

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS
METÁLICOS UTILIZADOS EN LA EMPRESA
M.D.F. CROMATODO S.A. DE C.V.”**

PRESENTADO POR:

**LUÍS ALONSO MELÉNDEZ MOZO
MARIO ERNESTO MILLA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2006

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL :
LICDA. ALICIA MARGARITA RIVAS DE RECINOS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :
ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :
ING. JUAN ANTONIO FLORES DÍAZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO MECÁNICO

Título :

**“CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS
METÁLICOS UTILIZADOS EN LA EMPRESA
M.D.F. CROMATODO S.A. DE C.V.”**

Presentado por :

**LUÍS ALONSO MELÉNDEZ MOZO
MARIO ERNESTO MILLA**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docente Director :

M.Sc. e ING. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY

San Salvador, Junio de 2006

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

M.Sc. e ING. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de Graduación a Dios Todopoderoso, a Jesucristo y a la Virgen María, ya que ellos nos han guiado y protegido a lo largo de nuestras vidas. Por habernos permitido alcanzar este triunfo y por darnos la posibilidad de seguir cosechando triunfos.

A nuestros queridos Padres, por todos los esfuerzos y sacrificios que han realizado para poder educarnos, por su apoyo incondicional en todo momento, por su amor, confianza y por ser un ejemplo a seguir en nuestras vidas.

A nuestros Familiares, por todos sus consejos y apoyo en cada momento de nuestra vida, por darnos confianza y seguridad en cada momento del desarrollo de este Trabajo de Graduación.

A todos nuestros Docentes, por todas sus enseñanzas, recomendaciones y paciencia, a lo largo de toda nuestra formación académica.

A nuestros Amigos y Compañeros, por estar con nosotros en los buenos y malos momentos, por su colaboración y entusiasmo en cada momento que les hemos solicitado su ayuda.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. DE C.V., por su apertura, confianza, disposición y apoyo para el desarrollo de este Trabajo de Graduación. A todas las personas que laboran en la empresa que nos brindaron su tiempo, experiencia y colaboración en cada una de las etapas del trabajo. Agradecimientos especiales al Sr. Federico Gómez e Ing. Mario Rodríguez.

Al Centro Nacional de Producción Más Limpia de El Salvador (CNPML), especialmente al Ing. Nelson Vaquero, por su colaboración desinteresada hacia nosotros.

A la Ing. Leyla Marina Jiménez Monroy, gracias por confiar en nosotros, por inspirarnos seguridad, por enseñarnos la importancia de la metrología como un área de aplicación de la Ingeniería Mecánica, por su profesionalismo y atención hacia nuestra persona.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del Trabajo de Graduación ha tenido como objetivo principal, la selección de métodos de medición apropiados para el control de las magnitudes críticas involucradas en cada uno de los baños de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. La selección se realizó a partir de la determinación de las magnitudes críticas, las cuales fueron obtenidas con la aplicación del Método de Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones (AMEM).

El Trabajo se realizó en tres etapas:

- La primera etapa consistió en la recopilación de información básica sobre los procesos de recubrimientos metálicos realizados en la empresa y el Método de Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones (AMEM).
- En la segunda etapa se recolectó información a través de cuadros de observación, la cual fue procesada para elaborar la caracterización de los procesos y la determinación de las magnitudes críticas por medio de la aplicación del Método AMEM.
- La tercera etapa consistió en la selección de los equipos de medición, priorizando los equipos de acuerdo al impacto de las magnitudes críticas en la calidad de los procesos y productos, así como su impacto económico.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Realizar una caracterización de los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V.

Objetivos específicos:

- Elaborar una descripción general de los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V.
- Identificar puntos de control en los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V.
- Determinar magnitudes críticas y métodos de medición apropiados para los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO	1
1.0 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA	1
1.2 RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS	2
1.3 PREPARACIÓN Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE	5
1.4 PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS	9
1.5 PRUEBAS DE LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS	18
1.5.1 PRUEBAS DE ESPESORES	19
1.5.2 PRUEBAS DE CORROSIÓN	23
1.5.2.1 PRUEBAS EN AMBIENTES NATURALES	24
1.5.2.2 PRUEBAS ACELERADAS	25
1.5.3 INSPECCIÓN	29
1.5.3.1 FACTORES A CONSIDERAR EN LA INSPECCIÓN VISUAL	30
1.5.3.2 CONSIDERACIONES PARA REALIZAR UNA INSPECCIÓN	30
1.5.3.3 GRADO DE ACABADO	31
1.5.3.4 EQUIPO DE INSPECCIÓN	32
1.6 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LAS MEDICIONES (AMEM)	33
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS Y DETERMINACIÓN DE MAGNITUDES CRÍTICAS	36
2.0 INTRODUCCIÓN	36

2.1 CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS	36
2.2 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE	37
2.3 PROCESO DE COBRIZADO.....	41
2.4 PROCESO DE NIQUELADO.....	44
2.5 PROCESO DE CROMADO DECORATIVO.....	45
2.6 PROCESO DE CROMADO INDUSTRIAL.....	46
2.7 PROCESO DE GALVANIZADO.....	47
2.8 PROCESO DE ZINCADO	49
2.9 PROCESO DE PAVONADO.....	50
2.10 PROCESO DE LATONADO.....	51
2.11 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS PROCESOS.....	52
2.12 CUADROS DE DIAGNÓSTICO DE PROCESOS	65
2.13 DETERMINACIÓN DE MAGNITUDES CRÍTICAS	74
CAPÍTULO 3 - SELECCIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN	81
3.0 INTRODUCCIÓN.....	81
3.1 DIAGNOSTICO DEL EQUIPO DE MEDICIÓN EXISTENTE.....	81
3.2 EQUIPOS DE MEDICIÓN REQUERIDOS.....	85
3.3 PRIORIZACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS.....	87
3.4 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.	87
CONCLUSIONES.....	95
GLOSARIO	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

ÍNDICE DE FIGURAS UTILIZADAS

Fig. 1. Principio de los recubrimientos electrolíticos	3
Fig. 2. Diagrama general del proceso de recubrimiento	37
Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de descarbonado	53
Fig. 4. Diagrama de flujo del proceso de lijado y pulido.....	54
Fig. 5. Diagrama de flujo del proceso de desengrase	55
Fig. 7. Diagrama de flujo del proceso de cobrizado	57
Fig. 8. Diagrama de flujo del proceso de niquelado	58
Fig. 9. Diagrama de flujo del proceso de cromado decorativo	59
Fig. 10. Diagrama de flujo del proceso de cromado industrial.....	60
Fig. 11. Diagrama de flujo del proceso de galvanizado.....	61
Fig. 12. Diagrama de flujo del proceso de zincado	62
Fig. 13. Diagrama de flujo del proceso de pavonado	63
Fig. 14. Balanza utilizada en mediciones de masa	82
Fig. 15. pH-metro utilizado en la medición del pH de los baños	84

ÍNDICE DE TABLAS UTILIZADAS

Tabla 1. Áreas comerciales y productos de la empresa M.D.F. CROMATODO. S.A. de C.V.....	2
Tabla 2. Propiedades y aplicaciones de algunos recubrimientos electrolíticos ^[1]	4
Tabla 3. Medios utilizados en el desengrase de superficies.	8
Tabla 4. Composición de las soluciones de decapado químico (mg/L).....	9
Tabla 5. Composición y condiciones del baño de sulfato de cobre ácido ^[5]	10
Tabla 6. Composición y condiciones de baños de cobre al cianuro ^[5]	11
Tabla 7. Composición y condiciones del baño Watts con sulfato de Níquel ^[5]	12
Tabla 8. Composición y condiciones de baños de cromo ^[5]	14
Tabla 9. Composición y condiciones del baño de cinc ácido ^[5]	15
Tabla 10. Composición y condiciones de baños de cinc al cianuro ^[5]	16
Tabla 10. Características de operación del proceso de cobrizado	66
Tabla 11. Características de operación del proceso de niquelado	67
Tabla 12. Características de operación del proceso de cromado decorativo	68
Tabla 13. Características de operación del proceso de cromado industrial	69
Tabla 14. Características de operación del proceso de galvanizado.....	70
Tabla 15. Características de operación del proceso de zincado.....	71
Tabla 16. Características de operación del proceso de pavonado.....	72
Tabla 17. Características de operación del proceso de latonado	73
Tabla 18. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cobre alcalino....	75

Tabla 19. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cobre ácido.....	76
Tabla 20. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de níquel	77
Tabla 21. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cromo decorativo	78
Tabla 22. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cromo industrial	79
Tabla 23. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de galvanizado.....	80
Tabla 24. Diferencias de lecturas de la balanza.....	82
Tabla 25. Costo por error en medición de masa para Δ lecturas = +22.76 g.....	83
Tabla 26. Costo por error en medición de masa para Δ lecturas = -11.58 g.....	83
Tabla 27. Diferencias de lecturas del pH-metro	84
Tabla 28. Magnitudes críticas y equipos de medición requeridos.....	85
Tabla 29. Características de Balanzas.....	85
Tabla 30. Características de pH-metros	86
Tabla 31. Características de durómetros.....	86
Tabla 32. Características de medidores de espesor.....	86
Tabla 33. Prioridades para la adquisición de equipos.....	87
Tabla 34. Periodo de recuperación de la inversión de alternativas de equipos de medición	88
Tabla 35. Ventajas en el proceso de las alternativas de instrumentos de medición propuestas	89

CAPÍTULO 1 - MARCO TEÓRICO

1.0 INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe de forma general, los elementos teóricos necesarios para desarrollar el Trabajo de Graduación, enfocándose en los de mayor aplicación e incidencia en los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. Se describe la naturaleza de la empresa así como los procesos de recubrimientos metálicos y las pruebas que pueden realizarse a estos para tener un control de la calidad del producto, incluyendo también el procedimiento para la aplicación del Método de Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones (AMEM).

1.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

La empresa M.D.F. CROMATODO S.A. DE C.V., nace como Centro de Servicio de recubrimientos metálicos en el año de 1990 con personería natural y es registrada con personería jurídica en el año 2000; dicha empresa ha logrado convertirse hoy en día en una de las pocas empresas del sector existentes en el país que ofrece a sus clientes una amplia variedad de baños de recubrimientos metálicos.

La empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., tiene como actividad principal la elaboración de recubrimientos metálicos por vía electrolítica, especializándose en zincado, galvanizado, cromo duro, niquelado, cobrizado, latonado, cromado decorativo y pavón negro. Dicha empresa ha enfocado sus productos en cuatro áreas principales, las cuales se muestran en la Tabla 1.

La empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., para estar en armonía con el medio ambiente ha implementado programas de Producción Más Limpia bajo la coordinación del Centro Nacional de Producción Más Limpia de El Salvador (CNPML), con la finalidad de reducir los desperdicios y aumentar la eficiencia de sus procesos; así como la realización de estudios de Impacto Ambiental.

Tabla 1. Áreas comerciales y productos de la empresa M.D.F. CROMATODO. S.A. de C.V.

área industrial	área automotriz	área decorativa	área hospitalaria
Galvanizado	Cromado decorativo	Cobrizado	Cromado decorativo Niquelado
Cromado industrial	Niquelado	Niquelado	
Cobrizado	Zincado	Cromado decorativo	
		Pavonado	
		Zincado	
		Latonado	

Con la idea de participar en el desarrollo del país, la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. se ha planteado incursionar en otras áreas, como por ejemplo el área de herrajes eléctricos y el área de productos artesanales, aplicando procesos de recubrimientos metálicos para el acabado de dichos productos, los cuales saldrán al mercado en muy poco tiempo.

1.2 RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS.

El principio de los métodos de recubrimientos electrolíticos o químicos, también denominados galvánicos consiste en depositar por vía electroquímica, finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de agua con iones metálicos o electrolito, al conectar una fuente externa de corriente directa.

Un baño de recubrimiento electrolítico consiste de un ánodo y un cátodo en un electrolito, que normalmente es una solución hídrica de la sal del metal que se pretende aplicar (Fig. 1). En el electrolito, el metal está presente en forma de iones y el flujo de electrones es proporcionado por una fuente externa de corriente directa.

La pieza a recubrir se convierte en cátodo donde se lleva a cabo la reducción de los iones a metal, mientras que el ánodo consiste de un conductor inerte (por ejemplo, platino o grafito) o bien del metal con el que se recubrirá. La oxidación se lleva a cabo en el ánodo

formando oxígeno y cuando fluye la corriente, el ánodo del metal con el que se va a recubrir se disuelve.

El espesor de la capa del recubrimiento depende del tiempo de permanencia en el baño electrolítico, generalmente entre $1\ \mu\text{m}$ y $100\ \mu\text{m}$.

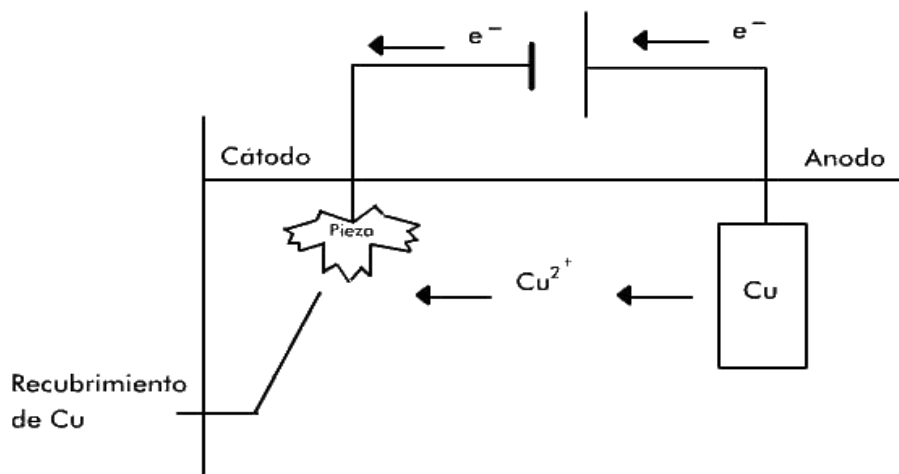


Fig. 1. Principio de los recubrimientos electrolíticos

Las capas de recubrimiento se depositan sobre una superficie metálica o no metálica con ciertas propiedades, proporcionando características que ésta por sí misma no tiene, o bien, en la fabricación de ciertas piezas que requieran determinada presentación en el acabado. La Tabla 2 muestra las propiedades y aplicaciones de diferentes recubrimientos electrolíticos.

Los baños de recubrimiento electrolítico se dividen en baños ácidos y baños alcalinos. Los baños ácidos contienen sulfatos, cloruros, fluoroboratos y sulfamatos de los metales a depositar. Los baños alcalinos se componen sobre la base de complejos de hidróxidos o cianuros ^[1].

Tabla 2. Propiedades y aplicaciones de algunos recubrimientos electrolíticos [1]

Propiedad	Metales y Aleaciones	Ejemplo de aplicación
Protección anticorrosiva	Cr, Ni, Sn, Au, Zn, Rh, Cd	Protección anticorrosiva en piezas automotrices
Síntesis de material en una superficie	Cr, Fe, Ni	Restauración de piezas gastadas
Mejoramiento estético de superficies	Cr, Au, Ag, Pt, Ni, 70:30 Cu-Zn	Alhajas, vajillas, decoración en general
Protección contra el desgaste	Cr, Ni, Fe, Sn, Ru, Pd	Rodillos, pistones, cojinetes, contactos, apagadores
Dureza	Cr, Ru, Os	Moldeado, prensado
Reflexión (óptica o térmica)	Cr, Rh, Au	Lámparas, proyectores, escudos y visores aeroespaciales
Conductividad eléctrica	Cu, Ag, Au	Circuitos impresos, antenas, cables
Retención de aceite	Cu, 65:35 Sn-Ni	Sistemas hidráulicos, lubricación
Capacidad para soldarse	Ni, Sn, Cd, 60:40 Sn-Pb	Circuitos impresos, contactos eléctricos
Poca resistencia al contacto	Ag, Au, Rh, Rh, Pd, Sn, 80:20 Pd-Ni	Contactos eléctricos

En la electrodeposición se requiere de un voltaje impuesto para hacer que fluya una corriente en la celda electroquímica. Existen variables intrínsecas en los baños de recubrimiento que están involucradas con el potencial del electrodo, estas son:

a) Efecto de la concentración sobre el potencial del electrodo.

El potencial del electrodo depende de la concentración del electrólito. A 25°C la *ecuación de Nernst* permite estimar el potencial del electrodo en soluciones que no son las estándares o patrones.

$$E = E_0 + \frac{0.0592}{n} \log (C_{ion})$$

donde E es el potencial del electrodo en una solución que contiene una concentración C_{ion} del metal en unidades molares, n es la valencia del ion metálico y E_0 es el potencial del electrodo en una solución patrón [2].

b) Rapidez de la electrodeposición.

La cantidad de metal depositado en el cátodo en la electrodeposición se determina por medio de la *ecuación de Faraday*.

$$w = \frac{I t M}{n F}$$

donde w es el peso de lo depositado o corroído (g/s), I es la corriente (A), M es la masa atómica del metal, n es la valencia del ion metálico, t es el tiempo (s) y F es la constante de Faraday, 96500 C [2].

1.3 PREPARACIÓN Y LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

El objetivo de la preparación y limpieza de la superficie es eliminar impurezas como la grasa y el óxido de la superficie de la pieza con la finalidad de asegurar una buena adherencia del recubrimiento.

Para la preparación y limpieza de las superficies, se aplican procedimientos como el pre-tratamiento mecánico de las superficies (pulido) y los métodos químicos de pre-tratamiento de superficies: el desengrasado mediante limpiadores alcalinos, hidrocarburos clorados o por vía electrolítica así como el decapado.

Antes de que una pieza se incorpore al proceso de pulido, desengrasado y recubrimiento, debe realizarse una inspección previa para asegurar que la pieza no presente defectos inaceptables que no se puedan corregir durante el recubrimiento. Estos defectos pueden ser rebabas, bordes, concavidades, moho y otras imperfecciones en la pieza.

La preparación de la superficie, la limpieza y la creación de condiciones químicas apropiadas en la pieza a ser tratada son esenciales para asegurar que el recubrimiento se comporte adecuadamente una vez la pieza entre en uso.

Los métodos de limpieza varían considerablemente dependiendo del tipo y de la cantidad de impurezas, la naturaleza del metal de base y del material de la capa, dependiendo también de la forma de la pieza y su uso final.

En general, la preparación de la superficie incluye las siguientes etapas:

a) Pulido.

Esta etapa tiene la finalidad de eliminar asperezas o deformaciones superficiales y ensuciamientos gruesos, utilizando lijas y pastas abrasivas que generan grandes cantidades de residuos de pulido. Las pastas abrasivas vienen en diversos grados de abrasión, igual que las lijas. Estas pastas se aplican sobre unas ruedas de manta cocidas y pegadas entre si, que se colocan en los ejes de una pulidora. Una vez pulidas, las piezas deben limpiarse con un trapo para quitar restos gruesos de pastas de pulido, reduciendo la contaminación en las siguientes etapas de la preparación de la superficie y aumentando su tiempo de vida útil.

b) Desengrase

El desengrase puede efectuarse básicamente de dos formas: con solventes orgánicos y con limpiadores en base acuosa alcalina o ácida. Estos se describen a continuación:

– *Desengrase con solventes orgánicos.*

El desengrase con solventes se lleva a cabo para eliminar los restos de grasa y aceite de la superficie de la pieza a través de varias formas, incluyendo la más simple, mojando un paño en un solvente y frotando la superficie. Aunque todavía se practica con algunas piezas sumamente sucias, puede ocasionar la contaminación de otras áreas. Entre los solventes orgánicos más utilizados se encuentran el tetracloruro de carbono y el tricloroetileno.

El método clásico para eliminar el aceite y la grasa de una superficie es el desengrasado a vapor. Consiste usualmente en hervir un solvente limpiador, generalmente uno de los hidrocarburos clorados, para obtener una fase de vapor

caliente, en la que se introducen las piezas. La fase de vapor se condensa sobre la superficie de la pieza, disolviendo el aceite y la grasa. Según se condense más solvente será mayor la suciedad disuelta. Los solventes sucios, después de su uso pueden ser regenerados mediante destilación y volver a ser usados ^[3].

– *Desengrase en base acuosa*

Los limpiadores en base acuosa comprenden una gran variedad de métodos que utilizan sales alcalinas, detergentes, medios dispersantes y ablandadores de agua para desplazar grasa, suciedad e impurezas de la superficie metálica en vez de disolverla en un solvente orgánico. Se ha encontrado que la limpieza en base acuosa es un sustituto viable para muchas operaciones de recubrimiento de metales que actualmente utilizan solventes.

Las ventajas principales de la limpieza en base acuosa son la facilidad de tratar las soluciones usadas ajustando el pH y la buena biodegradabilidad de los detergentes orgánicos utilizados en los baños alcalinos. La desventaja principal es que las piezas están mojadas luego de la limpieza y las piezas de hierro se oxidan fácilmente bajo estas condiciones, a menos que se sequen rápidamente. Una técnica común para lograrlo es enjuagarlas en agua caliente, pero es una alternativa más costosa. Otra desventaja asociada con la limpieza de base acuosa es un aumento en la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales y los altos costos de tratamiento asociados a ellas.

La limpieza alcalina se realiza también de manera electrolítica, conectando catódicamente la pieza a trabajar dentro de un tanque con solución de desengrase. Al aplicar la corriente se desprende gas hidrógeno producto de la electrólisis del agua en la superficie de la pieza, ocasionando una acción de lavado. A continuación de la limpieza catódica el circuito es invertido, por lo que ahora la pieza de trabajo es el ánodo y el gas de oxígeno que se genera en la superficie de la pieza produce la acción de limpieza final.

Las soluciones de limpieza alcalinas (que usualmente se usan calientes) se componen de reactivos y de agentes surfactantes. Usualmente los reactivos consisten en sales de fosfato, carbonato, silicato, e hidróxido de sodio. Su función es promover reacciones químicas que eliminen los óxidos de metal en la superficie de la pieza de trabajo. En conjunto con los reactivos y los surfactantes, frecuentemente se utilizan otros aditivos que actúan como antioxidantes y estabilizadores.

La Tabla 3 muestra un resumen de los medios utilizados en el desengrase de superficies.

Tabla 3. Medios utilizados en el desengrase de superficies.

PROCESO	MATERIALES	COMO SE USAN	DESVENTAJAS
Limpieza con solventes	Tricloroetano, metanol, acetona	Desengrasado a vapor, inmersión, frotamiento	Altos costos de materiales, exposición de trabajadores, inflamabilidad
Limpieza en base acuosa	Detergentes, compuestos cáusticos, ácidos	Tanques calientes, rociado, limpieza al vapor, limpieza ultrasónica	Contenido alto de DQO y STD en las aguas residuales, crea sedimentos de metal

c) Decapado

El objetivo del decapado es eliminar las capas de óxido formadas en la superficie de las piezas metálicas debido al contacto entre éstas y la atmósfera. El decapado se realiza sumergiendo la pieza en una solución que puede ser ácida o alcalina dependiendo del tipo de proceso ^[4].

El *decapado con ácido* se utiliza para eliminar impurezas y óxidos a través de un ataque químico, el cual frecuentemente se aplica después de un lavado alcalino. Se utilizan diferentes ácidos, solos o mezclados, como el ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico y ácido fosfórico con concentraciones de entre 2 y 85%, dependiendo del metal y el grado de limpieza requerida, normalmente a temperaturas de 20°C a 80°C. La composición de las soluciones de decapado químico se presenta en la Tabla 4.

El *decapado alcalino* se emplea para remover herrumbre y óxido. La solución generalmente consiste de sosa cáustica con aditivos tales como detergentes y agentes quelantes.

Tabla 4. Composición de las soluciones de decapado químico (mg/L)

METAL BASE	ÁCIDOS					ADITIVOS
	Clorhídrico	Sulfúrico	Nítrico	Crómico	Fluorhídrico	
Hierro y aceros no aleados	150-600	50-100				Glicerina
Aceros inoxidables			40-70		10-50	
Cobre y sus aleaciones	3	250	360			
Aluminio y sus aleaciones		75-100		50		Acido fosfórico
Zinc y sus aleaciones				250		Sulfuro sódico

1.4 PROCESOS DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS

Una vez la superficie se encuentre en condiciones óptimas para su recubrimiento, se inicia el proceso de tratamiento, es decir, del recubrimiento propiamente dicho, el cual depende del uso que se le dará a la pieza.

A continuación se presenta una descripción de los baños de recubrimiento electrolítico más comunes:

a) Cobrizado

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.

Los dos baños de cobre empleados con más frecuencia son el baño de sulfato de cobre ácido (baño de cobre ácido) y el baño de cobre al cianuro (baño de cobre alcalino). El

baño de sulfato de cobre ácido, generalmente requiere un control más estricto del baño a fin de mantener los parámetros en el rango óptimo.

En un baño de cobre ácido, el sulfato de cobre 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. La composición y condiciones del baño de sulfato de cobre ácido se incluyen en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición y condiciones del baño de sulfato de cobre ácido ^[5]

Composición:	Baño (g/L)
sulfato de cobre	172.5-247.5
ácido sulfúrico	30-75
Condiciones:	
Temperatura (°C)	21-49
Densidad de corriente (A/dm ²)	2-10
Agitación catódica y/ o por aire	preferida
pH	—
Ánodos	cobre
Filtración	continua
Eficiencia del cátodo (%)	95-100
Relación de área de ánodo a cátodo	1:1
Voltaje (voltios)	< 6

El ácido sulfúrico sirve para aumentar la conductividad de la solución y para disolver el ánodo de cobre, el cual conduce la corriente eléctrica y proporciona los iones de cobre para formar sulfato de cobre.

Entre las aplicaciones del baño de sulfato de cobre ácido tenemos, recubrimiento fijador bajo depósitos de níquel-cromo para recubrimientos protectores, electroformado-electrotipia, rodillos de imprimir para textiles, rotograbado, etc.

Los electrolitos cúpricos de ácido sulfúrico contienen generalmente altas concentraciones de químicos orgánicos auxiliares, pues requieren un mayor control de los parámetros de operación del baño a fin de obtener ciertas características como dureza, nivelación y brillo. Sin embargo, en estos tipos de baños no se forman carbonatos.

La composición y condiciones de los baños de cobre al cianuro se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Composición y condiciones de baños de cobre al cianuro ^[5]

Composición:	Baño N° 1 (g/L)	Baño N° 2 (g/L)	Baño N° 3 (g/L)	Baño N° 4 (g/L)
Cianuro de cobre	22.5	26.2	120	60
Cianuro de sodio	33.7	34.5	135	93.7
Carbonato de sodio	15	30	15	15
Hidróxido de sodio	para pH	para pH	30	42
Sal de Rochelle	—	45	—	—
Condiciones:				
Temperatura (°C)	32-43	54-71	78-82	76-82
Densidad de corriente (A/dm ²)	1-1.5	2-4	3-6	3-6
pH, colorimétrico	12-12.6	12-12.6	>13	>13
Agitación	catódica	catódica	catódica y por aire	catódica y por aire
Ánodos	cobre y acero	cobre	cobre	cobre
Filtración	continua	continua	continua	continua
Eficiencia catódica (%)	30	50	100	100
Relación de área de ánodo a cátodo	2:1	2:1	2:1	2:1
Voltaje (voltios)	6	6	6	6

Los baños 1 y 2 son aplicados como recubrimiento fijador sobre todos los metales de base. Los baños 3 y 4 requieren antes cobreado fijador y producen una base de cobre fácil de abrillantar para recubrimientos protectores de níquel-cromo, aunque también se emplean para prevenir la carburización de superficies seleccionadas en el metal de acero base.

Por el peligro que representa a la salud humana y al ambiente, el uso de baños cianurados, deben respetarse normas especiales referentes a la salud ocupacional y seguridad en el trabajo y la protección al ambiente, tanto durante el cobrizado como en el manejo y el tratamiento de los residuos y las aguas residuales.

Los residuos generados en el cobrizado son: residuos de filtración, concentrados provenientes del cambio de baño o del mantenimiento de los tanques (lodos) y enjuagues contaminados por los arrastres de los baños durante el transporte de las piezas de un tanque a otro.

b) Niquelado

El niquelado es un procedimiento de metalización que se lleva a cabo tanto con fines de protección superficial en las piezas como decorativos y de recubrimiento previo antes del cromado. Los objetos de cobre y aleaciones de cobre se niquelan directamente.

En los recubrimientos con níquel se pueden utilizar baños de sulfamatos o baños Watts con sulfatos de níquel ^[1]. El baño con sulfamatos generalmente está compuesto de sulfamato de níquel, ácido bórico, bromuro de níquel, ánodos de níquel y aditivos que influyen sobre las propiedades. El sulfamato de níquel es la fuente principal de iones de níquel en este tipo de baño.

En un baño Watts de níquel modificado, las sales utilizadas con más frecuencia son el sulfato de níquel (NiSO_4) como la principal fuente de iones y el cloruro de níquel por su efecto despasivizante de los iones de cloro sobre los ánodos de níquel. La composición estándar y las condiciones del baño para el niquelado en un baño Watts con sulfato de níquel se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Composición y condiciones del baño Watts con sulfato de Níquel ^[5]

Composición:	Baño (g/L)
Sulfato de níquel	300
Cloruro de níquel	50
Ácido bórico	35
Condiciones:	
Temperatura (°C)	40-70
Densidad de corriente (A/dm^2)	2-10
Agitación catódica	recomendada
pH	3.5-4.5
Ánodos	níquel
Filtración	continua
Eficiencia del cátodo (%)	—
Relación de área de ánodo a cátodo	1:1
Voltaje (voltios)	—

El ácido bórico tiene la función de sustancia buffer y reduce la formación de defectos a altas densidades de corriente, generados por la acidificación de la solución debida al

exceso de iones H^+ . El bromuro de níquel ($NiBr_2$) se usa para reducir las tensiones internas y disolver los ánodos de níquel. El níquel metálico sirve como ánodo para la corriente eléctrica y libera los iones de níquel que recubrirán a las piezas.

Igual que con otros recubrimientos, pueden agregarse aditivos como abrillantadores que hacen innecesario el pulido posterior del recubrimiento de níquel y que al mismo tiempo pueden corregir pequeños bordes de la capa base. Los aditivos también se usan para reducir la tensión superficial del baño y para darle una superficie semibrillante o brillante al recubrimiento. Estos aditivos muchas veces son orgánicos y normalmente no forman complejos.

Generalmente no se utilizan placas de níquel como ánodos en este tipo de recubrimiento, ya que éste, por la pasivación sólo se disuelve en electrolitos con un alto contenido de cloruro. En cambio, un pequeño contenido de sulfuro u óxido de níquel en el material del ánodo tiene un efecto despolarizador. Sales que pueden utilizarse de manera alternativa para este recubrimiento son el sulfato amónico níqueloso fácilmente soluble en agua, el sulfato amónico níqueloso o el tetrafluoroborato níqueloso.

Puesto que los baños de níquel se filtran continuamente, se generan residuos de filtración, además de concentrados al cambiar los baños de níquel (lo que rara vez ocurre) y, desde luego, las pérdidas de la solución del baño en el arrastre hacia los enjuagues.

c) Cromado

En el recubrimiento con cromo se distinguen dos procesos: el cromado brillante (cromado decorativo) y el cromado duro (cromado industrial). En el cromado brillante se depositan capas de cromo delgadas y brillantes de efecto decorativo o como protección anticorrosiva, sobre capas intermedias de níquel.

El cromado duro se utiliza principalmente para aumentar la dureza de herramientas, así como para incrementar la resistencia al desgaste de moldes, válvulas, etc. depositando

capas de cromo de mayor espesor a temperaturas elevadas. La composición y condiciones de los baños de cromo se presentan en la Tabla 8.

Durante el proceso de cromado ocurre un sobrepotencial en la capa superficial de la pieza a cromar, a causa de reacciones de óxido-reducción y diferencias de concentración, lo que genera una separación simultánea de hidrógeno que el baño emite como gas y que arrastra fracciones del baño.

Tabla 8. Composición y condiciones de baños de cromo ^[5]

Composición:	Baño N° 1 (g/L)	Baño N° 2 (g/L)	Baño N° 3 (g/L)
Acido crómico	247.5	397.5	337.5
Acido sulfúrico	2.47	3.97	2.17
Relación del baño	100:1	101:1	155:1
Cromo trivalente	—	—	0.525 min
Condiciones:			
Temperatura (°C)	43-49	43-49	54
Densidad de corriente (A/dm ²)	0.07-0.15	0.07-0.15	0.1-0.25
Agitación catódica	opcional	opcional	opcional
Ánodos	plomo	plomo	plomo
Eficiencia del cátodo (%)	13	13	13
Filtración	no común	no común	no común
Relación de área de ánodo a cátodo	1:1-2:1	1:1-2:1	1:1-2:1
Voltaje (voltios)	6-12	6-12	6-12

Entre las aplicaciones de los baños de cromo tenemos recubrimientos decorativos sobre recubrimientos protectores de cobre y/o níquel sobre todos los metales de base, recubrimientos industriales o duros sobre metales ferrosos de base para herramientas, matrices y calibres, protección superficial de electrotipos, placas grabadas y otros artículos, recubrimientos porosos para mejorar la lubricación, resistencia al desgaste y a la corrosión de los anillos para pistones y camisas de cilindros.

Después del cromado, por lo general las piezas son lavadas en un enjuague permanente o de recuperación y después en uno o dos enjuagues en cascada. Como la concentración del electrolito en el enjuague permanente se incrementa debido a los arrastres, éste se

emplea para rellenar el baño de cromo, a fin de recuperar el electrolito arrastrado y reponer el volumen del baño que se ha evaporado.

Por el peligro para la salud humana y al ambiente, debido a la toxicidad de los compuestos solubles de cromo (hexavalente) durante el cromado y en el tratamiento de los residuos y aguas residuales deben observarse normas especiales de seguridad en el trabajo y de protección ambiental. Los principales residuos que se generan son lodos de concentrado (lodos de la tina de baño), aguas de enjuague contaminadas por arrastres, emisiones y lodos del sistema de tratamiento.

d) Galvanizado

En este tipo de recubrimiento la pieza metálica a recubrir se introduce en un baño electrolítico que contiene iones de cinc. La aplicación de la corriente eléctrica permite el transporte de los iones a la pieza. El espesor de la capa se ajusta controlando la intensidad de corriente y el tiempo de permanencia en el baño electrolítico.

Los baños de cinc pueden ser baños de cinc ácidos a base de potasio o amonio, los cuales tienen alto rendimiento y proveen gran brillo, o cianurados, también llamados baños alcalinos, cuya composición y condiciones del baño se muestran en la Tabla 9 y Tabla 10 respectivamente.

Tabla 9. Composición y condiciones del baño de cinc ácido ^[5]

Composición:	Baño (g/L)
Sulfato de cinc	240-360
Cloruro de amonio	15-30
Sulfato de aluminio	30
Condiciones:	
Temperatura (°C)	24-29
Densidad de corriente (A/dm ²)	1-3
Agitación catódica y de la solución	recomendada
pH	3.5-4.2
Ánodos	cinc
Eficiencia del cátodo (%)	95-100
Relación de área de ánodo a cátodo	1:1
Voltaje (voltios)	6

Generalmente, se aplica una pequeña capa de cromado, denominada cromatizado, tropicalizado o sellado a fin de proveer una capa extra de protección y sellar la superficie o simplemente darle color. Normalmente se realiza por inmersión en una solución de ácido crómico (5 a 35 g/L de cromo hexavalente), ácido nítrico o sulfúrico como agentes acidificantes que puede contener otros aniones como sulfatos, cloruros o fluoruros.

Tabla 10. Composición y condiciones de baños de cinc al cianuro ^[5]

Composición:	Baño Nº 1 (g/L)	Baño Nº 2 (g/L)	Baño Nº 3 (g/L)	Baño Nº 4 (g/L)
Oxido de cinc	60.0	41.2-57.0	—	—
Cianuro de sodio	22.5	68.2-132	75.0	18.7-63.7
Hidróxido de sodio	52.5	34.5-56.2	15.0	75.0-112.5
Cianuro de cinc	—	—	45.0	60.0-82.5
Condiciones:				
Temperatura (°C)	38-52	27-38	38-52	27-38
Densidad de corriente (A/dm ²)	2-3	1-5	2-3	1-5
Agitación catódica	preferida	preferida	preferida	preferida
pH	>13	>13	>13	>13
Ánodos	acero y/o cinc	acero y/o cinc	acero y/o cinc	acero y/o cinc
Eficiencia del cátodo (%)	90-95	75-95	90-95	75-95
Relación de área de ánodo a cátodo	2:1	2:1	2:1	2:1
Voltaje (voltios)	6	6	6	6

e) Pavonado

El pavonado consiste en la aplicación de una capa superficial de óxido abrigantado de color azulado, negro o café, con el que se cubren las piezas de acero para mejorar su aspecto y evitar su corrosión.

Existen dos métodos de pavonado: el ácido y el alcalino. El ácido es sin duda el método que proporciona mejor calidad, durabilidad y aspecto, pero requiere mucho tiempo para lograr el resultado deseado. Se obtiene mediante la aplicación de ácidos que proporcionan una oxidación superficial de gran adherencia y durabilidad. En cambio el alcalino es mucho más fácil de lograr y en muy poco tiempo.

En el pavonado existen cuatro tipos de proceso, los cuales se describen a continuación:

- *Pavonado de cobre/selenio.*

Este proceso utiliza un baño ácido a temperatura ambiente para formar un recubrimiento blanco de cobre selenio (CuSe). Los tiempos de reacción son normalmente de uno a dos minutos.

- *Óxido negro cáustico.*

Este proceso utiliza un baño de soda cáustica de 720 a 960 g/L, a 143 °C produciendo un recubrimiento de magnetita de hierro negra, en 20 o 30 minutos.

- *Terminado de oxalato tinturado de negro.*

Este proceso proporciona un pavonado de alta calidad y resistencia a la corrosión sin utilizar soluciones calientes o químicos regulados. Un recubrimiento gris de oxalato ferroso se aplica al acero y luego se tiñe de negro. Este proceso opera a temperatura ambiente y no requiere tratamiento de desechos, ya que no hay efluentes peligrosos.

- *Pavonado alcalino de dos pasos.*

Este proceso ha sido recientemente desarrollado, forma un acabado de magnetita negra de hierro en diez minutos a 87 °C. Combina las mejores características de los procedimientos anteriores para ofrecer un durable terminado protector negro, sin las altas temperaturas y los químicos regulados de los otros métodos.

Aunque el compuesto químico exacto en la superficie varía en los cuatro métodos descritos, todos depositan un recubrimiento que se convierte químicamente en parte de la superficie de acero. El espesor del recubrimiento es despreciable, sin embargo, la propiedad esencial en el desempeño de cualquier recubrimiento negro es su porosidad y la habilidad de absorber recubrimientos posteriores de aceite o de cualquier otro inhibidor de corrosión.

Entre algunas de las ventajas que presentan los recubrimientos de pavonado tenemos:

- Resistencia a la corrosión. Un terminado de óxido negro puede soportar entre 100 y 200 horas de rocío de sal neutro (ASTM B117) o varios cientos de horas de humedad (ASTM D1748).
- Apariencia del producto. El suave acabado satinado de óxido, atractivo y durable, es una combinación requerida por muchas empresas en mercados altamente competitivos.
- Uniformidad dimensional y estabilidad. Las herramientas, los componentes de máquinas y otras piezas fabricadas a dimensiones precisas, no toleran el espesor variable del electroplateado o el excesivo grosor de la pintura. Los terminados de óxido negro, en cambio, tienen un espesor uniforme casi despreciable.
- Económico. Comparado con casi todos los demás acabados, el terminado de óxido negro puede ser aplicado a costos de operación más bajos.

1.5 PRUEBAS DE LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

Las pruebas para la determinación de las propiedades químicas, físicas o mecánicas de los electrodepositos pueden hacerse durante las investigaciones fundamentales o para propósitos de control en el desarrollo de la producción. Las pruebas que se pueden necesitar para buscar los datos fundamentales son con frecuencia muy especializadas.

Algunas de las pruebas sobre propiedades físicas o mecánicas que pueden hacerse sobre recubrimientos electrodepositados son: espesor, apariencia, porosidad, adherencia, resistencia, dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión, resistencia en tensión y ductilidad. De estas, en general, solo se utiliza una como base para las especificaciones de producción, la cual es el espesor.

Es cierto que la apariencia de los depósitos es, con frecuencia, una propiedad extremadamente importante del recubrimiento electrodepositado con relación a su aceptabilidad, pero es igualmente cierto que para evaluar la apariencia solo se pueden

aplicar mediciones cualitativas las cuales son en gran parte subjetivas. Las pruebas físicas y mecánicas restantes son de interés principalmente para investigación y desarrollo. De estas pruebas pueden ser viables de implementar la prueba de espesores y la prueba de dureza ^[5].

1.5.1 PRUEBAS DE ESPESORES

En vista de que la resistencia a la corrosión ha mostrado estar íntimamente relacionada con el espesor del depósito, es obvia la utilidad de estipular espesores mínimos en las especificaciones para producción. A través de los años se han sugerido muchos métodos para determinar el espesor y muchos de ellos son de uso corriente. Debido a la variedad de metales electrodepositados y metales de base a los cuales se aplican, no es sorprendente que un método sencillo para probar los espesores no haya ganado preferencia sobre los demás. Las pruebas de espesores se pueden dividir en cinco categorías principales, las cuales son:

a) Métodos microscópicos.

Si la sección transversal de una pieza electrodepositada se prepara por técnicas metalográficas, parecería ser que su medición con una lente reticulada de aumento apropiado sería un medio extremadamente confiable para determinar su espesor. Sin embargo además de la dificultad para la preparación de la muestra metalográfica, y el hecho de que la pieza de donde se toma la muestra queda destruida, la práctica ha demostrado que las mediciones obtenidas en esa forma no son tan seguras como se podría esperar. Hay muchas razones para esta situación, entre las cuales el flujo del metal durante la operación del pulido es bastante importante. El valor de la prueba microscópica parece ser dudoso para recubrimientos menores que 1.27 centésimas de milímetro de espesor ^[5].

La determinación de espesores por medio de métodos microscópicos es de utilidad únicamente en investigación y en laboratorios de calibración.

b) Métodos químicos.

Esta categoría comprende los métodos de desprendimiento de los depósitos, chorro y goteo. La técnica del desprendimiento de los depósitos es, en general, el método más preciso para la determinación de los espesores. En esta prueba se pesa una muestra de área conocida y se quita el recubrimiento electrolítico por medio de un disolvente apropiado, dejando el metal de base que es vuelto a pesar. De la diferencia en peso, área y densidad del recubrimiento electrolítico, se puede calcular el espesor con facilidad.

En los casos donde no sea práctico o posible eliminar el recubrimiento electrolítico sin disolver algo del metal de base, debe contarse con recursos para analizar la solución obtenida del recubrimiento. Obviamente, el metal de base debe quitarse del metal usado para el electrodeposición. Aunque se prefieren simples separaciones químicas debido a su sencillez, a menudo es necesario usar métodos electroquímicos para quitar los recubrimientos.

La prueba de chorro depende del hecho de que muchas reacciones químicas se producen a una velocidad notablemente constante procurando mantener invariables la concentración del reactivo y la temperatura.

En el ensayo por chorro se deja correr una solución sobre la muestra desde una boquilla de tamaño especificado para quitar el depósito. La cabeza hidrostática de la solución en el aparato se mantiene a un nivel tal que proporcione un volumen constante de solución desde la boquilla. El tiempo que se requiere para que la solución penetre el recubrimiento es una medida del espesor y al relacionar el tiempo con el espesor se determina un factor para diversas temperaturas por chorros calibrados sobre depósitos de espesor conocido.

Es necesario por supuesto, contar con algunos medios para determinar cuando se alcanza el punto final en el que ocurre generalmente un cambio en la apariencia de la reacción y se detecta deteniendo el chorro momentáneamente para observar el punto de ataque. Este comienzo y detención alternativa del chorro conduce a ciertas dificultades

para mantener la pista del tiempo, pero con alguna experiencia no se encuentra demasiada dificultad en la operación.

La prueba por goteo es muy parecida a la de chorro excepto que la solución se deja gotear desde una boquilla en lugar de descender en corriente continua. La solución para la prueba se deja gotear sobre la muestra a una velocidad de 100 gotas por min., y el espesor se determina por el tiempo requerido para descubrir el metal de base. No es necesario interrumpir la prueba para observar el punto final, en base a esto, el método por goteo es mucho más preferible que el método por chorro.

c) Métodos electrolíticos.

La muestra se coloca en un disolvente apropiado y se hace anódica, produciéndose un potencial definitivo entre el recubrimiento y la solución. Este potencial persistirá en tanto el recubrimiento se esté disolviendo, pero cuando el metal de base queda expuesto, se desarrollará un nuevo potencial entre el metal de base y la solución, aun si el metal de base queda en la solución anódicamente. El cambio en el potencial cuando el metal de base queda expuesto ofrece un medio de detectar el punto final de la operación separadora. Si se escoge un electrolítico tal que la eficiencia anódica durante la operación separadora sea de 100%, el número de coulombios requeridos para separar el recubrimiento de un área determinada será una medida de la cantidad de recubrimiento que ha sido quitada. Después de que se haya adoptado una corriente y un área estándar, el tiempo de la electrólisis llega a ser la única variable que debe medirse para determinar el espesor del depósito.

Debido a la pequeñez del área de prueba se pueden hacer mediciones seguras de espesores locales en áreas importantes. Esta es una ventaja decisiva sobre los métodos de separación química, en los que debe usarse un área considerable para una sola prueba. La probeta electroquímica puede utilizarse para hacer varias pruebas duplicadas sobre el área comparativamente pequeña de una muestra.

El empleo de la prueba electroquímica es destructiva en el sentido de que el recubrimiento queda inutilizado. Sin embargo, el metal de base no es afectado seriamente y la parte que ha sido probada puede ser despojada del recubrimiento, como se hace con el material rechazado y vuelta a electrorecubrir, un procedimiento que no es posible con la mayor parte de las técnicas químicas separadoras.

Una de las marcadas ventajas del método electroquímico es que puede ser separado casi completamente de las fallas humanas. Es comparativamente sencillo utilizar el cambio en potencial en el punto final para accionar un mecanismo que automáticamente detenga el dispositivo medidor de tiempo en el punto final. Este es el paso más crítico en toda la operación y con operación manual, la fuente más abundante de error.

Otra ventaja única del método electroquímico es la posibilidad que ofrece para la determinación selectiva del espesor del miembro componente de los electrodepósitos compuestos. Observando los cambios de potencial que ocurren según desaparece una capa y se ataca la otra, determinando el tiempo requerido para disolver cada capa, puede estimarse su espesor. El método es tan sensitivo que puede incluso emplearse para determinar la cantidad de aleación entre la capa y el metal de base en muestras tratadas térmicamente.

d) Métodos magnéticos.

Los métodos magnéticos para la medición de espesores de los electrodepósitos son extremadamente populares, debido al hecho de que la prueba, que puede hacerse en forma económica, no es destructiva y se adapta bien a mediciones sumamente localizadas. La principal desventaja es que no existe oferta de servicios a nivel local para la calibración de este tipo de instrumento.

Hay varias técnicas que están basadas en los principios magnéticos. Las dos más importantes son:

- 1) la medición de la fuerza requerida para separar un pequeño imán de la superficie recubierta de la muestra
- 2) la medición del cambio en la resistencia magnética ocasionada al interponer un

material no magnético entre un solenoide energizado y un metal de base ferromagnético.

El primer método puede adaptarse a la medición de espesores de las siguientes combinaciones:

- a) un recubrimiento no magnético sobre un metal de base magnético.
- b) un recubrimiento magnético sobre un metal de base no magnético.
- c) un recubrimiento magnético sobre un metal de base magnético.

e) Métodos mecánicos.

Hay varios métodos mecánicos para la medición de espesores de los electrodepósitos, ninguno de los cuales se usan extensamente. Puede que el más sencillo y más directo se efectúe disolviendo selectivamente el metal de base del recubrimiento y usando un micrómetro para medir el espesor de este último. Junto a la carencia de precisión para la medición de recubrimientos delgados, los extremos del micrómetro pueden descansar sobre los puntos altos de los recubrimientos rugosos y dar una lectura que represente el espesor máximo en lugar del espesor promedio o el mínimo, que son las cantidades de mayor interés. Si se conociese con exactitud el espesor del metal de base, pueden utilizarse las mediciones micrométricas sin remover el metal de base deduciendo el espesor simplemente de la lectura total.

1.5.2 PRUEBAS DE CORROSIÓN

Las pruebas de corrosión han jugado un papel muy grande en el desarrollo de la industria de los electrorecubrimientos y en el mejoramiento de los recubrimientos electrodepositados. Según se aplica a los problemas de los electrorecubrimientos la prueba de corrosión es complicada por muchos factores. Uno es la acción galvánica que involucra al metal o metales, en el recubrimiento y al metal que está debajo del mismo. Otro es la corrosión del metal de base según pueda debilitar al recubrimiento o deteriorar su apariencia por la exudación de los productos de la corrosión. Hay también efectos

complicados de los productos de la corrosión tanto del metal de base como del recubrimiento sobre la corrosión posterior de cada uno de ellos.

Las pruebas de corrosión se clasifican en dos tipos: pruebas en ambientes naturales y pruebas aceleradas.

1.5.2.1 PRUEBAS EN AMBIENTES NATURALES

Los ambientes naturales empleados en la prueba de recubrimientos electrolíticos son definidos como las atmósferas encontradas en lugares seleccionados donde se cuente con facilidades para la exposición de las muestras electrorrecubiertas ^[5].

La corrosividad de una atmósfera se determina en gran parte por la naturaleza y extensión de los contaminantes presentes. Sobre esta base la presencia de sales procedentes del océano conducen a la clasificación de una atmósfera marina; las atmósferas industriales se identifican por la presencia de compuestos del azufre, partículas y cenizas de carbón, mezcladas algunas veces con sales utilizadas para descongelar en invierno; la clasificación rural se caracteriza no tanto por la proximidad a las granjas y a los animales domésticos como por la ausencia relativa de contaminantes marinos e industriales.

Las principales ventajas de una prueba consistente en la exposición a una atmósfera natural son:

1. Se pueden exponer un mayor número de muestras a las vez y por el mismo tiempo para sustancialmente las mismas condiciones, de manera que las diferencias en comportamiento pueden relacionarse a las diferencias en la resistencia a la corrosión, más bien que a las diferencias en las condiciones de la prueba.
2. Las pruebas se pueden continuar por largos periodos con un mínimo de atención.
3. Los progresos de la corrosión se pueden observar rápidamente por un examen visual y registros fotográficos. Es posible también estudiar tales progresos cuantitativamente por el examen detallado de grupos de muestras que se retiren para tal propósito después de seleccionar períodos de exposición.

4. El lugar utilizado para la prueba puede ser representativo, aunque no sea ideal, de la clase de atmósfera que pueda requerirse para que la soporte el material.

Las limitaciones de una prueba que incluye la exposición a una atmósfera natural son:

1. La severidad de los efectos de la corrosión no permanecen constantes de manera que pueden introducirse complicaciones al comparar los resultados de las pruebas que cubran diferentes periodos de exposición o comiencen a diferente tiempo.
2. La exposición a los simples efectos del sol, lluvia, rocío y viento, mas los constituyentes naturales de la atmósfera concurrentes a la corrosión no pueden reproducir todos los factores que pueden afectar la corrosión en un uso particular.
3. Las pruebas bajo condiciones naturales requieren, por lo general, demasiado tiempo para ser de utilidad en la inspección y control de calidad.
4. Las variaciones en el comportamiento de una atmósfera natural no se pueden duplicar en una atmósfera diferente.
5. Una atmósfera industrial con fuerte contaminación puede depositar demasiado hollín sobre la pieza bajo prueba de manera que hace difícil observar el progreso de la deterioración debajo del hollín.

1.5.2.2 PRUEBAS ACELERADAS

Las limitaciones de las pruebas en ambientes naturales proporcionan un amplio estímulo y justificación para el desarrollo de pruebas aceleradas. Tales pruebas son necesarias para inspección y control de calidad y son ayudas valiosas en la investigación, suponiendo que la prueba se pueda hacer en unas cuantas horas o en unos cuantos días lo que será equivalente al efecto de uso normal del recubrimiento por varios meses o por un año.

El propósito de la prueba acelerada es el siguiente:

1. Medir la continuidad de un recubrimiento.
2. Reflejar el espesor, uniformidad y valor protector del recubrimiento como la formación de poros u otras discontinuidades en una forma sistemática y a una velocidad que se pueda duplicar de prueba a prueba y que se pueda relacionar con un ambiente práctico y ampliamente representativo.

3. Para observar los efectos galvánicos entre el recubrimiento y el metal de base, entre diferentes metales y el recubrimiento, y entre el metal de recubrimiento y algún otro metal con el que pueda quedar en contacto.
4. Para medir los efectos de los cambios en la naturaleza del recubrimiento sobre su durabilidad en la prueba y, de manera ideal, para que se pueda relacionar esta durabilidad con la que se pueda obtener en el uso común.
5. Para reproducir formas de ataque encontradas en servicio de manera que se las pueda estudiar y eliminar por cambios en el recubrimiento.

Entre las pruebas aceleradas más importantes que se aplican a los recubrimientos metálicos tenemos:

a) Prueba de “Cass”.

La prueba de “Cass” se describe en la Norma ASTM B368-97. Este método es aplicado para evaluar el desarrollo de la corrosión en recubrimientos decorativos de cobre-níquel-cromo o níquel-cromo en acero, aleaciones de cinc, aleaciones de aluminio y plásticos. Esta norma también describe las condiciones requeridas para el desarrollo de la prueba para propósitos de normalización, pero no especifica el tipo de muestra de prueba o el periodo de exposición para un producto específico, ni tampoco la interpretación que se le debe de dar a los resultados.

La solución salina se prepara disolviendo 5% en peso de cloruro de sodio de grado reactivo en 95% en peso de agua destilada. El pH de esta solución deberá estar entre 6.0 y 7.0. Si el pH se encuentra fuera de este rango es probable que existan impurezas o contaminación del agua o la sal, o ambas.

Después se agrega 0.25 g de cloruro de cobre grado reactivo a cada litro de solución salina, disolviéndolo y mezclándolo completamente. El pH de la solución cobre-sal deberá ser ajustado a un valor comprendido entre 3.1 y 3.3 (a una temperatura de 25°C) por la adición de ácido acético cristalizado de grado reactivo o equivalente. Antes de que la solución sea atomizada esta deberá estar libre de sólidos suspendidos.

b) Prueba de “Corrodkote”.

La prueba de “Corrodkote” se describe en la Norma ASTM B380-97. Esta norma describe el método Corrodkote, el cual es aplicado para evaluar el desarrollo de la corrosión en recubrimientos electrodepositados de cobre-níquel-cromo o níquel-cromo en acero, aleaciones de cinc, aleaciones de aluminio, plásticos y otros sustratos. Esta norma no especifica el tipo de muestra de prueba o el periodo de exposición para un producto específico, tampoco la interpretación que se le debe de dar a los resultados.

Esta prueba consiste en la aplicación de una mezcla lodosa que contiene sales corrosivas en una muestra de prueba, la cual se deja secar y posteriormente se expone la muestra a un ambiente de alta humedad relativa por un periodo de tiempo específico.

Preparación de la mezcla lodosa de corrodkote:

Disolver en un hervidor de vidrio 0.035 g de nitrato cúprico de grado reactivo en 50 ml de agua destilada, agregar 0.165 g de cloruro férrico de grado reactivo y 1.0 g de cloruro de amonio de grado reactivo. Agregar 30 g de caolín y mezclar los ingredientes en el hervidor de vidrio con una varilla de cristal hasta obtener una mezcla lodosa homogénea. El tiempo de mezclado es de 2 min. Emplear la varilla agitadora de vidrio porque la mezcla atacará al metal. Una cantidad de mezcla preparada de esta manera cubrirá aproximadamente 2.79 m².

Prueba de las piezas:

- 1) Sumergir una brocha en la mezcla y con movimientos circulares, cubrir completamente la pieza bajo prueba. Asegurarse de que toda la superficie esté completamente humedecida.
- 2) Atersar el recubrimiento con pasadas de la brocha en una dirección. Esta acción efectuará un recubrimiento uniforme. Limpiar la brocha con agua corriente para que se pueda utilizar de nuevo.
- 3) Dejar secar el recubrimiento por una hora.
- 4) Colocar la pieza en el gabinete humectador sin condensación. Una humedad elevada acelerará la corrosión. No quitar película de Corrodkote alguna durante el manejo.

- 5) Después de 24 h retirar la pieza del gabinete humectador.
- 6) Para electrorrecubrimientos de cinc: limpiar la película de Corrodkote con agua corriente y una esponja, secar e inspeccionar. Para facilitar la limpieza e inspección puede emplearse un abrasivo ligero tal como trípoli.
- 7) Para piezas de acero: Contar el número de puntos de corrosión antes de limpiar la pieza, luego limpiarla con agua corriente y una esponja. Dado que la mayor parte de la herrumbre se removerá cuando se quite la película de Corrodkote, será muy difícil determinar cuáles puntos son picaduras de la superficie y cuáles picaduras de la corrosión.
- 8) Colocar la pieza de acero en el gabinete condensador humectador por 24 h o en el gabinete de aspersión salina por 4 h y reinspeccionar. Una humedad o una aspersión salina muy elevada mostrarán de nuevo los puntos de la corrosión.
- 9) Registrar la condición de la superficie electrorrecubierta.

c) Prueba de bióxido de azufre.

La prueba de bióxido de azufre ha sido adoptada por cierto número de compañías industriales de Estados Unidos como un control de producción o prueba de aceptación para artículos electrorrecubiertos, principalmente acero con recubrimiento de níquel-cromo.

El gran valor de esta prueba se debe a su rapidez, se puede aplicar una prueba de 24 h para el control de calidad de los depósitos de níquel-cromo y cobre-níquel-cromo sobre acero o para depósitos de níquel de más de 0.0254 mm (1 milésima de plg) de espesor.

Sin embargo, se la considera inapropiada para probar electrorrecubrimientos de cinc o aleaciones de cobre o para aluminio anodizado brillante. Cuando un depósito de cromo se agrieta la prueba de bióxido de azufre corroe rápidamente a través del níquel (0.0254 mm en 72 h) Los copiosos productos de la corrosión del níquel tienden a ocultar la corrosión del metal de base en periodos de prueba de más de 24 h.

d) Prueba por inmersión en agua caliente.

La prueba por inmersión en agua caliente fue una de las primeras pruebas de corrosión acelerada y se empleó para detectar la porosidad en recubrimientos de estaño. En la actualidad se la reconoce como una prueba aceptada para níquel y otros recubrimientos sobre acero o hierro para equipo químico industrial.

La prueba de agua caliente consiste de la inmersión en agua a 79°C-85°C (175°F-185°F) con aereación de 1 a 4 h. La aparición de seis puntos de corrosión por pie cuadrado de superficie ha sido empleada como base para rechazar los recubrimientos de níquel en ciertas aplicaciones. Esta prueba descubre discontinuidades en los recubrimientos de níquel que resultarían en una rápida falla del equipo químico niquelado. También determina el grado de protección de los recubrimientos de conversión química sobre piezas fundidas con base de cinc o recubrimientos de cinc contra la formación de productos blancos de la corrosión.

1.5.3 INSPECCIÓN

De todas las cualidades de los acabados electrolíticos, medibles y de cualquier otro tipo, el más ampliamente reconocido por el consumidor es la apariencia. El comprador o usuario de un objeto electrorrecubierto o de un objeto que tenga componentes electrorrecubiertos, juzga la calidad del recubrimiento primeramente por su apariencia de acabado. Un grado elevado de lustre, reflectividad de espejo y carencia de defectos de la superficie tendrán un fuerte efecto sobre la opinión del probable comprador sobre la calidad y valor del producto.

Hay tres clases de inspección que usualmente son aplicadas, aunque de técnica parecida se diferencian en su propósito, éstas son:

- 1) Inspección durante el proceso, la cual se encuentra relacionada íntimamente con el control de calidad de fabricación.
- 2) Inspección final por el fabricante, frecuentemente combinada con el empaclado para transporte.

- 3) Inspección de recibo por el cliente, utilizada cuando el cliente es un revendedor en pequeño o al mayoreo y también cuando el cliente compra partes que deben ser ensambladas en un producto final.

1.5.3.1 FACTORES A CONSIDERAR EN LA INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual se emplea principalmente con recubrimientos o acabados decorativos. La especificación estándar más frecuente sobre acabados decorativos es la brillantez reflectiva en donde los electrodepuestos son abrillantados con bruñido o por electrorrecubrimiento brillante. Esto incluye electrorrecubrimientos de níquel, cromo, latón, bronce, plata, oro y rodio. En el caso del recubrimiento anódico del aluminio se pueden producir varios grados de brillantez bruñendo el metal de base y por inmersión en abrillantadores.

En la inspección de los tipos anteriores de acabados brillantes el factor principal es el lustre o reflectividad. El segundo factor es el color, el cual es extremadamente importante en la inspección de los recubrimientos de oro y en las aleaciones de latón y bronce, las cuales pueden variar dentro de una amplia zona de tonalidades. La textura es un factor en la inspección del acabado satinado, mate o escarchado. Es también importante en la inspección de acabados de aluminio anodizado puesto que se pueden producir en una amplia gama de lustres y texturas desde el mordentado al mate y del perlítico al brillante.

1.5.3.2 CONSIDERACIONES PARA REALIZAR UNA INSPECCIÓN

La primera consideración en la inspección de un producto electrorrecubierto es definir las superficies importantes. Pocas piezas decorativas necesitan un acabado total en todas sus partes. Las superficies importantes de la pieza terminada para la inspección visual son aquellas que deben tener la apariencia o calidad de acabado especificada, por ejemplo, aquellas que están expuestas a la vista en uso normal.

Las otras partes distintas a la superficie importante se recubrirán usualmente sin considerar la apariencia y generalmente tendrán menor espesor de recubrimiento que el especificado. En los casos donde ciertas superficies no van a recibir depósito es costumbre indicar tales áreas sobre los dibujos de las piezas los cuales sirven como parte de la especificación. Si tales áreas no estuviesen indicadas en el dibujo puede suponerse que se requiere recubrimiento o al menos se permite, sobre todas las superficies.

Si los dibujos no indicasen las superficies importantes para recubrir es necesario que el inspector determine cuales superficies requieren el recubrimiento y acabado especificados, a través de diferentes maneras:

1. Determinar el uso y aplicación de la pieza o producto y cuales superficies son totalmente visibles.
2. Pedir información al departamento de ingeniería o diseño del cliente cuando el producto se vende sobre especificaciones.
3. Consultar al departamento de ventas o de diseño de la compañía productora cuando el producto electrorrecubierto es un producto acabado para el consumidor.

1.5.3.3 GRADO DE ACABADO

El grado de acabado requerido en cualquier producto depende de muchos factores, incluyendo los siguientes:

1. Uso (si el producto es puramente decorativo o completamente funcional, o una combinación de ambos).
2. La distancia a que el objeto será visto bajo uso normal.
3. Clase de precio del producto en el cual se utiliza el electrorrecubrimiento.
4. Comparación con productos de la competencia.
5. Comparación de otras partes electrorrecubiertas en el mismo conjunto.
6. Establecimiento de estándares sobre la práctica del cliente en el pasado.

Los requerimientos de un acabado metálico brillante nunca han sido claramente definidos.

Los elementos importantes son:

1. Elevada reflectancia de la luz incidente combinada con lo siguiente:
 - a) Reflexión clara de la imagen. Puede que la calidad básica de un buen acabado brillante sobre una pieza sea tal que permita verse la cara en ella.
 - b) Ausencia o reflexión difusa de cualquier naturaleza. La reflexión difusa puede ser ocasionada por turbiedad, irregularidad de la superficie, líneas de rayas finas o gruesas, picaduras, granosidad, grietas y muchos otros defectos.

2. Color de la luz reflejada. Se dispone de instrumentos ópticos para la medición precisa de las características anteriores sobre muestras perfectamente planas. Si todos los electrorrecubrimientos se hiciesen sobre muestras perfectamente planas el problema de la inspección sería puramente de instrumentación óptica. Sin embargo, las superficies planas son la excepción, por lo que prácticamente todos los electrorrecubrimientos deben ser clasificados en forma visual.

1.5.3.4 EQUIPO DE INSPECCIÓN

Puesto que toda la filosofía de la inspección de los acabados brillantes está basada en la reflectividad de imagen de la superficie, una estación de inspección deberá proporcionar los mejores medios posibles para crear la reflexión de la imagen.

Los requerimientos básicos son una potente fuente de luz blanca y difusa, y una pantalla negra en el fondo. La luz de cuatro tubos fluorescentes de 40 vatios (watts), mezcla de luz de día y blanca, es suficiente para una cabina ordinaria de inspección. Los tubos fluorescentes deberán tener sobre ellos un reflector blanco y una pantalla difusora o un vidrio esmerilado. Si no se dispusiese de un vidrio de tal clase, puede usarse un papel tela pergamino blanco, aunque están expuestos a incendio. El fondo negro puede ser terciopelo negro o tela de pelo de camello.

Con iluminación de esta naturaleza se ven fácilmente los defectos de los recubrimientos, la luz difusa muestra la falta de recubrimiento de cromo sobre níquel o acero inoxidable. La pantalla negra hace que cualquier imperfección en el níquel brillante aparezca como granosidad, líneas blancas o puntos blancos. El motivo geométrico muestra defectos gruesos tales como muescas de ruedas, ondulaciones o “piel de naranja” y proporciona un objeto estándar para comprobar la calidad de reflexión de imagen.

1.6 ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LAS MEDICIONES (AMEM)

El AMEM es una herramienta diseñada para determinar las características de calidad o magnitudes importantes o críticas a ser medidas. Esta herramienta da respuesta a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué es verdaderamente necesario medir?
- 2) ¿Por qué es necesario?
- 3) ¿Con qué frecuencia deben hacerse las mediciones?

Una vez contestadas estas preguntas, las frecuencias determinadas deben ser confirmadas estadísticamente para, si se requiere, hacer los ajustes finos al sistema.

El AMEM consiste en asignar una calificación como respuesta a una serie de preguntas para obtener el número y grado de importancia de las características a medir. Se conoce al final qué magnitud debe ser medida, con qué frecuencia y su impacto en el cliente y en los costos del proveedor.

El método comprende los siguientes pasos:

- a) Como primer paso del análisis, se enlistan las características de calidad del producto o magnitudes que pueden ser medidas. Tomándose en cuenta las “Dimensiones de la Calidad”, para asegurar que se han considerado las características que efectivamente conforman un producto de calidad.

Considérense entonces, las siguientes características:

- Características dimensionales, físicas, eléctricas, etc.
- Características estéticas.
- Características de seguridad.
- Características de protección del medio ambiente.
- Cumplimiento de especificaciones.
- Características de desempeño.

- b) A cada una de las características se le asigna un valor (1 a 10) relacionado con el impacto en el cliente, asumiendo que no se realiza la medición.

El no tomar mediciones a una característica de calidad, puede hacer llegar al cliente cierta variación en esa magnitud en particular. Debe determinarse si esta variación puede ser detectada por el cliente y si ese impacto es negativo y hasta qué grado.

- c) A cada una de las características se le asigna un segundo valor relacionado con el impacto en el proceso, asumiendo que no se realiza la medición.

Debe determinarse si el no hacer la medición tiene un impacto negativo en el proceso, ya sea que se requiera para el control del propio proceso o que sea económicamente negativo para la empresa.

Si una característica no es medida y ésta no influye negativamente en el cliente ni en el proceso, se le asigna un 1. Si su impacto es de efectos negativos en el cliente o en el proceso propio del fabricante, se le asigna un 10.

- d) Para cada una de las características enlistadas, definir las técnicas y equipos existentes en el mercado y definir la capacidad de la empresa para tomar esa medición, esto es: Si el equipo para efectuar la medición es barato, si se tiene disponibilidad de él, si la técnica es sencilla y los operadores requieren poco entrenamiento, o si el equipo es caro, si se requiere un alto nivel de servicio y si los operadores requieren ser continuamente capacitados.

Tomar en cuenta en este punto:

- *El equipo existente en el mercado necesario para efectuar la medición, considerando número de equipos, calidad de éstos, precio, necesidades de servicio y calibración.*
 - *Personal necesario para efectuar la medición, nivel requerido, necesidades de entrenamiento.*
- e) Un tercer valor es asignado a estas características, relacionado con la probabilidad de aparición de una No-conformidad: (1 a 10).
- f) Multiplicar los tres valores asignados para obtener el número para cada una de las características que indica su importancia (NI, número de importancia). Este NI indica qué característica es importante y crítica para el cliente y/o el proceso para que se considere por lo tanto el control de su medición.
- g) Definir para las características anteriores y según su número de importancia:
- *Determinar qué característica debe ser medida y cuál puede no ser medida.*
 - *La tabla de muestreo o frecuencias de medición.*
 - *Determinar cuál es el punto y el método económicamente eficiente para tomar la medición. Recordando que los ajustes son más baratos si se hacen durante las primeras etapas del proceso, y esto se logra si las mediciones se realizan también durante las primeras etapas del proceso.*
 - *Determinar la necesidad de aplicar técnicas estadísticas (control estadístico de proceso o de calidad) según lo crítico de la medición.*

Para desarrollar eficientemente el AMEM, se debe conocer al cliente, ya sea interno (siguiente proceso) o externo, con tal profundidad que se puedan determinar las características críticas que cubrirán necesidades específicas de esos clientes.

Para efectuar el método anterior: primero, desarrollar una comprensión profunda de las necesidades y requerimientos de sus clientes, Segundo, convertir la comprensión en requerimientos y tercero, definir numéricamente esos requerimientos ^[6].

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS Y DETERMINACIÓN DE MAGNITUDES CRÍTICAS

2.0 INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe las características más importantes y los aspectos relevantes que inciden en cada uno de los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., así como la determinación de las magnitudes críticas involucradas en los baños de recubrimiento de mayor demanda, las cuales fueron obtenidas a partir de la aplicación del Método de Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones (AMEM).

2.1 CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS

La empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. ofrece a sus clientes ocho procesos de recubrimientos metálicos los cuales son cobrizado, niquelado, cromado decorativo, cromado industrial, galvanizado, zincado, pavonado y latonado.

El proceso de recubrimiento está compuesto por numerosas operaciones que, en función de las exigencias de calidad y el campo de aplicación seleccionado pueden agruparse de la siguiente manera:

- 1) Preparación de la superficie.
- 2) Baño de recubrimiento, tanto base como el requerido.

El diagrama general de este proceso se muestra en la Fig. N° 2.

A continuación se describe el proceso de preparación de la superficie y cada uno de los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa.

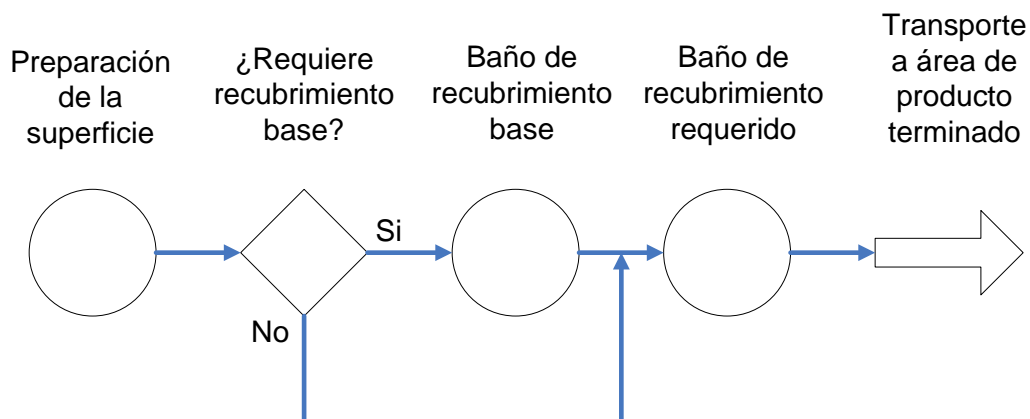


Fig. 2. Diagrama general del proceso de recubrimiento

2.2 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

El proceso de preparación de la superficie es realizado con el objetivo de eliminar impurezas de la superficie de la pieza, lo cual permite una buena adherencia del recubrimiento. Este proceso es realizado antes de aplicar cualquiera de los procesos de recubrimientos metálicos que ofrece la empresa e incluye cuatro etapas: descarbonado, lijado y pulido, desengrase y decapado, las cuales se describen a continuación:

a) Descarbonado

Este proceso es realizado con la finalidad de eliminar el carbón que tiene el metal en la superficie y de esta manera preparar la pieza para el proceso de lijado.

El proceso de descarbonado consiste en sumergir la pieza en una solución de agua y ácido sulfúrico con una concentración entre 10% y 20% (entre mayor sea la concentración más rápido es el proceso de descarbonado). El proceso de descarbonado es realizado manualmente en un tanque con una capacidad de 500 litros y el tiempo de duración es función de la dureza del material y de la concentración del ácido utilizado.

Al tanque de descarbonado no se le realiza ninguna medición, sin embargo se le agrega ácido cuando el encargado de esta área observa que el metal ya no reacciona en la

solución. Los residuos generados en esta etapa son únicamente las soluciones gastadas de agua y ácido.

Después de salir del tanque de descarbonado la pieza es enjuagada con agua, secada con papel periódico y transportada al área de lijado.

b) Lijado y Pulido

El proceso de lijado tiene como finalidad eliminar los poros del material y preparar la superficie para un terminado cada vez más terso. En esta área se cuenta con cuatro motores sellados de alta revolución y de doble eje, diseñados especialmente para operaciones de pulido de metales, utilizados tanto para las operaciones de lijado como para pulido.

El lijado consiste en pegar la lija sobre una rueda y acoplar la rueda al eje del motor, empezando el lijado con lija grano 120. Al observar bastante uniforme la superficie del material, se procede a cambiar la lija grano 120 por una grano 220 procediendo a lijar hasta borrar las huellas de la lija anterior y dejar una superficie uniforme.

Tras eliminar el poro del material se procede al pulido, el cual tiene como objetivo eliminar las marcas dejadas por la lija y sacarle brillo al metal. Para realizar este proceso es necesario desmontar la rueda utilizada para el lijado y colocar una rueda de zizal (la cual es fabricada con mezcal y tela y va curada con cola granulada) o una rueda de tela, sobre la cual se aplica la pasta abrasiva.

En el pulido se utilizan dos tipos de pastas abrasivas, una de ellas es una pasta abrasiva conocida comercialmente como pasta gris, la cual se utiliza para eliminar las rayas dejadas por la lija y para sacarle brillo a la piezas, este proceso se realiza utilizando la rueda de zizal. La otra es conocida comercialmente como pasta blanca, la cual es utilizada para eliminar manchas en las piezas después de ser recubiertas empleando una rueda de tela. Los residuos generados en esta área son lijas gastadas y polvos de pastas abrasivas. Cuando a la pieza ya no se le observan rayas de lija y se le ha sacado brillo, entonces pasa al área de desengrase.

c) **Desengrase**

El desengrase va dirigido a eliminar de la superficie de la pieza por vía química los residuos de pastas abrasivas del proceso de pulido, además de grasa, aceite y polvo; que podrían dificultar la adherencia del recubrimiento.

El proceso de desengrase se realiza de tres maneras diferentes: manual, por inmersión y electrolítico. La selección del método de desengrase a utilizar depende del nivel de producción requerido.

El proceso de desengrase manual es por frotamiento y consiste en limpiar la pieza con una esponja empapada en gasolina o con el desengrasante Ultra Klin, luego se eliminan los residuos de gasolina o de Ultra Klin limpiando la pieza con cal en polvo. Posteriormente se limpia la pieza con una mezcla de cal con agua para asegurar una mejor limpieza y se enjuaga con agua para eliminar por completo los residuos de cal.

Los procesos de desengrase por inmersión y desengrase electrolítico son utilizados únicamente para grandes cantidades de piezas pequeñas.

En el proceso de desengrase por inmersión se introduce una resistencia eléctrica dentro de un tambor con capacidad de 50 Kg para elevar la temperatura de la solución hasta un rango entre 60°C y 70°C. Las piezas son depositadas dentro del tambor, el cual se acopla a un motor eléctrico. Debido al movimiento de rotación todas las piezas están en contacto con la solución desengrasante y pueden obtenerse mejores resultados.

En el proceso de desengrase electrolítico también se introduce una resistencia eléctrica dentro del tanque, para elevar la temperatura de la solución de desengrase a un rango entre 70°C a 80°C. Las piezas se depositan dentro del tambor y éste se conecta como ánodo, utilizando placas de acero inoxidable como cátodo. El tiempo de permanencia de la pieza en la solución de desengrase electrolítico es de 2 a 5 minutos con un voltaje de 6 V. El tiempo de permanencia depende de la temperatura de la solución, a mayor temperatura más rápido se desengrasan las piezas.

El desengrasante de doble acción 2032 es utilizado tanto para el proceso de desengrase por inmersión como para el proceso de desengrase electrolítico, se utiliza en una concentración de 30 a 60 g/L.

A las soluciones de desengrase por inmersión y electrolítico se le realizan mediciones de concentración y de pH, con un densímetro y un pH-metro digital o con papel tornasol respectivamente. Estas mediciones son realizadas durante la utilización de las soluciones ya que cuando no requiere su uso son almacenadas, lo cual no influye en su concentración y tiempo de duración. En estos procesos se controlan la temperatura de la solución y el tiempo de permanencia de la pieza en la solución.

Los residuos generados en el proceso de desengrase son aguas de enjuague con cal, aguas de enjuague con Ultra Klin, aguas de enjuague con gasolina, soluciones de desengrase electrolítico y por inmersión.

Después de que la pieza ha sido desengrasada por completo, es transportada al área de decapado.

d) Decapado

El objetivo del decapado es eliminar el óxido y los residuos del desengrase y al mismo tiempo activar el metal, como una preparación para el baño de recubrimiento.

El decapado consiste en introducir la pieza en una solución de ácido sulfúrico a una concentración del 10% al 20% disuelto con agua. Esta solución de decapado sirve para decapar o desoxidar el hierro, el acero, el cobre, el latón, el bronce y la plata.

El proceso de decapado es realizado a temperatura ambiente, en un tanque recubierto de fibra de vidrio con una capacidad de 900 L. A esta solución de decapado no se le realiza ninguna medición, ya que por ser de bajo costo no se considera vital su control.

El tiempo de permanencia de la pieza en la solución de decapado varía desde treinta segundos a tres minutos, y puede obtenerse una mayor rapidez del proceso aplicando agitación manual.

La solución de decapado de acuerdo a su utilización tiene una duración promedio de mes y medio a dos meses, por lo que para obtener resultados más confiables se prepara una nueva solución de decapado cada mes y medio. Esta solución se limpia superficialmente con papel periódico para quitar la grasa dejada por las piezas que son introducidas en el tanque.

Después del proceso de decapado la pieza es enjuagada con agua para eliminar los residuos de ácido, luego se coloca inmediatamente en el baño de recubrimiento requerido, sin dejar que se seque, para evitar el pasivamiento del material, ya que si el proceso se detiene en esta etapa, entonces la pieza debe volver a ser decapada.

2.3 PROCESO DE COBRIZADO

El propósito del cobrizado es proporcionar un recubrimiento decorativo, un recubrimiento base para electrodepositar otros recubrimientos o para redimensionar piezas gastadas.

Antes de que cualquier pieza entre al proceso de cobrizado, debe haber sido sometida al proceso de preparación de la superficie.

El proceso de cobrizado puede realizarse por dos métodos, en colgado o en tambor. El método de colgado es utilizado para la mayoría de las piezas, y consiste en colgar las piezas con alambre de cobre sobre la barra conductora central para poder introducir las al tanque; el método de tambor es utilizado cuando se requiere electrodepositar una gran cantidad de piezas pequeñas, las cuales se depositan dentro de un tambor acoplado a un motor eléctrico, el cual debe de quedar sumergido completamente dentro del tanque.

El movimiento de rotación permite que todas las piezas dentro del barril estén en contacto con el baño y al mismo tiempo produce una agitación del baño para lograr un mejor acabado.

El proceso de cobrizado consta de dos etapas, la primera consiste en introducir la pieza en un baño de cobre alcalino, el cual está compuesto por los siguientes elementos:

Cianuro de cobre: 22 g/L

Cianuro de sodio: 35 g/L

Carbonato de sodio: 15 g/L

Para el baño de cobre alcalino se utiliza un tanque con una capacidad de 655 L y se emplean ánodos de cobre cuya presentación es en forma de bloques, estos ánodos son depositados en cestas de titanio las cuales son envueltas en bolsas de polipropileno. El baño de cobre alcalino es operado a temperatura ambiente, utilizando un voltaje comprendido entre 5 a 7 V, aplicando agitación manual y se controla el tiempo de permanencia de la pieza en el baño el cual oscila entre 1 a 10 minutos dependiendo del tamaño de la pieza. Con este baño se puede lograr un espesor de recubrimiento entre 5 μm a 10 μm .

Al baño de cobre alcalino se le aplica filtración de acuerdo al nivel de producción requerido, si la producción es constante se filtra cada quince días y si la producción es variable se filtra una vez al mes.

Cuando la pieza sale del baño de cobre alcalino, es enjuagada con agua para eliminar los residuos de sales que puedan haber quedado en la superficie de la pieza. A continuación la pieza es transportada inmediatamente al baño de cobre ácido.

La segunda etapa del proceso de cobrizado consiste en introducir la pieza en un baño de cobre ácido, el cual es utilizado para redimensionar piezas gastadas, las cuales deben haber sido previamente introducidas en el baño de cobre alcalino.

La proporción de los componentes en el baño de cobre ácido es la siguiente:

Sulfato de cobre: 200 g/L

Acido sulfúrico: 27.5 g/L

Para el baño de cobre ácido se utilizan dos tanques, uno con una capacidad de 750 L (con dimensiones de 3 x 0.5 x 0.5 m) y otro de 1280 L (con dimensiones de 2 x 0.8 x 0.8 m); en este proceso se emplean ánodos de cobre ácido o cobre electrolítico en forma de bloques sólidos y formulados para una mejor electrólisis, depositados en cestas de titanio envueltas en bolsas de polipropileno.

El baño de cobre ácido es operado a temperatura ambiente, el voltaje para este baño depende del tamaño de la pieza, para piezas pequeñas se utiliza de 1.5 a 3 V y para piezas grandes 5 V, se aplica agitación manual y se filtra el baño mensualmente, además se controla el tiempo de permanencia de la pieza en el baño el cual oscila entre 1 a 1.25 horas dependiendo del tamaño de la pieza. Si se va a aplicar un baño de níquel después del baño de cobre ácido, es recomendable aumentar el tiempo de permanencia de la pieza en el baño de cobre ácido y disminuirlo en el baño de níquel, ya que las sales que se utilizan en el baño de cobre ácido son más baratas que las utilizadas en el de níquel.

Cuando la pieza sale del baño de cobre ácido es enjuagada con agua con la finalidad de eliminar los residuos de sales que puedan haber quedado en la superficie de la pieza. A continuación la pieza es secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado. Si la pieza requiere del proceso de niquelado entonces es transportada inmediatamente al baño de níquel.

A los baños de cobre alcalino y cobre ácido se le realizan quincenalmente mediciones de densidad y semanalmente de pH, utilizando un densímetro y un pH-metro digital o papel tornasol respectivamente, para estimar las pérdidas producidas durante el proceso y adicionar algún componente para mantener la solución.

2.4 PROCESO DE NIQUELADO

El proceso de niquelado es utilizado para proporcionar un recubrimiento decorativo y como un recubrimiento base para el recubrimiento de cromo decorativo. Antes de que cualquier pieza entre al proceso de niquelado, debe someterse al proceso de preparación de la superficie y al proceso de cobrizado.

El proceso de niquelado al igual que el proceso de cobrizado puede realizarse por los métodos de colgado y en tambor explicados anteriormente.

La composición del baño de níquel es la siguiente:

Sulfato de Níquel: 300 g/L

Cloruro de Níquel: 60 g/L

Acido Bórico: 45 g/L

Abrillantador #150: 1.85-2.22 ml/L

Abrillantador # 220: 1.85-2.22 ml/L

Antiporo: 0.185-0.37 ml/L

Para el proceso de niquelado se utiliza un tanque con una capacidad de 2708 L y se emplean ánodos de níquel cuya presentación es en rondelas y lámina, los cuales se depositan en cestas de titanio envueltas en bolsas de polipropileno, con el objetivo de evitar cualquier contaminación. Este tanque posee su propio sistema de filtración, con el cual se filtra mensualmente la solución.

El baño de níquel es operado a temperatura ambiente, utilizando un voltaje comprendido entre 2 a 6 V, se aplica agitación manual y se controla el tiempo de permanencia de la pieza en el baño, el cual oscila entre 1 a 1.5 horas dependiendo del tamaño de la pieza. Con este baño se puede lograr un espesor de recubrimiento de 12.5 μm .

En este baño se realizan quincenalmente mediciones de densidad y de pH, utilizando un densímetro y un pH-metro digital o papel tornasol respectivamente. Sin embargo, si antes de estos periodos el operario observa que las características de calidad del producto están

disminuyendo, entonces se hacen las mediciones mencionadas anteriormente en ese momento.

Cuando la pieza sale del baño de níquel, es enjuagada con agua con la finalidad de eliminar los residuos de sales que pueden haber quedado en la superficie de la pieza. A continuación la pieza es secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado. Si la pieza requiere del proceso de cromado decorativo, entonces es transportada inmediatamente al baño de cromo decorativo.

2.5 PROCESO DE CROMADO DECORATIVO

El baño de cromo decorativo es un baño *flash*, ya que la pieza permanece en contacto con la solución muy poco tiempo; este baño es utilizado para mantener el brillo y sellar el poro microscópico que deja el baño de níquel. Antes de que cualquier pieza entre al proceso de cromado decorativo, debe someterse al proceso de preparación de la superficie, al proceso de cobrizado y al proceso de niquelado.

El proceso de cromado decorativo al igual que los procesos de cobrizado y niquelado puede realizarse por los métodos de colgado y en tambor.

La composición del baño de cromo decorativo es la siguiente:

Acido crómico: 250-300 g/L

Acido sulfúrico: 1.4-2.0 g/L

Aditivos: 30 ml/L

Para el proceso de cromado decorativo se utiliza un tanque con una capacidad de 1549 L y se emplean ánodos de plomo antimonial, cuya presentación es en forma de platinas. El baño de cromo decorativo es operado a temperatura ambiente, utilizando un voltaje comprendido entre 6 a 12 V, el tiempo de permanencia de la pieza en el baño oscila entre 15 segundos a 3 minutos dependiendo del tamaño de la pieza.

En este baño se realizan quincenalmente mediciones de densidad y semanalmente de pH, utilizando un densímetro y un pH-metro digital o papel tornasol respectivamente. A este baño por ser un baño flash no se le aplica agitación ni filtración ya que no las requiere.

Cuando la pieza sale del baño de cromo decorativo, es enjuagada con agua con la finalidad de eliminar los residuos de sales que pueden haber quedado en la superficie de la pieza. A continuación la pieza es secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado.

2.6 PROCESO DE CROMADO INDUSTRIAL

El proceso de cromado industrial o cromado duro es utilizado principalmente para aumentar la dureza de herramientas así como para incrementar la resistencia al desgaste de moldes.

La composición del baño de cromo industrial utilizado para este proceso es la siguiente:

Acido crómico autorregulable: 250 g/L

Acido sulfúrico: 60 g/L

Humectante para cromo PQV: 0.1-0.25 ml/L

Este baño de cromo industrial desarrolla una dureza de 58 a 60 Rockwell C dependiendo del material de la pieza, permitiendo obtener espesores de recubrimiento de hasta 0.06 mm.

El primer paso en el proceso de cromado industrial es definir el material de la pieza y si le ha sido aplicado algún tratamiento térmico previo. Esta información es necesaria para conocer el valor de dureza del material, lo cual es importante porque este baño se aplica a piezas que posean una dureza menor a 54 Rockwell C.

La pieza es sometida al proceso de preparación de la superficie y posteriormente al proceso de cromado industrial, únicamente cuando se necesita redimensionar la pieza se aplica después de la preparación de la superficie el proceso de cobrizado y a continuación el proceso de cromado industrial.

El proceso de cromado industrial se realiza por el método de colgado, trabajando a temperatura ambiente con un voltaje comprendido entre 5 a 7 V, aplicando agitación manual. Este proceso comprende dos etapas, la primera consiste en aplicar corriente inversa durante un periodo de 1 a 3 minutos, con el objetivo de abrir la porosidad del material y lograr la penetración del baño en la pieza; la segunda etapa consiste en aplicar corriente directa durante un periodo de 5 a 45 minutos para piezas pequeñas y 0.5 a 1.5 horas para piezas grandes.

En este baño se realizan mensualmente mediciones de densidad, utilizando un densímetro. Sin embargo, si antes de ese periodo el operario determina a través de la inspección visual que el baño ha perdido penetración, dado que el cromo no se está depositando en la pieza, entonces se procede a efectuar la medición de densidad en ese momento para determinar la concentración de sales del baño y controlarlo mediante la adición de alguno de sus componentes.

Cuando la pieza sale del baño de cromo industrial, es enjuagada con agua con la finalidad de eliminar los residuos de sales que pueden haber quedado en la superficie de la pieza. A continuación la pieza es secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado.

2.7 PROCESO DE GALVANIZADO

El proceso de galvanizado es aplicado con el fin de crear una capa protectora contra la corrosión y oxidación en la superficie del metal. Antes de que cualquier pieza entre al proceso de galvanizado, se somete al proceso de preparación de la superficie.

La composición del baño de galvanizado utilizado en este proceso es la siguiente:

Hidróxido de sodio: 95 g/L

Carbonato de sodio: 22 g/L

Zinc metálico: 12 g/L

El proceso de galvanizado se realiza por los métodos de colgado o en tambor, dependiendo del nivel de producción requerido. Para este proceso se utiliza un tanque con una capacidad de 4189.5 L y se emplean ánodos de zinc de alta pureza, los cuales son depositados en cestas de hierro en forma de espiral. El proceso de galvanizado puede realizarse con los ánodos dentro del baño o sin estos, ya que cuando los ánodos se introducen al baño empiezan a reaccionar con la solución y se va formando una capa de color gris en la superficie, la cual es llamada zinc flotante. Cuando el baño posee suficiente zinc flotante no es necesario introducir los ánodos para realizar el proceso de recubrimiento. Si se requiere aumentar el contenido de zinc flotante del baño, solamente se introducen los ánodos y si no se tienen piezas dentro del tanque, no es necesario encender el rectificador.

El baño de galvanizado es operado a temperatura ambiente, utilizando un voltaje comprendido entre 2 a 6 V para el proceso de colgado y de 10 a 15 V para el proceso en tambor. El tiempo de permanencia de la pieza en el baño oscila entre 20 y 30 minutos dependiendo del tamaño y cantidad de piezas que están en el baño. Con este baño pueden lograrse espesores de recubrimiento de 0.05 a 0.06 mm. A este baño no se le realiza ninguna medición, debido a que es un baño ecológico que ha sido implementado recientemente en la empresa y hasta el momento trabaja muy bien bajo estas condiciones.

Cuando la pieza sale del baño de galvanizado, es enjuagada con agua para eliminar los residuos de sales que puedan haber quedado en la superficie de la pieza e introducida en una cubeta con una capacidad de 19 L que contiene un sellador, a fin de proveer una capa extra de protección y sellar la superficie o simplemente darle color. Para este proceso se utilizan dos tipos de selladores, uno es un cromatizador azul, cuya composición es 15 g/L de sal cromatizante y 6 ml/L de ácido nítrico y el otro es un cromatizador tropicalizado, cuya composición es 100 g/L de ácido crómico y 100 g/L de ácido sulfúrico.

Después del sellado, la pieza es nuevamente enjuagada con agua, secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado.

2.8 PROCESO DE ZINCADO

El proceso de zincado al igual que el galvanizado crea una capa protectora contra la corrosión y oxidación en la superficie del metal. Sin embargo, el zincado es utilizado para cromar el aluminio, creando una base para poder aplicar el baño de cobrizado y finalmente el cromado decorativo. Antes de que cualquier pieza entre al proceso de zincado, se somete al proceso de preparación de la superficie.

La composición del baño de zinc utilizado para este proceso es la siguiente:

Soda hash: 250 g/L

Soda en escamas: 200 g/L

Zinc metálico: 20 g/L

El proceso de zincado es un proceso por inmersión, es decir que este baño no requiere el uso de electricidad para la formación del recubrimiento en el metal.

Debido a que este proceso es muy poco demandado y que la mayoría de piezas que requieren de este proceso son rines de automóvil, se utiliza un tanque con una capacidad de 76 L.

El tiempo de permanencia de la pieza en el baño oscila entre 30 a 60 segundos, dependiendo de si se trata de un aluminio virgen o un aluminio reciclado. Este proceso es realizado a temperatura ambiente utilizando el método de colgado pudiendo lograrse un espesor de recubrimiento de 0.001 m. A este baño no se le realiza ninguna medición, ya que no la requiere.

Cuando la pieza sale del baño de zincado, es enjuagada con agua para eliminar los residuos de sales que puedan haber quedado en la superficie de la pieza, a continuación la pieza es introducida en una cubeta con una capacidad de 19 L que contiene un sellador, a fin de proveer una capa extra de protección y sellar la superficie o simplemente darle color. Para

este proceso se utilizan los mismos tipos de selladores que se utilizan para el proceso de galvanizado, en lo relativo a su composición.

Después del sellado de la pieza, es nuevamente enjuaga con agua, secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado.

2.9 PROCESO DE PAVONADO

El proceso de pavonado consiste en la aplicación de una capa superficial de óxido abrillantado de color negro a piezas de acero y hierro para evitar la corrosión y darle una mejor presentación. Para mejores resultados, toda pieza que entra al proceso de pavonado, debe someterse al proceso de preparación de la superficie.

La composición del baño de pavonado utilizado en este proceso es la siguiente:

Soda cáustica: 75-100 g/L

Nitrato de potasio: 75-100 g/L

El proceso de pavonado al igual que el proceso de zincado es un proceso de recubrimiento por inmersión, realizado a una temperatura de 115 °C a 125 °C. El tiempo de permanencia de la pieza en el baño oscila entre 15 y 20 minutos. La única medición que se realiza en este baño es la de temperatura.

Cuando no requiere del uso de este baño, es almacenado en bodega. Dado que la demanda de este baño es muy baja y las piezas que se trabajan son pequeñas, este proceso es realizado utilizando el método de colgado en un depósito con capacidad de 15 L.

Cuando la pieza sale del proceso de pavonado, es enjuagada con agua con la finalidad de eliminar los residuos de sales que puedan haber quedado en la superficie de la pieza, a continuación es secada con papel periódico. Posteriormente es aceitada y transportada al área de producto terminado.

2.10 PROCESO DE LATONADO

El proceso de latonado es utilizado como un recubrimiento decorativo que permite lograr dos tipos de tonalidades, una color oro y la otra color dorado. Este proceso inicia con la preparación de la superficie, a continuación se aplica el proceso de cobrizado, luego el proceso de niquelado y finalmente el proceso de latonado.

El baño para el proceso de latonado está compuesto por los siguientes elementos:

Cianuro de cobre: 30 g/L

Cianuro de sodio: 37.5 g/L

Sal rochelle: 50 g/L

Carbonato de sodio: 38 g/L

Oxido de zinc: 7.7 g/L

Para el baño de latonado se utiliza un depósito con una capacidad de 15 L y se emplean ánodos de cobre cuya presentación es en forma de bloques sólidos, depositados en cestas de titanio envueltas en bolsas de polipropileno. El baño de latonado es operado a temperatura ambiente, utilizando un voltaje comprendido entre 5 a 7 V, controlándose los siguientes parámetros:

- tiempo de permanencia de la pieza en el baño, que oscila entre 3 y 5 segundos para una tonalidad oro y de 1 a 3 minutos para una tonalidad dorada
- pH de la solución, el cual debe tener un valor de 10 y es medido por medio de un pH-metro digital y según el nivel de producción requerido.

A este baño no se le aplica agitación, ya que por ser un baño flash la pieza está en contacto con la solución muy poco tiempo, la frecuencia de filtrado depende del nivel de producción, ya que este baño tiene muy baja demanda.

Cuando la pieza sale del baño de latonado, es enjuagada con agua con la finalidad de eliminar los residuos de sales que puedan haber quedado en la superficie de la pieza, secada con papel periódico y transportada al área de producto terminado.

2.11 DIAGRAMAS DE FLUJO DE LOS PROCESOS

El diagrama de flujo es una representación gráfica mediante símbolos de las relaciones entre las diferentes etapas de un proceso. Se utilizan para visualizar globalmente un proceso, analizarlo y localizar problemas, ya que permite identificar los puntos claves de un proceso.

En las Figuras 3 hasta 14 se representan todas las actividades que involucran los procesos de recubrimientos metálicos, es decir desde la recepción y transporte de la pieza al área de preparación de la superficie hasta que la pieza está lista para ser entregada al cliente.

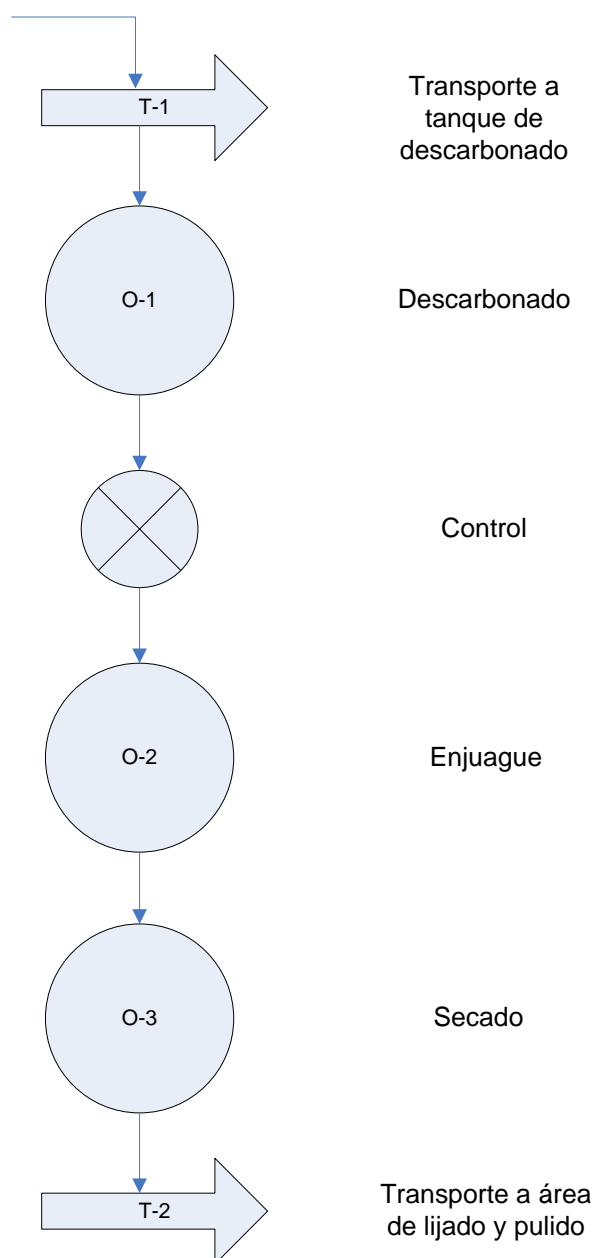
Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de descarbonado

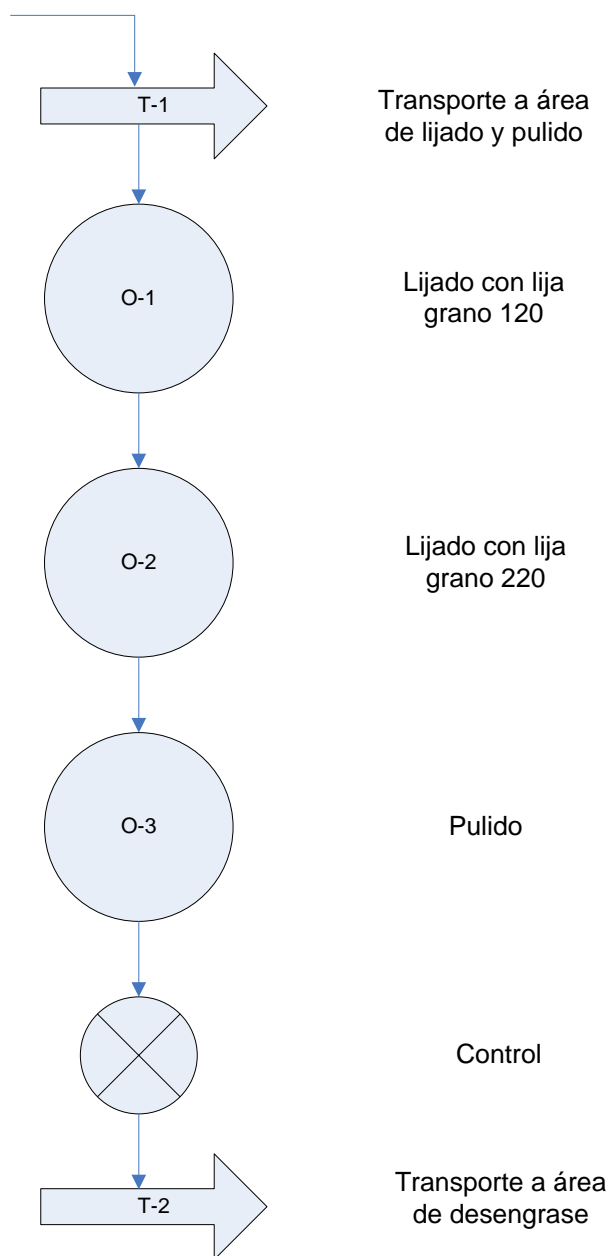
Fig. 4. Diagrama de flujo del proceso de lijado y pulido

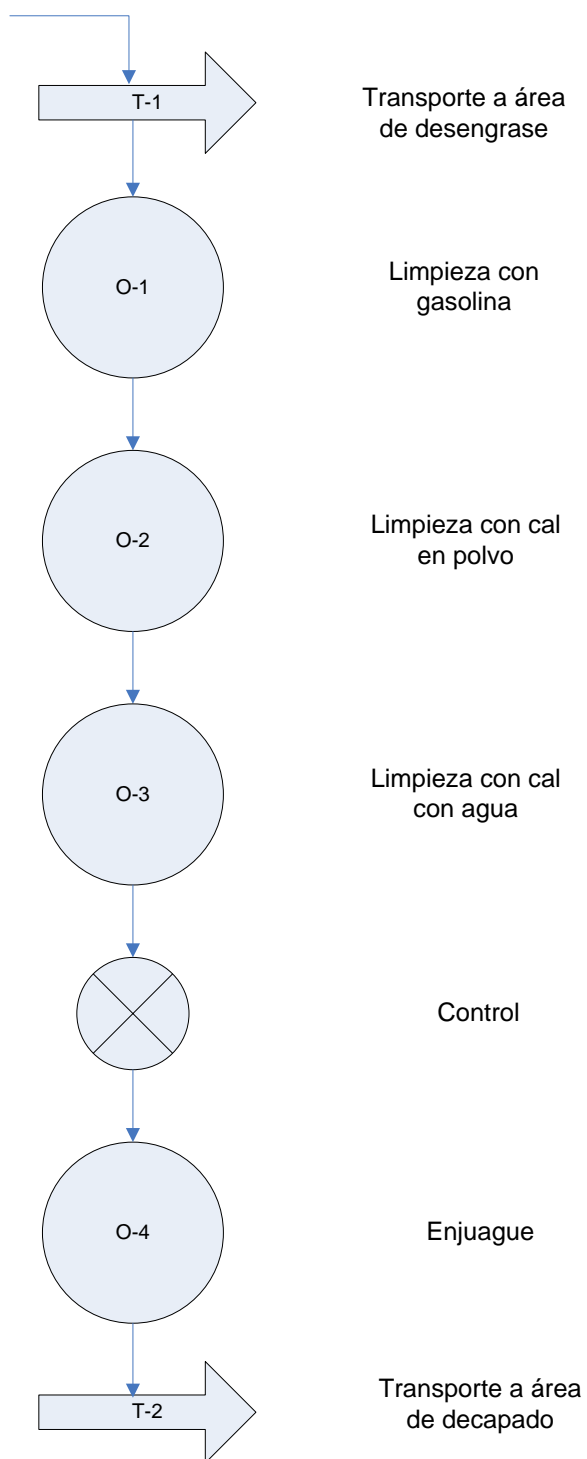
Fig. 5. Diagrama de flujo del proceso de desengrase

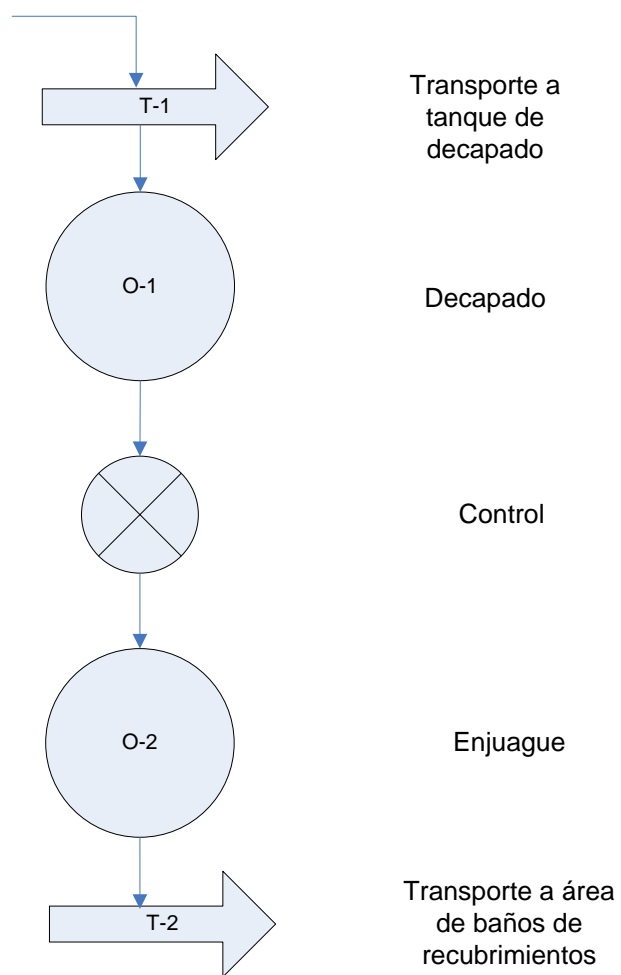
Fig. 6. Diagrama de flujo del proceso de decapado

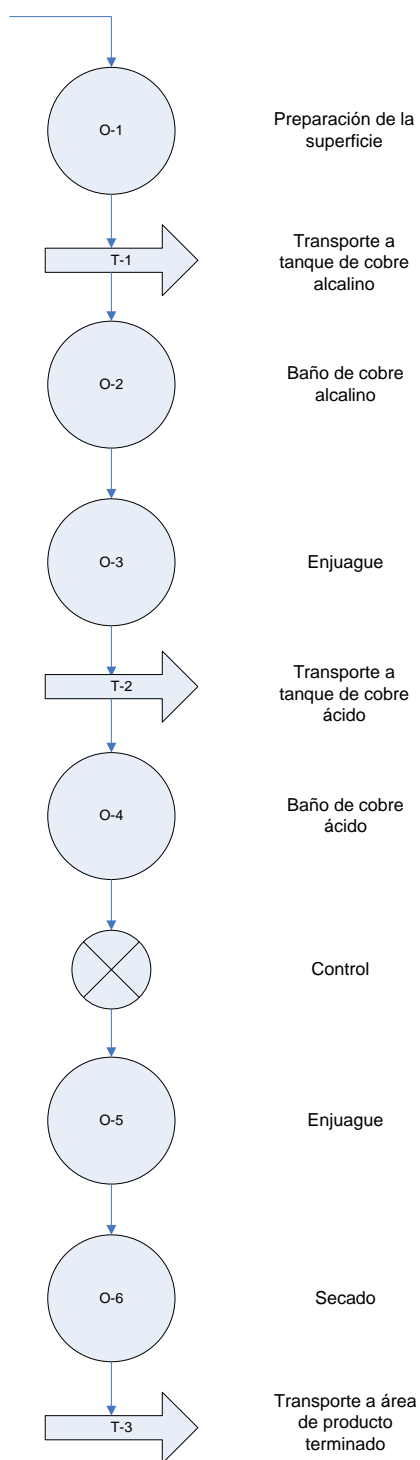
Fig. 7. Diagrama de flujo del proceso de cobrizado

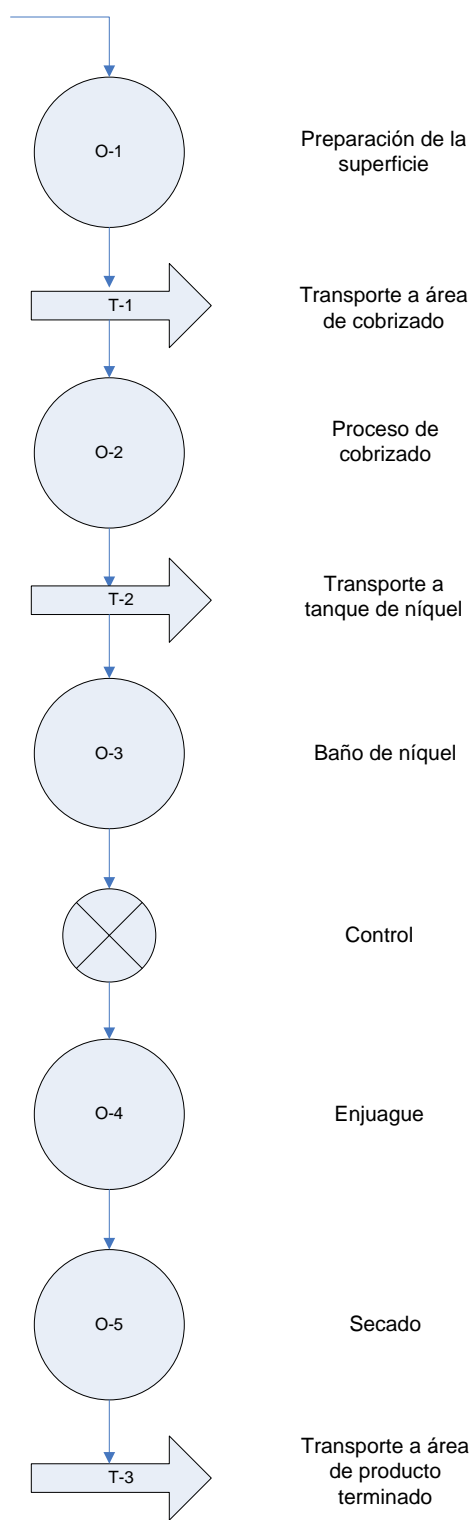
Fig. 8. Diagrama de flujo del proceso de niquelado

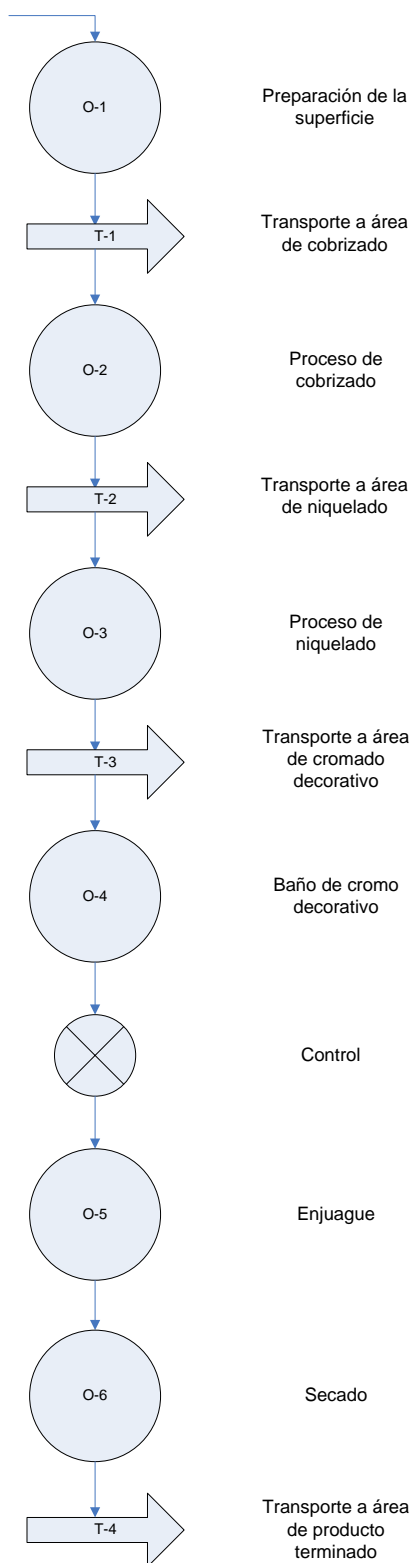
Fig. 9. Diagrama de flujo del proceso de cromado decorativo

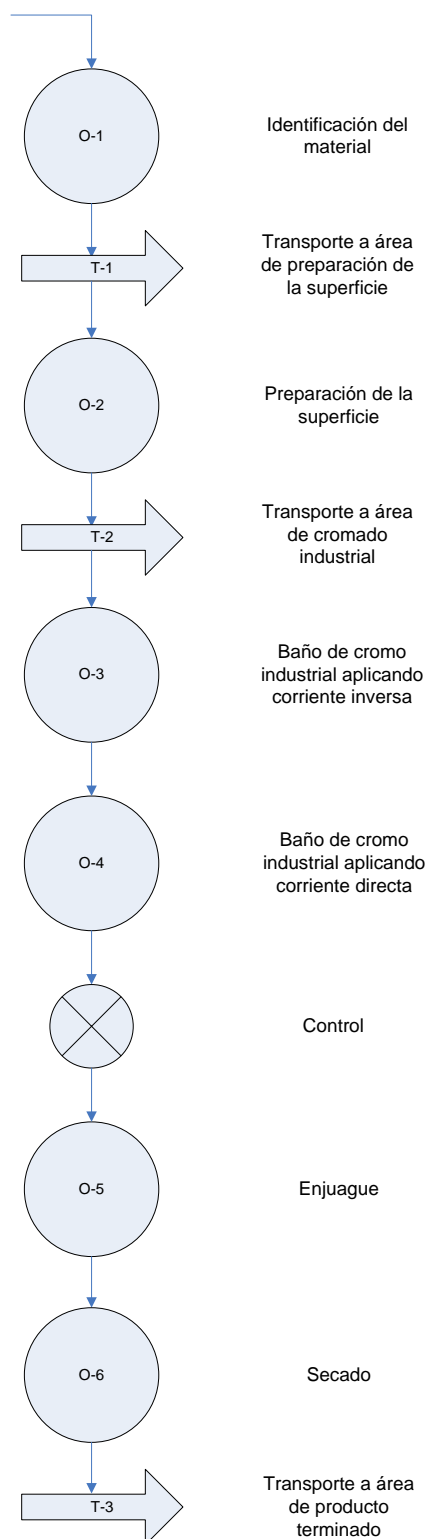
Fig. 10. Diagrama de flujo del proceso de cromado industrial

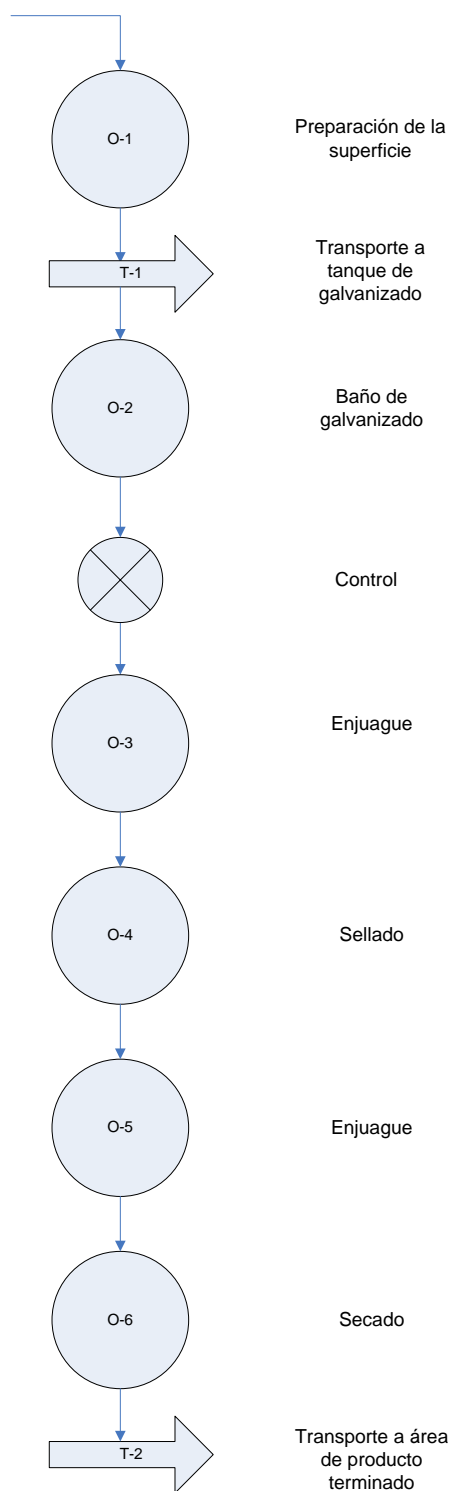
Fig. 11. Diagrama de flujo del proceso de galvanizado

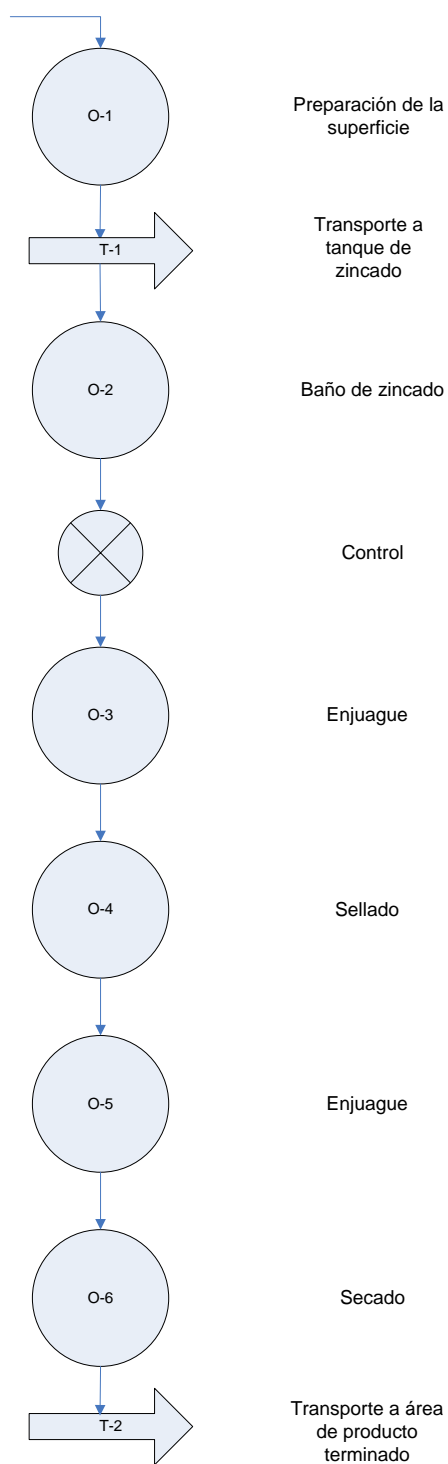
Fig. 12. Diagrama de flujo del proceso de zincado

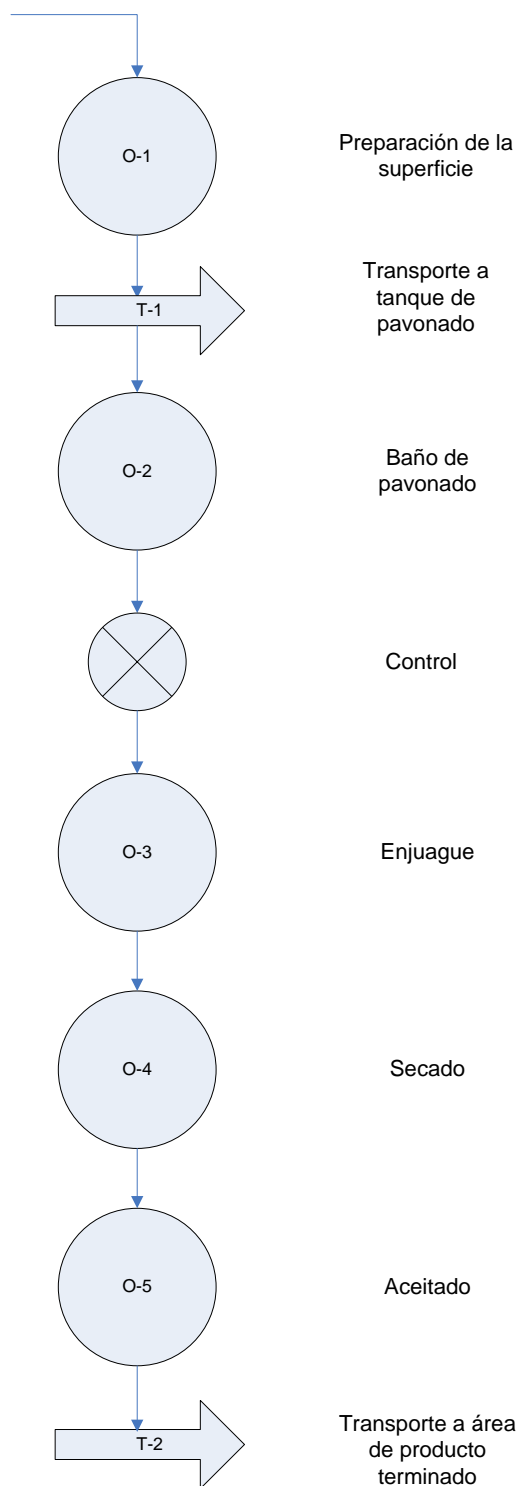
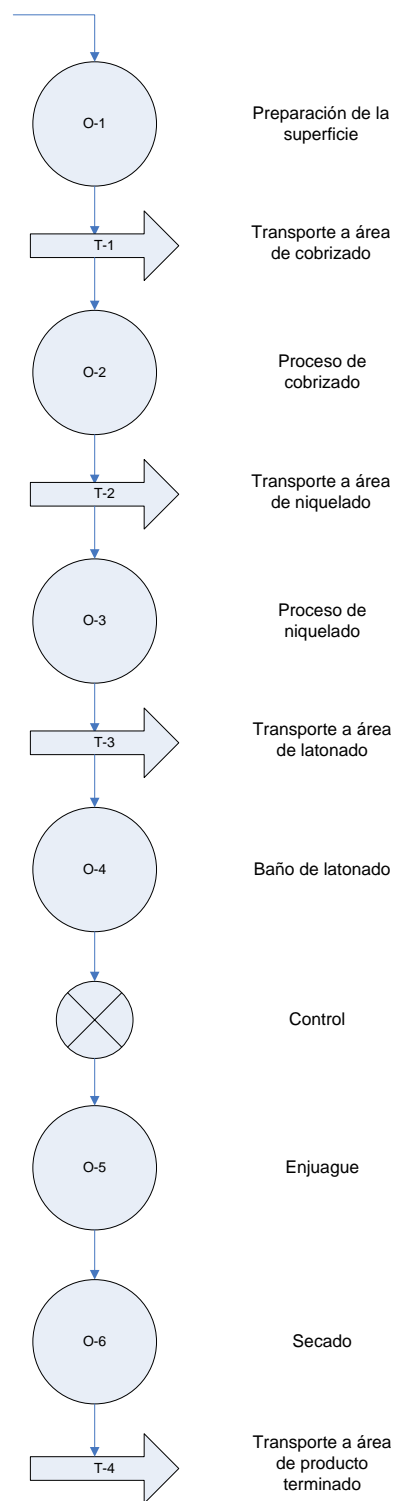
Fig. 13. Diagrama de flujo del proceso de pavonado

Fig. 14. Diagrama de flujo del proceso de latonado



2.12 CUADROS DE DIAGNÓSTICO DE PROCESOS

Los cuadros de diagnóstico aplicados a los procesos de recubrimientos metálicos permiten visualizar de manera rápida las características más importantes de cada uno de los baños utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., las cuales son la composición del baño, los parámetros de operación del baño y el control del baño, el cual incluye el equipo utilizado y la frecuencia de medición.

La información incluida en los cuadros de diagnóstico aplicados durante el desarrollo de la etapa de diagramación de los procesos se recopiló a partir de diferentes fuentes, entre las que pueden mencionarse: procesos de observación directa durante la visita a las instalaciones de la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., entrevistas con el personal de las diferentes áreas de la empresa y consultas a normas internacionales referentes a recubrimientos metálicos.

Tabla 10. Características de operación del proceso de cobrizado

Composición del baño	Parámetros de operación del baño			Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Voltaje	Tiempo	Temperatura			
Baño de cobre alcalino Cianuro de cobre: 22 g/L Cianuro de sodio: 35 g/L Carbonato de sodio: 15 g/L	5 a 7 V	1 a 10 min	Temperatura ambiente	Densidad pH	Densímetro pH-metro digital	Quincenal Semanal
Baño de cobre ácido Sulfato de cobre: 200 g/L Acido sulfúrico: 27.5 g/L	piezas pequeñas: de 1.5 a 3 V piezas grandes: 5V	60 a 75 min	Temperatura ambiente	Densidad pH	Densímetro pH-metro digital	Quincenal Semanal

Tabla 11. Características de operación del proceso de niquelado

Composición del baño	Parámetros de operación del baño			Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Voltaje	Tiempo	Temperatura			
Sulfato de Níquel: 300 g/L Cloruro de Níquel: 60 g/L Acido Bórico: 45 g/L Abrillantador #150: 1.85-2.22 ml/L Abrillantador # 220: 1.85-2.22 ml/L Antiporo: 0.185-0.37 ml/L	2 a 6 V	60 a 90 min	Temperatura ambiente	Densidad	Densímetro	Quincenal
				pH	pH-metro digital	Quincenal

Tabla 12. Características de operación del proceso de cromado decorativo

Composición del baño	Parámetros de operación del baño			Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Voltaje	Tiempo	Temperatura			
Acido crómico: 250-300 g/L Acido sulfúrico: 1.4-2.0 g/L Aditivos: 30 ml/L	6 a 12 V	15 a 180 s	Temperatura ambiente	Densidad pH	Densímetro pH-metro digital	Quincenal Semanal

Tabla 13. Características de operación del proceso de cromado industrial

Composición del baño	Parámetros de operación del baño			Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Voltaje	Tiempo	Temperatura			
Acido crómico autorregulable: 250 g/L Acido sulfúrico: 60 g/L Humectante para cromo PQV: 0.1-0.25 ml/L	5 a 7 V	Corriente inversa: 1 a 3 min Corriente directa: piezas pequeñas: 5 a 45 min piezas grandes: 0.5 a 1.5 hora	Temperatura ambiente	Densidad	Densímetro	Mensual

Tabla 14. Características de operación del proceso de galvanizado

Composición del baño	Parámetros de operación del baño			Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Voltaje	Tiempo	Temperatura			
Hidróxido de sodio: 95 g/L Carbonato de sodio: 22 g/L Zinc metálico: 12 g/L	2 a 6 V	20 a 30 min	Temperatura ambiente	-	-	-

Tabla 15. Características de operación del proceso de zincado

Composición del baño	Parámetros de operación del baño		Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Tiempo	Temperatura			
Soda hash: 250 g/L Soda en escamas: 200 g/L Zinc metálico: 20 g/L	30 a 60 s	Temperatura ambiente	-	-	-

Tabla 16. Características de operación del proceso de pavonado

Composición del baño	Parámetros de operación del baño		Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Tiempo	Temperatura			
Soda cáustica: 75 a 100 g/L Nitrato de potasio: 75 a 100 g/L	15 a 20 min	115 °C a 125 °C	temperatura	termómetro	Cada 4 minutos durante el proceso

Tabla 17. Características de operación del proceso de latonado

Composición del baño	Parámetros de operación del baño			Magnitudes medidas	Instrumento de medición utilizado	Frecuencia de medición
	Voltaje	Tiempo	Temperatura			
Cianuro de cobre: 30 g/L Cianuro de sodio: 37.5 g/L Sal rochelle: 50 g/L Carbonato de sodio: 38 g/L Oxido de zinc: 7.7 g/L	5 a 7 V	tono oro: 3 a 5 s tono dorado: 1 a 3 minutos	Temperatura ambiente	pH	pH-metro digital	Cada vez que se realiza el proceso

2.13 DETERMINACIÓN DE MAGNITUDES CRÍTICAS

El aseguramiento de la calidad del proceso de recubrimientos metálicos surge de la planificación estratégica que persigue lograr autosuficiencia financiera y la gestión eficiente de los recursos de la empresa M.D.F. CROMATODO. S.A. de C.V., contando con la infraestructura necesaria para el desarrollo de las actividades y el cumplimiento de los objetivos.

Las actividades productivas pueden verse afectadas por una serie de perturbaciones que hacen aparecer desviaciones a la salida de las mismas, por lo que deben conocerse las variaciones que se han presentado y para ello es necesario medir. El resultado de las mediciones se compara con lo establecido en la entrada y basándose en las diferencias detectadas surgen las acciones correctivas.

Una cuestión fundamental previa a la mejora de procesos es la medición y lo es porque no se puede mejorar aquello que no se conoce. Es decir, que dado que un gran porcentaje de las desviaciones de la calidad de los productos se atribuyen fundamentalmente a problemas con el sistema de medición deben identificarse las magnitudes críticas relacionadas con el proceso que se desea medir.

La determinación de las magnitudes críticas de cada uno de los baños de recubrimiento de mayor demanda de la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., se realizó a través de la aplicación del Método de Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones (AMEM). Para la aplicación del Método AMEM se hizo uso de la información obtenida con la caracterización de procesos y de los cuadros de diagnósticos, así como de entrevistas realizadas a los operarios, dicha información fue validada por el gerente de producción y la gerencia general de la empresa.

Tabla 18. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cobre alcalino

Características de calidad	Impacto en el cliente	Impacto en el proceso	Probabilidad de falla	Número de Importancia	Determinación de características
Adherencia del recubrimiento	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Agitación del baño	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
Ampollamientos	7	8	1	56	Esta característica DEBE ser controlada
Concentración del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Espesor de recubrimiento	2	6	2	24	Esta característica no es relevante
Filtración del baño	1	3	2	6	Esta característica no es relevante
Manchas	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
pH del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Porosidades	3	5	1	15	Esta característica no es relevante
Resistencia a la corrosión	7	5	1	35	Esta característica puede ser medida
Rugosidades	9	4	1	36	Esta característica puede ser controlada
Temperatura del baño	1	3	1	3	Esta característica no es relevante
Tiempo de permanencia en el baño	2	4	1	8	Esta característica no es relevante
Voltaje de operación	2	3	2	12	Esta característica no es relevante

Tabla 19. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cobre ácido

Características de calidad	Impacto en el cliente	Impacto en el proceso	Probabilidad de falla	Número de Importancia	Determinación de características
Adherencia del recubrimiento	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Agitación del baño	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
Ampollamientos	7	8	1	56	Esta característica DEBE ser medida
Concentración del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Espesor de recubrimiento	2	6	2	24	Esta característica no es relevante
Filtración del baño	1	3	2	6	Esta característica no es relevante
Manchas	10	5	2	100	Esta característica DEBE ser controlada
pH del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Porosidades	3	5	1	15	Esta característica no es relevante
Resistencia a la corrosión	7	5	1	35	Esta característica puede ser medida
Rugosidades	9	4	1	36	Esta característica puede ser medida
Temperatura del baño	1	3	1	3	Esta característica no es relevante
Tiempo de permanencia en el baño	2	4	1	8	Esta característica no es relevante
Voltaje de operación	2	3	2	12	Esta característica no es relevante

Tabla 20. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de níquel

Características de calidad	Impacto en el cliente	Impacto en el proceso	Probabilidad de falla	Número de Importancia	Determinación de características
Adherencia del recubrimiento	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Agitación del baño	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
Ampollamientos	7	8	1	56	Esta característica DEBE ser medida
Concentración del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Espesor de recubrimiento	2	6	2	24	Esta característica no es relevante
Filtración del baño	1	3	2	6	Esta característica no es relevante
Manchas	10	5	2	100	Esta característica DEBE ser medida
pH del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Porosidades	3	5	1	15	Esta característica no es relevante
Resistencia a la corrosión	7	5	1	35	Esta característica puede ser medida
Rugosidades	9	4	1	36	Esta característica puede ser medida
Temperatura del baño	2	7	3	42	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Tiempo de permanencia en el baño	2	6	1	12	Esta característica no es relevante
Voltaje de operación	2	3	2	12	Esta característica no es relevante

Tabla 21. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cromo decorativo

Características de calidad	Impacto en el cliente	Impacto en el proceso	Probabilidad de falla	Número de Importancia	Determinación de características
Adherencia del recubrimiento	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Agitación del baño	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
Ampollamientos	7	8	1	56	Esta característica DEBE ser medida
Concentración del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Espesor de recubrimiento	1	5	1	5	Esta característica no es relevante
Filtración del baño	1	1	1	1	Esta característica no es relevante
Manchas	10	5	2	100	Esta característica DEBE ser medida
pH del baño	3	10	2	60	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Porosidades	3	5	1	15	Esta característica no es relevante
Resistencia a la corrosión	7	5	1	35	Esta característica puede ser medida
Rugosidades	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Temperatura del baño	1	3	1	3	Esta característica no es relevante
Tiempo de permanencia en el baño	2	4	1	8	Esta característica no es relevante
Voltaje de operación	2	3	2	12	Esta característica no es relevante

Tabla 22. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de cromo industrial

Características de calidad	Impacto en el cliente	Impacto en el proceso	Probabilidad de falla	Número de Importancia	Determinación de características
Adherencia del recubrimiento	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Agitación del baño	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
Concentración del baño	3	10	2	60	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Dureza del material antes de aplicar el recubrimiento	1	9	3	27	Esta característica puede ser medida
Dureza del material después de aplicar el recubrimiento	9	6	2	108	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Espesor de recubrimiento	4	5	2	40	Esta característica puede ser medida
Filtración del baño	1	1	1	1	Esta característica no es relevante
Manchas	1	1	1	1	Esta característica no es relevante
pH del baño	3	10	2	60	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Porosidades	3	5	1	15	Esta característica no es relevante
Resistencia a la corrosión	7	5	1	35	Esta característica puede ser medida
Rugosidades	9	8	1	72	Esta característica DEBE ser medida
Temperatura del baño	3	9	4	108	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Tiempo de corriente directa	2	8	2	32	Esta característica puede ser medida
Tiempo de corriente inversa	2	6	3	36	Esta característica puede ser medida
Voltaje de operación	2	3	2	12	Esta característica no es relevante

Tabla 23. Análisis del Modo y Efecto de las Mediciones para el baño de galvanizado

Características de calidad	Impacto en el cliente	Impacto en el proceso	Probabilidad de falla	Número de Importancia	Determinación de características
Adherencia del recubrimiento	5	6	1	30	Esta característica puede ser medida
Agitación del baño	1	4	2	8	Esta característica no es relevante
Ampollamientos	7	7	1	49	Esta característica DEBE ser medida
Concentración del baño	3	10	3	90	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Concentración del sellador	10	10	1	100	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Espesor de recubrimiento	5	7	1	35	Esta característica puede ser medida
Filtración del baño	1	3	1	3	Esta característica no es relevante
Manchas	1	1	1	1	Esta característica no es relevante
pH del baño	3	10	2	60	Esta característica DEBE ser medida, asegurándose la calibración del equipo
Porosidades	3	5	1	15	Esta característica no es relevante
Resistencia a la corrosión	9	4	1	36	Esta característica puede ser medida
Rugosidades	3	4	1	12	Esta característica no es relevante
Temperatura del baño	1	3	1	3	Esta característica no es relevante
Tiempo de permanencia en el baño	1	2	1	2	Esta característica no es relevante
Voltaje de operación	2	3	1	6	Esta característica no es relevante

CAPÍTULO 3 - SELECCIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN

3.0 INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo identificar y seleccionar equipos de medición confiables e idóneos para el control de las magnitudes críticas involucradas en cada uno de los procesos de recubrimientos metálicos utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. y que al mismo tiempo las medidas propuestas sean fácilmente aplicables y no requieran grandes inversiones para ser por la empresa en un corto tiempo, con la finalidad de mantener los estándares de calidad también en sus productos como en los procesos.

Este capítulo ha sido desarrollado en cuatro etapas, las cuales son:

- Diagnóstico del equipo de medición existente.
- Determinación de los equipos de medición requeridos.
- Priorización para la adquisición de equipos.
- Selección de los equipos de medición.

3.1 DIAGNOSTICO DEL EQUIPO DE MEDICIÓN EXISTENTE

Por medio de la aplicación del Método AMEM (Análisis del Modo y efecto de las Mediciones), se evaluaron las magnitudes para cada uno de los procesos de recubrimientos metálicos utilizados por la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. Los resultados obtenidos permitieron determinar las magnitudes críticas que deben ser controladas por medio de equipos de medición. La empresa cuenta con los equipos de medición para el control de dichas magnitudes, los cuales son una balanza y un pH-metro.

A continuación se presenta el diagnóstico realizado a cada uno de estos equipos:

a) Diagnostico de la balanza

Para determinar la confiabilidad de las mediciones de masa realizadas en los procesos de formulación y regeneración de los baños utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V, se efectuaron mediciones en la balanza utilizada para dicho propósito, la cual es marca Progressive Internacional Corporation, cuyo rango de operación es de 0 a 2000 g y posee una precisión de 2.5 g.



Fig. 14. Balanza utilizada en mediciones de masa

Las mediciones de masa se realizaron por comparación entre las lecturas de la balanza, utilizando dos masas patrón, una de 147.34 g y la otra de 295.08 g, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 24, los cuales muestran una marcada diferencia, lo cual significa que la balanza no presenta condiciones de repetibilidad.

Tabla 24. Diferencias de lecturas de la balanza

Nº de medición	Valor de referencia (g)	Valor medido (g)	Δ lecturas (g)	% Error
1	147.34	170.1	+22.76	-15.45
2	295.08	283.5	-11.58	+3.92

Por observación directa durante el proceso de medición con la balanza se determino que el estado de funcionamiento no era el adecuado para el uso ya que inicialmente no se registraban cambios detectables en la respuesta del instrumento, demandándose un mayor estímulo. Asimismo, las inadecuadas condiciones de conservación, entre las cuales pueden mencionarse la suciedad de los receptores de carga, falta de nivelación y la vibración introducen errores en la medición que impiden la validez de las mismas.

De acuerdo a la composición química de cada baño y al precio en el mercado de cada uno de sus componentes, se determinaron el costo ideal (costo de formular el baño con la cantidad exacta de los componentes según la fórmula del baño), el costo real (costo de formular el baño tomando en cuenta la diferencia de lecturas del equipo) y el costo por medición (costo en que se incurre al no contar con un equipo de medición de masa confiable) para cada una de las diferencias de lecturas obtenidas por medio de las masas patrón, los cuales se muestran en la Tabla 25 y en la Tabla 26.

Tabla 25. Costo por error en medición de masa para Δ lecturas = +22.76 g

Tipo de Baño	Costo Ideal (\$)	Costo Real (\$)	Costo por medición (\$)
Baño de cobre alcalino	281.31	237.85	-43.46
Baño de cobre ácido	2909.89	2460.31	-449.58
Baño de níquel	11119.44	9401.49	-1717.95
Baño de cromo decorativo	2516.63	2127.81	-388.82
Baño de cromo industrial	2535.96	2144.15	-391.81
Baño de galvanizado	498.68	421.63	-77.05
TOTAL			\$ -3068.67

En la Tabla 25, el costo por medición negativo representa que los baños se están formulando con una composición menor a la indicada por las formulas, lo cual implica que la concentración y pH de los baños se alteran, generando como consecuencia una disminución de la calidad de los baños y el consecuente efecto en la adherencia del recubrimiento metálico así como la variación de los parámetros de operación del proceso.

Tabla 26. Costo por error en medición de masa para Δ lecturas = -11.58 g

Tipo de Baño	Costo Ideal (\$)	Costo Real (\$)	Costo por medición (\$)
Baño de cobre alcalino	281.31	292.34	+11.03
Baño de cobre ácido	2909.89	3023.96	+114.07
Baño de níquel	11119.44	11555.32	+435.88
Baño de cromo decorativo	2516.63	2615.28	+98.65
Baño de cromo industrial	2535.96	2635.37	+99.41
Baño de galvanizado	498.68	518.23	+19.55
TOTAL			\$ +778.59

En la Tabla 26, el costo por medición positivo representa que los baños se están formulando con una composición mayor a la indicada por las formulas, lo cual implica que la concentración y pH de los baños se alteran, ocasionando variación en los parámetros de operación del proceso a costa de una mayor inversión para la formulación de cada uno de los baños.

b) Diagnostico del pH-metro

Para determinar la confiabilidad de las mediciones de pH realizadas en los baños de recubrimiento utilizados en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V., se efectuaron mediciones en el pH-metro que es utilizado para dicho propósito, el cual es marca HANNA Instruments, con un rango de operación de 0 a 14 pH y una resolución de 0.1 pH.



Fig. 15. pH-metro utilizado en la medición del pH de los baños

La verificación del pH-metro se efectuó tomando lecturas utilizando 3 tipos de soluciones amortiguadoras (buffer) con valores de pH4, pH7 y pH10. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27. Diferencias de lecturas del pH-metro

Solución utilizada	Valor de referencia (pH)	Valor medido (pH)
Solución reguladora (Biftalato), color rojo, marca J.T. Baker	4.0	2.0
Solución reguladora (Fosfato), color amarillo, marca J.T. Baker	7.0	4.6
Solución reguladora (Borato), color azul, marca J.T. Baker	10.0	7.0

De los resultados anteriores, se determinó que el pH-metro estaba desajustado y descalibrado por lo que se procedió a ajustarlo para un rango de de 4 pH a 7 pH utilizando las soluciones reguladoras descritas anteriormente; detectando que el pH-metro no memoriza los valores exactos del ajuste, atribuyéndose a daños en el electrodo o en la electrónica asociada al instrumento, producto de las inadecuadas condiciones de conservación a que ha sido expuesto.

3.2 EQUIPOS DE MEDICIÓN REQUERIDOS

Los equipos de medición requeridos han sido propuestos a partir de las magnitudes críticas que deben ser medidas, de acuerdo con la aplicación del método AMEM, las cuales se muestran en la Tabla 28 con los respectivos equipos de medición requeridos.

Tabla 28. Magnitudes críticas y equipos de medición requeridos

Magnitud Crítica	Equipo de Medición
Concentración del baño	Balanza
pH del baño	pH-metro
Temperatura del baño	Termómetro
Dureza del material	Durómetro
Espesor del recubrimiento	Medidor de espesores

Tomando como base los equipos de medición requeridos para el control de las magnitudes críticas listadas en la Tabla 28, se consultaron las características metrológicas y precios en el mercado local para diversos equipos de medición, cuyo resumen de resultados se muestran en las Tablas 29, 30, 31 y 32.

Tabla 29. Características de Balanzas

Descripción	Capacidad (g)	Sensibilidad (g)	Marca	Modelo	Precio (\$)
Balanza mecánica de triple brazo	2610	0.1	Ohaus	750-SW	169.50
Balanza electrónica digital	2100	0.1	Ohaus	Adventurer Pro	847.50
Balanza electrónica digital	3000	0.1	BEL	Mark 3000	960.50
Balanza electrónica digital	3100	0.01	Ohaus	Adventurer	1056.55

Tabla 30. Características de pH-metros

Descripción	Rango (pH)	Precisión (pH)	Resolución (pH)	Marca	Modelo	Precio (\$)
Medidor de pH de bolsillo	-2.0 a 16.0	± 0.05	0.01	HANNA	HI98128	118.99
Medidor de pH para el control de los baños galvánicos	-2.0 a 16.0	± 0.02	0.01	HANNA	HI99131N	493.58

Tabla 31. Características de durómetros

Descripción	Rango de operación (HV)	Precisión	Dureza máxima (HV)	Marca	Modelo	Precio (\$)
Durómetro de bolsillo	80 a 970	0,5 %	940	PCE GROUP	IMPACT-D	1876.00
Durómetro de bolsillo	80 a 940	0,8%	940	PCE GROUP	PCE-1000	1050.00

Tabla 32. Características de medidores de espesor

Descripción	Rango de operación (µm)	Precisión (µm)	Marca	Modelo	Precio (\$)
Medidor de espesores de bolsillo	0 a 1500	± 1 hasta 50µm, ± 2 a partir de 50 µm	PosiTest	PT-FN-S1	1550.00
Medidor de espesores de bolsillo	0 a 1000	± 2	PosiTest	DFT	1250.00

El criterio para determinar la capacidad de la balanza se basa en las cantidades a pesar de acuerdo al volumen de la celda Hull que es utilizada para formular y analizar los baños de recubrimiento metálicos.

3.3 PRIORIZACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS

Considerando la incidencia en el proceso de cada una de las magnitudes críticas que pueden ser controladas por medio de equipos de medición, se determinaron las prioridades para la adquisición de los equipos de medición, las cuales se muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Prioridades para la adquisición de equipos

Nivel de Importancia	Prioridad	Equipo
1°	Realizar una medición de masa confiable para formular y regenerar los baños	Balanza
2°	Controlar el valor de pH y temperatura de cada baño	pH-metro
3°	Medir la dureza del material antes y después de aplicar el recubrimiento de cromo industrial	Durómetro
4°	Medir el espesor de recubrimiento electrodepositado	Medidor de espesores

Se ha determinado que para una implementación a corto plazo según las necesidades de la empresa, el equipo prioritario requerido son la balanza y el pH-metro y, como meta a mediano plazo, la adquisición del durómetro y el medidor de espesores.

3.4 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.

Para la selección de equipos de medición se formularon seis alternativas, estando cada alternativa compuesta por una balanza y un pH-metro como equipo prioritario a ser adquirido, a cada alternativa se le determino la inversión requerida y el periodo de recuperación de la inversión (Tabla 34), describiendo las ventajas obtenidas con la implementación de la medida y que se presentan en la Tabla 35.

Tabla 34. Periodo de recuperación de la inversión de alternativas de equipos de medición

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (\$)	PERIODO DE RECUPERACIÓN
A	Medidor de pH de bolsillo, marca HANNA, modelo HI98128 y Balanza mecánica de triple brazo, marca Ohaus, modelo 750-SW.	288.49	5 meses
B	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza mecánica de triple brazo, marca Ohaus, modelo 750-SW.	663.08	10 meses
C	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza electrónica digital, marca Ohaus, modelo Adventurer.	1550.13	24 meses
D	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza electrónica digital, marca BEL, modelo Mark 3000.	1454.08	23 meses
E	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza electrónica digital, marca Ohaus, modelo Adventurer Pro.	1341.08	21 meses
F	Medidor de pH de bolsillo, marca HANNA, modelo HI98128 y Balanza electrónica digital, marca Ohaus, modelo Adventurer Pro.	966.49	15 meses

Tabla 35. Ventajas en el proceso de las alternativas de instrumentos de medición propuestas

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (\$)	VENTAJAS EN EL PROCESO
A	Medidor de pH de bolsillo, marca HANNA, modelo HI98128 y Balanza mecánica de triple brazo, marca Ohaus, modelo 750-SW.	288.49	Esta alternativa de más baja inversión posibilita iniciar un control de la calidad de los baños, ya que por medio del pHmetro de bolsillo se puede monitorear el pH (el cual debe de ser medido en todos los baños), también se pueden tomar mediciones de la temperatura del baño (la cual debe ser medida en los baños de Níquel y Cromo Industrial) ya que el electrodo del pHmetro posee sensor de temperatura. Por medio de la balanza mecánica, se obtiene un ahorro en la formulación y regeneración de los baños, ya que se estaría agregando la cantidad correcta de cada uno de los componentes de la fórmula, lo cual ayudaría a tener un mejor control de las características de concentración y pH (las cuales deben ser medidas para todos los baños).
B	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza mecánica de triple brazo, marca Ohaus, modelo 750-SW.	663.08	Con esta alternativa puede controlarse de manera más confiable la calidad de los baños, ya que el pHmetro ha sido diseñado y recomendado para el control de todos los baños galvánicos sin restricciones, además posee mayor precisión que el de bolsillo. Con este pHmetro también se pueden tomar mediciones de la temperatura del baño (la cual debe ser medida en los baños de Níquel y Cromo Industrial) ya que el electrodo posee sensor de temperatura. Por medio de la balanza mecánica, se obtiene un ahorro en la formulación y regeneración de los baños, ya que se estaría agregando la cantidad correcta de cada uno de los componentes de la fórmula, lo cual ayudaría a tener un mejor control de las características de concentración y pH (las cuales deben ser medidas para todos los baños).

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (\$)	VENTAJAS EN EL PROCESO
C	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza electrónica digital, marca Ohaus, modelo Adventurer.	1550.13	<p>Esta alternativa permite un control más confiable de la calidad de las características de calidad de los baños y del espesor de recubrimiento depositado. Este modelo de pHmetro ha sido diseñado y recomendado para el control de todos los baños galvánicos sin restricciones, además posee mayor precisión que el de bolsillo. Con este pHmetro pueden tomarse mediciones de la temperatura del baño (la cual debe ser medida en los baños de Níquel y Cromo Industrial) ya que el electrodo posee sensor de temperatura. La balanza electrónica digital, puede permitir obtener un ahorro en la formulación y regeneración de los baños, ya que se estaría agregando la cantidad correcta de cada uno de los componentes de la fórmula, lo cual ayudaría a tener un mejor control de las características de concentración y pH (las cuales deben ser medidas para todos los baños). Este modelo de balanza por poseer mayor sensibilidad que las otras balanzas cotizadas, ofrece la ventaja de poder realizar pruebas para determinar el espesor de recubrimiento depositado (el cual puede ser medido en los baños de Cromo Industrial y de Galvanizado), lo cual ayudaría a determinar el tiempo de permanencia de la pieza en cada uno de los baños de recubrimiento; además permite que la preparación del baño de prueba en la celda Hull sea realizado en una sola pesada, lo cual disminuye los errores en el proceso de medición. Este modelo de balanza permite realizar mediciones de densidad, lo cual sirve de ayuda para determinar la concentración de cada baño (característica que debe ser medida en todos los baños).</p>

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (\$)	VENTAJAS EN EL PROCESO
D	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza electrónica digital, marca BEL, modelo Mark 3000.	1454.08	<p>Con esta alternativa puede obtenerse un control más confiable de la calidad de los baños. Este modelo de pHmetro ha sido diseñado y recomendado para el control de todos los baños galvánicos sin restricciones y posee mayor precisión que el de bolsillo. Con este pHmetro se pueden tomar mediciones de la temperatura del baño (la cual debe ser medida en los baños de Níquel y Cromo Industrial) ya que el electrodo del pHmetro posee sensor de temperatura.</p> <p>Con este modelo de balanza electrónica digital, se espera obtener un ahorro en la formulación y regeneración de los baños, ya que se estaría agregando la cantidad correcta de cada uno de los componentes de la fórmula, lo cual ayudaría a tener un mejor control de las características de concentración y pH (las cuales deben ser medidas para todos los baños); además este modelo de balanza permite que la preparación del baño de prueba en la celda Hull sea realizado en una sola pesada, lo cual disminuye los errores asociados al proceso de medición.</p>

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (\$)	VENTAJAS EN EL PROCESO
E	Medidor de pH para el control de los baños galvánicos, marca HANNA, modelo HI99131N y Balanza electrónica digital, marca Ohaus, modelo Adventurer Pro.	1341.08	<p>Con esta alternativa puede obtenerse un control más confiable de la calidad de los baños. Este modelo de pHmetro ha sido diseñado y recomendado para el control de todos los baños galvánicos sin restricciones, además posee mayor precisión que el pHmetro de bolsillo. Con este pHmetro se pueden tomar mediciones de la temperatura del baño (la cual debe ser medida en los baños de Níquel y Cromo Industrial) ya que el electrodo del pHmetro posee sensor de temperatura.</p> <p>Con este modelo de balanza electrónica digital, también se obtiene un ahorro en la formulación y regeneración de los baños, ya que se estaría agregando la cantidad correcta de cada uno de los componentes de la fórmula, lo cual ayudaría a tener un mejor control de las características de concentración y pH (las cuales deben ser medidas para todos los baños). Este modelo de balanza permite realizar mediciones de densidad, lo cual sirve de ayuda para determinar la concentración de cada baño (característica que debe ser medida en todos los baños).</p>

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN (\$)	VENTAJAS EN EL PROCESO
F	Medidor de pH de bolsillo, marca HANNA, modelo HI98128 y Balanza electrónica digital, marca Ohaus, modelo Adventurer Pro.	966.49	<p>Con esta alternativa se puede implementar un control de la calidad de los baños, ya que por medio del pHmetro de bolsillo se puede monitorear el pH (el cual debe de ser medido en todos los baños) y también se pueden tomar mediciones de la temperatura del baño (la cual debe ser medida en los baños de Níquel y Cromo Industrial) ya que el electrodo del pHmetro posee sensor de temperatura.</p> <p>Este modelo de balanza electrónica digital, permite un ahorro en la formulación y regeneración de los baños, ya que se agregaría la cantidad correcta de cada uno de los componentes de la fórmula, lo cual ayudara a mejorar el control de las características de concentración y pH (las cuales deben ser medidas para todos los baños).</p> <p>Este modelo de balanza por poseer mayor sensibilidad que las otras balanzas cotizadas, ofrece la ventaja de poder realizar pruebas para determinar el espesor de recubrimiento depositado (el cual puede ser medido en los baños de Cromo Industrial y de Galvanizado), lo cual ayudaría a determinar el tiempo de permanencia de la pieza en cada uno de los baños de recubrimiento. Este modelo de balanza permite realizar mediciones de densidad, lo cual sirve de ayuda para determinar la concentración de cada baño (característica que debe ser medida en todos los baños).</p>

Las actividades para integrar localidad en la planeación de la producción tienen dos objetivos: prevenir defectos y minimizar la variabilidad de los procesos. Estos objetivos demandan actividades que van más allá de la inspección haciendo hincapié en la prevención.

En este sentido, la identificación de las oportunidades de mejora en la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. y su implementación posibilita la aplicación de métodos estadísticos a la medición y análisis de la variación en el proceso, examinando el significado de la variación, el uso de gráficos de control al analizar y minimizar la variación, la cuantificación de la capacidad del proceso y la relación de estos conceptos con otras técnicas para el mejoramiento del proceso.

CONCLUSIONES

- Para el control de calidad de los procesos de la empresa M.D.F. CROMATODO. S.A. de C.V., se proponen dos alternativas: la primera consiste en la adquisición de una balanza mecánica y un pH-metro diseñado para el control de los baños galvánicos, que es la alternativa de menor costo que permite controlar los procesos de acuerdo a los requerimientos actuales de la empresa y la segunda, consistente en la adquisición de una balanza digital de mayor precisión y un pH-metro diseñado para el control de los baños galvánicos, la cual permite implementar un control de calidad tanto de los procesos como de los productos.
- La implementación de las alternativas propuestas permitirá disminuir los desperdicios, reprocesos y las no conformidades en los productos y procesos; así como las siguientes ventajas:
 - Ahorro en la formulación y regeneración de los baños a través del uso más eficiente y racional de materias primas e insumos.
 - Control más confiable de los valores de pH y concentración de los baños aumentando la eficiencia del proceso productivo.
 - Exactitud en los balances de materia empleados en los programas de Producción Más Limpia y de Estudio de Impacto Ambiental permitiéndole a la empresa M.D.F. CROMATODO S.A. de C.V. crear ventajas competitivas en el mercado.
- La implementación de las medidas debe acompañarse por acciones complementarias en las que se incluya la conservación adecuada de los equipos de medición propuestos, las cuales deben ser:
 - La balanza debe ubicarse sobre una mesa de concreto armado y no trasladarse de lugar para evitar su descalibración.
 - Debe aplicarse solución de almacenamiento para el electrodo del pH-metro cuando no se utilice y, antes de ser utilizado debe aplicársele la solución de limpieza.
 - El pH-metro debe de guardarse en un lugar que no posea humedad y polvo.

GLOSARIO

- ***Abrillantador:*** Agente aditivo que ocasiona la formación de un depósito brillante, lo que mejora la brillantez del mismo, la que no se lograría sin su empleo.
- ***Acabado de tambor (o tamboreado):*** Tratamiento de las piezas en tambores giratorios en presencia de partículas abrasivas, que pueden estar suspendidas en agua o en alguna solución especial, con el propósito de mejorar el acabado de la superficie.
- ***Acción niveladora:*** Habilidad de una solución galvánica para producir una superficie más tersa que la del metal base.
- ***Activación:*** Eliminación de una condición pasiva en una superficie.
- ***Agente aditivo:*** Material agregado a un baño galvánico con el propósito de modificar el carácter del depósito, de ordinario en cantidades relativamente pequeñas y a menudo, de naturaleza orgánica coloidal, incluye abrillantadores, etc.
- ***Ánodo:*** Electrodo en el que entra la corriente, o salen los electrones, de la solución; el electrodo positivo en electrólisis.
- ***Ánodo inerte:*** Ánodo que es insoluble en el electrólito bajo condiciones obtenidas en la electrólisis.
- ***Antiporoso:*** Agente aditivo empleado con el propósito específico de evitar la formación de poros grandes o pequeños en el depósito.
- ***Arrastre externo:*** El agua o solución que se adhiere a los objetos extraídos de un baño.
- ***Arrastre interno:*** El agua o solución que se adhiere a los objetos introducidos en un baño.
- ***Barra conductora:*** Sección conductora rígida ordinariamente de cobre, para conducir corriente a las barras catódica y anódica.

- **Capa de óxido:** Recubrimiento óxido adherente que es más grueso que la película superficial conocida como mancha.
- **Cátodo:** Electrodo a través del cual sale la corriente, o entran los electrones. En el electrorrecubrimiento, el electrodo que recibe el depósito.
- **Corrosión:** Destrucción gradual de un material usualmente por solución, oxidación u otros medios atribuibles a un proceso químico.
- **Decapado:** Remoción de óxidos u otros compuestos de una superficie de metal por medio de un decapador.
- **Decapador:** Solución ácida que se emplea para remover óxidos u otros compuestos de una superficie de metal por medio de una acción química o electroquímica.
- **Decapado electrolítico:** Procedimiento de decapado durante el cual se hace pasar una corriente entre el metal y el decapador.
- **Desengrasado:** Remoción de grasa y aceites de una superficie.
- **Desengrasado por disolvente:** Desengrasado por inmersión en un disolvente orgánico líquido.
- **Desengrasado por vapor:** Desengrasado por medio de vapores disolventes que se condensan en las partes que se limpian.
- **Despellejamiento:** Desprendimiento de un recubrimiento metálico de su metal base.
- **Detergente:** Agente activador de superficies que posee la habilidad de limpiar superficies sucias.
- **Dispersante:** Sustancia que aumenta la estabilidad de una suspensión retardando la floculación.

- **Electrodeposición:** Proceso de depositar una sustancia sobre un electrodo por medio de electrolisis. Incluye el electrorrecubrimiento, electroformación, electrorrefinación, y electroextracción.
- **Electrodo:** Conductor de la clase metálica a cuyo través entra o sale una corriente de la celda electrolítica; en el cual hay un cambio de conducción por electrones a conducción por partículas cargadas de materia, o viceversa.
- **Electrodo bipolar:** Electrodo que no está conectado directamente a la línea de fuerza sino que se le coloca en la solución entre el ánodo y el cátodo de modo que la parte más cercana al primero se convierta en catódica y la más cercana al segundo se vuelve anódica.
- **Electrolisis:** Producción de cambios químicos por el paso de corriente a través de un electrólito.
- **Electrólito:** Medio conductor en el que el flujo de la corriente va acompañado por el movimiento de la materia. Con mayor frecuencia, una solución acuosa de ácidos, bases o sales, pero que incluye muchos otros medios, tales como sales fundidas, gases ionizados, algunos sólidos, etc.
- **Electropulido:** Mejoramiento en el acabado de la superficie de un metal que se efectúa haciéndolo anódico en una solución apropiada.
- **Electrorrecubrimiento:** Depósito electrolítico de una capa metálica adherente sobre un electrodo con el propósito de asegurar una superficie con propiedades o dimensiones, diferentes a las del metal base.
- **Indicador (pH):** Sustancia que cambia de color cuando se cambia el pH del medio.
- **Inhibidor:** Sustancia que reduce el grado de ataque de los ácidos sobre una superficie de metal mientras que no afecta el grado de solución de óxidos u otros compuestos de las superficies

- **Limpieza:** Remoción de grasa u otra materia extraña de una superficie.
- **Limpieza alcalina:** Limpieza por medio de soluciones alcalinas.
- **Limpieza anódica o inversa:** Limpieza electrolítica en la que la pieza es el ánodo.
- **Limpieza bifásica:** Limpieza por medio de soluciones que contienen una capa disolvente y otra acuosa. La limpieza se efectúa tanto por la acción del disolvente como por la del emulsionante.
- **Limpieza catódica o directa:** Limpieza electrolítica en la que la pieza es el cátodo.
- **Limpieza electrolítica:** Limpieza alcalina en la que se hace pasar una corriente a través de la solución, siendo la pieza uno de los electrodos.
- **Limpieza emulsional:** Limpieza por medio de soluciones que contienen disolventes orgánicos, agua y agentes emulsionantes.
- **Limpieza por disolvente:** Limpieza por medio de disolventes orgánicos.
- **Limpieza por remojo:** Limpieza alcalina, y por inmersión sin empleo de corriente.
- **Mancha:** Opacamiento o decoloración de metales debido a corrosión superficial.
- **Metalización:** Aplicación de una capa metálica eléctricamente conductora a la superficie de no conductores.
- **Oxidación:** Reacción en la cual los electrones son removidos de un reactante. Algunas veces, y en forma más precisa, la combinación de un reactante con oxígeno.
- **Pasividad:** Condición de un metal determinado que asume un potencial más noble que su potencial normal.
- **Picadura:** Depresión producida en una superficie de metal por un electrodeposición no uniforme o por corrosión.

- **Poro:** Una diminuta cavidad o canal que se extiende a través de parte o de todo el recubrimiento.
- **Pulido:** Alisado de una superficie por medio de ruedas flexibles en cuya superficie se aplican partículas finas de abrasivo en suspensión líquida, pasta o grasa.
- **Quemado:** depósito áspero, no coherente o poco satisfactorio, producido por la aplicación de una densidad de corriente excesiva y que contiene de ordinario óxidos u otras inclusiones.
- **Rectificador:** Instrumento que convierte corriente alterna en corriente continua en virtud de una característica que permite el flujo apreciable de corriente sólo en una dirección.
- **Recubrimiento brillante:** Proceso por el que se obtiene un electrodepósito que tiene un grado elevado de reflectancia especular en la condición de depósito.
- **Sal conductora:** Compuesto agregado a la solución a fin de aumentar su conductividad.
- **Solución abrillantadora (no electrolítica):** Baño que se emplea para producir una superficie brillante en el metal,
- **Soporte:** Bastidor para suspender los artículos y conducir la corriente a los mismos, durante el recubrimiento y operaciones relacionadas.
- **Titulación:** Proceso analítico para determinar la cantidad de un elemento o compuesto en solución midiendo la cantidad de algún reactivo (líquido o solución) que reaccione cuantitativamente con él.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Comisión Ambiental Metropolitana en colaboración con GTZ – Sociedad Alemana de Cooperación Técnica; Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición: “*Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales para el giro de la Galvanoplastia*”; México D.F., Septiembre de 1998.
- [2] Donald R. Askeland; “*La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*”; Tercera Edición, Grupo Editorial Iberoamérica; México 1987.
- [3] U.S. EPA/SEDESOL, Grupo de Trabajo Sobre la Prevención de la Contaminación; Manual Bilingüe de Prevención de la Contaminación: “*La Minimización de Residuos en la Industria del Acabado de Metales*”; Mayo de 1993.
- [4] Guía de Producción Más Limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia.
- [5] A. Kenneth Graham; H. L. Pinkerton; “*Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos*”; Traducción de la segunda edición en Inglés; Compañía Editorial Continental S.A.; México; 1967.
- [6] Elizondo Decanini, Alfredo; “*Manual de aseguramiento metrológico industrial*”; Primera Edición; Ediciones Castillo; México; 1996.

Paginas Web consultadas:

- www.ohaus.com.mx/index.htm.
- www.cnpml.org/html/archivos/GuiasDocumentos/GuiasDocumentos-IDG.
- www.monografias.com/trabajos33/cromado-electrolitico
- www.minambiente.gor.co
- www.cientificosaficionados.com.

Normas consultadas:

- Recomendación internacional OIML R76 de la Organización Internacional de Metrología Legal
- UNE-EN 1403:1999. Protección contra la corrosión de metales. Recubrimientos electrolíticos. Método de especificación de los requisitos generales.
- UNE 112032: 1994. Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de níquel
- UNE 112033:1994. Recubrimientos Metálicos. Depósitos Electrolíticos De Níquel más Cromo y de Cobre más Níquel más Cromo.

ANEXOS

ANEXO 1

HI 99131

Medidor de pH para el control de los baños galvanicos



Es el primer medidor de pH existente en el mercado para la medida del pH en los baños galvanicos, en presencia de fuertes corrientes/campos magnéticos. La medida directa del pH en los baños galvanicos era considerada imposible debido a la interferencia de los campos eléctricos presentes en los mismos baños. Para consentir dicha medida, la técnica usada en los equipos profesionales de proceso dotados de "Matching Pin" ha sido transferida a los equipos portátiles. Junto con el "Matching Pin" se ha introducido una protección de titanio que actúa como "Jaula de Faraday". La combinación de ambas tecnologías ha permitido la medida directa con una precisión de 0.01 pH incluso en las condiciones más difíciles. El uso del titanio en lugar del acero inoxidable permite el uso en cualquier tipo de aplicación galvanica, sin restricciones.

Este electrodo está dotado además de sensor de temperatura y amplificador de señal incorporados. El equipo mide desde -2.00 a 16.00 pH, y visualiza la medida de la temperatura simultáneamente. Símbolos gráficos y otras indicaciones guían al usuario en la ejecución de las diferentes operaciones. HI 99131 está dotado además, de un indicador de inestabilidad de la lectura y de función HOLD, que permite congelar la lectura en la pantalla para anotarla cómodamente. La calibración se realiza automáticamente con 2 juegos de tampones memorizados. La duración de la pila es de más de 1500 horas y el porcentaje restante de nivel de vida de la pila se visualiza en la pantalla en el momento de encender el equipo.

Como pedir

HI 99131 se suministra completo con electrodo de pH HI 62911 con sensor de temperatura, sobres monodosis de pH 4 y 7 (1 + 1 x 20 ml), solución de limpieza electrodo HI 700661 (2 x 20 ml), pilas, instrucciones y maletín de transporte.



Especificaciones

		HI 99131
Rango	pH	de -2.00 a 16.00 pH
	temperatura	de -5.0 a 105.0°C (de 23.0 a 221.0°F)
Resolución	pH	0.01 pH
	temperatura	0.1°C (0.1°F)
Precisión (a 20°C)	pH	±0.02 pH
	temperatura	±0.5°C (hasta 60°C), ±1°C (más) ±1.0°F (hasta 140°F), ±2°F (más)
Calibración pH	automática en 1 ó 2 puntos con 2 juegos de tampones memorizados (pH 4.01/7.01/10.01 ó 4.01/6.86/9.18)	
Compensación temperatura	automática de -5 a 105°C	
Electrodo de pH	HI 62911, amplificado, revestido de titanio, con sensor de temperatura y Matching-Pin (incluido)	
Tipo / duración pilas	3 x 1.5V AA / aprox. 1500 horas de uso continuo; auto-desconexión después de 8 minutos de inactividad	
Condiciones de trabajo	de 0 a 50°C; H.R. máx 100%	
Dimensiones / Peso	150 x 80 x 36 mm / 210 g	

Accesorios

HI 62911	Electrodo de pH con revestimiento de titanio, doble unión	HI 710007	Funda de goma de protección color azul
HI 7004L	Solución calibración pH 4.01, botella 500 ml	HI 700661	Solución de limpieza, 25 sobres monodosis
HI 7007L	Solución calibración pH 7.01, botella 500 ml	HI 70004P	Sobres monodosis solución pH 4.01, 25 pz. c/u
HI 7010L	Solución calibración pH 10.01, botella 500 ml	HI 70007P	Sobres monodosis solución pH 7.01, 25 pz. c/u
HI 77400P	Sobres calibración monodosis pH 4 y 7, 5 pz. c/u	HI 710008	Funda de goma de protección color naranja
HI 70300L	Solución almacenamiento electrodos, botella 500 ml		

Para la gama completa de las soluciones de pH y de mantenimiento electrodos, consulte la sección F. Para los electrodos de pH, consulte la sección E.

ANEXO 2



pHep^{®4} y pHep^{®5} están dotados de electrodo de pH.

Gracias al conector redondo de acero inox., la sustitución es rápida y fácil de realizar.

El electrodo de pH de pHep^{®4} y pHep^{®5} está dotado de una unión de fibra renovable. Cuando la unión se ensucia debido al uso, basta extraerla por la extremidad, 2 mm y cortarla, para tener un electrodo como nuevo!

El sensor de temperatura de pHep^{®4} y pHep^{®5} garantiza medidas más rápidas. Su proximidad al electrodo de pH mejora la precisión de las medidas compensadas automáticamente.



Los testers de pH "Waterproof" con electrodo sustituible

Cuando en 1986 HANNA Instruments[®] introdujo su primera versión del pHep[®] (el primer tester de pH electrónico), revolucionó los estándares en la medición del pH.

La facilidad de uso del pHep[®], unida a su fiabilidad, hacen posible la ejecución de medidas del pH de muestras, en modo preciso y a un costo económico, en todo tipo de aplicaciones industriales y de control.

Desde su introducción, más de 4 millones de pHep[®] han satisfecho las exigencias de clientes de todo el mundo.

Gracias a las sugerencias, comentarios y requerimientos de nuestro clientes, han nacido otras ideas que han llevado a la realización de la nueva serie de estos instrumentos.

El pHep^{®4} y el pHep^{®5} tienen características innovadoras, tales como la pantalla de dos niveles, el indicador de nivel de carga de las pilas, el electrodo fácilmente reemplazable, indicador de estabilidad de la medida, la desconexión automática, alojamiento impermeable y 100% de flotabilidad.

Especificaciones

		HI 98127 (pHep ^{®4})	HI 98128 (pHep ^{®5})
Rango	pH	de -2.0 a 16.0 pH	de -2.00 a 16.00 pH
	Temperatura	de -5.0 a 60.0°C / de 23.0 a 140.0°F	
Resolución	pH	0.1 pH	0.01 pH
	Temperatura		0.1°C / 0.1°F
Precisión (a 20°C)	pH	±0.1 pH	±0.05 pH
	Temperatura		±0.5°C / ±1°F
Calibración pH		automática en 1 ó 2 puntos con 2 juegos de tampones memorizadas (pH 4.01 / 7.01 / 10.01 o pH 4.01 / 6.86 / 9.18)	
Compensación temperatura		automática	
Tipo de pilas / duración		4 x 1.5V con BEPS / aprox. 300 horas de uso continuo; auto-desconexión después de 8 minutos de inactividad	
Condiciones de trabajo		de -5 a 50°C; H.R. máx 100%	
Dimensiones		163 x 40 x 26 mm	
Peso		100 g	

Accesorios

HI 73127	Electrodo de repuesto para HI 98127 y HI 98128	HI 70009P	Sobres calibración pH 9.18, 20 ml, 25 pz.
HI 70004P	Sobres calibración pH 4.01, 20 ml, 25 pz.	HI 70010P	Sobres calibración pH 10.01, 20 ml, 25 pz.
HI 70006P	Sobres calibración pH 6.86, 20 ml, 25 pz.	HI 7061M	Solución de limpieza electrodos para usos generales, botella 230 ml
HI 70007P	Sobres calibración pH 7.01, 20 ml, 25 pz.	HI 73128	Llave para sustitución electrodo

Como pedir

HI 98127 (pHep^{®4}) se suministra completo con tapa protectora, llave para sustitución del electrodo, pilas e instrucciones.

HI 98128 (pHep^{®5}) se suministra completo con tapa protectora, llave para sustitución del electrodo, pilas e instrucciones.

ANEXO 3



Round Pan Model Rectangular Pan Model	Mark 3000	Mark 4500	Mark 6000			
		Mark 4500PQ	Mark 6000PQ	Mark 6500PQ	Mark 8000PQ	Mark 10000PQ
Capacity	3000 g	4500 g	6000 g	6500 g	8000 g	10000 g
Readability	0.1 g	0.1 g	0.1 g	0.1 g	0.1 g	0.1 g
Linearity (g) (±)	0.1				0.2	
Repeatability (g) (Std. Dev.)	0.05					
Stabilization Time	2 seconds					

ANEXO 4

Triple Brazo



No importa que esté pesando sólidos, líquidos o polvos o aún animales, las balanzas Ohaus Triple Brazo están equipadas para realizar el trabajo.

Las serie 700/800 proporcionan lo necesario en una balanza mecánica con platillo superior con la durabilidad y versatilidad suficientes para adecuarse a una gran variedad de aplicaciones de laboratorio. Algunos modelos disponen de un brazo de tara que permite equilibrar recipientes de hasta 225g. También se dispone de una gran variedad de diseños de platos de pesaje.

- Tres brazos con indicadores o muescas y alineados.
- Cuatro platos distintos a elegir.
- Resorte de compensación de ajuste de "cero".

Accesorios opcionales

Recipiente y cucharones, fundas contra el polvo, juego de pesas métricas de compensación para aplicación de alcance

FAMILIA MECÁNICA	OHAUS TRIPLE BRAZO							
Capacidad	610g							
Capacidad con Masas colgantes	2610*g							
Sensibilidad	0.1g							
Capacidad de Tara		225g						225g
Calibraciones								
Barra delantera	10g x 0.1g							
Barra central	500g x 100g							
Barra trasera	100g x 10g							
Dial	-----							
Plato de acero inox. (desmontable). Diámetro x fondo (cm) 15.2 x 1.9	X	X						
Plato de acero inox. Diámetro (cm) 15.2						X	X	X

Plato de acero inox. y accesorio, de juego de pesas 707-00							X	
Cucharón de acero inoxidable 30 cm x 15 cm x 7 cm				X				
Cucharón de polipropileno, 30cm x 15cm x 7cm			X					
Jaula para animales Diámetro x altura (cm) 23 x 15					X			
Modelo	710-00	710-T0	720-00	720-50	730-00	750-50	750 SW	760-00

* Los juegos de masa/pesas están incluidos en el modelo 750SW.

* El juego de masa/pesas 707-00 se vende por separado también.

ANEXO 5



Adventurer Pro ®

INTRODUCCIÓN A LAS BALANZAS OHAUS ADVENTURER PRO. LO ÚLTIMO EN LA LÍNEA ADVENTURER DE BALANZAS DE PRECISIÓN.

- Cabina removible para fácil acceso y limpieza.
- El software de SmarTextm guía fácilmente al usuario a través de las aplicaciones.
- La flexibilidad de opciones incluye InCaltm de calibración interna, USB instalado en fábrica o un segundo RS232.

Modelos OIML/NTEP disponibles.

- Fácil de usar con cuatro botones de operación de interfase intuitiva en la relación hombre-máquina.
- Nueva pantalla iluminada y brillante de 2 líneas.
- Con múltiples unidades de pesado.
- Siete modos de aplicación.
- Conectividad RS232.
- Opera con baterías AA (4) o con adaptador de corriente.
- Gancho integrado para pesar por debajo de la balanza para determinación de densidad o gravedad específica.
- Incluye código GLP/GMP para registrar fecha, hora, número de serie, ID para usuario y número de proyecto.

La balanza Adventurer Pro es la balanza de precisión ideal para sus necesidades de pesaje.

Funciones Estándar / Equipo

Plataforma para pesar, grande, de acero inoxidable, pantalla con dos líneas de lectura LCD, Interfase bi-direccional RS232, sistema de nivelado, cubierta protectora para balanza, gancho integrado para sistema de seguridad, gancho integrado para pesar por debajo de la balanza.

Opción de salida de datos para GLP/GMP, parámetros ajustables para medio ambiente, indicador de batería baja, auto apagable para ahorro de baterías, adaptador de corriente AC. Protector corta vientos en el Modelo AV 53.

Accesorios Opcionales

Impresora de Impacto modelo SF42, cable RS 232 para impresora SF42, cable extensión serial para RS232 de 9 pines, Software TAL Win Wedge, sistema de seguridad cucharones para muestreo, masas de calibración

-
- Calidad y asesoría técnica, líder en la Industria.

Todas las balanzas ADVENTURER PRO son fabricadas bajo Sistema Registrado de Administración de Calidad ISO 9001.

Nuestra construcción de equipos fuertes y durables, con un control de calidad riguroso, han sido una distinción de todas las balanzas OHAUS por cerca de un siglo.

Nota: Los modelos AV212C, AV2101C, AV4101C, AV8101C tienen un tiempo de estabilización de 3 segundos

* La unidad de miligramo está disponible en modelos de 0.1 mg a 1 mg

* Las unidades de kilogramo y libra están disponibles en modelos de 0.01 g a 0.1g

OHAUS Adventurer Pro Precision											
Capacidad (g)	51	210	310	210	410	810	2100	3100	2100	4100	8100
Sensibilidad (g)	0.001			0.01				0.1			
Reptibilidad (Desv. Std.) (g)	0.001			0.01				0.1			
Linealidad (g)	±0.002			± 0.02				± 0.2			
Tiempo de estabilización (s)	2.5	3		1.5*	3			2*			
Alimentación eléctrica con calibración interna	No disponible	Adaptador CA (incluido)									
Alimentación eléctrica sin calibración interna	Adaptador CA (incluido) ó 4 baterías "AA" (no incluidas)	Adaptador CA (incluido)		Adaptador CA (incluido) ó 4 baterías "AA" (no incluidas)		Adaptador CA (incluido)		Adaptador CA (incluido) ó 4 baterías (no incluidas)			
Tipo de gabinete	redondo	cuadrada		Ninguna							
Tamaño del platillo con calibración interna (cm)	No disponibles	12 diam.			16.8 x 18						
Tamaño del platillo sin calibración interna (cm)	10 diam.	12 diam.			14.9 x 16.2		16.8 x 18		14.9 x 16.2		
Dimensiones con calibración interna (LxAxH)(cm)	No disponible	22 x 19 x 30		22 x 8.5 x 30							
Dimensiones sin calibración interna (LxAxH)(cm)	19.3 x 14.5 x 25.4	22 x 19 x 30		19.3 x 7.2 x 25.4		22 x 8.5 x 30		19.3 x 7.2 x 25.4			
Dimensiones con empaque con calibración interna (LxAxH)(cm)	No disponibles	39 x 41 x 50		39 x 33 x 50							
Dimensiones con empaque sin calibración interna (LxAxH)(cm)	27.6 x 27.6 x 38.5	39 x 41 x 50		27.6 x 16 x 38.5		39 x 33 x 50		27.6 x 16 x 38.5			
Peso neto con calibración interna (kg)	No disponible	3.7		2.6	3.4		3.2		27.6 x 16 x 38.5		
Peso neto sin calibración interna (kg)	1.4	3.3		1.2	1.5		2.8		1.6		
Peso con empaque con calibración interna (kg)	No disponible	6.6		5.4	6.2		6.1		6.3		
Peso con empaque sin calibración interna (kg)	2.6	6.2		2.2	2.4		5.7		2.6		
Item No./Modelo con calibración interna	No disponible	AV213C	AV313C	AV212C	AV412C	AV812C	AV2102C	AV3102C	AV2101C	AV4101C	AV8101C
Item No./Modelo sin calibración interna	AV53	AV213	AV313	AV212	AV412	AV812	AV2102	AV3102	AV2101	AV4101	AV8101

CARÁCTERÍSTICAS GENERALES	
Unidades de pesaje*	Mg, g, kg, ct, N, lb, oz, oz t, GN, dwt, mommes, carat, mesghal, tales (3), ticals, unidad del usuario
Funciones	Pesaje, pesaje de animales/dinámico, conteo de partes con reajuste automático de muestra, porcentaje, chequeo de peso, totalización resultado obtenido
Rango de tara	Toda su capacidad por sustracción
Temperatura de operación	10° a 30° C
Calibración	Digital con masa externa
	Digital con masa interna (modelos con opción de calibración interna)
Pantalla	Iluminada (LCD), con dos líneas alfanuméricas
Dimensiones de la pantalla (cm)	10 x 2.5

ANEXO 6

Durómetro IMPACT-D durómetro para materiales metálicos con interfaz RS-232 y software

Durómetro portátil para comprobar la dureza superficial de materiales metálicos de un modo rápido e independiente. El durómetro proporciona los parámetros Rockwell B & C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS y Leeb HL. Gracias a su diseño compacto y a su funcionamiento con acumulador el manejo de este aparato resulta muy sencillo. Con el indicador digital de todas las funciones y valores de medición se evitan equívocos y errores de medición. El durómetro Impact-D se puede emplear en todas las posiciones y cuenta con transmisión de datos a un PC o Laptop por medio de la función estadística y una interfaz RS-232 (software y cable de datos opcionales).

- Mide todos los parámetros de dureza
- Con instrumento de percusión / sin cables
- Gran rango de medición
- Alta precisión
- Posibilidad de medir en cualquier posición
- Interfaz RS-232 para la transmisión de datos
- Software y cable de datos opcionales
- Acumulador y cargador incluidos



Especificaciones técnicas

Rangos de medición	HRC 20 hasta 68 HRB 13 hasta 102 HRA 59 hasta 86 HB 30 hasta 680 HV 80 hasta 970 HS 32 hasta 100 HL 200 hasta 900
Escalas de dureza	HRC, HRB, HB, HV, HS, HL
Precisión	0,5 % (para HLD = 90)

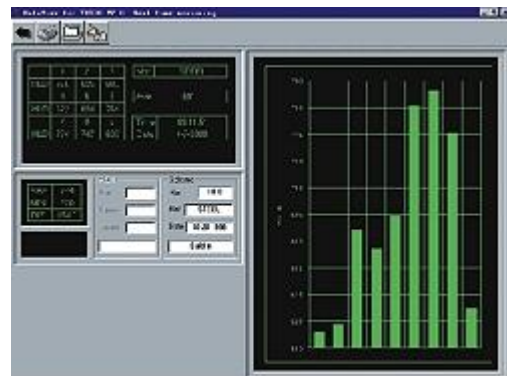
Estadística	Valor medio (máx. 99 para memorizar)
Interfaz de datos	RS-232
Instrumento de percusión	Tipo D (integrado)
Dureza máxima	940 HV
Radio de la pieza de trabajo (convexo / cóncavo)	Rmin = 50 mm (con componente 10 mm)
Peso mínimo de la pieza de trabajo	2 kg (en posición estable / 0,5 kg con pasta de acoplamiento)
Espesor mínimo de la pieza de trabajo	3 mm con pasta de acoplamiento
Penetración de temple mínima	0,8 mm
Alimentación	acumuladores recargables NiMH 3,6 V
Cargador	9 V / 200 mA (1,8 VA)
Tiempo de carga	8 h
Temperatura ambiental	5 ... 50 °C
Dimensiones	150 x 22 x 53 mm
Peso	200 g

Contenido del envío

1 durómetro IMPACT-D, bloque de prueba, cargador, cepillo de limpieza, pasta de acoplamiento, funda, maletín, instrucciones de uso

Componentes opcionales

- Software (para la transmisión de datos del durómetro a un ordenador)
- Cable de datos (para transmisión de datos)
- Diferentes adaptadores (cóncavos / convexos)



ANEXO 7

Durómetro PCE-1000 durómetro para materiales metálicos

Durómetro portátil para comprobar la dureza superficial de materiales metálicos de un modo rápido e independiente. El durómetro proporciona los parámetros Rockwell B & C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS y Leeb HL. Gracias a su diseño compacto y a su funcionamiento por medio de un acumulador el manejo de este aparato resulta muy sencillo. Con el indicador digital de todas las funciones y de los valores de medición se evitan equívocos y errores de medición. [Aquí](#) encontrará un aparato con interfaz RS-232 y software opcional para la transmisión directa de datos.

Ventajas:

- Formato de bolsillo, ocupa poco espacio.
- Mide todos los parámetros habituales.
- Instrumento percutor integrado / sin cables
- Gran rango de medición
- Alta precisión
- Posibilidad de medir en cualquier posición
- Acumulador y cargador incluidos
- Gran variedad de adaptadores opcionales



Durómetro PCE-1000

Especificaciones técnicas

Rangos de medición

	HRC	HRB	HB	HV	HSD
Acero/ hierro	20 ... 67,9	59,6 ... 99,5	80 ... 647	80 ... 940	32,5 ... 99,5
Herramientas	20,5 ... 67,1			80 ... 898	
Acero noble	19,6 ... 62,4	46,5 ... 101,7	85 ... 655	85 ... 802	
Fundido gris			93 ... 334		
Grafito esferoidal			131 ... 387		
Aleación Alu			30 ... 159		
Latón		13,5 ... 95,3	40 ... 173		
Bronce			60 ... 290		

Cobre		45 ... 315	
Escalas de dureza	HL, HRC, HRB, HB, HV, HSD		
Tipos de material (con posibilidad de ajuste)	STEEL (acero) CWT. STEEL (acero moldeado en frío) STAIN. STEEL (acero inoxidable) GC. IRON (fundido gris) NC. IRON (fundido con granito esferoidal) C. ALUMIN (fundido de aluminio) BRASS (latón) BRONZE (bronce) COPPER (cobre)		
Precisión	± 6 HL para HL = 800 (0,8%)		
Instrumento de percusión	tipo D (integrado)		
Dureza máxima	940 HV		
Radio de la pieza de trabajo (convexo / cóncavo)	R mín = 30 mm (con componente 10 mm)		
Peso mínimo de la pieza de trabajo	5 kg sin base 2 ... 5 kg con base 50 g ... 2 kg con base y pasta de acoplamiento		
Espesor mínimo de la pieza de trabajo	3 mm con pasta de acoplamiento		
Penetración de temple mínima	0,8 mm		
Alimentación	acumulador recargable DC de 9V		
Tiempo de carga	12 h		
Temperatura máxima de la pieza de trabajo	+ 120 °C		
Temperatura ambiental	0 ... + 50 °C		
Dimensiones	100 x 60 x 33 mm		
Peso	150 g		
Contenido del envío Durómetro PCE-1000, pasador elástico, bloque de prueba, cargador, cepillo de limpieza, maletín e instrucciones de uso.			

ANEXO 8

Medidor de espesor de capas DFT Combo (F/N) aparato combinado para determinar el espesor de la capa de pintura, plástico ... sobre acero, hierro (F) y metales no férricos (N)

El medidor de espesor de capas DFT Combo mide sin ningún tipo de alteraciones recubrimientos (lacados, pinturas, plásticos ...) sobre acero / hierro y metales de base no férrica. El menú de este medidor de espesor de capas permite su ajuste a nuevos parámetros sin ningún tipo de problemas y hace de este aparato manual una ayuda insustituible para mediciones de control en la producción, en el taller y en la garantía de la calidad. El aparato es muy útil para el reconocimiento de los posibles accidentes que haya sufrido un vehículo y por ello es ideal para los profesionales de este sector. También se utiliza para realizar mediciones de control dentro del sector industrial para el control de entrada y de salida así como para la comprobación del material. El diseño ergonómico de este medidor de espesor de capas con su sonda integrada y de sencillo manejo le permitirá obtener muy rápidamente resultados de medición con la más alta precisión. El medidor de espesor de capas DFT Combo ha sido construido para mediciones de capas no magnéticas como lacas, plásticos, cromo, cobre, cinc, esmaltes, etc sobre hierro y acero, así como mediciones de capas aislantes como lacas, plásticos, esmaltes, papel, vidrio, caucho, etc sobre cobre, aluminio, bronce y acero nobles, y también anodizado sobre aluminio. [Aquí](#) encontrará otro medidor de espesor de capas profesional con sonda externa. Existe otro modelo más económico que sólo se puede utilizar para medir sobre sustratos de hierro o de acero y que por lo demás cuenta con las mismas características y especificaciones técnicas que el DFT Combo que es el: [DFT Ferrous](#).

- Para muchos materiales como hierro, acero, aluminio, cobre, bronce y acero noble
- Listo para medir sin necesidad de calibración circunstancial
- Carcasa resistente al salpicado de agua
- Medición con resistencia a vibraciones
- Cabezal resistente al desgaste con muelle para resultados precisos
- Práctica ranura en V en el cabezal que facilita la medición de capas de cuerpos redondos como ejes, varillas, etc.
- Alarma en caso de realizar mediciones sobre una base equivocada
- Manejo confortable con una mano, construcción sin cables y sonda de medición integrada



Medidor de espesor de capas DFT Combo

Especificaciones técnicas	
Rango de medición	0 ... 1000 μm
Resolución	1 μm
Precisión	$\pm (2 \mu\text{m} + 3 \%)$
Superficie mínima de medición	5 x 5 mm
Radio mínimo de curvatura	convexo 3 mm / cóncavo: 50 mm
Espesor mínimo del sustrato	0,5 mm
Pantalla	LCD de 3 posiciones
Temperatura ambiente	0 ... + 60 °C
Alimentación	1 batería de 1,5 V
Dimensiones del aparato	100 x 38 x 23 mm
Peso	70 g con batería incluida
Normas	ISO 2178 / 2360 / 2808 EN ISO 19840, ASTM D1186, D1400

ANEXO 9

Medidor de espesores de capas PT-FN

existen tres modelos con sensores externos a su disposición:

Basic / PT-FN-S1 (aparato para medir sobre acero / hierro y metales no férricos - tipo F/N)

El medidor de espesores de capas PT-FN es un aparato móvil para determinar rápida y precisamente el espesor de capas de pintura, por ejemplo. Este medidor de espesores de capas puede medir todas las lacas, pinturas y galvanizados sobre hierro / acero como lacas, pinturas, anodizado sobre metales no férricos y sobre aceros antiestáticos.

El medidor de espesores de capas está concebido tanto para su simple uso in situ como para mediciones en el laboratorio o en el control de entrada. Se le pueden adaptar fácilmente diferentes cabezales de medición. El menú manual del medidor de espesores de capas ofrece al usuario la posibilidad de recibir las instrucciones de uso y manejo en alemán, en inglés o en francés (a elegir). Es prácticamente imposible cometer errores de medición que se deriven de una interpretación incorrecta de las indicaciones. La construcción de las sondas garantiza mejores mediciones incluso en componentes con lacados muy brillantes y recubrimientos con capas blandas. El sensor de medición no produce arañazos o deformaciones, ya que se apoya de un modo sutil y homogéneo en la superficie.

Tan sencilla como la medición resulta la elaboración posterior de los datos (modelo PT-FN-S3). Con la interfaz de datos y el software que forma parte del envío (cable de datos RS-232 incluido) se puede realizar la transmisión de los datos a un ordenador, por ejemplo.

- Todas las capas no magnéticas como lacas, pintura, cromo, cobre, cinc ... sobre hierro y acero y metales no férricos.
- Todas las capas aislantes eléctricas como lacas, pintura, anodizado sobre metales no férricos y aceros VA austenitizados.
- Medición del espesor de la capa p.e. en ranuras de hasta por debajo de 5 mm de ancho. Para ello se atornilla el anillo de plástico en la parte delantera de la sonda (también para medir sobre pletinas)
- El medidor de espesores de capas reconoce el sustrato y selecciona automáticamente el proceso de medición correcto
- Rango de medición de 0 ... 1500 μm
- Modelo especial PT FN S3 con memoria para 10.000 valores de medición, valoración estadística, cómputo de valores, valormedio, valores mínimo y máximo, desviación estándar, software para transmisión de datos a un PC o laptop
- Se pueden adaptar fácilmente diferentes sondas especiales.



Medidor de espesores de capas PT-FN

Especificaciones técnicas			
Modelo	PT-FN-S1 (Basic)	PT-FN-S2 (Standard)	PT-FN-S3 (Memory)
Rango de medición	0 ... 1500 μm		
Resolución	1 μm de 0 ... 50 μm , 2 μm de 50 ... 1500 μm		
Precisión	$\pm 1 \mu\text{m} + 1 \%$ hasta 50 μm , $\pm 2 \mu\text{m} + 1 \%$ a partir de 50 μm		
Superficie de med. mín.	5 x 5 mm		
Radio mín. de curvatura	convexo 3 mm; cóncavo: 50 mm		
Espesor mín de base	para medición F: 0,5 mm / para medición N: 0,05 mm		
Idiomas	alemán, inglés, francés, español, italiano, ruso, checo, portugués, japonés, finlandés, turco, ...		
Memoria	---	250 valores	10000 valores
Interfaz	---	---	RS 232
Software	---	---	para WIN 98, 2000 XP ... versiones en varios idiomas (parte del envío)
Función estadística	---	valor medio, valores mínimo y máximo, desviación estándar,	fecha, hora, valor medio, mín. y máx., desviación estándar
Alarma	---	alarma Hi / Low	alarma Hi / Low
Pantalla	pantalla gráfica LCD con iluminación		
Temperatura ambiente	0 ... + 50 °C		
Alimentación	2 baterías AA de 1,5 V (incluidas)		
Dimensiones	aparato: 147 x 61 x 25 mm; sonda: \varnothing 14,3 x 29 mm		
Peso	170 g		
Normas	ISO 2178 / 2360 / 2808; EN ISO 19840, ASTM D1186, D1400		