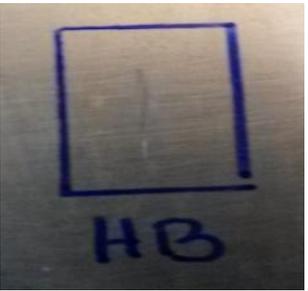
Parámetros	Foto
<p>Tiempo = 30''          Voltaje = 3,09 V          Amperaje = 1,1 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: 2B</p>
<p>Tiempo = 60''          Voltaje = 3,09 V          Amperaje = 1,1 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: H</p>

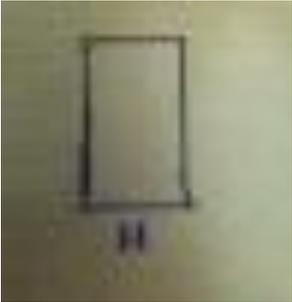
<p>Tiempo = 90''          Voltaje = 1,52 V          Amperaje = 0,54 A          Temperatura de la Sal = 30°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: F</p>
--	--

Fuente: Autores.

La prueba de dureza en las probetas de recubrimiento de cobre dio como resultado una dureza media ya que se rayaron con los lápices (2B, H y F), los cuales tienen características de condición media, ni tan duros ni tan blandos, catalogándolos así por el principio en que se basa esta prueba de dureza al rayado.

Tabla 28. Prueba de dureza en latonado

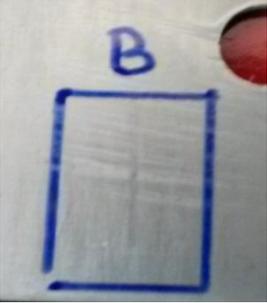
Parámetros	Foto
<p>Tiempo = 60''          Voltaje = 6 V          Amperaje = 0,02 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: 4B</p>
<p>Tiempo = 120''          Voltaje = 6 V          Amperaje = 0,02 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura:</p>

<p>Tiempo = 240''          Voltaje = 12 V          Amperaje = 0,03 A          Temperatura de la Sal = 20°C (ambiente)          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura:</p>
--	--

Fuente: Autores.

La dureza en las probetas de latonado fue variable, considerando en la primera placa una dureza baja por tener una ruptura con el lápiz 4B, en la segunda placa una dureza media por tener una ruptura con el lápiz HB y en la tercera prueba una dureza alta por tener una ruptura con el lápiz H, demostrando así que la dureza fue mejorando conforme se variaba progresivamente los parámetros en las mismas.

Tabla 29. Prueba de dureza en niquelado

Parámetros	Foto
<p>Tiempo = 3 min          Voltaje = 4 V          Amperaje = 2,6 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: H</p>
<p>Tiempo = 4 min          Voltaje = 6 v          Amperaje = 4,5 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: B</p>

<p>Tiempo = 5 min          Voltaje = 6 V          Amperaje = 4,4 A          Temperatura de la Sal = 50°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: H</p>
---	--

Fuente: Autores.

En las probetas de niquelado se observa que la dureza de lápiz de ruptura no vario considerablemente, debido a que el niquelado tiene propiedades de maleabilidad esto hace que el recubrimiento tenga una dureza media y raye con el lápiz H y B.

Tabla 30. Prueba de dureza en cromado

Parámetros	Foto
<p>Tiempo = 3 min          Voltaje = 3,20 V          Amperaje = 0,38 A          Temperatura de la Sal = 20°C          Superficie = 100 cm<sup>2</sup></p>	 <p>Dureza del Lápiz de Ruptura: &gt;6H</p>

Fuente: Autores.

La principal propiedad de un revestimiento de cromo es la dureza, teoría que se demuestra al realizar la prueba con el lápiz más duro 6H y el revestimiento no se rompe.

## CAPÍTULO V

### 5. ESTUDIO COMPARATIVO DE LABORATORIO SEGÚN REQUISITOS ISO/IEC 17025: 2005

Para el estudio de la situación técnica y administrativa del laboratorio basado en el literal 4 y 5 de la norma ISO/IEC 17025 se aplicará la lista de verificación de la OEA en la cual se asignara un puntaje designado por los autores.

Tabla 31. Asignación de puntaje para evaluación

<b>Siglas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ptos.</b>
SI	Afirmación	<b>5</b>
DI	Sistemática definida documentalmente e implantada eficazmente	<b>5</b>
DNI	. Sistemática documentalmente, pero no implantada eficazmente	<b>3</b>
NDA	Sistemática No definida documentalmente, pero existe actuaciones que pretenden resolver la cuestión	<b>1,5</b>
NO	Negación	<b>0</b>
NDNA	No se ha definido sistemática alguna, ni se realizaran actuaciones correctivas a la cuestión	<b>0</b>
NA	No es de aplicación en el laboratorio	<b>0</b>

Fuente: Autores.

Esta lista de verificación tiene 24 parámetros, 15 que representan a los Requisitos Relativos a la Gestión y 9 a los Requisitos Técnicos, al asignar los valores propuestos anteriormente se obtiene que los Requisitos Relativos a la Gestión alcanzan un valor total de 415 que representa el 49,40% y los Requisitos Técnicos un valor de 425 que es el 50,60%, en total se obtiene una valoración de 840 que representa el 100%.

Tabla 32. Resultados de la evaluación al laboratorio de Procesos Industriales según la lista de verificación de la OEA.

Secc	Requisitos	Valor referencia norma	Resultados 1° evaluación	Resultados 2° evaluación
<b>Requisitos de Gestión</b>				
4.1	Organización	70	6	60
4.2	Sistema de gestión de la calidad	40	1,5	38
4.3	Control de documentos	35	7,5	31,5
4.4	Revision de pedidos, Ofertas y Contratos	30	1,5	30
4.5	Subcontratación de ensayos y calibración	30	0	0
4.6	Compras de servicio y suministro	20	0	20
4.7	Servicio al cliente	10	3	10
4.8	Quejas	10	0	10
4.9	Control de trabajo no conforme	25	0	19
4.10	Mejora	5	5	5
4.11	Acciones correctivas	20	0	20
4.12	Acciones preventivas	15	1,5	15
4.13	Control de Registros	40	4,5	27
4.14	Auditorias internas	35	0	29
4.15	Revisiones de la dirección	30	1,5	22
<b>∑ Parámetros</b>		<b>415</b>	<b>32</b>	<b>336,5</b>
<b>Requisitos Técnicos</b>				
5.1	Generalidades			
5.2	Personal	45	1,5	33
5.3	Instalaciones y condiciones Ambientales	35	6	18
5.4	Métodos de ensayo y Calibración	90	3	52
5.5	Equipos	90	0	66
5.6	Trazabilidad de Medición	55	0	32
5.7	Muestreo	30	0	0
5.8	Manipulación de los ítems de ensayo	15	0	15
5.9	Aseguramiento de la calidad.	20	1,5	14
5.10	Informe de Resultados	45	3	25
<b>∑ Parámetros</b>		<b>425</b>	<b>15</b>	<b>255</b>

Fuente: Autores.

Tabla 33. Resultados de la primera evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.

Requisitos de gestión								
Sección de la norma	SI	DI	NDA	DNI	NO	NDNA	NA	PTOS.
	5	5	1,5	3	0	0	0	
4.1	0	0	4	0	5	3	2	6
4.2	0	0	1	0	6	1	0	1,5
4.3	0	0	5	0	0	2	0	7,5
4.4	0	0	1	0	1	4	0	1,5
4.5	0	0	0	0	2	0	4	0
4.6	0	0	0	0	0	4	0	0
4.7	0	0	2	0	0	0	0	3
4.8	0	0	0	0	2	0	0	0
4.9	0	0	0	0	0	5	0	0
4.10	0	1	0	0	0	0	0	5
4.11	0	0	0	0	0	4	0	0
4.12	0	0	1	0	2	0	0	1,5
4.13	0	0	3	0	2	2	1	4,5
4.14	0	0	0	0	0	7	0	0
4.15	0	0	1	0	1	4	0	1,5
<b>Σ Ptos.</b>								<b>32</b>
Requisitos Técnicos								
Sección de la norma	SI	DI	NDA	DNI	NO	NDNA	NA	PTOS.
	5	5	1,5	3	0	0	0	
5.2	0	0	1	0	0	8	0	1,5
5.3	0	0	4	0	0	0	3	6
5.4	0	0	2	0	6	4	6	3
5.5	0	0	0	0	5	10	3	0
5.6	0	0	0	0	1	8	2	0
5.7	0	0	0	0	0	0	6	0
5.8	0	0	0	0	0	3	0	0
5.9	0	0	1	0	0	3	0	1,5
5.10	0	0	0	1	1	3	4	3
<b>Σ Ptos.</b>								<b>15</b>
<b>Resultados:</b>								
					+	Requisitos de Gestión	32	
					+	Requisitos Técnicos	15	
								<b>47</b>

Fuente: Autores.

## 5.1 Análisis e interpretación de resultados de la primera evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales

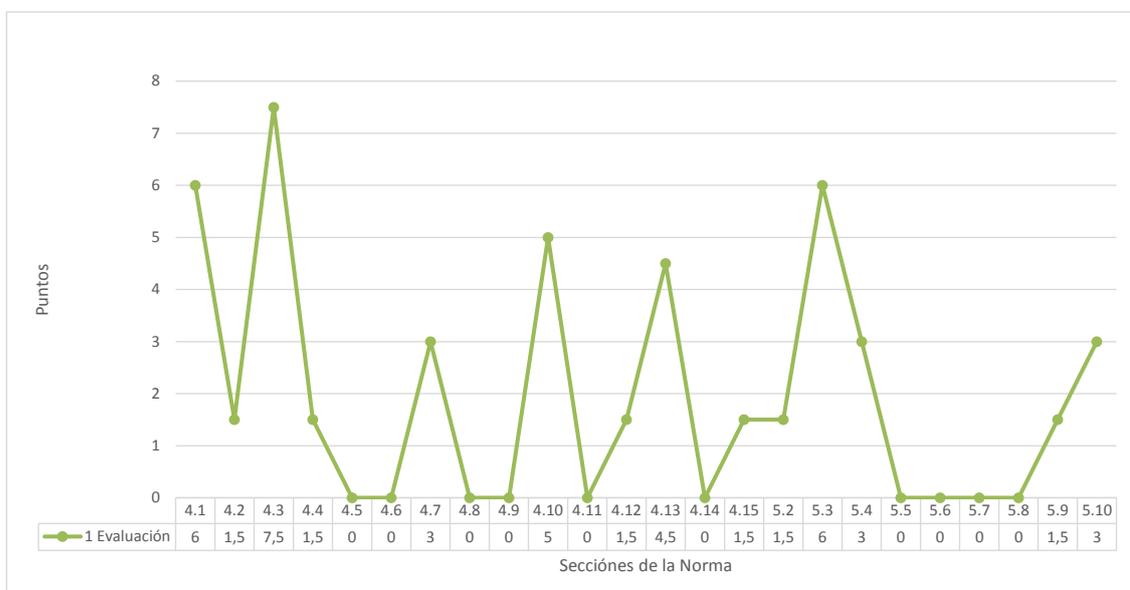
### Análisis.

Los resultados obtenidos en la primera evaluación respecto a los Requisitos Relativos a la Gestión es un valor de 32 que representa el 7,71% de cumplimiento así también en los Requisitos Técnicos se obtuvo una valoración de 15 que representa el 3,53 % de cumplimiento, en total se alcanzó un valor de 47 que en comparación con los valores de la normativa (840) representa el 5,60% de cumplimiento.

### Interpretación.

Los resultados obtenidos en la primera evaluación son muy bajos por lo que la implementación de un manual de calidad ayudará a que este porcentaje suba a un mejor nivel de cumplimiento.

Figura 28. Resultados obtenidos en la primera evaluación realizada en el laboratorio de



Procesos Industriales.

Fuente: Autores.

Tabla 34. Resultados de la segunda evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.

Requisitos de gestión								
Sección de la norma	SI	DI	NDA	DNI	NO	NDNA	NA	PTOS.
	5	5	1,5	3	0	0	0	
4.1	5	7	0	0	0	0		60
4.2	6	1	0	1	0	0	0	38
4.3	0	6	1	0	0	0	0	31,5
4.4	1	5	0	0	0	0	0	30
4.5	0	0	0	0	2	0	4	0
4.6	0	4	0	0	0	0	0	20
4.7	0	2	0	0	0	0	0	10
4.8	2	0	0	0	0	0	0	10
4.9	0	2	0	3	0	0	0	19
4.10	1	0	0	0	0	0	0	5
4.11	0	4	0	0	0	0	0	20
4.12	2	1	0	0	0	0	0	15
4.13	0	3	0	4	0	0	1	27
4.14	0	4	0	3	0	0	0	29
4.15	1	1	0	4	0	0	0	22
<b>Σ Ptos.</b>								<b>336,5</b>
Requisitos técnicos								
Sección de la norma	SI	DI	NDA	DNI	NO	NDNA	NA	PTOS.
	5	5	1,5	3	0	0	0	
5.2	0	3	0	6	0	0	0	33
5.3	0	3	0	1	0	0	3	18
5.4	6	2	0	4	0	0	6	52
5.5	5	7	2	1	0	0	3	66
5.6	1	3	0	4	0	1	2	32
5.7	0	0	0	0	0	0	6	0
5.8	0	3	0	0	0	0	0	15
5.9	0	1	0	3	0	0	0	14
5.10	1	4	0	0	0	0	4	25
<b>Σ Ptos.</b>								<b>255</b>
<b>Resultados:</b>					+	Requisitos de Gestión	336,5	
					+	Requisitos Técnicos	<u>255</u>	
								<b>591,5</b>

Fuente: Autores.

## 5.2 Análisis e interpretación de resultados de la segunda evaluación realizada en el laboratorio de Procesos Industriales.

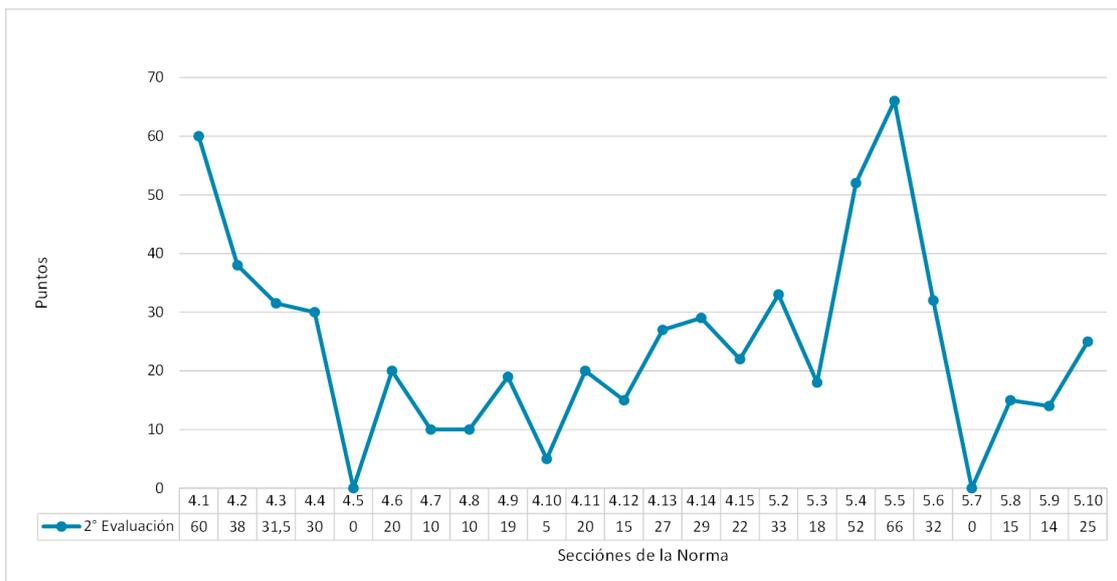
### Análisis.

En la segunda evaluación los resultados que se obtuvieron tienen una consideración aceptable es decir con respecto a los Requisitos Relativos a la Gestión se alcanzó 336,5 que representa el 81,08% y en los Requisitos Técnicos se obtuvo un valor de 255 que significa el 60,00% con respecto a las valoraciones de los requisitos de gestión y técnicos de forma individual, en total se obtuvo una valoración de 591,5 que representa el 70,42% en relación a los valores de la normativa (840).

### Interpretación.

La implementación de un manual de calidad asegura que el Laboratorio cumpla con las especificaciones necesarias para la acreditación, así que en la segunda evaluación ya se obtuvo una valoración mejor que en la primera.

Figura 29. Resultados obtenidos en la segunda evaluación realizada en el laboratorio de

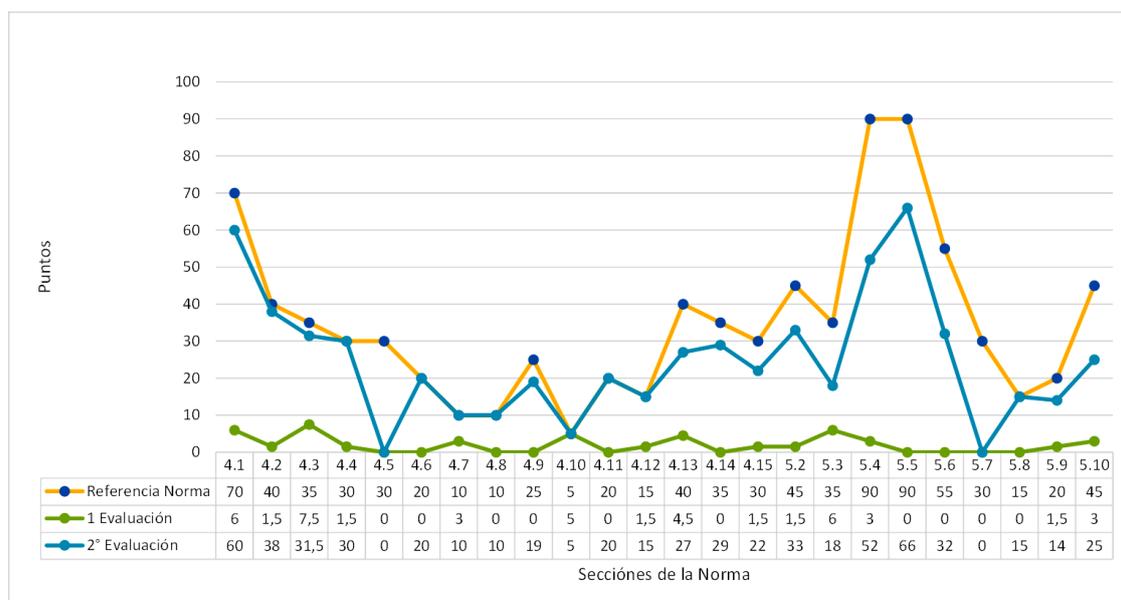


Procesos Industriales.

Fuente: Autores.

### 5.3 Resultados comparativos entre los valores de referencia de la norma y los resultados de la primera y segunda evaluación.

Figura 30. Resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas en el laboratorio de Procesos Industriales.



Fuente: Autores.

Figura 31. Resultados comparativos entre los valores de referencia de la norma y los resultados de la primera y segunda evaluación.

Requisitos	Valor Referencial de la norma		Resultados 1° evaluación		Resultados 2° Evaluación	
	Ptos.	%	Ptos.	%	Ptos.	%
<b>GESTIÓN</b>	415	49,40%	32	7,71%	336,5	81,08%
<b>TÉCNICOS</b>	425	50,60%	15	3,53%	255	60,00%
	<b>840</b>	<b>100,00%</b>	<b>47</b>	<b>5,60%</b>	<b>591,5</b>	<b>70,42%</b>

Fuente: Autores.

El valor de referencia de la norma tiene un puntaje de 840 que representa el 100% de cumplimiento de la norma, de ahí se establece que en la primera evaluación se alcanzó una valoración de 47 representando el 5,60%, un porcentaje muy bajo, pero en la

segunda evaluación se logró 591,5 puntos que representa el 70,42% valor aceptable de cumplimiento en comparación a la primera evaluación, este porcentaje representa datos reales del laboratorio considerando también algunos puntos que no se aplica actualmente, sin embargo con el crecimiento del laboratorio entraran en vigencia.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. DESARROLLO DE LOS REQUISITOS DE LA NORMA ISO/IEC 17025**

#### **6.1 Manual de calidad del laboratorio de Procesos Industriales**

El manual de calidad establecido bajo la norma ISO/IEC 17025 en el Laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela de Ingeniería Industrial, señala todos los requisitos, parámetros, métodos y modificaciones que se debe realizar y seguir en el laboratorio con el propósito de obtener excelentes resultados al ejecutar los ensayos, demostrando así que son técnicamente competentes y de que son capaces de producir resultados técnicamente válidos.

Las políticas y objetivos de calidad son puntos claves al momento de llevar registros, actualizaciones y cambios que se fundamenten bajo el Sistema de Gestión de Calidad (SGC).

En el transcurso del manual de calidad para referirnos al Laboratorio de Procesos Industriales lo haremos con el término LAPI, que hace mención al mismo.

El manual de calidad del Laboratorio de Procesos Industriales y la documentación que del mismo se derivan son de obligado cumplimiento para todo el personal que laboran en el LAPI con el objetivo de mantener un entorno organizado de trabajo, que garantice la ejecución correcta de los ensayos.

La estructura, organización, cambios, implementaciones, en fin todo el desarrollo del manual se encuentra descritos en el (Anexo A).

## CÁPITULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 7.1 Conclusiones.

Se implementó un banco de pruebas para tratamientos superficiales en el laboratorio de procesos industriales, donde cada equipo fue seleccionado mediante un análisis previo, determinando que para medir la adherencia la mejor opción era el cortador de trama cruzada Elcometer 107 debido a que en el laboratorio las piezas recubiertas no son de mayor tamaño y generalmente son probetas planas y de fácil manipulación, para medir la dureza se seleccionó el durómetro de lápices Elcometer 501 ya que es el método más eficiente en la medición de dureza de recubrimientos y tiene gran disponibilidad en el mercado, y para medir espesores se optó por el medidor de recubrimientos Elcometer 141, ya que este propone ventajas más aplicables al laboratorio, además que ofrece una manera más práctica y educativa de entender la importancia del espesor en recubrimientos, mas no solo fiarse de un instrumento electrónico.

Se creó un conjunto de guías prácticas de procedimientos, correcta manipulación, conservación y mantenimiento de los equipos, elementos y accesorios que integraran el laboratorio de procesos industriales.

Se realizó un manual de calidad bajo la norma ISO/ IEC 17025-2008 en el laboratorio de procesos industriales (anexo A) que contiene toda la documentación dentro de un sistema de gestión de calidad; procedimientos, registros e instructivos que establece la lista de verificación de la OEA.

Se analizó el laboratorio de procesos industriales antes y después de la creación del manual de calidad para establecer una comparación cuantitativa, inicialmente se obtuvo un porcentaje de 5,60% de cumplimiento y en la segunda evaluación se alcanzó un valor aceptable de 70,42%.

## **7.2 Recomendaciones.**

Preparar las probetas que se van a cubrir electrolíticamente realizando la correcta limpieza, desengrase y si es necesario el pulido de las piezas, además controlar todos los parámetros que influyen en el proceso electrolítico como temperatura, voltaje, amperaje, tiempo, composición de las sales, pH de las sales, limpieza de los ánodos, etc., con el objetivo de obtener capas uniformes de recubrimientos, libres de impurezas, imperfecciones y defectos que sirvan para medir el espesor, adherencia y dureza de una forma garantizada.

Capacitarse en el correcto uso, conservación y mantenimiento de los equipos que conforman el banco de pruebas para tratamientos superficiales del laboratorio de procesos industriales con el objetivo de alcanzar resultados técnicamente válidos.

Utilizar las guías prácticas de procedimiento al momento de realizar las pruebas de medición de espesor, adherencia y dureza, donde se detalla las normas que utiliza cada proceso para asegurar que los resultados sean bajo parámetros estandarizados.

Aplicar el manual de calidad en el laboratorio de procesos industriales para que sea un aporte en el proceso de acreditación y ayude al laboratorio a tener una mejora continua en todas sus actividades.

Formar al personal constantemente en cuanto al sistema de gestión de calidad, norma ISO/ IEC 17025-2008, mejora continua de los procedimientos y procesos que influye en la planeación de actividades a través de la realización de auditorías internas.

## BIBLIOGRAFÍA

**ALMENDARIZ, Marco. 2009.** *Procesos Industriales*. Riobamba : ESPOCH., 2009.

**ASTM D3359. 1997.** *Tape Adhesión Test.* : ASTM International, 1997.

**ASTM D3363. 2000.** *Hardness Pencil Test.*: ASTM International, 2000.

**CASTILLO RODRÍGUEZ, Felipe. 2008.** *Principios de Electrodeposición*. Cautitlan : UNAM, 2008.

**ESPOCH. 2004.** Escuela Superiro Politecnica de Chimborazo. [En línea] 02 de 02 de 2004. [www.espoch.edu.ec](http://www.espoch.edu.ec).

**GALVANOLYTE. 2010.** *Manual de Procesos Electrolíticos*. México D.F : 2010.

**HANDBOOK, BASF. 2007.** *Basics of Coating Technology*. Hannover : Vincentz, 2007.

**ISO 2409. 2007.** *Paints and varnishes - Cross-cut test*. International Standard, 2007.

**ISO/IEC 17025. 2005.** *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.* : International Standard, 2005.

**JULVE SALVADÓ, Enrique. 1963.** *Recubrimientos Electrolíticos Brillantes*. Barcelona : Cedel, 1963.

**OTERO HUERTA, Enrique. 2009.** Nuevas Tecnologías de Protección contra la Corrosión. [En línea] 29 de Junio de 2009. [http://www.tendencias21.net/agenda/Curso-de-Verano-NUEVAS-TECNOLOGIAS-DE-PROTECCION-CONTRA-LA-CORROSION\\_ae64118.html#](http://www.tendencias21.net/agenda/Curso-de-Verano-NUEVAS-TECNOLOGIAS-DE-PROTECCION-CONTRA-LA-CORROSION_ae64118.html#).

**PIERRE R, Roberge. 2003.** *Corrosion Engineering Principles and Practice*. New York : Mc Graw Hill, 2003.

*Programa de Inspectores de Recubrimientos*. **NACE. 2014.** Quito : Nace International, 2014.