



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Mecánica Industrial

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD
EN LA FABRICACIÓN DEL NÍQUEL BRILLANTE**

Miguel Oswaldo De León Recinos

Asesorado por la Inga. María del Rosario Colmenares de Guzmán

Guatemala, marzo de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD
EN LA FABRICACIÓN DEL NÍQUEL BRILLANTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR:

MIGUEL OSWALDO DE LEÓN RECINOS
ASESORADO POR LA INGA. MARÍA DEL ROSARIO COLMENARES DE GUZMÁN

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MARZO DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podzueck
EXAMINADORA	Inga. Martha Guisela Gaitán Garavito
EXAMINADORA	Inga. Márcia Ivónne Veliz Vargas
EXAMINADOR	Ing. Jorge Ernesto Herrera López
SECRETARIA	Inga. Maria del Carmen Valdizán Botrán

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DEL NÍQUEL BRILLANTE,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial, el 22 de febrero de 2007.


Miguel Oswaldo De León Recinos

Guatemala, 23 de agosto de 2007

Ingeniero
José Francisco Gómez
Director de Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Gómez:

Cumpliendo con lo resuelto por la dirección de Escuela, se procedió a la asesoría del trabajo de gradación titulada DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DEL NIQUEL BRILLANTE presentado por el estudiante universitario Miguel Oswaldo De León Recinos.

El trabajo presentado por el estudiante De León Recinos ha cumplido con los requisitos reglamentarios consultando bibliografía e investigación de campo y en tal virtud tanto el autor como el asesor son responsables por el contenido del mismo y solicito la aprobación del mismo.

Atentamente.



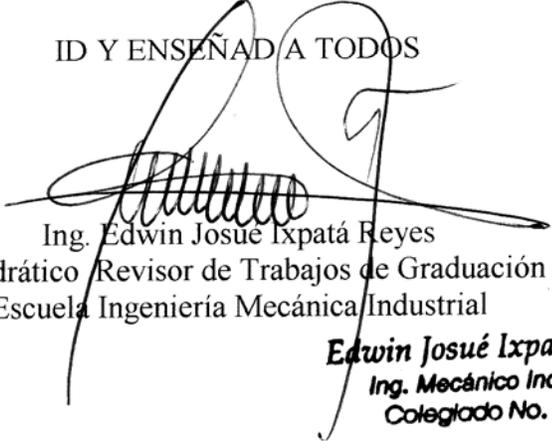
INGENIERA
MARIA DEL ROSARIO COLMENARES SAMAYOA
INGENIERA CIVIL E INDUSTRIAL
COLEGIADO 2705

Inga. Maria del Rosario Colmenares de Guzmán
Asesora del Trabajo de Graduación



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DEL NÍQUEL BRILLANTE**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Oswaldo de León Recinos**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Edwin Josué Ixpatá Reyes
Ing. Mecánico Industrial
Colegiado No. 7128

Guatemala, marzo de 2008.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DEL NÍQUEL BRILLANTE**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Oswaldo De León Recinos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. José Francisco Gómez Rivera
DIRECTOR
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2008.



/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DE NÍQUEL BRILLANTE**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Oswaldo De León Recinos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, abril de 2008.

/mestras

CON GRATITUD A:

Dios, que con su luz ilumina el camino de todo logro y bendice el fruto de nuestros esfuerzos

La Inmaculada Concepción, Madre del que es fuente de sabiduría

La Tierra donde está la huella de Dios y que en la distancia suspiramos su nombre ... Guatemala.

La Universidad de San Carlos de Guatemala, donde aprendí más que ecuaciones y trigonometría, más bien lecciones de vida y de la cual espero honrar a través de mi desempeño como profesional.

La Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, lugar donde forjé mis sueños y ella moldeó mis realidades.

Mi esposa, Amarilis de León.

Quienes han puesto en mi vida más que un motivo para ser feliz ... mis hijos:

Giovanni Alejandro

Melissa Estefanía

Christopher Sebastián

Damaris Susette

Mis hermanos que fueron mis compañeros de juegos, de alegría y tristezas:

Edgar Giovanni (D.E.P)

Verny Amilcar

Lutwing Everardo y

Evelyn Elizabeth

En especial a quien fue dulce compañía y me brindó comprensión, a mi abuelita

María Antonia Alvarez (D.E.P.)

Aquellos a través de los cuales Dios me tendió la mano, a quienes tengo el privilegio de llamar amigos: Cesar Mecías, Hugo Márquez, Max Fernández, Giovanni Figueroa, Walter Girón (D.E.P.), Emilio Santiago, Roberto Fernández, Óscar Rosales y Juan Mansilla.

Mis compañeros de universidad: Mario Uluan, Marvin Fernández, Eduardo Sipaque y Eduardo Santiz.

Con quienes recorrimos un camino, no carente de dificultades, en el que aprendimos a apoyarnos, pero sobre todo, a no darnos por vencidos.

No descansaré ...

No abandonaré ...

Y le pido a Dios que

No me falten fuerzas ...

Camilo Blanes

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	IX
INTRODUCCIÓN	
1 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	1
1.1 Leyes de Faraday	
1.2 Electrólisis	
1.3 La industria de la galvanoplastia	1
1.3.1 Galvanoplastia	2
1.3.2 Niquel y sus aleaciones	2
1.3.2.1 Aleaciones de niquel	3
1.4 El ph de la solución	4
1.5 La corrosión	5
1.5.1 Tipos de corrosión	5
1.6 Teoría de control de calidad	6
1.6.1 Definición de control de calidad	6
1.6.1.1 Calidad	6
1.6.1.2 Control	7
1.6.1.3 Control de calidad	7
1.6.1.4 Factores que controlan la calidad	7
1.6.1.5 Defectos	7

1.6.2	Conceptos de gráficas de control	9
1.6.2.1	Definición de gráficas de control	9
1.6.2.2	Causas no asignables	10
1.6.2.3	Causas asignables	11
1.6.2.4	Objetivo de un gráfico de control	11
1.6.2.5	Tipos de gráficas de control	13
	1.6.2.5.1 Gráfica X - R	14
	1.6.2.5.2 Gráfica pn, grafica p	14
1.6.3	Especificaciones, tolerancias, discrepancias	14
1.6.4	Capacidad de proceso o capacidad de máquina	16
1.7	Cómo elaborar una gráfica de control	17
1.7.1	Gráfica X – R	17
1.7.2	Cálculo de los límites de control	19
	1.7.2.1 Cálculo de límites sin valores especificados	19
	1.7.2.2 Cálculo de los límites con valores especificados	21
	1.7.2.3 Comparación de los límites con y sin especificaciones resultado de la capacidad de proceso	23
	1.7.2.4 Gráfica de control de proceso por variables gráficas X – R	24
1.7.3	Gráfica np gráfica por atributos	27
1.7.4	Cálculo de los límites de control	28
1.7.5	Gráfico de control de proceso por atributos	29
1.7.6	Índice de la capacidad de proceso	30
1.7.6	Los cuatro casos posibles de los límites con y sin especificaciones	31
1.7.7	Gráficas de control por número de defectos (gráfico c)	37
1.8	Planes de muestreo de aceptación	37
1.9	Economía del muestreo frente a la inspección al 100%	38

1.10	Curva característica de operación (curva oc)	39
1.11	Índices de calidad para planes de muestreo de aceptación (AQL, LTPD, IQL, AOQL)	44
2	SITUACIÓN ACTUAL DE EMPRESA	47
2.1	Control de calidad en remesas de materia prima	47
2.2	Especificaciones de los materiales	48
2.2.1	Especificaciones para el sulfato de níquel	48
2.2.2	Especificaciones para el cloruro de níquel	49
2.2.3	Especificaciones para el ácido bórico	49
2.3	Aplicación	50
2.3.1	Para el sulfato de níquel	50
2.3.2	Para el cloruro de níquel	51
2.3.3	Para el ácido bórico	52
2.4	Materiales y equipo	54
2.4.1	Materiales	54
2.4.2	Equipo	55
2.5	Descripción del proceso	56
2.5.1	Pulido	57
2.5.2	Preparación de las piezas	59
2.5.3	Desengrase	59
2.5.4	Aplicación del recubrimiento de níquel brillante	60
2.5.5	Tratamiento y almacenaje posterior	60
3	CRITERIOS DE CALIDAD	61
3.1	Factores que afectan la calidad del recubrimiento	61
3.1.1	Instalaciones	61
3.1.2	Pulido de las piezas	62
3.1.3	Preparación y desengrase	62

3.1.4	Efecto del ph	63
3.1.4.1	En la resistencia a la corrosión	63
3.1.4.2	En el brillo del recubrimiento	65
3.1.5	Densidad de corriente	66
3.1.5.1	Efecto de la densidad de corriente en el grosor del recubrimiento	66
3.1.5.2	Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión	68
3.1.5.3	En el brillo del recubrimiento	70
3.1.6	Tiempo de deposición o residencia	71
3.1.6.1	Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento	71
3.1.6.2	En la resistencia a la corrosión	72
3.1.7	Temperatura de trabajo	73
3.1.7.1	En el grosor del recubrimiento	74
3.1.7.2	En la resistencia a la corrosión	74
3.1.7.3	En el brillo del recubrimiento	76
4	PRUEBAS E INSPECCIÓN	79
4.1	Estaciones de trabajo a inspeccionar y aspectos a evaluar	79
4.2	Pruebas para la determinación de los diferentes aspectos que afectan la calidad	82
4.2.1	El ph de la solución	82
4.2.2	Prueba para la determinación del brillo	83
4.2.3	Resistencia a la corrosión	85
4.3	Control de calidad en el proceso	86
4.4	Especificaciones del proceso	86
4.5	Diseño de control de calidad	88
4.6	Análisis de los resultados de las muestras	90
4.7	Control de calidad en producto terminado	97
4.7.1	Especificaciones del producto terminado	98

5 IMPACTO AMBIENTAL	101
5.1 Introducción	101
5.2 Residuos líquidos	102
5.3 Residuos sólidos	103
5.4 Emisiones a la atmósfera	104
5.5 Normativa: descargas líquidas y emisiones al aire	107
5.6 Opciones de gestión ambiental	107
5.6.1 Producción limpia	110
5.6.1.1 Reducción de contaminación en origen	110
5.6.1.2 Reciclo / re uso / recuperación	122
5.6.2 Control y disposición final	122
5.6.2.1 Tecnologías de control ambiental (tratamientos al final del proceso o <i>end of pipe</i>)	128
5.6.2.2 Disposición final	128
5.7 Resultados de la evaluación de opciones de mejoramiento	128
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Gráfica para estado controlado	9
2	Gráfica para estado fuera de control	10
3	Formato de gráfica de control de exactitud y precisión	25
4	Ejemplo de una gráfica de control	26
5	Ejemplo de una gráfica de control con tendencia	26
6	Gráfica de control en proceso que está bajo control	33
7	Gráfica de control de proceso bajo control pero con productos defectuosos	34
8	Gráfica de control en proceso que está fuera de control pero no hay productos defectuosos	35
9	Gráfica de control donde el proceso está fuera de control	36
10	Curva característica de operación OC para un plan de muestreo $n=50$ y $c=1$	40
11	Comportamiento de un plan de muestreo ideal	41
12	Curva OC con diferentes tamaños de muestras con números de aceptación en proporción a los tamaños de muestras	42
13	Curva OC con diferentes números de aceptación para una muestra $n=50$	42
14	Especificaciones completas para un plan de muestreo	44
16	Unidad empleada para realizar el niquelado	55
17	Unidad básica para el niquelado	56
18	Efecto del Ph en el grosor del recubrimiento	64
19	Efecto del ph en la resistencia a la corrosión	64
20	Efecto del ph en el brillo del recubrimiento	65

21	Efecto de la densidad de corriente en el grosor del recubrimiento	67
22	Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión	69
23	Efecto de la densidad de corriente en el brillo del recubrimiento	70
24	Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento	72
25	Efecto del tiempo de deposición en la resistencia a la corrosión	73
26	Efecto de la temperatura en el grosor del recubrimiento	75
27	Efecto de la temperatura en la resistencia a la corrosión	75
28	Efecto de la temperatura en el brillo del recubrimiento	77
29	Etapas de proceso donde se hace control de calidad	80
30	Gráfica de resultados en el subproceso de pulido	91
31	Gráfica de resultados en el subproceso de preparación y desengrase	93
32	Gráfica de resultados en el subproceso de pulido	96
33	Secuencia de proceso de enjuague en cascada	116
34	Enjuague de economía	117
35	Sistema de detoxificación integrado a la producción sistema Lancy	121

TABLAS

I	Tipos de gráficas utilizadas según el tipo de valor	13
II	Valores de los límites de control para cada tipo de gráfica	13
III	Muestras extraídas a lo largo del turno del ejemplo no. 1	19
IV	Resultados del ejemplo no. 1	23
V	Formato de tabal para hacer gráfica X - R	24
VI	Ejemplo de datos para hacer gráfica por atributos	28
VII	Ejemplo de muestra de la curva OC para el plan n=25 y C=1	43
VIII	Datos obtenidos del proveedor	51
IX	Datos obtenidos para el cloruro de níquel	52
X	Datos obtenidos para el ácido bórico	53
XI	Composición de la solución	54
XII	Condiciones de operación	55
XIII	Materiales y equipo usados en el pulido	57
XIV	Efecto del ph en la resistencia a la corrosión	63
XV	Relación entre el ph y el brillo	65
XVI	Efecto de la densidad de corriente en el grosor del recubrimiento	68
XVII	Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión	69
XVIII	Efecto de la densidad de corriente en el brillo del recubrimiento	70
XIX	Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento	71
XX	Efecto del tiempo de deposición en la resistencia a la corrosión	73
XXI	Efecto de la temperatura en el grosor del recubrimiento	74

XXII Efecto de la temperatura en la resistencia a la corrosión	76
XXIII Efecto de la temperatura en el brillo del recubrimiento	76
XXIV Valores tabulados	100
XXV Datos obtenidos	100
XXVI Efectos de los contaminantes sobre la salud	105
XXVII Efectos de los contaminantes sobre instalaciones del sistema de recolección de aguas servidas (alcantarillados)	106
XXVIII Efectos de los contaminantes sobre aguas superficiales	106
XXIX Tabla de jerarquización	109
XXX Opciones de mejoramiento	129
XXXI Evaluación económica	129

GLOSARIO

Contaminación	Introducción o presencia de contaminantes en el producto o en el medio ambiente donde se fabrica.
Contaminante	Cualquier agente físico, químico o microbiológico que pueda introducirse a los productos o el medio ambiente, que son indeseables.
Desinfección	Reducción de los microorganismos en las superficies de contacto o el medio ambiente, a un nivel que el producto no afecte al consumidor.
Superficies de contacto	Áreas que están en contacto con el producto como los equipos, utensilios y aun las manos.
Higiénica	Condiciones y medidas tomadas para asegurar la inocuidad de los productos en todas las etapas de producción.
Inocuidad	Garantía de que el producto no representa ningún riesgo a la salud del consumidor.
Manipulación	Manejo de los productos en las etapas de producción con las manos o utensilios

RESUMEN

El proyecto se refiere a realizar el control de calidad en la fabricación del níquel para lo cual se analizan los distintos factores que intervienen en el proceso, los cuales son: control en la calidad en remesas de materia prima, especificaciones de los materiales, controles en aplicación para el sulfato de níquel, para el cloruro de níquel y para el ácido bórico. Además, se analizan los materiales y equipo y el proceso que se lleva a cabo de pulido, preparación de las piezas, desengrase, aplicación del recubrimiento de níquel brillante, y tratamiento y almacenaje posterior.

Se analiza los criterios de calidad por medio de factores que la afectan en cada una de las etapas del proceso, y efecto del ph, de la densidad de corriente, de efecto de la densidad de corriente en el grosor de recubrimiento, el efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión y en el brillo del recubrimiento.

Se realizan las pruebas de inspección requeridas para controlar la calidad de los productos terminados.

Por último, se analiza el impacto ambiental que hay que tomar en cuenta para evitar la producción de residuos sólidos y líquidos en la fabricación de piezas niqueladas y se dan a conocer tecnologías utilizadas en el control ambiental.

OBJETIVOS

GENERALES

Determinar el mecanismo para realizar el control de calidad en el proceso de fabricación de níquel.

ESPECIFICOS

Determinar y enumerar los aspectos teóricos que influyen en el proceso de fabricación de níquel.

Hacer un diagnóstico de la situación actual de un proveedor que se dedica al proceso de fabricación de níquel.

Describir los procesos necesarios para llevar a cabo la implantación del níquel en buenas condiciones.

Establecer los criterios de calidad por medio de los cuales se va a evaluar el proceso.

Enumerar las pruebas que deben realizarse para determinar la calidad del producto.

Redactar los puntos importantes que deben tomarse en cuenta para darle seguimiento e implementación al proceso que se ha establecido.

Determinar las medidas de protección ambiental que deben considerarse para que no exista contaminación.

INTRODUCCIÓN

Inicialmente, se dan a conocer los factores teóricos que intervienen en la fabricación del níquel, lo que es y cómo se efectúa el control de calidad en general. Se continúa analizando la situación actual de una planta de fabricación de níquel, el cual incluye temas como son los proveedores, las especificaciones que deben tener los materiales, las aplicaciones existentes y los materiales y métodos de trabajo empleados.

El proyecto en sí consiste en realizar el control de calidad en la fabricación para lo cual se abordan los factores que intervienen en el mismo y la influencia que ejercen en el control de calidad del producto terminado.

Se proponen la implementación, dando a conocer las pruebas e inspecciones que deben efectuarse y la mecánica como se debe ejercer el control de calidad en el proceso.

El seguimiento incluye un estudio de impacto ambiental sobre las mejoras que deben ejercerse para la fabricación de materiales con níquel, de modo que pueda considerarse en un futuro implementar dichas mejoras, para evitar contaminar el medio ambiente del área en donde se encuentra el taller de niquelado.

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

1.1. Leyes de Faraday.

En 1835, Michael Faraday estudió ampliamente los procesos electroquímicos, alcanzando importantes conclusiones referentes al transporte de materia y electricidad. La primera ley establece que la cantidad de sustancia puesta en libertad entre dos electrodos es proporcional a la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de la solución. La segunda ley dice que la relación entre las cantidades de las diferentes sustancias puestas en libertad por una misma cantidad de corriente eléctrica son iguales.

1.2. Electrólisis.

Se trata de una composición química, producida por el paso de corriente eléctrica a través de soluciones o cuerpos fundidos. En la conducción electrolítica, el paso de corriente está siempre relacionado con el movimiento de materia tal y como lo expresó Faraday. La electrolisis se da cuando se introduce dos electrodos, cátodo y ánodo, en una solución electrolítica y se le aplica un diferencial de potencial. Allí es cuando se advierte que existen relaciones químicas entre los electrodos. El ánodo es el electrodo que adquiere carga positiva y el cátodo carga negativa.

1.3. La industria de la galvanoplastia

Para conocer sobre el tema se indica que es galvanoplastia.

1.3.1 Galvanoplastía.

Son los procesos de recubrimiento metálico por medio de los cuales se busca mejorar la apariencia y acabado de las superficies metálicas. Se busca también mejorar la resistencia a la corrosión, al desgaste.

Este proceso es de naturaleza electroquímica, ya que involucra la aplicación de la electrólisis y las consideraciones de varios factores.

1.3.2 Níquel y sus aleaciones

El níquel ocupa el lugar 24 en abundancia entre todos los elementos, constituye como promedio el 0.016% de la corteza terrestre en sus 16 km más cercanos a la superficie. Sin embargo los depósitos de níquel dispersos por todo el mundo tienen importancia económica. Las menas de óxido, por lo común llamadas lateritas, se encuentran principalmente en los trópicos. Del total de yacimientos conocidos, más del 80% consisten en lateritas.

El níquel tiene número atómico 28 y es uno de los elementos de transición de la cuarta serie de la tabla periódica. Su masa atómica es de 58.71, y su densidad es de 8.902 gramos/ centímetros cúbicos. Entre sus propiedades útiles se encuentra su módulo de elasticidad, propiedades magnéticas, y elevadas conductividades térmicas y eléctricas. Tiene una capacidad de absorción superficial sin formar compuestos estables, convirtiéndolo en un importante catalizador.

Como elemento de aleación, el níquel se utiliza en aceros endurecibles, inoxidable, que son resistentes a la corrosión y para servicios a altas temperaturas. Aproximadamente el 10% de la producción anual total del níquel se consume en procesos de electrorecubrimiento (galvanostegia).

Este metal puede depositarse electrolíticamente para desarrollar propiedades mecánicas del mismo orden que las de níquel forjado; sin embargo, existen procesos de baño para depositar capas de níquel con una dureza de 425 Brinell. El uso más difundido del niquelado es para proteger contra la corrosión partes del hierro y el acero, así como piezas coladas en matriz (moldes de inyección) a base de zinc utilizadas en la industria automovilística.

1.3.2.1 Aleaciones de níquel

El níquel y sus aleaciones pueden clasificarse en los siguientes grupos:

Níquel: puede ser puro, electrolítico (99.56% Ni), níquel carbonilo en polvo y comprimidos (99.95%Ni). También puede ser níquel forjado comercialmente puro (de 99.6 a 99.97% de Ni); y ánodos (99.3%Ni). En estas aleaciones se encuentran el Permanníquel y el uraníquel. La resistencia a la corrosión del níquel lo hace particularmente útil para conservar la pureza de los productos en el manejo de alimentos, fibras sintéticas álcalis cáusticos, así como en aplicaciones estructurales, cuando es fundamental dicha estructura.

Otras características de la aleación son sus propiedades magnéticas y magnetoestrictivas, sus elevadas conductividades térmicas y eléctricas, su bajo contenido de gas, y su baja presión de vapor.

Níquel y cobre: en esta aleación hay bajo níquel (2 a 13% Ni), cuproníqueles (de 10 a 30% Ni), aleaciones para monedas (25% Ni), aleaciones de resistencia eléctrica controlada (45% Ni), aleaciones no magnéticas (hasta 60% Ni), y aleaciones de alto níquel, metal monel (más de 50% Ni). A estas aleaciones se las denominan monel. Se caracterizan por tener elevada resistencia mecánica, soldabilidad, excelente resistencia a la corrosión, y tenacidad en un amplio intervalo de temperatura.

Tienen un excelente rendimiento en la exposición al agua de mar o salobre en condiciones de alta velocidad.

Níquel y hierro: aleaciones de aceros forjados (de 0.5 a 9% Ni), aceros de aleación colados (de 0.5 a 9% Ni), hierros colados de aleación (de 1 a 6 y de 14 a 36% Ni), aleaciones magnéticas (de 20 a 90% Ni), aleaciones no magnéticas (10 a 20% Ni), aceros revestidos de acero inoxidable (de 5 a 49% Ni), superaleaciones en base de hierro (de 0.2 a 9% Ni), y aleaciones de dilatación térmica controlada, de bajo coeficiente (de 36 a 50%).

En el proceso de galvanoplastia que se estudiara específicamente, es decir el níquel brillante, existen una serie de variables que ejercen influencia en la naturaleza de la deposición obtenida, según L. Mantell: el Ph del electrolito, la concentración de iones metálicos, la densidad de corriente, la temperatura de operación, la presencia de agentes de adición, la pureza de los electrodos, el tiempo de deposición, la distancia entre electrodos, la agitación etc. Todos los anteriores son factores que influyen en la calidad del recubrimiento.

1.4. El PH de la solución.

Básicamente, el ph, se refiere a la concentración de iones de hidrógeno en una solución. Se tiene que un ion de hidrógeno ácido y un ion de oxidrilo es alcalino; siendo el agua neutra. Las soluciones con una concentración de hidrógeno positivo del orden de 10^{-7} son neutras, si este valor aumenta las soluciones son acidas debido al hidrógeno y cuando disminuye son alcalinas.

El ph que precipita un metal en un electrolito, influye en la naturaleza y aspecto de la deposición.

L. Mantell dice que para el niquelado se requieren de condiciones constantes de ph y para ello se añaden amortiguadores, como el ácido bórico. Cuando la disposición se realiza sobre el hierro y el metal a depositar es electronegativo, es importante que el electrolito contenga suficientes iones de hidrógeno positivo para evitar la formación de hidratos sales básicas que son poco solubles y dan lugar a deposiciones esponjosas. Tampoco debe de contener tantos iones de hidrógeno positivo ya que su abundancia puede provocar que se descarguen en el cátodo.

1.5. Corrosión

Se puede definir la corrosión, como la modificación de un cuerpo producido por un ataque químico o electroquímico no provocado, que parte de la superficie. En los metales se debe a que el estado de equilibrio respecto al oxígeno de aire ha sido destruido.

El tipo de corrosión que se extiende sobre la superficie es la menos peligrosa, mientras que la más peligrosa es aquella que se presenta en puntos aislados ya que avanza rápidamente.

1.5.1 Tipos de corrosión.

Los tipos de corrosión existentes son:

a) Corrosión selectiva: Es aquella en la cual determinados componentes de una aleación son atacados preferentemente y en determinadas circunstancias el material más noble tiene a separarse.

b) Corrosión ínter cristalina: Es aquella en la que el ataque químico empieza en las superficies de contacto de los cristales y va prosiguiendo, con lo cual se destruye su distribución interior, sin que ello sea visible exteriormente.

1.6. Teoría del control de calidad:

Los conceptos importantes que deben conocerse son:

1.6.1. Definición del control de calidad.

Los conceptos que se deben tomar en cuenta son:

1.6.1.1 Calidad

Calidad es la aptitud para el uso o el grado en que un producto o servicio específico satisface lo que desea un usuario determinado. Se definirán dos aspectos de la calidad, la **calidad del diseño** y la **calidad del producto**.

Calidad del diseño es el grado de concordancia entre el diseño y el fin para el cual fue creado, y por **calidad del producto**, es el grado de conformidad entre el producto y su diseño.

Un buen nivel de calidad implica un diseño correcto y un producto de acuerdo con su diseño.

Dicho de otra forma:

- a. Calidad del diseño: cuantía en que una clase de productos posee satisfacción para todos.
- b. Calidad de conformidad: grado del producto que se ajusta a los requisitos del diseño.
- c. Disponibilidad: medida en que el usuario puede procurarse el uso.
- d. Servicio al cliente: es la medida en que el fabricante y la cadena de distribución responde al caso de fallo.

Es el resultante de la combinación de características de ingeniería y de fabricación, las cuales determinan el grado de satisfacción que el producto proporciona al consumidor durante su uso.

1.6.1.2 Control

Es el ciclo planeado de actividades mediante las cuales se logra una meta o nivel deseado.

1.6.1.3 Control de calidad:

Todo conjunto de actividades mediante las cuales se logra la aptitud para el uso es decir, desarrollando la función de calidad de la empresa.

El control de calidad es un conjunto de actividades planificadas mediante las cuales se alcanza las características y cualidades de un producto. Según las especificaciones de ingeniería y fabricación de este producto. Tiene como principal objetivo el desarrollo de las funciones de calidad de una empresa y la satisfacción del consumidor.

1.6.1.4 Factores que controlan la calidad

Los factores que controlan la calidad son:

1. Mano de obra, como los conocimientos especializados.
2. Materia prima
3. Maquinaria y métodos, que hacen que se reduzcan los costos
4. Dinero (money)
5. Mercados, como los negocios flexibles.
6. La administración (managment)
7. Misceláneas.

1.6.1.5 Defectos

La definición tradicional de defecto dice: Un defecto es el incumplimiento de una característica de calidad respecto de un límite especificado. Pero, los límites especificados, los determina, previo acuerdo con las partes interesadas o involucradas en el proceso, luego, por carácter transitivo, vale la frase del insigne maestro del control de calidad, Dr. J. M. Juran. Otra definición es la afirmación de Kahoru Ishikawa, quien dice que un defecto es lo que causa insatisfacción al cliente.

Pero ¿Qué causa los productos defectuosos? La respuesta universal a esta pregunta es: **la variación**. La variación en los materiales, en las condiciones de la máquina, en los métodos de trabajo y en las inspecciones. Estas variaciones son las causas de los productos defectuosos. Si no existiera ninguna de esas variaciones, todos los productos serían idénticos y no habría variaciones en la calidad, y no existiría la ocurrencia de productos defectuosos y no defectuosos.

Los defectos se clasifican en de la siguiente forma:

Defectos críticos: son aquellos que violan leyes, agraden al consumidor o hacen inservible al producto.

Defectos mayores: producen una disminución en el correcto funcionamiento o utilización del producto y es notado por el consumidor.

Defectos menores: producen una disminución leve en el correcto funcionamiento o utilización del producto, probablemente no lo note el consumidor. pero si lo nota, el personal calificado de producción y de control de calidad,

Cada tipo de defecto será objeto de un estudio acabado por las partes interesadas y deberá finalizar en un **muestrario de defectos**, debidamente clasificado por tipo de defecto y firmado por las partes involucradas.

En todos los casos posibles deberá construirse el muestrario con defectos situados justo en los límites de aceptación o rechazo.

1.6.2. Conceptos de gráficas de control.

En 1924, W.A. Shewhart, propuso una **gráfica de control** para eliminar las variaciones anormales, distinguiendo las variaciones debidas a **causas asignables** de aquellas debidas a **causas al azar**, es decir, **causas no asignables**. Por lo tanto el uso de gráficas de control, se refiere al empleo de graficas cronológicas para comparar las características actuales de la calidad de un reducto con los límites que identifican la posibilidad de la manufactura de acuerdo a la experiencia anterior que se ha obtenido del producto. Los limites de control se fijan en la siguiente ecuación: $(x \pm 3\sigma)$

1.6.2.1 Definición de gráficas de control.

Gráfica de control consiste en una línea central, un par de límites de control, uno de ellos colocado por encima de una línea central y otro por debajo, y en ciertos valores característicos registrados en la gráfica que representa el estado del proceso. Si todos los valores ocurren dentro de los **límites de control**, sin ninguna tendencia especial, se dice que el proceso está en **estado controlado**. Sin embargo, si ocurren por fuera de los límites de control o muestran una forma peculiar, se dice que el **proceso está fuera de control**.

Figura 1 Gráfica para estado controlado

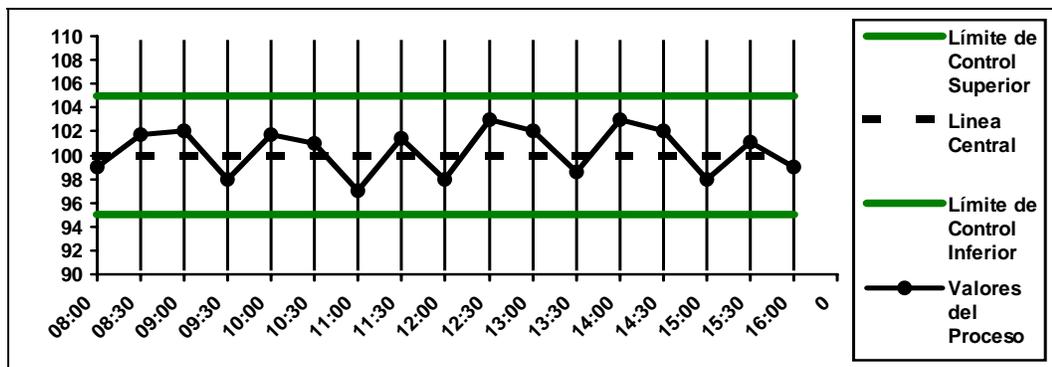
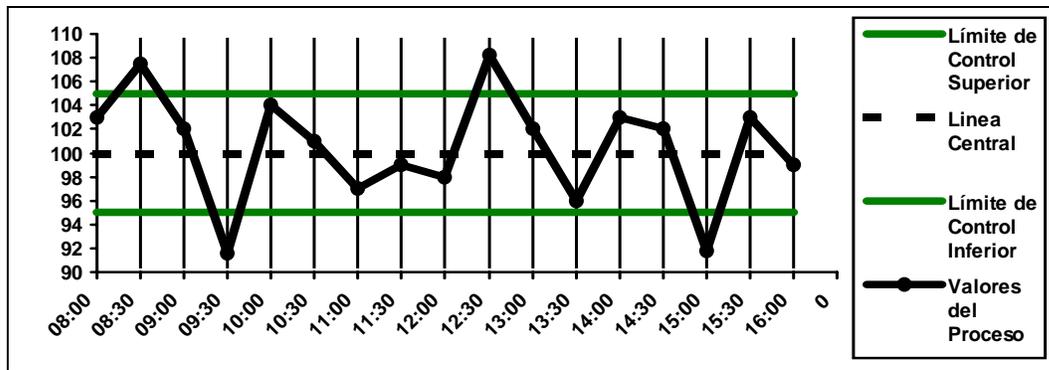


Figura 2 Gráfica para estado fuera de control



Se usa estas gráficas-cronológicas que tienen información sobre las características actuales de la calidad de un producto, para compararlas con los límites que especifican las tolerancias de fabricación.

Las gráficas de control constituyen uno de los métodos más eficaces para realizar el control y análisis de la calidad de un producto, ya que permite realizar las correcciones y acciones adecuadas para mantener la calidad del producto.

1.6.2.2 Causas no asignable

Son causas debidas al azar, estas variaciones debidas al azar son inevitables en el proceso. Tratar de eliminarlas puede resultar estéril y en la mayoría de los casos extremadamente caro. Por otra parte estas variaciones dentro de ciertos límites pueden ser **totalmente tolerables y no causan reales disminuciones de la calidad del producto. Estas variaciones se aceptan, se las consideran inherentes al proceso, y por lo tanto son variaciones normales.** De hecho, estas variaciones son las que originan la distribución gaussiana.

1.6.2.3 Causas asignables

La variación debida a **causas asignables** significa que hay factores anormales que deben ser investigados. Estas variaciones no son normales, no pertenecen al proceso y no serán aceptadas. Las **causas asignables** podrían originar productos defectuosos, aunque no indispensablemente, ya que contienen características, que hacen a la calidad del producto, que podrían estar afuera de los límites que establecen las **especificaciones de calidad** del producto.

El objeto del Control de Calidad Estadístico, de proceso o cualquier otro, es encontrar y separar las causas asignables. (Aun cuando no estén causando defectos). Estas causas asignables tienen necesariamente que ser encontradas y eliminadas pues producen una disminución de la calidad del producto.

Cuando los puntos se encuentran fuera de los límites de control o muestran una tendencia particular, se dice que **el proceso está fuera de control, y esto es a causa de las causas asignables.**

1.6.2.4 Objetivo de una gráfica de control

El objetivo, como lo indica su nombre, es controlar el proceso, es decir, mantenerlo en estado controlado, para ello se debe hacer una gráfica que en rigor son dos, una para la exactitud, o sea, la gráfica **X**, y otra, para la precisión, esta es la gráfica **R**.

El control siempre deberá contener ambas gráficas, es decir, la correspondiente a **X** y la correspondiente a **R**. Son **indisolubles**, no pueden existir independientes, no existe control con solo una de ellas. Y cualquiera de las dos que este fuera de control declara al proceso fuera de control.

Para comprender un proceso, y saber si se encuentra bajo control, se debe conocer la variación debida al azar, y este conocimiento se extrae, precisamente de las gráficas de control de proceso. Para esto se tomaran pequeñas muestras cada periodo de tiempo preestablecido, de forma que en cada pequeña muestra los factores de variación sean comunes. Por esta razón las unidades que se toman para cada pequeña muestra deberán ser una a continuación de otra, de esta forma, los factores que varían de unidad a unidad serán mínimos.

Las cantidades a extraer en cada muestra tomada a períodos regulares serán de 3 a 10 unidades siendo las más frecuentes de 3 a 6 y la más recomendable es 5. Hay varias clases de gráficas de control, dependiendo de su propósito y de las características de la variable. En cualquier tipo de gráfica de control el límite de control se calcula usando la siguiente fórmula:

$$(\text{Valor promedio}) \pm 3 \times (\text{Desviación estándar})$$

Donde la desviación estándar es la variación debida al azar.

Este tipo de gráfica de control se llama una gráfica de control de 3-sigma.

1.6.2.5 Tipos de gráficas de control

Hay dos tipos de **gráficas de control**, una para valores continuos y otra para valores discretos. En cada tipo hay varias alternativas para elegir el par de medidores necesarios.

Tabla I Tipos de graficas utilizadas según el tipo de valor

Valor característico	Nombre
Valor continuo	\bar{X} -R \bar{X} - σ Gráficas \tilde{X} -R
Valor discreto	Gráficas \tilde{X} - σ np p u c

La tabla siguiente muestra las fórmulas que deben utilizarse para calcular los límites de control y el valor central, utilizando los medidores \bar{X}, R .

Tabla II Valores de los límites de control para cada tipo de gráfica

Tipo de gráfica de control	limite superior de control (LCS) línea central (LC) limite inferior de control (LCI)
Valor continuo – promedio \bar{X}	LCS = $\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$ LC = $\bar{\bar{X}}$ LCi = $\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
Valor continuo – Rangos R	LCS = $D_4 \bar{R}$ LC = R LCi = $D_3 \bar{R}$
Valor discreto – número de unidades defectuosas pn	LCs = $\bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$ LC = $\bar{p}n$ LCi = $\bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}$

Los valores de las constantes debe consultarse en las tablas que se adjuntan en el anexo no. 1.

1.6.2.5.1 Gráfica \bar{X} - R

Esta se usa para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos, tales como longitud, peso o concentración, y esto proporciona la mayor cantidad de información sobre el proceso. El valor \bar{X} representa un promedio de una pequeña muestra o subgrupo, y R el rango de dicho subgrupo. Una gráfica \bar{X} debe usarse en combinación con una gráfica R para controlar la variación dentro de un subgrupo.

1.6.2.5.2 Gráfica pn, Gráfica p

Estas gráficas se usan cuando la característica de calidad se representa por el número de unidades defectuosas o la fracción defectuosa. Para una muestra de tamaño constante, se usa una gráfica **pn** del número de unidades defectuosas, mientras que una gráfica **p** de la fracción de defectos se usa para una muestra de tamaños variable. Otros tipos de gráficas por atributos son las gráficas **c** y las gráficas **u**.

1.6.3 Especificaciones, tolerancias, discrepancias

Se debe distinguir claramente lo que son las **especificaciones**, con sus **tolerancias** y lo que posteriormente se llamara **límites de control sin valores especificados**.

La **especificación y sus tolerancias**, son dadas por el cliente o en su defecto el diseñador del producto.

La especificación indica como uno quiere el producto. Cada variable que tenga que ver con la calidad del producto tendrá que tener su correspondiente especificación. Por ejemplo, el largo de un tornillo, el contenido en gramos de un recipiente que contiene un alimento, etc., etc. Ahora bien, se tiene que tener muy claro, que las especificaciones tienen que ver con el producto, con su funcionalidad, su estética, y todo lo que hace a la calidad de dicho producto. Además, se establecen los límites de tolerancia para dichas especificaciones, dentro de las cuales, el producto se considera bueno, y se sobreentiende que si se excede dichos límites el producto será defectuoso.

Un ejemplo de especificaciones y sus tolerancias son las siguientes:

Para el largo de un perno: 2,54 mm \pm 0,20 mm

En este ejemplo la especificación es 2,54, la tolerancia es 0,40 mm (de extremo a extremo) y la discrepancia 0,20mm.

Para el contenido de un envase de crema de leche: 200 c.c. \pm 5 c.c. La Especificación es 200 c.c., la tolerancia es 10 c.c. y la discrepancia 5 c.c.

Se podría hacer la siguiente pregunta: **¿Porqué las tolerancias?** Pues, desde el principio se sabe que los procesos no pueden hacer todos los productos iguales, por ello se tiene que poner límites, de forma que cuando se excedan dichos límites se producen **defectos**. . Por ejemplo, un perno con un largo de 2,80 mm o un envase de crema de leche con 193 c.c.

En resumen, a) las especificaciones y sus tolerancias son puestas con criterios que no necesariamente tienen relación con los procesos productivos, y, en general obedecen al diseño o a razones estéticas del producto. b) cuando el producto, al medir la variable de una característica, excede la especificación se lo declara defectuoso.

Analizando la máquina y el proceso que tiene que elaborar el producto, sabiendo que presentan variaciones se pregunta. ¿Podrá ser capaz, la máquina de producir el producto dentro de las tolerancias de acuerdo a las especificaciones que entregadas? ¿Será capaz de hacer el producto sin defectos? Los procedimientos estadísticos que responderán esta pregunta se denominan, por esta razón: capacidad de proceso o capacidad de máquina.

1.6.4 Capacidad de proceso o capacidad de máquina

El estudio de la capacidad de proceso consta de una serie de pasos. En primer lugar, se toman una serie de datos del proceso, mediante los cuales se calculan, usando las fórmulas vistas anteriormente, los **límites naturales del proceso**, que de ahora en más se denominan: **límites de proceso sin valores especificados**. Es decir son los límites normales del proceso, es lo que la máquina “pide” para trabajar normalmente. Estos límites son los que si se trasponen se dice que el proceso esta fuera de control. Pero en este cálculo, no han intervenido las especificaciones del producto, y estos entran a jugar después de haber conocido los límites anteriores.

A partir de las especificaciones y sus tolerancias, y utilizando las fórmulas que se proveen en la tabla II, se transforman las especificaciones y sus tolerancias en lo que se llamara límites de proceso con valores especificados. Estos límites de proceso con valores especificados, siguen siendo las especificaciones, solo que traducidas a un modo que puedan ser comparadas a los límites de proceso sin valores especificados que “pidió” la máquina. Si el proceso puede trabajar dentro de los límites con valores especificados se estará cumpliendo con las especificaciones y no habrá defectos. Dicho de otra forma, los límites con valores especificados, “defienden” las especificaciones.

Una vez que se conocen los límites con y sin especificación, se procederá a comparar ambos juegos de límites, y se podrá contestar si el proceso es o no es capaz de producir sin defectos.

Si la amplitud de los límites con valores especificados, es mayor que la amplitud de los límites sin valores especificados, se podrá decir que el proceso es capaz de cumplir con lo que se le solicita. Por lo contrario, si la amplitud de los límites con especificaciones, es inferior a la amplitud de los límites sin especificaciones, se dirá que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones y consecuentemente, si se produce, habrá defectos.

Una analogía útil es la siguiente, si los límites con valores especificados, fuera una caja de zapatos, y los límites sin valores especificados, fueran los zapatos, se dirá que si la caja es más grande que los zapatos se podrá acomodar los zapatos adentro y que el proceso es capaz. Si los zapatos son más grandes que la caja, éstos no podrán entrar en la caja y en consecuencia, la capacidad de proceso es negativa.

1.7 Como elaborar una gráfica de control

A continuación se muestra la forma como se elabora una gráfica de control.

1.7.1 Gráfica X - R

Se trata de una gráfica que contiene tres áreas, una para el registro de los datos, la segunda para el control de la exactitud del proceso, y es donde se trazan las medias aritméticas de los datos y por último, al pie del gráfico, el área donde se controla la precisión del proceso, y es donde se ponen los rangos.

La ruta para elaborar una gráfica de control es la siguiente:

Paso 1. Recoger los datos, o sea controle el proceso a intervalos regulares y anotar los datos de cada subgrupo.

Paso 2. Calcular los promedios para cada subgrupo,

Paso 3. Calcular el promedio de los promedios.

Paso 4. Calcular **R** cada subgrupo. (El rango **R** es la diferencia entre el mayor y el menor valor de cada subgrupo)

Paso 5. Calcular el promedio de **R**.

Paso 6. Calcular las líneas de control, usando las fórmulas provistas.

Paso 7. Dibujar las líneas de control.

Paso 8. Localizar los puntos en el gráfico y determinar si hay puntos que salgan de los líneas de control, ya sea por exactitud o por precisión.

Paso 9. Registrar todos los antecedentes de interés.

A continuación se provee de una serie de datos que hipotéticamente fueron extraídos de un proceso que funciona de acuerdo a una distribución normal. El tamaño del subgrupo será para éste caso de 5 unidades. Este tamaño puede variar de 3 a 10 unidades y la elección del tamaño será una decisión económica, si se tiene tiempo y gente para hacerlo, cuanto más grande pueda extraer la muestra, mejor será el control. El mismo criterio vale para la frecuencia, cuanto menos tiempo tarde en realizar otro control, mejor será. Si por limitaciones de disponibilidad de gente, se tiene que elegir entre hacer subgrupos más grandes o extraer subgrupos más frecuentemente, es mejor esto último.

Normalmente, para este tipo de estudios, no deben extraerse menos de 20 subgrupos, lo deseable sería 25. Se puede utilizar 10 muestras de 5 unidades cada una. Su dimensión esta expresada en gramos. Muestras serán los subgrupos de 5 unidades.

Tabla III Muestras extraídos a lo largo del turno del ejemplo no. 1:

<i>Hora</i>	08:30	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	65.9	68.2	67.2	67.0	66.8	67.8	68.3	66.9	68.7	67.3
2	67.8	69.1	66.0	67.3	67.6	68.1	68.0	66.6	65.0	68.0
3	65.4	67.7	69.2	67.5	67.4	70.3	67.4	69.4	67.5	67.3
4	66.6	68.3	65.2	67.6	66.0	68.1	68.6	67.2	68.6	68.2
5	67.5	66.9	69.5	68.0	67.6	67.5	68.9	66.8	68.3	68.2
Media	66.6	68.0	67.4	67.5	67.1	68.4	68.2	67.4	67.6	67.8
Rango	2.4	2.2	4.3	1.0	1.6	2.8	1.5	2.8	3.7	0.9

Media aritmética de las medias: 67.6 gr.

Media aritmética de los rangos: 2.3 gr.

1.7.2 Cálculo de los límites de control

El cálculo se puede hacer de la siguiente forma:

1.7.2.1 Cálculo de límites sin valores especificados

Para estos cálculos se utilizarán las tablas en el anexo donde figuran los valores de las constantes.

Gráfica \bar{X}

Para el control de la exactitud del proceso.

De tablas: $A_2 : 0.58$

$$LC = \bar{X} = 67.6 \text{ gr.}$$

$$LSC = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 67.6 + 0.58 \times 2.3 = 68.9 \text{ gr.}$$

$$LIC = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 67.6 - 0.58 \times 2.3 = 66.3 \text{ gr.}$$

Gráfica \bar{X} - R

Para el control de la precisión del proceso.

De tablas: $D_4 : 2.11$

$$LC = \bar{R} = 2.3 \text{ gr.}$$

$$LCS = D_4 \bar{R} = 2.11 \times 2.3 = 4.9 \text{ gr.}$$

L I C = Como límite inferior debe tomarse cero, esto simplemente significa que todos los datos podrían ser iguales, por lo cual, el valor máximo menos el valor mínimo es igual a cero, pues son el mismo número.

Los límites calculados, para ambos casos, se trasladan al gráfico, se trazan como líneas destacadas a lo largo de todo el ancho del gráfico. Debe destacarse también, las líneas centrales.

Luego se anotan como un punto las medias de los valores de cada subgrupo y los rangos. Todos los puntos deben unirse formando una línea quebrada que interpreta el comportamiento del proceso.

Una vez realizado esto se deben destacar los puntos que eventualmente excedan los límites establecidos. Estos puntos, de existir, declaran al proceso fuera de control, si no los hay, se dice que **el proceso está bajo control**.

1.7.2.2 Cálculo de los límites con valores especificados

Estos límites son otra expresión de las especificaciones, no dejan de ser las especificaciones, lo que sucede es que se tiene la tarea de querer compararlos con los límites de control sin especificaciones, por lo cual, se tendrá que "traducir" las especificaciones que son para valores individuales, a límites para subgrupos de n unidades. En este caso $n=5$.

Una especificación se ha definido como un valor determinado por el cliente o el diseñador y ciertas tolerancia dentro de las cuales el producto continua siendo satisfactorio.

Ejemplo:

Para el largo de un clavo 8,0 cm

Se establece una tolerancia de 0,2 cm para ambos lados del valor central. De tal forma que se expresara la especificación con sus tolerancias de la siguiente manera:

Especificación: $8,0 \pm 0,2$ cm

Se llamara **M** a la especificación y **D** a la discrepancia (en este caso 0.2 cm).

Se define como tolerancia a 2 veces D, en este caso 0,4 cm.

La tolerancia es entonces todo el ancho a través del cual se puede desplazar la medida sin que constituya defecto.

Para poder establecer la comparación entre el universo verdadero del proceso y los datos de las especificaciones, se tendrá que establecer algunos supuestos básicos, los cuales son:

- a) Que la media del Universo de datos a producir, coincida con la especificación
- b) Que la amplitud de la especificación sea capaz de contener adentro del su intervalo la distribución normal de los datos del proceso. Esto significa que se supone que la **tolerancia** es igual a **6 σ**, o, lo que es lo mismo, que **D** sea igual a **3σ**

$$\bar{x} = M \quad y \quad \sigma = D / 3$$

De acuerdo con esto, los límites son:

$$\text{LIMITE SUPERIOR} : M + \frac{D}{\sqrt{n}}$$

$$\text{LINEA CENTRAL} : M$$

$$\text{LIMITE INFERIOR} : M - \frac{D}{\sqrt{n}}$$

Para los intervalos será :

$$\text{LIMITE SUPERIOR} : D_2 \frac{D}{3}$$

Otros límites para los intervalos, no tienen valor práctico.

Para poder resolver los límites y luego compararlos con los valores sin especificación, se tendrá que establecer unas especificaciones para el proceso.

Si se supone que las especificaciones es : 67.8 ± 4.0 gr.

Aplicando las fórmulas anteriores, los resultados son:

Límite superior con valores especificados: **69.6 gr.**

Línea central: **67.8 gr.**

Límite inferior con valores especificados: **66.0 gr.**

Límite superior para los rangos: **6.6 gr.**

El valor D_2 debe buscarse en tablas, y vale 4.92

1.7.2.3 Comparación de los límites con y sin especificaciones. resultado de la capacidad de proceso.

Tabla IV Resultados del ejemplo 1

Control de la exactitud (X)	Sin especificación	Con especificación
Límite de control superior	68.9	69.6
Línea central	67.6	67.8
Límite de control inferior	66.3	66.0
Control de la precisión (R)		
Límite de control superior	4.9	6.6

Comparando los valores de la tabla IV, y teniendo en cuenta los conceptos explicados, los límites con especificación, tanto para la exactitud como para la precisión, son más amplios que los límites sin especificación. Por esta razón se puede decir que la capacidad de proceso es positiva, es decir el proceso puede cumplir con las especificaciones y por lo tanto esta habilitado el proceso.

(La caja es mas grande que los zapatos)

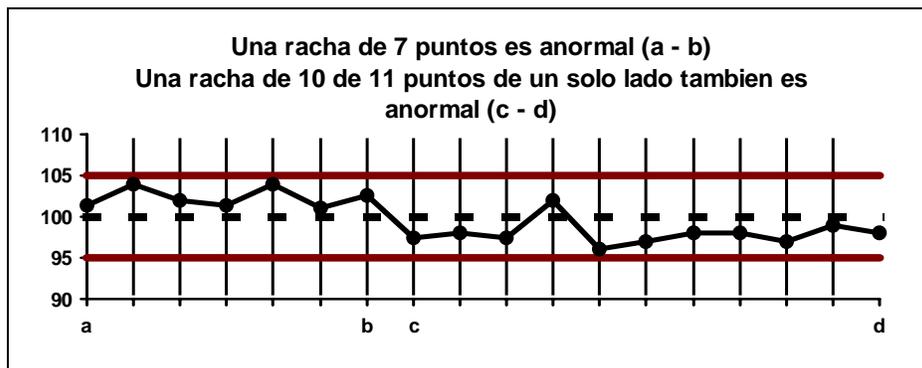
Rangos (Control de la precisión del proceso)

Algunos casos de lecturas de gráficas de control por variables.

Si bien el objetivo primario de las gráficas es que los puntos se encuentren dentro de los límites, hay ocasiones donde la tendencia o "racha" de los puntos anticipa claramente lo que va a suceder si no se anticipa el resultado.

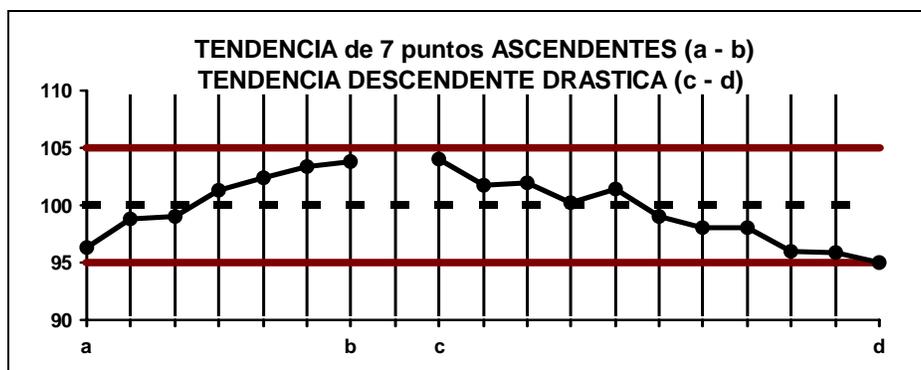
Una "racha" es cuando hay una sucesión de datos a un solo lado de la línea central, una sucesión de más de siete puntos a un solo lado es estadísticamente muy poco probable. (La probabilidad de 7 puntos es de 0.78%)

Figura 4 Ejemplo de una gráfica de control



Una tendencia es cuando hay una serie de puntos que consistentemente se alinean y evidencian que en algún momento los puntos caerán fuera de los límites. Estadísticamente las líneas de control puede dar más información, pero ese análisis corresponde ya a los especialistas en la materia.

Figura 5 Ejemplo de una gráfica de control con tendencia



1.7.3 Gráfica np, (gráfica por atributos).

En las inspecciones por el sistema de pasa-no pasa, a cada unidad se le clasifica como dentro o fuera de los límites de especificación. Los datos de la inspección se representan por el valor de su fracción defectuosa o por el % defectuosos. La fracción defectuosa P es el valor que se obtiene al dividir el número de unidades defectuosas entre el número total de unidades inspeccionadas.

Un artículo es defectuoso, si en un aspecto no cumple con una o más de las especificaciones dadas. Cada artículo defectuoso contiene uno o más defectos. El concepto de variabilidad, de carácter universal entre piezas manufacturadas, se encuentra en la inspección por atributos. Los datos de fracción defectuosas, se caracteriza por sus valores de tendencia central y de dispersión, al igual que las lecturas por variables.

Para un tamaño constante de muestra, el valor P (media del % defectuoso) se puede calcular dividiendo el % de defectuosos entre el tamaño de la muestra. Si el tamaño de la muestra es variable, el valor se encuentra dividiendo el número total de defectuosos entre el número total de unidades en la serie de muestras, así:

$$P = (\sum C / \sum N) * 100$$

Donde C = número de defectuosos

La variación estándar de P, para un tamaño de muestra constante, se calcula así:

$$\sigma = (P(100-P)) / n$$

Donde: n = tamaño de la muestra

P = valor medio del % defectuoso

Tabla VI Ejemplo de datos para hacer gráfica por atributos

1	100	4	14	100	0
2	100	2	15	100	2
3	100	0	16	100	3
4	100	5	17	100	1
5	100	3	18	100	6
6	100	2	19	100	1
7	100	4	20	100	3
8	100	3	21	100	3
9	100	2	22	100	2
10	100	6	23	100	0
11	100	1	24	100	7
12	100	4	25	100	3
13	100	1	total	2500	68

1. 7.4 Cálculo de los límites de control

Para realizar los cálculos se utilizan las siguientes formulas:

$$\text{LCs} = \bar{p} n + 3 \sqrt{\bar{p} n (1 - \bar{p})}$$

$$\text{LC} = \bar{p} n$$

$$\text{LCi} = \bar{p} n - 3 \sqrt{\bar{p} n (1 - \bar{p})}$$

$$\bar{p} = \frac{pn}{kN} = \frac{68}{25 * 100} = 0.0272$$

$$\text{LC} = \bar{p}n = 0.0272 * 100 = 2.72$$

$$\text{LSC} = 2.72 + 3\sqrt{2.72(1 - 0.0272)} = 7.60$$

$$\text{LIC} = 0$$

1.7.6 Índice de la capacidad de proceso

A continuación se desarrolla una manera de calcular si un proceso puede o no satisfacer las especificaciones que se están solicitando cumplir. Mediante la extracción en el proceso de una muestra adecuada, se podrá hacer la distribución de frecuencias y el correspondiente histograma. Este mostrará la forma de la distribución y como consecuencia si el proceso obedece la Distribución Normal.

En la gran mayoría de los casos, la respuesta será positiva. Se procede a calcular la desviación típica de la muestra obtenida. Si se supone que esta corresponde también a la población o universo del proceso, se puede hacer el siguiente cálculo, llamado **índice de la capacidad de proceso**:

$$IC_p = \frac{E_s - E_i}{6\sigma}$$

donde E_s es la especificación superior y E_i la inferior, y σ es la desviación típica de la muestra tomada.

De acuerdo a esto se puede evaluar con el siguiente criterio:

- | | |
|-------------------------|--|
| Si $1.33 < IC_p$ | Se tendrá un proceso satisfactorio, capaz de cumplir con las especificaciones |
| Si $1.00 < IC_p < 1.33$ | Se tendrá un proceso poco satisfactorio que podría cumplir con las especificaciones, aunque probablemente con problemas, pues su variabilidad está muy parecida a la amplitud de las especificaciones. |

Si $IC_p < 1.00$ Se tendrá un proceso inadecuado, que con seguridad no podrá cumplir con las especificaciones.

1.7.6 Los cuatro casos posibles de los límites con y sin especificaciones.

Cuando se compara la capacidad del proceso con las especificaciones que hay que cumplir, se encuentra siempre con alguna de las cuatro siguientes situaciones:

- a- El proceso está bajo control y no hay productos defectuosos.
- b- El proceso está bajo control pero hay productos defectuosos.
- c- El proceso está fuera de control pero no hay productos defectuosos.
- d- El proceso está fuera de control y también hay unidades defectuosas.

El primer caso es el que debiera ser todo el tiempo, es decir, un proceso en estado controlado que se desenvuelve correctamente dentro de los límites especificados. El índice de capacidad de proceso deberá ser preferentemente superior a 1.3

El segundo caso, significa que el proceso, aun cuando anda bien, pues está bajo control, por lo tanto no hay causas asignables que buscar y eliminar, pero las especificaciones son muy estrechas para la máquina y no es capaz de cumplirlas. En este caso, el índice de capacidad de proceso será inferior a uno y no deberá producirse en estas condiciones.

El tercer caso, significa que los límites de proceso con valores especificados son extremadamente amplios y “soportan” las causas asignables del proceso fuera de control, sin que estos lleguen a ser defectos. El índice de capacidad de proceso es muy amplio, por ejemplo superior a dos o más. No debe producirse en estas condiciones, pues la variabilidad puede ser advertida por el cliente y produce una baja imagen del producto, por otra parte es probable que se produzca una pérdida de insumos, o de dinero. Lo que corresponde hacer es reducir la amplitud de los límites especificados a valores de índice de capacidad de proceso cercano, por ejemplo a dos. En el caso del ejemplo “hay que achicar la caja de los zapatos”.

El último caso es el peor de todos y significa que se está con el proceso inadecuado y la máquina equivocada, y no se debe producir bajo ninguna circunstancia.

Caso a: El proceso está bajo control y no hay productos defectuosos.

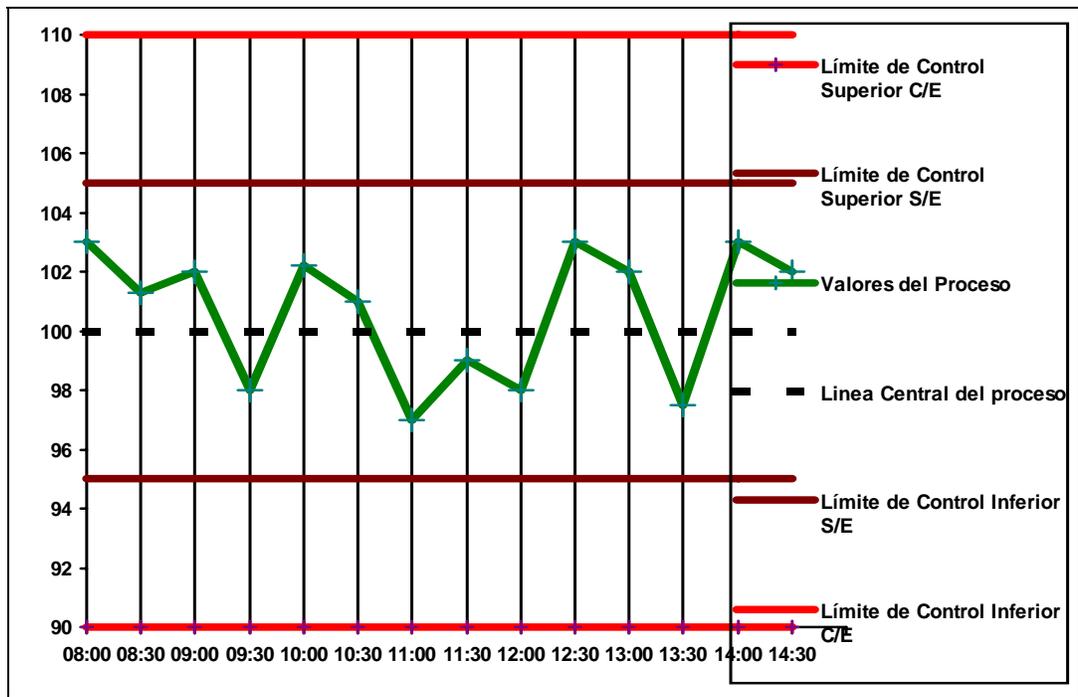
Diagnóstico:

Estado de la gráfica: **Bajo control**

La distribución satisface las especificaciones

El índice de capacidad de proceso es razonablemente mejor que 1.3

Figura 6 Gráfica de control en proceso que está bajo control



Esta es la situación normal, significa que existe concordancia entre la capacidad de proceso y las especificaciones

Caso b: El proceso está bajo control pero hay productos defectuosos.

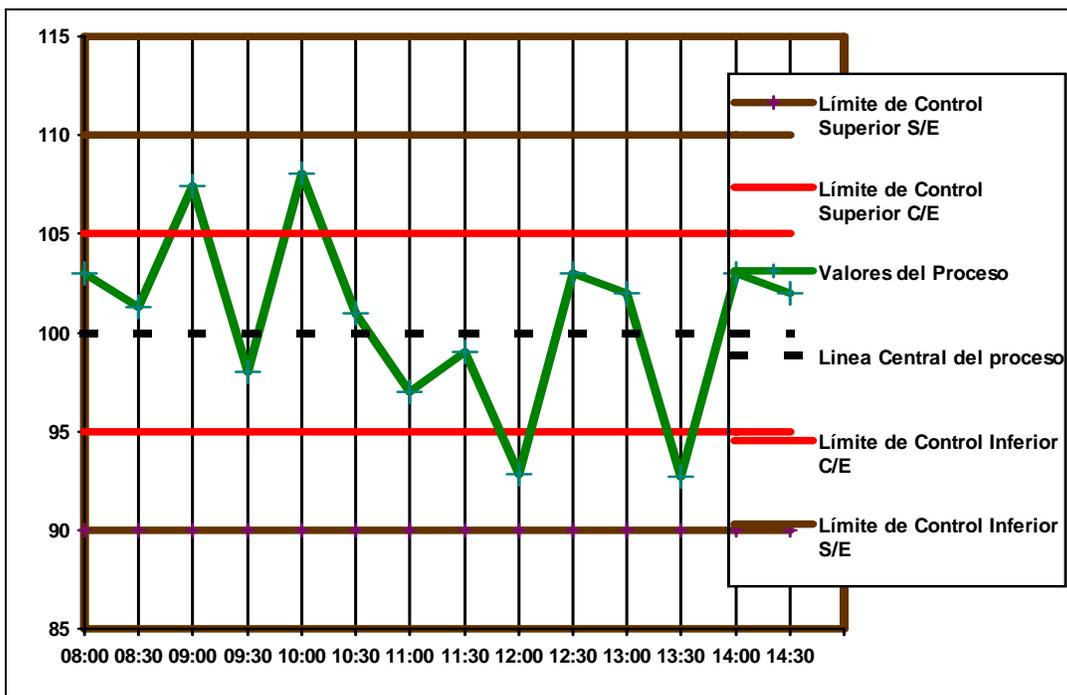
Diagnóstico:

Estado de la gráfica: Bajo control

La distribución no satisface las especificaciones

El índice de capacidad de proceso es menor que uno.

Figura no. 7 Gráfico de control de proceso bajo control pero con productos defectuosos



En esta situación no se debe trabajar. El proceso está bajo control pues los valores no superan los límites naturales sin especificación, pero exceden los límites con especificación. Corresponde mejorar la máquina para que el proceso dentro de las especificaciones.

Caso c: El proceso está fuera de control pero no hay productos defectuosos.

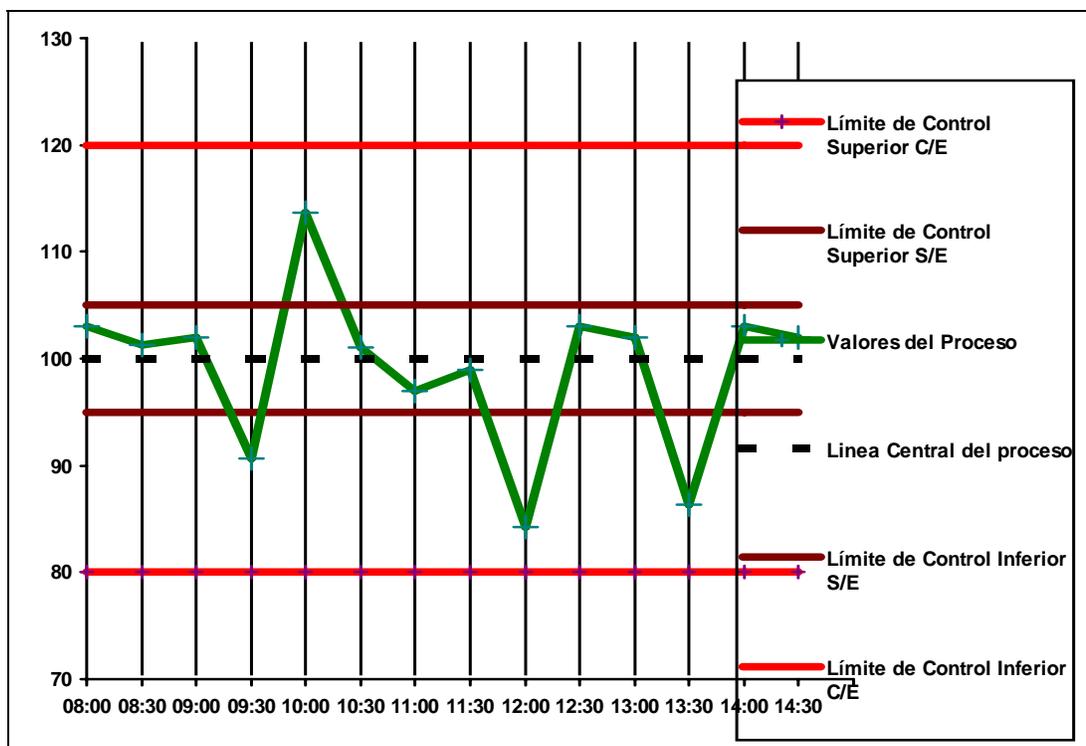
Diagnóstico:

Estado de la gráfica: Fuera de control

La distribución satisface las especificaciones

El índice de capacidad de proceso es muy superior a 1.3, por ejemplo tres.

Figura 8 Gráfico de control en proceso que está fuera de control pero no hay productos defectuosos.



Los límites especificados son muy amplios y soportan que el proceso esté fuera de control, sin que se produzcan defectos pues no se transgreden los límites especificados. Exige una revisión de la máquina y una revisión de los límites especificados que deberán reducirse convenientemente.

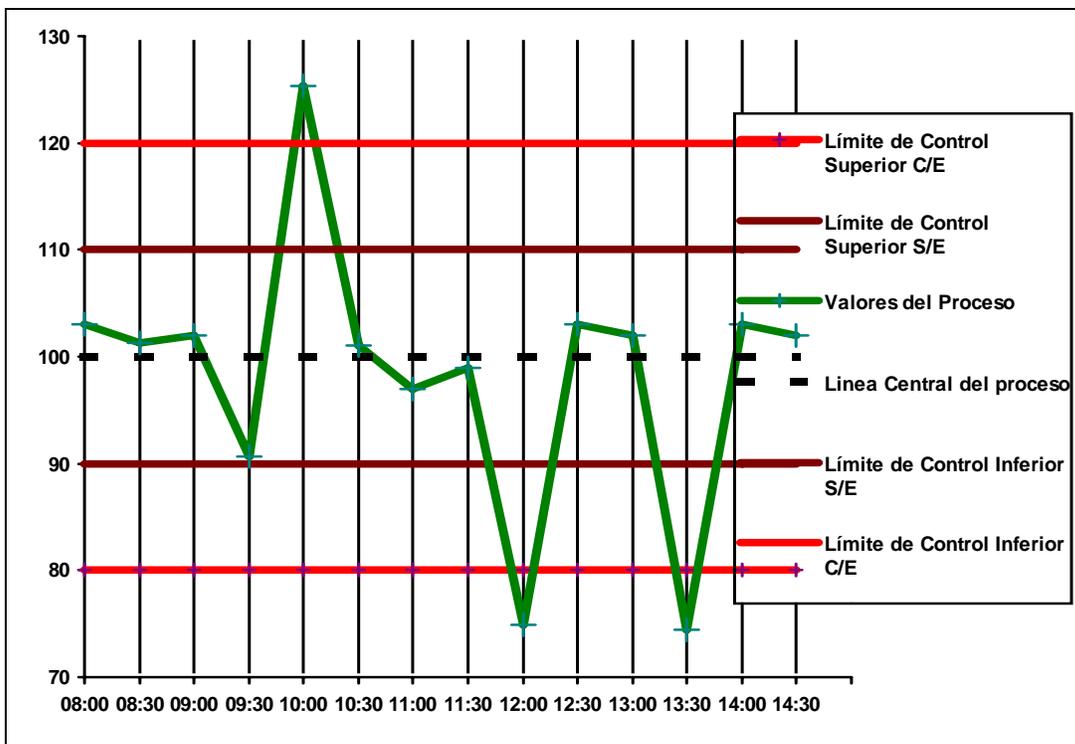
Caso d:

Estado de la gráfica: Fuera de control

La distribución no satisface las especificaciones

El índice de capacidad de proceso es inferior a uno.

Figura 9 Gráfica de control donde el proceso está fuera de control



En este caso se dan todas las condiciones desfavorables. No puede trabajarse en estas condiciones.

1.7.7 Gráficas de control por número de defectos (Gráfico C)

En la producción de determinados trabajos de taller sobre los cuales se realizan inspecciones por atributos, existen por lo menos dos razones por las cuales las gráficas del % defectuosos o las de fracción defectuosa resultan de muy poco valor: Cuando la cantidad producida es muy baja. Pueden ser muy pocas las unidades producidas por día, semana etc. Para productos físicamente grandes y complicados, como podría ser turbinas.

En tales circunstancias la gráfica de control de defectos por unidad o gráfico C, resultan siendo de mayor ayuda. Los límites de control se deben de expresar en términos del número de defectos por unidad, de la forma siguiente:

$$LC = C + (C)^{1/3}$$

Donde:

C = número promedio de defectos por unidad

El procedimiento para el cálculo para el gráfico C es semejante al de los gráficos P y nP.

1.8 Planes de muestreo de aceptación:

El muestreo de aceptación es un proceso que permite evaluar, una parte del producto contenido en un lote a fin de aceptar o rechazar todo el lote, considerándolo conforme o no conforme con las especificaciones de calidad. Su principal ventaja es la economía tanto de tiempo como de recursos.

La medición de una muestra da dos tipos de información:

1. Información sobre el producto, que permite la toma de decisiones sobre la muestra en si misma.
2. Información sobre las variables presentes en el proceso de fabricación que lleva a conclusiones sobre el proceso en el momento en que se tomó la muestra.

El muestreo implica riesgos, pero posee sus ventajas; cabe la posibilidad de cometer dos tipos de errores de decisión:

1. Rechazar un lote bueno
2. Aceptar un lote malo.

1.9. Economía del muestreo frente a la inspección al 100%

Para evaluar económicamente el muestreo con respecto a la inspección al 100% es preciso comparar los costos totales de cada uno de los procedimientos.

Si se supone que no hay errores de inspección y que el costo de reponer una pieza defectuosa corre a cargo del fabricante o es pequeño comparado al daño que una pieza defectuosa produce en caso de ser utilizada. Entonces sí:

N = Número de unidades en el lote.

n = Número de unidades en la muestra del lote.

P = Proporción defectuosa en el lote.

A = Costo del daño si una unidad defectuosa pasa a la inspección.

I = Costo de la inspección por unidad.

$P_b =$ Índice de economía de inspección.

El costo de la inspección al 100% será NI

y el costo con muestreo $nI + (N-n) P * A$.

Si se igualan ambos costos se encuentra el punto de equilibrio en términos de proporción defectuosa.

$$NI = nI + (N - n) P * A$$

$$P_b = [(N - n) * I] / [(N - A) * A]$$

$$P_b = I / A$$

Si la proporción defectuosa en el lote (p) es inferior a P_b el costo, será inferior con muestreo. Pero si P es mayor la inspección al 100 % dará un costo total inferior.

1.10 Curva característica de operación (Curva OC)

Para especificar un plan de muestreo en particular, se indica el tamaño de la muestra " n " y el número de piezas defectuosas permitidas en la muestra " C " (número de aceptación), antes que rechazar todo lote al que pertenezca la muestra.

La curva OC, de una combinación de " n " y " C " indican la precisión con que el plan separa los lotes buenos de los malos. La figura 10 es una curva OC para un plan de muestreo, con $n=50$ y $C=1$, indica la probabilidad de aceptación de un lote para diversos valores de % de piezas defectuosas en el lote.

Por ejemplo, si la calidad real del lote fuera del 2% las muestras $n=50$ aceptarían el lote satisfactorio en cerca del 73% de los casos y rechazarían cerca del 27%. Si por el contrario la calidad real del lote fuese menor por ejemplo del 5% la probabilidad de aceptación disminuiría hasta cerca del 27%. Si la calidad real es buena, se desea tener una alta probabilidad de aceptación y si es mala se desea una probabilidad baja de aceptación.

La figura 11 muestra la curva OC ideal: se aceptan todos los lotes hasta en un 3% defectuoso y se rechazan todos los lotes cuyo nivel de defectuosos sea superior al 3% pero en realidad no existe ningún plan de muestreo que pueda discriminar perfectamente; siempre existe el riesgo de rechazar un lote bueno o de aceptar un lote malo.

Figura 10 Curva característica de operación oc para un plan de muestreo $n=50$ y $c=1$

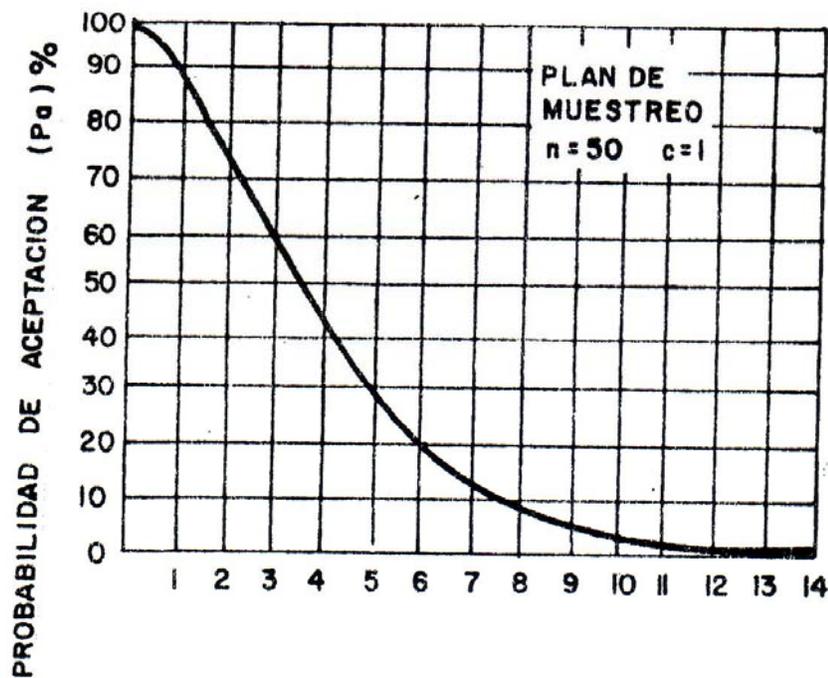
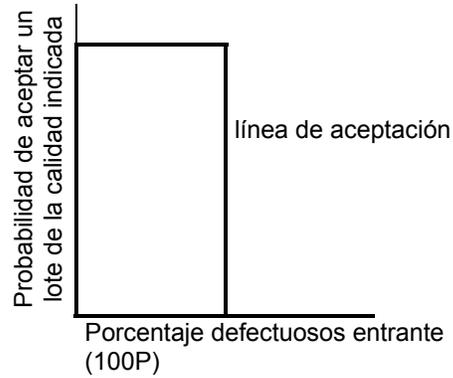


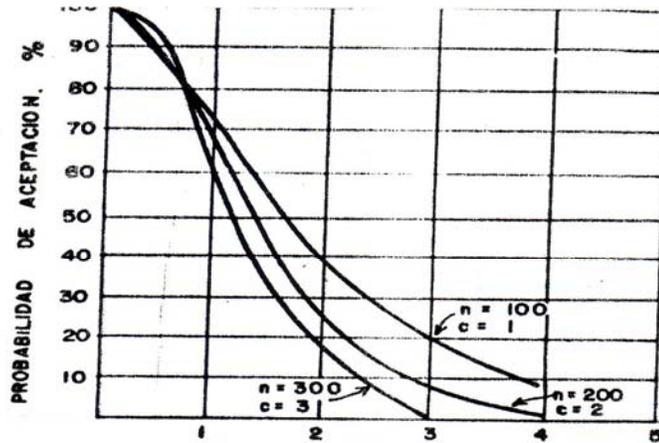
Figura 11 Comportamiento de un plan de muestreo ideal



El poder de discriminación de un plan de muestreo depende en gran medida del tamaño de la muestra. Ya que los planes con muestras de mayor tamaño son más eficaces. En la figura 12 se muestra la curva OC para muestras de tamaño 100, 200, 300 elementos.

Como se observa se hace más pronunciada a medida que se aumenta el tamaño de la muestra. Si se compara el poder de discriminación de los tres planes, se ve que los tres aceptarían lotes 7% defectuosos y en el 83% de los casos no. Si la calidad real baja al 3% de piezas defectuosas, el plan con $n=100$ acepta el 20% de los casos, el de $n=200$ cerca del 6% y el de $n=300$ menos del 1%.

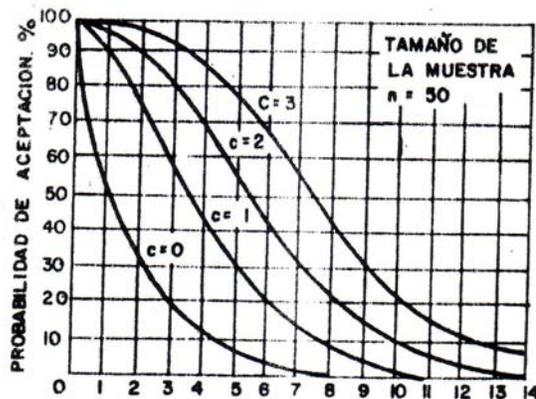
Figura 12 Curva oc con diferentes tamaños de muestras con números de aceptación en proporción a los tamaños de muestras



Porcentaje real de piezas defectuosas.

Por otra parte, si se mantiene el tamaño de la muestra constante, como el mostrado en la figura 13 y número de aceptación de $C=0, C=1, C=2$ y 3; el efecto se produce en el cambio de nivel o sea que mientras mayor es C la probabilidad de aceptación es mayor.

Figura 13 Curva OC con diferentes números de aceptación para una muestra de $n=50$



Porcentaje real de piezas defectuosas.

En muestreo se suelen cometer dos tipos de errores:

- Error tipo I: Riesgo del productor (α) rechazar lotes buenos, es la probabilidad de rechazar productos de una calidad buena.

$$\alpha = 1 - P_a$$

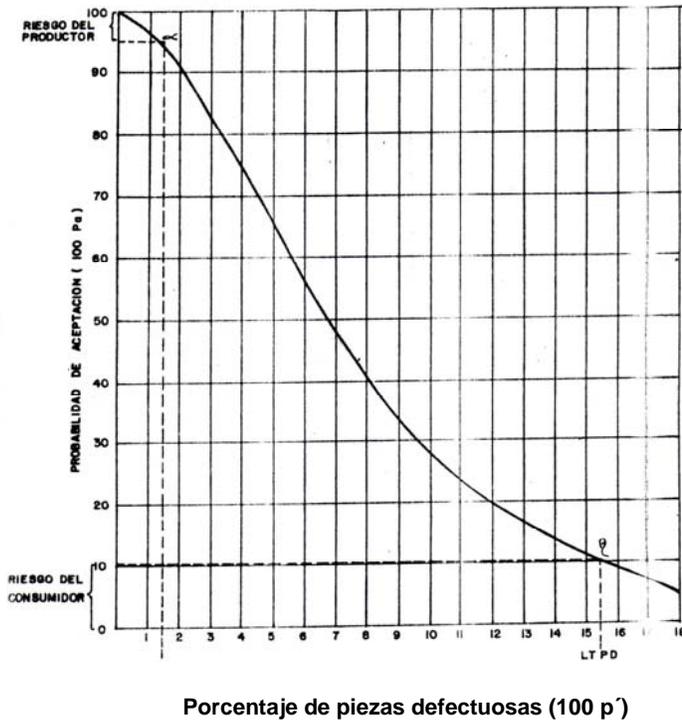
Si para $P' = 0.01$, se tiene $np' = 25 * 0.01 = 0.25$; con éste valor y $C=1$, se obtiene de la tabla VII el valor de $P_a = 0.974$ y así sucesivamente con los demás valores elegidos de P' .

La tabla VII queda completa de la manera siguiente:

Tabla VII Ejemplo de muestra de la curva OC para el plan $n=25$ y $C=1$

p'	n	np'	C	P_a
0.01	25	0.25	1	0.974
0.014	25	0.35	1	0.951
0.02	25	0.50	1	0.91
0.03	25	0.75	1	0.827
0.04	25	1.00	1	0.736
0.06	25	1.50	1	0.558
0.064	25	1.60	1	0.525
0.08	25	2.00	1	0.406
0.10	25	2.50	1	0.287
0.12	25	3.00	1	0.199
0.14	25	3.50	1	0.136
0.152	25	3.80	1	0.107
0.172	25	4.30	1	0.072

Figura no. 14 Especificaciones completas para un plan de muestreo



1.11 Índices de calidad para planes de muestreo de aceptación (AQL, LTPD, IQL, AOQL).

Para muchos de los planes publicados se les puede clasificar en función de uno de los siguientes índices de calidad:

1. Nivel aceptable de calidad (Acceptable Quality Level o AQL)

Generalmente se define como el peor nivel de calidad que todavía se puede considerar satisfactorio. Las unidades del nivel de calidad pueden elegirse para ajustarse a las necesidades particulares de un producto.

La Norma MIL-STD-105-D define el AQL como “el máximo porcentaje defectuoso, que a efectos de inspección por muestreo, puede considerarse satisfactorio como media del proceso”.

Si una unidad del producto puede tener varios defectos de distinta gravedad, puede asignarse a cada tipo de defecto un grado de mérito y medir la calidad del producto en función del mérito total. Como AQL es un nivel aceptable, la probabilidad de aceptación de un lote cuyo nivel sea AQL debe de ser grande (ver figura 14).

2. Nivel rechazable de calidad o porcentaje defectuoso tolerado en el lote (lot tolerante percent defective o LTPD)

Es una definición de calidad insatisfactoria. Como un LTPD es un nivel inaceptable, la probabilidad de aceptar un lote cuyo nivel sea LTPD debe ser pequeña (ver figura 14). En algunas tablas, esta probabilidad se denomina riesgo del consumidor o del cliente, se designa P_a y se ha normalizado en el valor de 0.10.

3. Nivel indiferente de calidad (indifference quality level o IQL)

Es un nivel de calidad situado entre el AQL y LTPD. Se puede definir como el nivel de calidad que tiene la probabilidad de aceptación de 0.50 para un plan de muestreo dado (Ver figura 14).

4. Límite de calidad media saliente (average outgoing quality limit o AOQL)

Existe una relación entre la proporción defectuosa del material antes de la inspección (calidad entrante p') y la proporción defectuosa que queda después de la inspección. $AOQL = p' * P_a$. Evidentemente cuando la calidad entrante es perfecta, la calidad saliente también es perfecta. Pero cuando la calidad entrante es mala, la calidad saliente también será mala, porque el plan de muestreo rechazara todos los lotes malos y estos serán inspeccionados al 100%. Así pues en ambos extremos esta el punto en que el porcentaje defectuoso del material saliente alcanzara su valor máximo. Este punto se llama límite de calidad media saliente AOQL.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE EMPRESA

En una empresa que se dedica a realizar el proceso de fabricación de níquel, para que el producto terminado sea confiable y de calidad, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

2.1 Control de calidad en remesas de materia prima

Para evaluar la calidad de la materia prima y que se considere conforme, debe estar de acuerdo con las especificaciones dadas para la materia prima.

Los problemas de la calidad pueden ser: materia prima adulterada, vencida, o que no cumpla con las especificaciones. Dichas materias primas, contribuyen a la calidad del producto final. El objetivo fundamental en las relaciones con el proveedor respecto a la calidad, es el que la materia prima suministrada sea conforme a las especificaciones dadas, el producto sea despachado en los períodos previstos, según los requerimientos del departamento de producción o ingeniería, a través del departamento de compras, de tal forma que en producción no se tengan que realizar correcciones o hayan demoras a causa de que la materia prima no es de buena calidad.

Para logra esto, es importante establecer lo siguiente:

- ❖ Especificaciones de los materiales y sus calidades.
- ❖ Políticas de la empresa, con respecto a la relación de calidad con los proveedores y dárselas a conocer.
- ❖ Normas y procedimientos e intercambiarlos con los proveedores.
- ❖ Evaluar la calidad del proveedor.

- ❖ Proporcionarle al proveedor datos sobre la calidad de la materia prima.
- ❖ Mantener una comunicación constante con los proveedores con respecto a los aspectos de calidad y permitir la retroalimentación en ambas vías.

2.2 Especificaciones de los materiales.

Para evaluar la calidad de los materiales empleados en el proceso de níquel brillante, el factor que debe de ser considerado es el grado de pureza de los materiales, de la forma siguiente:

Sulfato de níquel = 97%

Cloruro de níquel = 97%

Ácido bórico = 95%

Para evaluar dichos materiales se considerara tres orígenes o proveedores A, B y C y para cada uno de los materiales se evaluara la calidad.

2.2.1 Especificaciones para el sulfato de níquel.

- Nivel de aceptación AQL:

El porcentaje de impureza permisible para el sulfato de níquel es del 3%, considerando un margen del 2%, se tomara el AQL en el orden del 1% que será el máximo nivel de impureza que mediante inspección se puede tolerar para dicho producto.

- Tamaño del lote:

Para formar los lotes de inspección, para los tres orígenes, se considera que en un período de producción se requieren de 350,000 gramos, los cuales constituyen un lote de inspección.

- Tipo de inspección y nivel:

El nivel de inspección a utilizar será II, con inspección normal.

Si se tiene un lote de 70,000 gramos de sulfato de níquel, para su inspección y se desea controlar que dicho material este dentro de las especificaciones dadas, mediante los calibres de pasa no pasa, usando inspección normal, con muestreo simple, el AQL es del 1% y el nivel de inspección II.

2.2.2. Especificaciones para el cloruro de níquel.

- Nivel de aceptación AQL:

Para el cloruro de níquel, el porcentaje de impureza permisible es del 3%, se considera un margen del 2%, y se tomara el AQL en el orden del 1%.

- Tamaño del lote:

Para formar los lotes de inspección, en un período de producción se requieren de 70,000 gramos, los cuales constituyen un lote de inspección.

- Tipo y nivel de inspección:

El nivel de inspección a utilizar será II con inspección normal.

Si se tiene un lote de 75,000 gramos de cloruro de níquel y se desea controlar que dicho material este dentro de las especificaciones dadas, mediante los calibres de pasa no pasa, usando inspección por muestreo simple, con inspección normal, el AQL es del 1% y el nivel de inspección II.

2.2.3. Especificaciones para el ácido bórico:

- Nivel de aceptación AQL:

Al igual que para los dos materiales anteriores, se considera que el porcentaje de impureza que en este caso es del 5%, tomando AQL en el orden del 1.5% que sea el nivel máximo de impureza que se puede considerar satisfactorio.

- Tamaño del lote:

En un período de producción se requieren de 45,000 gramos de ácido bórico, lo cual constituye un lote de inspección. Resumiendo se puede decir, que se tiene un lote de 45,000 gramos de ácido bórico y se desea controlar que dicho material este dentro de las especificaciones dadas, mediante los calibres pasa no pasa, usando inspección normal, por muestreo simple, el AQL del orden del 1.5% y el nivel de inspección II.

2.3 Aplicación:

Como se mencionó anteriormente se consideran 3 proveedores de materia prima y se evaluó el nivel de pureza de dichos materiales en el laboratorio. Se elegirá el plan de muestreo para cada uno de los 3 materiales.

2.3.1 Para el sulfato de níquel:

Conociendo el tamaño del lote y el nivel de inspección, se obtiene la letra código de la Tabla XXVI del anexo.

N = 350,000 gramos

Nivel = II

La letra código es P dado que el tamaño del lote se encuentra en el rango de 150,000 a 500,000 con un nivel de inspección II.

- Con la letra código, el AQL y el tipo de muestreo, se obtiene el plan de muestreo, de la tabla XXVII-A del anexo.

Aquí se busca la misma letra y en la misma fila, de la siguiente columna se encuentra 800 que corresponde al tamaño de la muestra n .

Luego en el punto de inspección de la letra P y el AQL del 1%, inspección normal, se encuentra el número de aceptación 14 y el de rechazo 15. De lo anterior se puede decir lo siguiente: si al inspeccionar una muestra de 800 gramos de sulfato de níquel se encuentra 15 o más gramos con un nivel más alto de impurezas se rechaza, caso contrario se acepta el lote.

Si se tiene que en un período de producción 350,000 gramos de sulfato de níquel que constituyen un lote de inspección, se consideran tres orígenes A, B y C de procedencia de la materia prima y si se tienen 800 gramos los cuales fueron escogidos en forma aleatoria, y fueron evaluados en el laboratorio para determinar su grado de pureza, los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla VIII Datos obtenidos del proveedor

Origen	Numero de unidades (grs)	Tamaño numero definido muestra 800 gramos	Criterio
Proveedor A	350,000	10	Aceptación
Proveedor B	350,000	15	Rechazo
Proveedor C	350,000	12	Aceptación

Se observa que el proveedor B no cumple con las especificaciones dadas para el sulfato de níquel por lo que el lote es rechazado. El material de los proveedores A y C es aceptado.

2.3.2 Para el cloruro de níquel:

Se conoce el tamaño del lote y el nivel de inspección y de la tabla XXVI del anexo

N = 70,000 Nivel = II.

La letra código es N, dado que el tamaño del lote está en el rango de 35,000 a 150,000 con un nivel de inspección II.

Con la letra código, el AQL y el tipo de muestreo, se obtiene el plan de muestreo, de la tabla XXVII – A del anexo. Se busca la misma letra y en la misma fila de la siguiente columna se encuentra 500 que corresponde al tamaño de la muestra n.

Luego en el punto de intersección de la letra N y el AQL del 1%, se encuentra el número de aceptación 10 y de rechazo 11.

Por lo tanto, si al inspeccionar 1,500 gramos de cloruro de níquel, se encuentran 11 o más gramos que no cumplan con la especificación dada, se rechaza el lote, caso contrario se acepta.

Los datos obtenidos en pruebas de laboratorio, en las que se evaluaron a los tres proveedores, se muestran en la siguiente tabla IX.

Tabla IX Datos obtenidos para el cloruro de níquel

Origen	No de unidades (gr)	Tamaño de muestra en gr	No def. Criterio
Proveedor A	70,000	500	13 rechazo
Proveedor B	70,000	500	9 aceptación
Proveedor C	70,000	500	8 aceptación

Se rechaza el lote del proveedor A, y a los proveedores B y C se les acepta.

2.3.3 Para el ácido bórico:

Se conoce el tamaño del lote y el nivel de inspección, de la tabla XXVII del anexo, se obtiene la letra código.

N = 45,000

Nivel = II

La letra código es N, con el AQL, el tipo de muestreo y dicha letra, se obtiene el plan de muestreo de tabla XXVII – A del anexo. Se busca la misma letra en la misma fila de la siguiente columna y se encuentra 500 que corresponde al tamaño de la muestra n.

En el punto de intersección de la letra N y el AQL del 1.5%, se encuentra el número de aceptación 14 y el de rechazo 15.

Resumiendo, se puede decir que si al inspeccionar 500 gramos de ácido bórico se encuentran 15 o más gramos que no cumplan con las especificaciones dadas, se rechaza el lote, caso contrario se acepta.

De igual forma en que fueron evaluados, los dos materiales anteriores, se evalúa el ácido bórico, los datos obtenidos se dan en la siguiente tabla.

Tabla X Datos obtenidos para el ácido bórico

Origen	No de unidades (gr)	Tamaño de muestra en gr	No def. Criterio
Proveedor A	45,000	500	10 aceptación
Proveedor B	45,000	500	7 aceptación
Proveedor C	45,000	500	9 aceptación

Se aceptan los lotes de los tres proveedores.

Como conclusiones del análisis anterior, se puede decir que dado que el proveedor que presenta la calidad más uniforme, según las especificaciones dadas es el proveedor C.

2.4 Materiales y métodos.

A continuación se describirá, la composición de los materiales empleados en la solución electrolítica del níquel brillante, así como los métodos de trabajo que se emplean para el desarrollo del proceso.

2.4.1. Materiales.

En este proceso se requiere que los materiales de la solución electrolítica, estén comprendidos en rangos específicos de trabajo.

Tabla XI. Composición de la solución:

Materiales	Rango	Optimo
Sulfato de níquel ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	300-450 g/l	325g/l
Cloruro de Níquel ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	37.5-112 g/l	60g/l
Acido Bórico (H_3BO_3)	37.5-50g/l	45 g/l
Agentes aditivos		
Zodiac ZD-A	5.0-7.0ml/l	7 ml/l
Zodiac ZD-100	30-50 ml/l	35 ml/l
Zodiac ZD-220	0.1 -05 ml/l	0.2ml/l
Ánodos de níquel	99.9% de pureza	

Por debajo de dichas concentraciones, se consideran, bajas las concentraciones en los materiales. Para que la aplicación del recubrimiento tenga un buen acabado, este es uno de los factores que debe de ser controlado en el proceso, tratando de mantenerlos siempre en los niveles óptimos. Si se tuvieran bajas concentraciones se recomienda cargar el baño hasta hacerlo llegar a su estado optimo.

Tabla XII Condiciones de operación

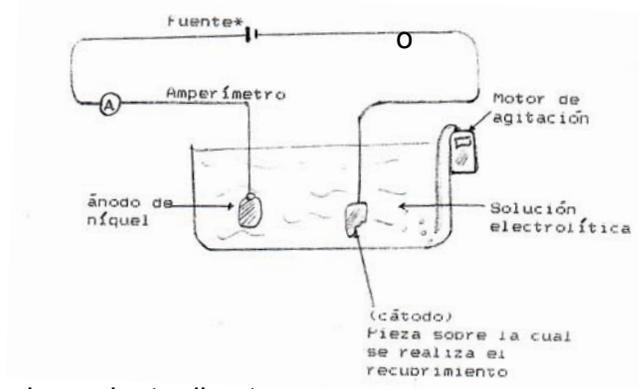
Factor	Rango	Óptimo
Ph de la solución	3.5 – 4.5	4
Temperatura	50 – 70 °C	55 °C
Agitación	Aire/mecánica	
Densidad de corriente	4 – 6 Amp. /dm	5Amp./dm

2.4.2 Equipo

El equipo empleado en el proceso de níquel brillante, propiamente dicho esta constituido básicamente, por un depósito anti-corrosivo ya que la solución electrolítica contiene agentes que aceleran la corrosión en un material metálico. En este depósito se adaptan barras de cobre (por ser un excelente conductor de la electricidad) que permiten la adecuación de los electrodos. Se instalan resistencias eléctricas para calentar la solución y un motor para agitar levemente la solución. Se requiere además de un rectificador de corriente que permite una continuidad de la misma en el proceso.

A continuación se muestra, el diagrama básico de la unidad empleada para realizar el niquelado.

Figura 16 Unidad empleada para realizar el niquelado

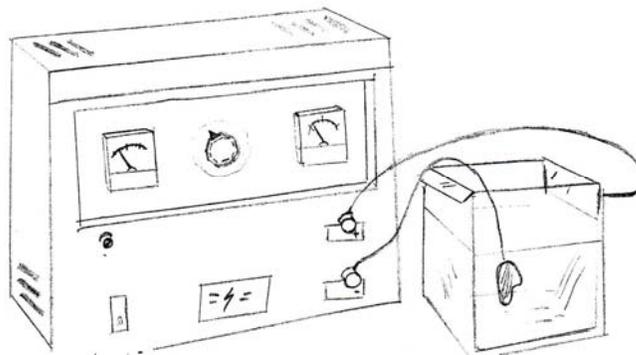


* Fuente de corriente directa.

Especificaciones del equipo:

Motor de agitación	9.0 Voltios DC
Fuente de corriente (fuente poder)	10.0 Amperios max. DC
Voltímetro	15.0 Voltios DC
Amperímetro	5.0 Amperios DC
Ánodos de níquel	99.99 % de pureza
Conectores de cobre	

Figura no. 17 Unidad básica para el niquelado



2.5 Descripción del proceso

El proceso de niquelado, se inicia básicamente con la evaluación de las piezas, sobre las cuales se va a realizar el recubrimiento, ya que aquí es donde se decide la forma y las diferentes actividades por las que a de recorrer la pieza antes de llegar a la aplicación del níquel.

2.5.1 Pulido

El pulido constituye un subproceso del proceso de niquelado propiamente dicho. Los materiales y equipo empleados, utilizados en el proceso son:

Tabla XIII Materiales y equipo usados en el pulido

Materiales y o equipo	Especificaciones
Pulidora (motor)	Monofásica voltaje : 110 a 120 V AC Revoluciones = 1000 RPM Potencia = 1 HP
Muelas o ruedas	Van desde las de tipo esmeril hasta las de paño militar o gamuza, con auxilio de agua, cebo y pastas, especiales (aditivos)
Pasta gris	Son de oxido de aluminio y con magnesio bases de aluminio. Si fuera de cobre se emplean gotas de amoníaco

Existen además las llamadas pastas blancas que sirven sobre todo para aumentar o dar brillo a las piezas.

- Descripción del proceso de pulido.

Según se hayan evaluado las piezas, el recorrido esta constituido, por las siguientes etapas o actividades, los cuales a su vez dependen de los criterios que se exponen conjuntamente.

1. Pulido con muelas con recubrimiento de esmeril: Esta se emplea cuando las piezas presentan algún grado de corrosión o picadura, hay que considerar que el operario debe de poseer cierta precisión para no causarle deformación a la pieza y lograr una adecuada rectificación de las mismas.

2. Pulido con aditivo de cebo: Las muelas que se emplean, son básicamente las usadas en la etapa anterior (ya que poseen cierto grado de desgaste, que es conveniente) con la particularidad de que se le a adicionado cebo. Esto se hace con el propósito de ir afinando el acabado de la superficie. Cuando las piezas no presenten corrosión o picadura apreciable, se puede pasar la pieza a esta etapa directamente.

3. Pulido con muelas de paño adicionando pasta gris: Aquí se busca que el acabado sea fino y brillante en las piezas tratando de eliminar la llamada raya que deja el pulido en las etapas anteriores.

En el proceso de pulido, las superficies sufren cierto grado de cambio en las propiedades del material, debido a que el grado de deslizamiento y la acción del abrasivo o aditivo, varía durante el pulido. También, por el trabajo de frote la superficie experimenta un endurecimiento en frío. Además influye, la temperatura que varía debido a la fricción entre ambos materiales (pieza y muela). Por esta razón y para aplicaciones especiales, como es el caso de equipo quirúrgico piezas demasiado pequeñas, artículos de joyería etc. Se emplea el pulido electrolítico.

4. Pulido electrolítico.

El circuito en este proceso se conecta en forma inversa a la forma como se conecta en el proceso de niquelado propiamente dicho. La pieza se conecta como ánodo, se sumerge en un electrolito adecuado; se recubre de una película viscosa, cuya resistencia es mínima en las partes sobresalientes de la superficie, de modo que aquellos son los que se disuelven preferentemente.

El electrolito está compuesto de ácido perclórico y ácido acético que suele ser muy explosivo.

Cuando el contenido de ácido perclórico es muy elevado; los electrolitos diluidos que se encuentran en el mercado o comercio no son tan peligrosos.

2.5.2 Preparación de las piezas.

Por medio de la preparación de las piezas, se busca, la eliminación de las impurezas y grasa dejadas por las pastas empleadas en el pulido. Esta preparación se logra por medio del lavado de las piezas con gasolina y luego el frote con aserrín de madera. Si el pulido es electrolítico, la preparación consiste únicamente en el lavado de las piezas con agua.

2.5.3 Desengrase

Con esto se busca básicamente la eliminación de agentes oxidantes y grasa, ya que estos elementos no permitirían un recubrimiento del níquel sobre la pieza. Con la presencia de estos elementos se obtendría recubrimiento ampollados y de mala calidad. Por otra parte, estos darían lugar a fisuras y porosidad las cuales favorecen la corrosión de la pieza. Estos baños están constituidos a base de ácido sulfúrico para el hierro y también de ácido clorhídrico diluido para casos especiales con ácido fluorhídrico o bien mezclas de estos ácidos.

Otra variante del baño de desengrase consiste en emplear soda cáustica en una concentración de 30g/l mezclado con carbonato de sodio también a 30 g/l y cianuro de sodio a 50 g/l a temperatura ambiente, con una tensión de 8 a 10 voltios en una cubeta de hierro en la que la misma hace de cátodo (electrodo -) y la pieza como ánodo (+). El tiempo de deposición es de 2 a 3 minutos. Cuando se quiere eliminar totalmente la oxidación de piezas de hierro o acero, se utiliza ácido nítrico concentrado con adiciones de hollín.

Después de que las piezas han sido desengrasadas estas deben de ser lavadas con agua sin tocarlas con los manos, ni herramientas grasosas.

2.5.4 Aplicación del recubrimiento de níquel brillante

Después de haber realizado el procedimiento descrito anteriormente, las piezas están listas para la aplicación del recubrimiento de níquel propiamente dicho.

Luego, de haber realizado una adecuada preparación de las piezas, estas han sido amarradas con alambre de cobre conductor. Aquí el circuito esta constituido por ánodos de níquel y las piezas constituyen el cátodo, el cual es introducido en la solución electrolítica de acuerdo a las especificaciones mencionadas con anterioridad. Para que fluya corriente en el circuito y exista transferencia del material se requiere de un diferencial de potencial eléctrico entre los electrodos, lo cual se consigue mediante una fuente de poder de corriente directa.

Una vez que se establece dicha diferencia de potencial entre ánodos y cátodo se da el fenómeno de flujo de corriente y material llevándose a cabo en depósitos o cubetas resistentes a la corrosión; la solución electrolítica debe de ser agitada y calentada antes y durante el proceso.

2.5.5 Tratamiento y almacenaje posterior

Las piezas una vez que se les ha realizado el recubrimiento de níquel, deben de ser almacenadas en lugares libres de humedad y donde no existan agentes que aceleran la corrosión del níquel como el cloruro férrico. Es importante antes de almacenar las piezas verificar que estas no contengan residuos de la solución electrolítica y sobre todo mantener las piezas aisladas del contacto con CO₂.

3. CRITERIOS DE CALIDAD Y ASPECTOS A EVALUAR.

En este capítulo se analizarán los factores que afectan la calidad del recubrimiento de níquel brillante sobre un metal. Se debe de considerar las condiciones de trabajo propiamente dichas así como las instalaciones.

3.1 Factores que afectan la calidad del recubrimiento

Los factores que más suelen afectar la calidad de los recubrimientos, y que dan mayores problemas en la práctica, son:

3.1.1 Instalaciones

El ambiente donde se encuentran los depósitos que contiene la solución electrolítica no debe estar contaminado con materiales que son letales para la solución de níquel brillante como el CO₂ que ejerce una influencia catastrófica sobre el níquel. Se debe de evitar también la presencia de plomo en las piezas así como en el área donde se encuentran los depósitos de níquel.

En la práctica es muy común ver, que la planta o taller que procesan este recubrimiento no posee áreas adecuadas para sus instalaciones de equipo y personal. Otro factor que afecta en el proceso, lo constituye el hecho de que equipo que requiere una alta carga eléctrica como sería el caso del equipo empleado en la soldadura de arco eléctrico, este conectado al mismo circuito de alimentación donde se encuentra conectado en equipo para el proceso de niquelado, debido principalmente a que cuando dichos equipos funcionan, se experimentan cambios bruscos en el flujo de corriente que alimenta el circuito.

Como se mencionó anteriormente, el proceso de níquel se realiza por medio de electrolisis y un factor clave para una adecuada deposición es la continuidad constante del flujo de corriente eléctrica. Es recomendable chequear las instalaciones eléctricas del circuito, tanto del circuito de alimentación así como del circuito del baño propiamente dicho.

3.1.2 Pulido de las piezas

En el pulido se busca principalmente la eliminación de fisuras que aunque favorecen la resistencia al desgaste de la pieza, disminuye también la resistencia a la corrosión de la misma. Se busca también la eliminación de picaduras y porosidad que no permiten un acabado uniforme y favorecen la corrosión de las piezas.

Algo de suma importancia sobre todo para aplicaciones en las que se requiere de cierta precisión milimétrica como en equipo quirúrgico, armas de fuego etc. es que durante el pulido no se deformen las piezas, ni se cause un desgaste fuera de los rangos permisibles. Razón por la que se emplea el pulido electrolítico para este tipo de aplicaciones. Lo que se debe de observar para un pulido de calidad por medio de este procedimiento es el chequeo de las instalaciones eléctricas, el tiempo de deposición de las piezas y que el electrolito empleado sea cambiado periódicamente según el uso que se le de.

3.1.3 Preparación y desengrase

En esta parte del proceso se debe de poner especial interés, ya que es debido a una mala preparación y desengrase que con mayor frecuencia se obtiene recubrimientos de mala calidad. El objetivo es el de eliminar completamente los residuos de pastas, aditivos, grasas o cualquier otra impureza de la superficie de las piezas.

Ya que estos impiden o limitan el libre flujo de corriente y materia, formando una película opaca que se ampolla y tiende a descascararse de la pieza. Se debe de poner cuidado al lavar las piezas de no tocarlas con las manos y dejarlas destilar en un área adecuada, para luego realizar el recubrimiento de níquel sobre la pieza.

3.1.4 Efecto del ph

El ph puede influir de la siguiente forma:

3.1.4.1 En la resistencia a la corrosión

Para poder determinar la resistencia a la corrosión de la pieza, después que a está se le ha recubierto con níquel brillante, se procede de la siguiente forma: Primeramente se niquelan varias piezas con diferentes niveles de PH (manteniendo las demás condiciones de trabajo constantes). Luego estas son sumergidas en una solución a base de ácido acético en diferentes períodos de tiempo. Después se procede a pesar las piezas, con lo que se obtienen los resultados siguientes:

Tabla XIV Efecto del ph en la resistencia a la corrosión

Ph	Masa inicial	masa a 80 hrs	Masa a 100 hrs	Masa a 160 hrs
2	3.3107 grs	3.2600 grs	3.2457 gr	3.1154 grs
3	2.9460 grs	2.8925 grs	2.7720 grs	2.6405 grs
4	3.2729 grs	3.2175 grs	3.1979 grs	3.0438 grs
6	3.1185 grs	3.0606 grs	3.0310 grs	2.8637 grs

Si se analizan los datos tabulados y se observa la figura no. 18, se ve que las mayores pérdidas de peso ocurren para valores de Ph altos. Lo cual implica que al realizar recubrimientos de níquel, en las soluciones que contienen un alto valor de Ph, las piezas recubiertas tendrán una baja resistencia a la corrosión.

Figura 18 Efecto del Ph en el grosor del recubrimiento

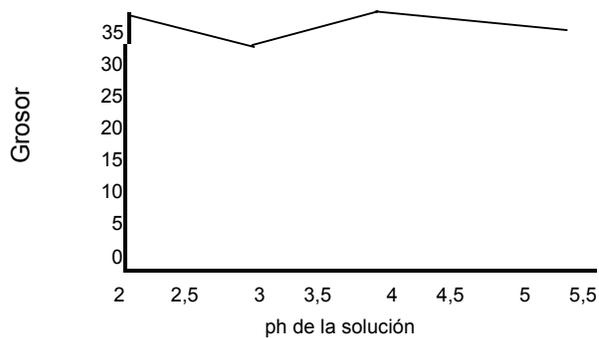
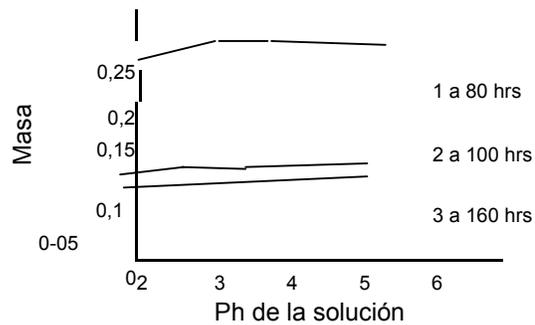


Figura 19 Efecto del ph en la resistencia a la corrosión



3.1.4.2 Efecto del ph en el brillo del recubrimiento

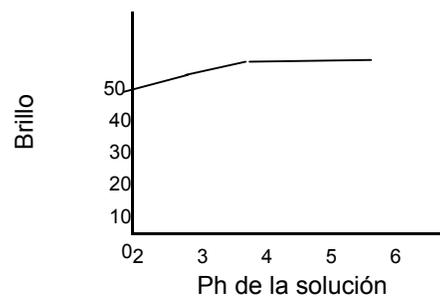
Según se deduce de los valores mostrados en la tabla XX, los cuales fueron pruebas de laboratorio, se puede ver que para valores altos de Ph se favorece el brillo del recubrimiento, aún que no hay que dejar de tomar en cuenta que también, con valores altos de Ph se favorece la corrosión.

Tabla XV Relación entre el ph y el brillo

Ph	Brillo A
2	37
3	40
4	42
6	43

Con lo cual se obtiene la siguiente figura

Figura 20 Efecto del ph en el brillo del recubrimiento



3.1.5 Densidad de corriente

La densidad de corriente se refiere a la cantidad de corriente eléctrica que circula en 1 segundo, a través de una sección transversal de un conductor. Para poder medir la densidad de corriente en el proceso de niquelado, se intercala un amperímetro en el circuito de corriente en serie con el del baño o cuba.

La unidad en la que se mide es el decímetro

$$1\text{dm} = 100\text{ cm}$$

$$[\text{Densidad de corriente}] \quad J = i/A$$

Donde i = corriente

A = área transversal

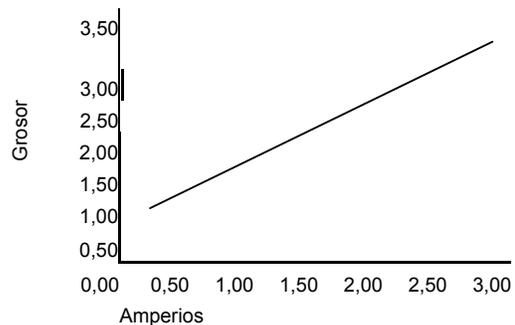
Es importante chequear constantemente las instalaciones de los circuitos para evitar falsas conexiones, que no permiten el flujo constante de corriente. No olvidar las recomendaciones que se dieron en cuanto a las instalaciones.

3.1.5.1. Efecto de la densidad de corriente en el grosor del recubrimiento

Si se mantiene el área catódica constante, se puede hablar de la corriente que pasa por el cátodo la cual produce un aumento en el grosor del recubrimiento, debido al flujo o transporte de materia del cátodo a la pieza (ánodo). Esto se espera de acuerdo a lo que dice la primera ley de Faraday.

Dicha relación debería de ser lineal, sin embargo, debido principalmente a pérdidas energéticas así como a corrientes parasitas que se generan en la pieza, se da la no linealidad de la curva, según se puede observar en la figura 21. Si se observa la curva presenta concavidad hacia abajo, lo cual también es de esperarse, ya que se llega a un estado de saturación, en un punto máximo a partir del cual es difícil continuar el proceso de deposición de material sobre la pieza.

Figura 21 Efecto de la densidad de corriente en el grosor del recubrimiento.



Efecto de la densidad de corriente
en el grosor del recubrimiento

Por otra parte, según las normas A.S.T.M. (American Society for testing material) el rango de grosor para los recubrimientos de níquel mínimo es de 25 a 35 micras, lo cual corresponde a una densidad de corriente entre 5 y 8 Amp/dm. Ver tabla XVI y figura 21.

Tabla XVI Efecto de la densidad de corriente en el grosor del recubrimiento

i(A)	Grosor inicial	Grosor final
0.25	2.335	2.341
0.50	2.331	2.323
1.00	2.320	2.341
2.00	2.300	2.326
3.00	2.300	2.350

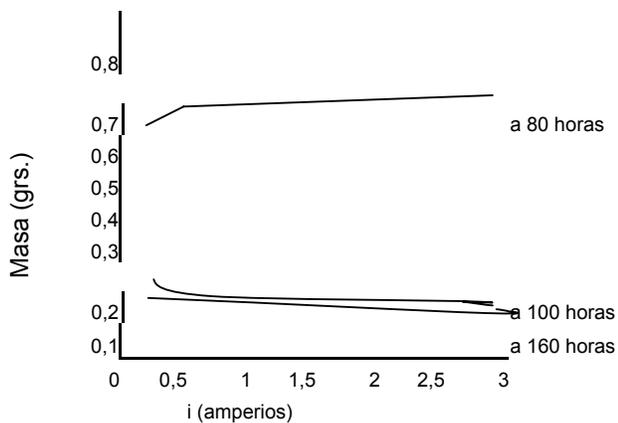
3.1.5.2 Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión

Si se sumergen las piezas en ácido acético, que han sido previamente recubiertas con níquel brillante a diferentes densidades de corriente y se mantienen constantes las demás condiciones de trabajo. Y se procede de la siguiente forma:

- Se realiza la aplicación en diferentes piezas, haciendo variar la densidad de corriente y luego se clasifican y separan.
- Se sumergen las piezas en ácido acético, para diferentes períodos de tiempo y se proceden a pesar las piezas, habiéndolas pesado inicialmente.

Se ven los resultados obtenidos, que están tabulados en la tabla XVII

Figura 22 Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión



Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión

Tabla XVII Efecto de la densidad de corriente en la resistencia a la corrosión

i (A)	Masa inicial	Masa a 80 horas	Masa a 100 horas
0.25	4.5270 gr	4.4275 grs	4.3910 grs
0.50	5.1636	5.0660	5.0355
1.00	5.2124	5.1360	5.1125
2.00	5.1234	5.0172	4.9821
3.00	5.1951	5.1780	5.1660

Si se observa la figura 22 y se analiza las tres curvas, se determina que la velocidad de corrosión es menor entre el rango de 4 a 12 Amp/dm, ya que es donde se tiene la menor pendiente, es decir la menor pérdida de peso, lo cual implica una mayor resistencia a la corrosión

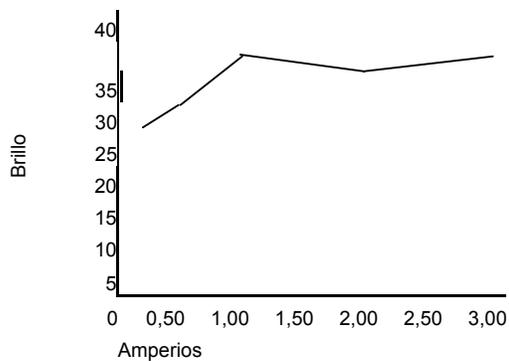
3.1.5.3 En el brillo del recubrimiento

Para bajas densidades de corriente el brillo del recubrimiento es pobre, al aumentar la densidad de corriente hasta un punto máximo, el brillo aumenta y después de dicho punto, el brillo descende según se puede apreciar en la figura no. 23 en donde se observan los datos tabulados en la tabla no. XVIII

Tabla XVIII Efecto de la densidad de corriente en el brillo del recubrimiento

i (A)	Brillo (Micro amp)
0.25	26
0.50	30
1.00	36
2.00	35
3.00	32

Figura 23 Efecto de la densidad de corriente en el brillo del recubrimiento.



Efecto de la densidad de corriente
en el brillo del recubrimiento

3.1.6 Tiempo de deposición o residencia

A continuación se evaluará el efecto que tiene o ejerce el tiempo que permanece una pieza en la solución electrolítica en el aspecto y acabado del recubrimiento de níquel brillante sobre una pieza. Evaluando tales parámetros manteniendo las demás condiciones de trabajo constantes.

3.1.6.1. Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento

Debido, a que la cantidad de iones que se depositan dependen en gran medida del tiempo que fluye la corriente y la materia entre electrodos, a mayor tiempo de deposición se obtiene mayor número de iones depositados sobre las piezas.

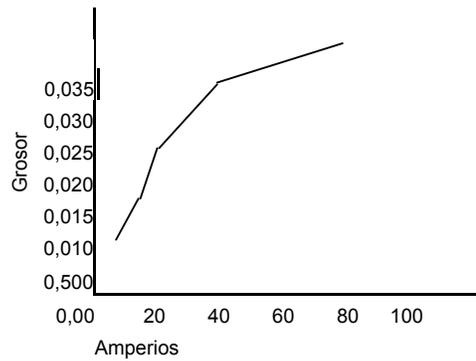
En la tabla XXIV se obtienen los resultados de dicho experimento los que se plasman en la figura 24, donde se aprecia que a mayor tiempo corresponde un mayor espesor.

Tabla XIX Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento

t (min)	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)
5	2.341	2.344
10	2.345	2.355
20	2.320	2.337
40	2.255	2.282
80	2.330	2.369

No hay que olvidar que una deposición delgada y exenta de poros y fisuras protege mejor de la corrosión a un metal que uno grueso y con porosidad.

Figura 24 Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento



Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento

3.1.6.2 En la resistencia a la corrosión

Para analizar tal efecto, se grafican las pérdidas de peso de las piezas sumergidas en ácido acético para 80, 100 y 160 horas, contra el tiempo de deposición de las piezas. Cada curva corresponde a una condición de trabajo dada. En dichas curvas se puede observar la velocidad de la pérdida, que corresponde a la pendiente sobre la curva. Se observa que para tiempos de deposición entre 40 y 80 minutos se tiene la menor velocidad de corrosión. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla XXV.

Tabla XX Efecto del tiempo de deposición en la resistencia a la corrosión

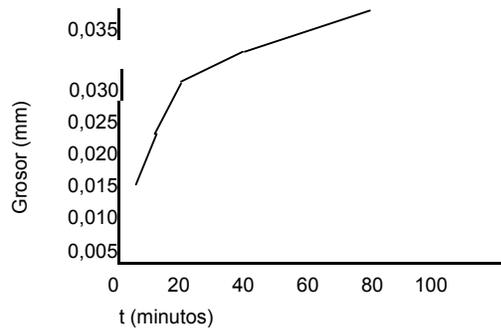
t (min)	Masa inicial	Masa a 80 horas	Masa a 100 horas	Masa a 160 horas
5	4.9704	4.7875	4.7552	4.6310
10	5.1004	4.9505	4.9240	4.7821
20	5.0273	4.9520	4.8831	4.7676
40	5.5999	5.5410	5.5070	5.4147
80	5.1951	5.1609	5.1157	5.9945

3.1.7 Temperatura de trabajo (temperatura de la solución electrolítica)

La temperatura de trabajo afecta también la calidad del recubrimiento de níquel brillante sobre un metal. Es importante mantener condiciones constantes de temperatura de la solución electrolítica, por lo que es necesario calentar previamente la solución antes de realizar el recubrimiento y mantenerla a una misma temperatura mientras se está realizando el recubrimiento.

Haciendo variar la temperatura, para mantener las demás condiciones de trabajo constantes, se evaluara el efecto que dicha variación tiene sobre el recubrimiento.

Figura 25 Efecto del tiempo de deposición en la resistencia a la corrosión



Efecto del tiempo de deposición en el grosor del recubrimiento

3.1.7.1 Efecto de la temperatura en el grosor del recubrimiento

Al aumentar la temperatura de trabajo, aumenta también el grosor del recubrimiento según se puede apreciar en la figura no. 25. Esto se debe a que en una solución electrolítica al aumentar la temperatura aumenta la conductibilidad eléctrica y esto permite una mayor movilidad de iones y por consiguiente un mayor flujo de materia, disminuyendo a su vez la viscosidad del líquido, facilitándose así la deposición de níquel sobre la pieza.

Los datos de la tabla XXI y la respectiva figura 25 dan a conocer que para temperaturas de 70 °C se obtienen buenas deposiciones de níquel sobre la pieza.

Tabla XXI Efecto de la temperatura en el grosor del recubrimiento

T (°C)	Espesor Inicial (mm)	Espesor final (mm)
20	2.3180	2.3300
40	2.3150	2.3320
60	2.1400	2.1600
80	2.2321	2.2610

3.1.7.2 Efecto de la temperatura en la resistencia a la corrosión

Para realizar dicho ensayo se procede de igual forma como se hizo cuando se evaluó la resistencia a la corrosión del recubrimiento. Para altas temperaturas se tienen menores pérdidas, que corresponden a la pendiente sobre la curva, para el rango entre 60 y 80 °C, se tienen las menores velocidades de pérdida. Los resultados obtenidos, están contenidos en la tabla XXII y la respectiva figura 26.

Figura 26 Efecto de la temperatura en el grosor del recubrimiento

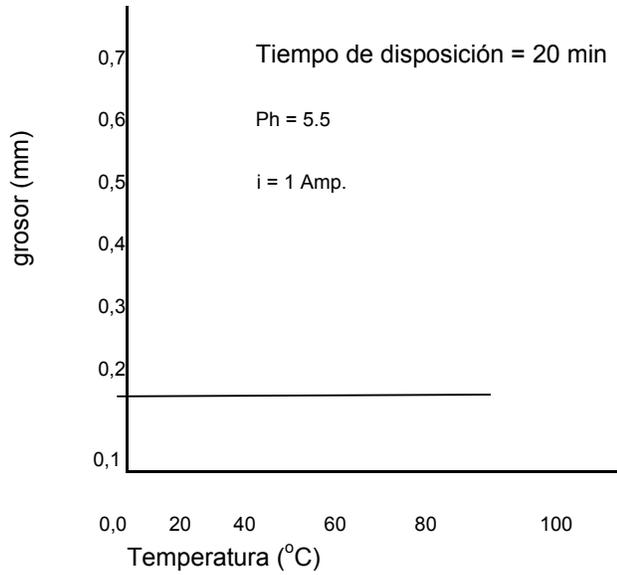
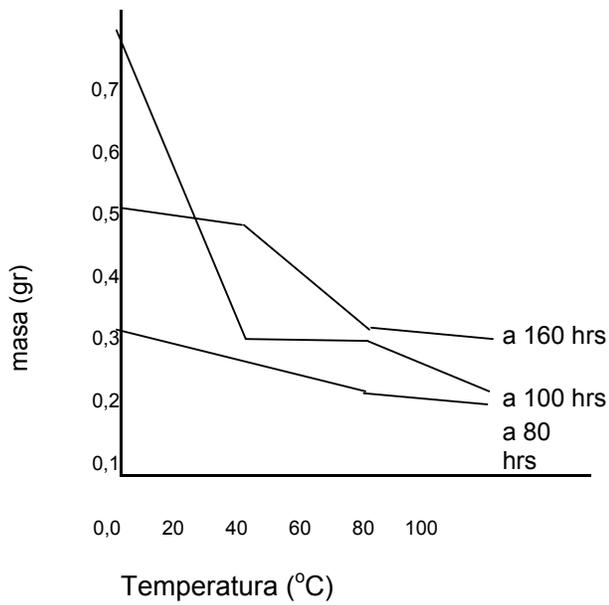


Figura 27 Efecto de la temperatura en la resistencia a la corrosión



Efecto de la Temperatura en la resistencia a la corrosión

Tabla XXII Efecto de la temperatura en la resistencia a la corrosión

T (°C)	M a 80 horas	M a 100 horas	M a 160 horas
20	4.9500 gr	4.4887 gr	4.7714 gr
40	5.0170 gr	4.9860 gr	4.8379 gr
60	4.7480 gr	4.7355 gr	4.5758 gr
80	5.1645 gr	5.1535 gr	5.0848 gr

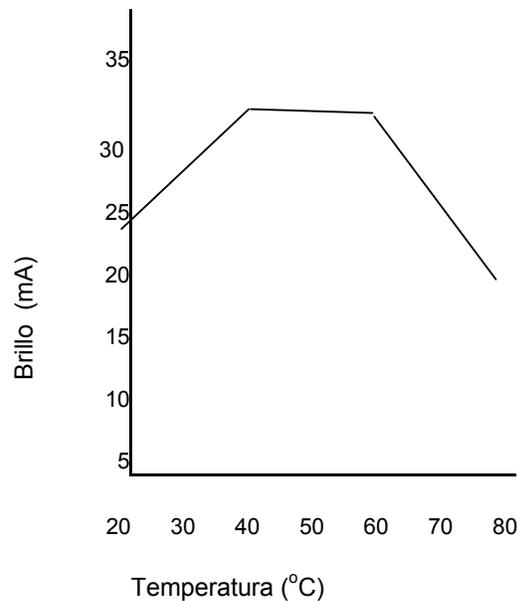
3.1.7.3 Efecto de la temperatura en el brillo del recubrimiento

Si se mantienen las demás condiciones de trabajo constantes y se va variando la temperatura de menor a mayor y en esta variación, se va niquelando piezas y luego se evalúa el brillo de dichas piezas, se obtendrán los resultados que se muestran a continuación.

Tabla XXIII Efecto de la temperatura en el brillo del recubrimiento

T (°C)	Brillo (microAmp)
20	22
40	32
60	31
70	25
80	19

Figura 28 Efecto de la temperatura en el brillo del recubrimiento



Para temperaturas bajas, se obtienen recubrimientos pobres en brillo, según se puede observar en la figura anterior, al ir incrementando la temperatura el brillo aumenta, hasta llegar a 55 °C a partir de este punto el brillo empieza a disminuir.

Un último factor importante, que puede afectar la calidad del recubrimiento sobre un metal, son los factores contaminantes en el baño o solución electrolítica ya que dichas impurezas aumentan la viscosidad del fluido, disminuyendo la resistencia anticorrosivo y el brillo del recubrimiento. En la solución de níquel se suelen formar concentraciones de azufre, para bajar dichas concentraciones se debe de agitar la solución y filtrarla con carbón activo.

Es importante también evitar la contaminación de la solución con plomo. Para mantener la solución libre de contaminantes es importante mantenerla aislada en ambientes adecuados y colar la solución periódicamente con una manta.

4. PRUEBAS E INSPECCIÓN

El presente capítulo, tratara acerca de la forma de realizar pruebas para la determinación de los diferentes factores analizados con anterioridad. Se utilizara para ello métodos sencillos, fáciles de montar y realizar en talleres y plantas industriales. También se pueden realizar pruebas de laboratorio que proporcionan datos más confiables. Se evaluarán las distintas estaciones de trabajo que requieren un mayor control e inspección, debido a lo relevante que resulta para la calidad del proceso y del producto.

4.1 Estaciones de trabajo a inspeccionar y aspectos a evaluar:

Para que la tarea de inspección proporcione los resultados deseados, es necesario que se den las siguientes condiciones:

a. Con respecto al factor humano:

- ❖ Conocimiento del proceso y del producto.
- ❖ Conocimiento de los factores que afectan la calidad.
- ❖ Entrenamiento del personal de supervisión en lo que respecta a equipos de medición, métodos, el proceso y las funciones de supervisión propiamente dichas.
- ❖ Gestión de calidad a todo nivel en la empresa.
- ❖ Definir los estándares de calidad.

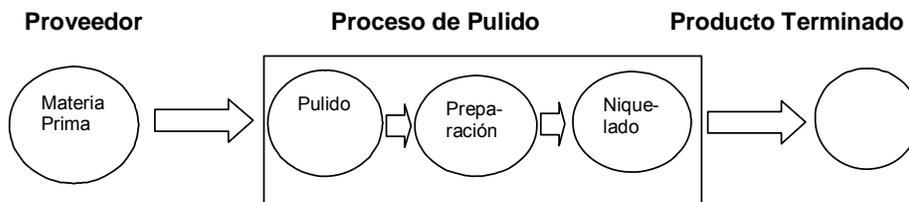
b. Con respecto al proceso:

- ❖ Definir previamente las estaciones de trabajo que requieren inspección. Se debe definir, que hacer con las piezas defectuosas, las cuales podrían ser reparadas, recicladas o consideradas como desecho.

Es importante definir lo anterior, ya que cada una de las acciones enmarcadas implica, responder a preguntas tales como: ¿Quién?, ¿Cómo?, ¿Cuándo? y ¿Con qué?.

- ❖ Criterios para evaluar la calidad, así como la fijación de los estándares de calidad.

Por otra parte, para poder controlar la calidad en forma adecuada, del recubrimiento de níquel brillante sobre un metal, es importante establecer dicho control desde remesa de materiales, en el proceso en si y en producto terminado como se aprecia en la figura 28.



La inspección estará dirigida a controlar dos aspectos:

- Condiciones de trabajo
- Proceso.

La inspección estará dirigida a controlar dos aspectos:

- Condiciones de trabajo
 - Proceso.
- a. Condiciones de trabajo: La labor de la supervisión en este aspecto, esta en mantener las condiciones de trabajo (PH de la solución,

densidad de corriente, instalaciones etc.) dentro de los rangos establecidos.

Es importante también que se ejerzan acciones correctivas cuando las condiciones de trabajo se encuentren fuera de el rango permisible. El evaluar dichas condiciones de trabajo es fundamental para mantenerlas en estado óptimo de operación.

b. Proceso: Las estaciones de trabajo a inspeccionar, fueron establecidas, bajo el criterio de ejercer mayor control en aquellas estaciones de trabajo, donde la actividad que se esta realizando determina en buena medida la calidad del recubrimiento. Las estaciones de trabajo a inspeccionar son las siguientes:

Estaciones de trabajo	Aspecto a evaluar y acción a seguir.
1. Pulido	Eliminación total de la porosidad, fisuras, corrosión, deformación de las piezas, apariencia y acabado de la pieza. Si se presentan uno o más defectos se procede a reproceso de la o las piezas.
2. Desengrase y preparación.	Eliminación total de residuos de pastas e impurezas. Chequear que no existan películas de grasa en las piezas. Verificar conexiones, voltaje, y amperaje. Si se encuentra mal pulido retornar la pieza a pulido, si se encuentran impurezas y grasa reprocesar la pieza.

3. Aplicación del níquel Chequear instalaciones, conexiones, voltaje amperaje, PH de la solución, temperatura de trabajo y presencia de impurezas, tales como CO₂ plomo etc. en el baño.
Si el baño estuviera descargado, es decir fuera de los rangos especificados en los materiales, cargarlo antes de su uso.
Chequear brillo, porosidad, acabado de las piezas, ampollamiento del recubrimiento etc. si existiera uno o mas defectos reprocesar.
4. Tratamiento y almacenaje Verificar que no existan sustancias, que afecten la calidad del recubrimiento, tales como agentes oxidantes, CO₂, etc.

4.2. Pruebas para la determinación de los diferentes aspectos que afectan la calidad.

A continuación se desarrollaran, algunos métodos sencillos, que pueden ser empleados en los talleres y plantas, para poder evaluar el Ph de la solución, el brillo del recubrimiento, y la resistencia a la corrosión.

4.2.1 El ph de la solución:

Para determinar el PH de la solución electrolítica se empleaba anteriormente el papel tornasol, que esta teñido con un colorante vegetal, que en un medio ácido el papel azul se torna rojo, en un medio alcalino verde.

Actualmente, ha sido desplazado, por los papeles PH de la solución electrolítica, y permiten por medio de una tabla numérica inscrita en el papel determinar el grado de acides o alcalinidad. LA reacción ácida o alcalina depende del contenido de iones de hidrógeno en la solución electrolítica.

Cuando predominan los iones hidroxilo, la solución es alcalina, por otra parte el Ph del agua en su estado puro es de 7. Para realizar la prueba de Ph en los baños de níquel, se sumerge el papel Ph, para la solución de níquel se encuentra en el rango de 3.5 y 4.5, siendo el óptimo de 4.

4.2.2 Prueba para la determinación del brillo:

La medición del brillo es importante, para el control de las variaciones en el proceso de níquel brillante. Se entiende por brillo, el llamado brillo especular, producido por la reflexión total de la luz. Sin embargo el ojo humano únicamente es capaz de captar el brillo por un fenómeno simultáneo de reflexión total y difusa (dispersión de la luz).

Un método sencillo para evaluar el brillo de las piezas, sobre todo en talleres y plantas donde generalmente no se cuenta con equipo, es el método de Hefe, este método consiste básicamente, en que a simple vista y a una distancia de 300mm, se determina el brillo por medio del reflejo sobre un letrero de caracteres negros a 5mm de altura sobre fondo blanco, colocado sobre una distancia que llamaremos A de la muestra.

Para la evaluación del brillo, se consideran los siguientes criterios:

Grado del brillo	Observación
1. Grado brillo mate	Sin reflejo legible a una distancia de 5 mm
2. Grado brillo lustroso	Imagen, poco legible a una distancia de 5 mm
3. Grado brillo brillante	Imagen virtual, legible a una distancia de 100 mm
4. Grado brillo altamente brillante	Imagen virtual aún legible a una distancia de 400mm, las rayas del pulido pueden ser visibles, en pequeña escala a simple vista.
5. Grado brillo espectacular	Imagen legible a una distancia de 400 mm, totalmente libre de rayas.

Se dice que se tiene un recubrimiento con una buena calidad a partir del grado 4, es decir el brillo brillante, por debajo de dicho grado, se considera que los recubrimientos son de baja calidad.

4.2.3 Resistencia a la corrosión:

Para evaluar la resistencia a la corrosión del recubrimiento, se puede utilizar el método que consiste en sumergir piezas previamente recubiertas con níquel, en ácido acético, ya que el níquel reacciona con este. La evaluación se realiza midiendo el peso inicial de la pieza e ir determinando la pérdida de peso en diferentes periodos de tiempo, los datos obtenidos se grafican, se determina la pendiente de las curvas, que proporcionan la velocidad de pérdida de peso. Esta evaluación permite poder evaluar la resistencia a la corrosión del recubrimiento, medido a través de la pérdida de peso.

Otro ensayo que suele ser empleado, es el de sulfato de cobre. En este ensayo se sumergen las piezas en una solución de ácido sulfúrico, en una concentración de 20 a 30 g/l con 200 g/l de sulfato de cobre. Las piezas de pequeña dimensión son sumergidas y las de gran dimensión, con ayuda de un pincel. Las piezas deben de ser previamente desengrasadas. Después de aproximadamente 6 minutos será apreciable la aparición de poros color café sobre la superficie.

Para las deposiciones de níquel brillante debe de presentarse como máximo 1 poro por centímetro cuadrado, si tuviera más de 3 el recubrimiento se considera de mala calidad. La evaluación de la resistencia a la corrosión de la pieza, se establece a través de evaluar la eliminación de la porosidad de la pieza por medio del recubrimiento, ya que la porosidad favorece la corrosión de un metal.

Por otra parte, para recubrimientos de níquel sobre zinc y aluminio (los que son previamente cobrizados), las piezas son sumergidas en soda cáustica caliente. Observándose el desprendimiento de burbujas de hidrógeno de la pieza, en los lugares donde hay porosidad, hay que considerar, que los recubrimientos sobre hierro, no se oxidan en soluciones alcalinas, ya que el hidróxido es insoluble en presencia de soluciones que contienen hidroxiones.

Los ensayos naturales:

Son los ensayos, mas fidedignos, ya que estos responden exactamente a las exigencias que se presentan en las condiciones de uso o trabajo de las piezas recubiertas con níquel. Estos son ensayos a la intemperie (viento, humedad, condiciones de temperatura, etc.), el agua de mar, gases industriales (muchas veces son ensayos destructivos) pero su verificación requiere la inversión de largos períodos de tiempo,. Razón por la que dichos ensayos son más adecuados para investigación, pero no para el control de la calidad en un proceso productivo.

4.3 Control de calidad en el proceso.

Es necesario ejercer el control de calidad en el proceso, utilizando métodos estadísticos, que permitan la toma de decisiones. Hay estaciones de trabajo que requieren de una mayor inspección y control, ya que es allí donde se tienen los factores de mayor incidencia en la calidad del recubrimiento de níquel sobre el metal. Se debe ejercer control en los procesos de pulido, preparación y aplicación del níquel brillante,

4.4. Especificaciones del proceso:

Para mayor facilidad se subdivide el proceso de la forma. Esto se hace con el propósito de tratar el problema de la calidad en el proceso, sobre las tres áreas que afectan en forma significativa el producto final.

A. Pulido

Aquí los atributos que se evalúan en el pulido son: la eliminación de porosidad visible, eliminación de corrosión, la apariencia y acabado de la pieza y que esta no presente deformaciones. La aparición de cualquiera de estos aspectos determinara que la pieza es defectuosa o de mala calidad.

B. Preparación de níquel

Los atributos de calidad que se evaluarán son los siguientes: la eliminación total de impurezas y residuos de pastas, eliminación de películas de grasa.

C. Aplicación de níquel:

Los atributos de calidad que se evalúan son los siguientes: porosidad, brillo, acabado de la superficie, el no ampollamiento del recubrimiento y el no descascarado del recubrimiento.

Especificaciones:

A. Pulido

Las características requeridas, son:

- ❖ Eliminación de rayas y porosidad visibles.
- ❖ Eliminación total de corrosión.
- ❖ El acabado de la superficie debe de ser fina y brillante.

B. Preparación y desengrase:

Las características requeridas, son: Eliminación total de pasta gris e impurezas y eliminación total de películas de grasa.

C. Aplicación de níquel brillante:

Las características requeridas, son:

- ❖ Brillo del recubrimiento
- ❖ Recubrimiento no ampollado, ni debe de descascararse.
- ❖ No debe de tener porosidad visible.

También, es importante, mantener las condiciones de trabajo dentro de los rangos especificados:

- Ph de la solución 4 ± 0.5
- Temperatura $55 \pm 5^{\circ}\text{C}$
- Densidad de corriente $5 \pm 1 \text{ Amp./dm}$

El mantener estas condiciones de trabajo, de preferencia en condiciones óptimas, se puede esperar el obtener recubrimientos libres de porosidad, con acabado finos y brillantes en su superficie y resistentes a la corrosión.

4.5 Diseño del control de calidad:

Para el diseño del control de calidad en el proceso se consideran las características del proceso, así como la forma de inspección que hace más practica dicha función y minimizan el costo. Razón por la cual para evaluar el pulido, la preparación y desengrase así como la aplicación del recubrimiento lo trabajaremos mediante los procedimientos de las gráficas de control por atributos dadas las características que se van a evaluar. Para cada una de las tres fases del proceso existen tres puestos de inspección que requieren un control más estrecho, ya que es aquí donde se esta afectando la calidad del recubrimiento.

A. Pulido

Para evaluar apropiadamente las características requeridas, se necesita que quién realiza dicha inspección y evaluación sea una persona con experiencia en el proceso de pulido y a la vez con la capacidad para recolectar los datos requeridos.

En la planta de producción se realiza una inspección al 100% de las piezas como parte de la rutina de la fábrica; razón por la cual se utilizará el modelo de gráfica de control en gráfica P, para tamaño variable de muestras.

Para determinar los límites de control del proceso de pulido, se seguirán los siguientes pasos:

1. Determinar las características de calidad: Para ello se medirán: la eliminación de porosidad y corrosión visible, acabado fino y brillante.
2. Seleccionar el número de muestras: en este caso se registraran los datos de la inspección de 25 días sucesivos de trabajo.

3. Calculando el tamaño promedio de muestras: la producción total en esos 25 días sucesivos de trabajo.

El promedio de producción por día = $12,000/25 = 480$ unidades/día

4. Calculando el promedio de piezas defectuosas: El número de unidades defectuosas producidas en esos 25 días fue de 500 unidades, de donde:

numero de unidades defectuosas por día = $500/25 = 20$ unidades / día

5. Calculando los límites de control: estos vienen de las formulas.

- El promedio de % defectuoso $P = (\text{sumatoria } c) / (\text{sumatoria } n)$

$$P = (500/12,000) * 100 = 4.17\%$$

- El límite superior LCS = $P + 3 * \sqrt{P*(100-P)} / n$

$$LCS = 4.17 + 3 * \sqrt{4.17 * (100 - 4.17)} / 480$$

$$LCS = 6.51$$

- El límite inferior LCI = $P - 3 * \sqrt{P*(100 - P)} / n$

$$LCI = 4.17 - 3 * \sqrt{4.17 * (100 - 4.17)} / n$$

$$LCI = 1.83$$

Donde: P = porcentaje promedio de defectuosos

n = tamaño de la muestra

IC = número de defectuosos.

4.6 Análisis de los resultados de las muestras:

Si se observa la figura 30, donde se tienen graficados los resultados obtenidos del subproceso de pulido, se observa que se encuentra bajo control estadístico, lo cual indica que las variaciones posibles que se puedan encontrar se deben a causas aleatorias.

Por otra parte si se quiere mejorar la calidad del proceso de pulido se tendría que eliminar las causas asignables, tales como: la capacitación de la mano de obra y del personal de supervisión, el chequeo constante del equipo y especialmente de las ruedas o muelas empleadas para pulido ya que estas sufren cierto desgaste a lo largo del proceso etc.

B. Preparación y desengrase:

Para evaluar este subproceso se procede de la siguiente manera: Dado que como rutina de la planta el total de las piezas son supervisadas, es importante hacer notar que el área donde se realiza dicho subproceso debe de ser un área aislada de contaminantes. El personal debe de tener una clara visión de la importancia de dicha operación, ya es en este subproceso donde con más incidencia se afecta la calidad del recubrimiento sobre las piezas. Para evaluar este subproceso se utilizara el modelo de gráficas de control P, para tamaño de muestra variable.

Pasando a determinar los límites de control, para el subproceso de preparación y desengrase:

1. Las características de calidad son: eliminación total de los residuos de pasta gris, impurezas y grasa.
2. Seleccionamos el número de muestras: que como en el caso anterior es de 25 días sucesivos de trabajo.
3. Tamaño promedio de la muestra: de la misma manera, que en el caso de el pulido la producción fue de 12,000 unidades por lo que $n = 12,000/25 = 480$ unidades.
4. Cálculo del promedio de defectuosos: el número total de defectuosos producido en esos 25 días fue de 625 unidades, es de importancia hacer mención que el producto que venía defectuoso en el subproceso de pulido fue rectificado, por lo que los productos defectuosos encontrados aquí corresponden específicamente por una mala preparación y desengrase, por lo que el número defectuosos por día será:

$$D \times D = 625/25 = 25 \text{ unidades / día}$$

5. Calculo de los límites de control:

- $P = \text{Sumatoria } C / \text{sumatoria de } n$

$$P = 625 / 1200 * 100 = 5.2$$

- $LCS = P + 3 * \sqrt{P(100-P)} / n$

$$LCS = 5.2 + 3 * \sqrt{5.2 (100-5.2)} / 480 = 8.24$$

- $LCI = P - 3 * \sqrt{P(100 - P)} / n$

$$LCI = P - 3 * \sqrt{5.2 (100 - 5.2)} / 480 = 2.06$$

Análisis de los resultados:

Como se puede observar en la figura 32 del control del proceso, el proceso se mantuvo durante las primeras cuatro semanas dentro de los límites de control establecidos es decir bajo control estadístico, en la última semana se tiene la mayor variabilidad del proceso y en el último día salió de control, aunque esto puede dividirse por variaciones aleatorias, dado que solo una lectura está fuera de control. Es conveniente sin embargo supervisar la forma como se está realizando el proceso.

C. Aplicación del níquel:

Al mantener las condiciones de trabajo constantes (Ph de la solución, densidad de corriente, el tiempo de deposición) se espera obtener recubrimientos de níquel de buena calidad. Para evaluar de una forma más confiable la calidad y detectar la causa asignable, el recubrimiento podría chequearse que las condiciones de trabajo se encuentren en los rangos antes establecidos. Para ello se empleará el modelo de gráficas de control P ya que la fábrica como rutina de producción inspecciona al 100 % las unidades producidas, aun que el tamaño de muestra varía, debido a que no se produce la misma cantidad cada día.

Determinando los límites de control del proceso de níquelado:

1. Las características de calidad son: Brillo y acabado de la superficie, porosidad que el recubrimiento no presentando ampollamiento ni descascarado del mismo.
2. Número de muestras: 25, igual a los días de producción.
3. Tamaño promedio de la muestra: en 25 días se fabricaron 12,000 unidades, lo que da $12,000/25 = 480$ unidades.

4. Cálculo del promedio de defectuosos: las piezas que venían defectuosas debido a una mala preparación y desengrase fueron rectificadas, por lo que el número de piezas defectuosas encontradas aquí corresponden únicamente al proceso de niquelado. El número total de piezas defectuosas encontradas fue de 450 unidades.

$$\text{Defectuosos x día} = 450/25 = 18 \text{ unidades}$$

5. Cálculo de los límites de control:

$$- P = \text{Sum } C / \text{sum } n = 450 / 12,000 * 100 = 3.75$$

$$- \text{LCS} = P + 3 * \sqrt{P(100 - P)} / n$$

$$\text{LCS} = 3.75 + 3 * \sqrt{3.75 (100-3.75)} / 12,000 = 6.35$$

$$- \text{LCI} = P - 3 * \sqrt{P(100-P)} / n$$

$$\text{LCI} = 3.74 - 3 * \sqrt{3.73 (100-3.75)} / 12,000 = 1.15$$

Análisis de los resultados:

Al examinarla figura 31 donde se muestra el control del proceso de pulido. Se notó que la primera semana de operaciones se presenta la mayor variabilidad del proceso en cuanto a la calidad del recubrimiento, con cuatro lecturas fuera de los límites de control. Razón por la que se procedió a investigar las causas, determinándose que se debió al mal manejo de las piezas, posterior al desengrase por una parte y la otra razón fue debido a que la temperatura de trabajo se encontraba por debajo del rango establecido a 50 °C por lo que se obtuvieron acabados pobres en brillo y ampollados.

Al detectarse dichas causas se procedió a corregirlas, razón por la que en las semanas subsiguientes se tubo una mejor calidad. Se estuvo controlando las condiciones de trabajo, así como el manejo de las piezas posterior al desengrase, de esta forma se puede observar que en las últimas semanas se tiene un mejoramiento en la calidad de los recubrimientos.

4.7 Control de calidad en producto terminado

Es necesario ejercer un control de calidad apropiado, cuando el producto, se encuentra prácticamente listo para ser despachado. Esto reviste especial importancia, ya que constituye la calidad de todo el proceso de producción y de que el producto será de la calidad apreciada por el cliente o rechazada.

Por el hecho de que la empresa se debe a la satisfacción total del cliente, y siendo el cliente el sostén de toda empresa es importante mantener buenas relaciones con el cliente, prestándole todo tipo de servicio y asesoramiento, durante y después de la compra, para que este a su vez logre la satisfacción buscada con la adquisición del producto y recomiende los productos que produce la empresa. Entre los servicios que se pueden prestar al cliente se tiene:

- ❖ Asesoría de los servicios y productos que proporciona la empresa.
- ❖ Información sobre características especiales del producto y su uso.
- ❖ Especificaciones en cuanto al mantenimiento y uso apropiado del producto.
- ❖ Garantía del producto.
- ❖ Información de servicios posteriores a la compra con los que el cliente puede contar.

Estos son solo algunos de los tantos servicios que se pueden proporcionar a los clientes con el objeto de que el cliente sea objeto de una excelencia en el servicio que le presta la empresa. Todo este esfuerzo desde el punto de vista mercadológico, económico – financiero, de producción etc. tiene altas retribuciones, ya que esto permitirá entre otras cosas, mejores diseños en los productos, mayores ventas, mayores ingresos, el crecimiento de la empresa etc.

4.7.1 Especificaciones del producto terminado:

Conociendo cuales son los atributos o características que un recubrimiento de níquel brillante debe de tener para ser considerado de calidad aceptable; se hará un plan de aceptación adecuado para evaluar la calidad de dichos recubrimientos.

Hay que definir aspectos tales como: El nivel aceptable de calidad (AQL), el tamaño del lote, el tipo de muestreo y el nivel de inspección. Para realizar la evaluación de la calidad, se hará por atributos, utilizando para ello, las tablas de la Norma MIL-STD-LOS-D. Se pasa a definir los aspectos antes descritos.

- Nivel de aceptación AQL.

El porcentaje de defectuosos en el proceso es del orden del 5% en promedio, considerando los porcentajes de piezas defectuosas que tienen los subprocesos de pulido, preparación y desengrase, niquelado se tomara el AQL en el orden del 1%, es decir que es, el máximo numero de defectuosos que mediante inspección se puede considerar satisfactorio, como media del proceso.

- Tamaño del lote:

Para la formación de los lotes de inspección, se considera la cantidad fabricada o procesada en una semana de trabajo. La producción promedio por día es de 480 unidades por lo que en una semana de 5 días efectivos de trabajo se tendrán 2,400 piezas que conforman u lote de inspección.

- Tipo de inspección y nivel de inspección:

El nivel de inspección que se utilizará será II, con inspección normal.

En resumen se puede decir, que se tiene un lote de 2,400 piezas para su inspección y se desea controlar que las piezas estén dentro de las especificaciones dadas, mediante los calibre de pasa no pasa, usando inspección por muestreo simple, con inspección normal, el AQL es del 1% y el nivel de inspección II.

4.7.2 Aplicación

Se elige el plan de la manera siguiente:

- Conociendo el tamaño del lote y el nivel de inspección se obtiene la letra código de la tabla I del apéndice.

$N = 2,400$

Nivel = II

La letra código es K, ya que el tamaño del lote se encuentra en el rango de 1,200 – 3,200 unidades con, un nivel de inspección II.

- Con la letra código, el AQL y el tipo de muestreo, obtenemos el plan de muestreo, de la tabla II A del apéndice.

Se busca la misma letra y en la misma fila, de la siguiente columna se encuentra 125 que corresponde al tamaño de la muestra n .

Luego en el punto de intersección de la letra K y el nivel de calidad (AQL) 1% (inspección normal), se encuentra el numero de aceptación (3) y de rechazo (4).

Lo anterior se puede resumir de la siguiente forma:

Si al inspeccionar una muestra de 125 unidades, se encuentran 3 o menos unidades defectuosas, se acepta el lote, si por el contrario, hay 4 o más unidades defectuosas rechaza el lote.

Considerando, los valores tabulados en la inspección, de la aplicación de níquel propiamente dicho, ya que esta constituye la última estación de trabajo, de las tres fases del proceso de producción.

Tabla XXIV Valores tabulados

	Unidades inspeccionadas	Unidades definidas	% definido
Semana 1	2,270	149	6.6
Semana 2	2,402	128	5.3
Semana 3	2,380	84	3.5
Semana 4	2,481	44	1.8
Semana 5	2,467	45	1.8
Totales	12,000	450	3.75

De cada semana, que es el período en el cual se construyó un lote de inspección, se toman 125 unidades en forma aleatoria y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla XXV Datos obtenidos

	Unidades inspeccionadas	Muestra	No definido	Aceptación / rechazo
Semana 1	2,270	129	16	Rechazo
Semana 2	2,402	125	9	Rechazo
Semana 3	2,380	125	3	Aceptación
Semana 4	2,481	125	2	Aceptación
Semana 5	2,467	125	3	Aceptación

En el caso de los dos primeros lotes o semanas, han sido rechazados los lotes, por lo que tendrá que pasarse a una inspección al 100%, reprocesar y corregir los artículos defectuosos, de la tercera a la sexta semana los lotes fueron aceptados por ser considerados de calidad aceptable.

5. IMPACTO AMBIENTAL

5.1 Introducción

Los procesos asociados a tratamientos de superficie, como es el caso de la Galvanoplastia, constituyen una fuente de contaminación si son comparados con otros procesos productivos. La naturaleza tóxica de muchos de los productos químicos utilizados en dicho tratamiento y muchas veces incluso la naturaleza tóxica de los mismos metales que se recubren (e. Cadmio) dan cuenta de la potencialidad contaminante de las descargas líquidas, de los sólidos generados y de las emisiones atmosféricas producidas. Se debe tener en cuenta que el proceso de electrodeposición en sí no es efectivo ya que sólo una pequeña cantidad de las materias primas utilizadas son precipitadas sobre la pieza. De esta manera, por ejemplo, hasta un 90% de las materias primas pueden ser descargadas al ambiente, a través de los residuos líquidos.

La potencialidad contaminante puede afectar seriamente el medioambiente externo a la planta y el ambiente interno asociado a la salud ocupacional.

Descargas líquidas

La industria de galvanoplastia aplica procesos que llevan involucrado consumo de agua, tanto en los baños de electrodeposición como en las etapas de lavado y enjuague. Las descargas de estas aguas residuales están compuestas por efluentes, que se caracterizan por su carga contaminante tóxica debido por ejemplo, a la presencia de cianuro, metales pesados (por ej.: cromo hexavalente), los cuales, entre otras características son inhibidores de tratamientos biológicos de aguas servidas.

Se produce contaminación de suelos debido a descargas no controladas de residuos líquidos en planta, con la consiguiente potencial contaminación de napas subterráneas.

Generación de sólidos

Se produce generación de lodos con contenido de tóxicos: metales pesados, cianuro, etc.

Emisiones atmosféricas

Las emisiones al aire o atmósfera se producen en las diferentes etapas del proceso y dependen de la naturaleza de éste. Ejemplos de lo anterior lo constituyen las nieblas, que no implican necesariamente una contaminación del ambiente externo, pero que sí afectan el ambiente interno desde el punto de vista de salud ocupacional. Por otra parte, en la preparación mecánica, se produce la emisión de partículas de polvo.

Contaminación acústica

No es un problema relevante en este tipo de industrias. Tendrá relevancia si hay asociado procesos de mecanizado de piezas.

5.2 Residuos líquidos

La principal causa de contaminación por residuos líquidos está representada por los volúmenes de agua utilizados en los procesos de lavado y enjuague. Dentro de los contaminantes característicos de los baños se pueden considerar los metales pesados, cianuros, complejos orgánicos, etc.

En relación a la contaminación por residuos industriales líquidos, los efluentes de galvanoplastia contienen típicamente sustancias inorgánicas que son tóxicas en relación a un tratamiento biológico en las empresas encargadas del tratamiento de aguas servidas. El interés de estas empresas es el de mantener por una parte, la calidad de las instalaciones de los sistemas de recolección, los cuales se pueden ver afectados por la presencia de químicos y en otro aspecto, mantener las condiciones favorables al desarrollo microbiano utilizado en el abatimiento de aguas servidas. En este sentido existen los valores límites de descarga de residuos líquidos a los sistemas de recolección de aguas servidas.

Desde el punto de vista ambiental es importante reducir la carga total o la masa de contaminantes que se van acumulando en los cuerpos receptores, a medida que transcurre el tiempo, tales como ríos, lagos, lagunas, mar, etc.

Para favorecer este aspecto, es importante la aplicación de opciones de producción limpia o prevención de la contaminación en orden a reducir el consumo de productos químicos en la industria de galvanoplastia por métodos de ahorro en las aguas de enjuague, reciclaje de los electrolitos durante el proceso, entre otros. Estas opciones favorecen la economía al interior de la empresa y reducen la carga total de contaminantes de los residuos industriales líquidos.

5.3 Residuos sólidos

Los residuos sólidos generados en galvanoplastia los constituyen los lodos resultantes de los procesos de manutención de baños de proceso o bien de los tratamientos de las aguas residuales. La composición de estos lodos es variada, pudiendo contener óxidos, o hidróxidos de níquel, cobre, cromo, zinc y otros metales pesados.

Aunque en términos generales, estos óxidos o hidróxidos no son solubles, es necesario disponerlos en lugares aptos con la debida impermeabilización de suelos, para no afectar las napas subterráneas.

En la industria de galvanoplastía, cuando se obtienen residuos líquidos mixtos, se obtienen lodos de iguales características, lo que dificulta su reutilización o reciclaje. Sin embargo, la segregación o separación de corrientes de efluentes, permite la producción de un monolodo con la posibilidad de reutilización o reciclaje en la industria metalúrgica.

5.4 Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera de la industria de galvanoplastía se producen en las distintas etapas del proceso productivo y se caracterizan de acuerdo a la naturaleza de los compuestos químicos utilizados en ellos. Así, en los procesos de decapado, en donde se utiliza ácido nítrico se producen gases nitrosos y nítricos, debidos a la naturaleza oxidante del ácido. Del mismo modo constituye fuente de contaminación el arrastre del ácido en forma de neblina o gotas, que se encuentran contenidas en los vapores de las soluciones de limpieza.

Por otra parte, la utilización de ácido clorhídrico en estos procesos provoca las emisiones del ácido, debido a la alta presión de vapor ejercida a temperatura ambiente. En la electrólisis se generan gases de hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo, lo que permite que estos gases arrastren gotas de solución en su ascenso y difusión en el aire.

En otro aspecto, durante las operaciones de limpieza y desengrasado, se producen emisiones de vapores tóxicos de solventes orgánicos volátiles. Las cantidades de emisiones atmosféricas producidas en el rubro galvanoplastía no son relevantes desde el punto de vista ambiental global.

Sin embargo existe un efecto importante desde el punto de vista de salud ocupacional, pues los trabajadores están expuestos directamente a las nieblas y aerosoles emitidos, cuando no existen aspiradores o absorbentes sobre los baños de proceso. A continuación se mencionan algunos datos importantes relativos al impacto de las sustancias químicas sobre la salud de las personas y el entorno:

Tabla XXVI Efectos de los contaminantes sobre la salud

Parámetro	Efecto por respiración	Efecto por ingesta
Cadmio	Perturbación aguda y crónica en el sistema respiratorio, difusión renal	Tumores testiculares, disfunción renal, hipertensión, arterioesclerosis, inhibición en el crecimiento, cáncer.
Cromo	Cáncer pulmonar, cáncer gastrointestinal enfermedades de la piel	Cáncer pulmonar, úlceras, perforaciones de tabique nasal, complicaciones respiratorias
Plomo	Interferencia en el proceso de formación de elementos sanguíneos, daños al hígado y riñón, efectos neurológicos	Afecciones a la piel, anemia, disfunción neurológica, daños al riñón
Níquel	Enfermedad respiratoria Defectos y malformaciones en el nacimiento cáncer pulmonar y cáncer nasal	
Cianuro	Daños en sistema respiratorio letal	

Tabla XXVII Efectos de los contaminantes sobre instalaciones del sistema de recolección de aguas servidas (alcantarillado)

Parámetro	Efecto
Ph	Daño a los colectores por efecto de exceso de acidez o alcalinidad, inhibición del crecimiento microbiano en los sistemas de tratamiento biológico de las aguas servidas.
Temperatura	Aumento de las velocidades de reacción químicas y bioquímicas, ocasionado por un aumento de temperatura. Volatización de compuestos orgánicos presentes en los residuos líquidos, con gasificación y producción de emanaciones tóxicas y mal olor. La presencia de gases aumenta la presión en las tuberías.
Sólidos suspendidos	Se produce la acumulación de sedimentos al interior de las tuberías, lo que provoca efectos de obstrucción de escurrimiento de fluidos.
Aceites y grasas	Se produce acumulación y se dificulta el escurrimiento de fluidos. Además, disminuye la transferencia de oxígeno en el cuerpo receptor
Sulfato	Se produce la precipitación de sales insolubles que atacan las tuberías de cemento
Metales pesados y Tóxicos	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el crecimiento microbiano Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el crecimiento microbiano
Detergentes	Interfieren en los procesos biológicos de tratamiento de aguas servidas, inhibiendo el desarrollo microbiano.

Tabla XXVIII Efectos de los contaminantes sobre aguas superficiales

Parámetro	Efecto
Ph	Efectos sobre las aguas destinadas a consumo humano, bebida animal, riego, recreación, estética, vida acuática
Temperatura	Las altas temperaturas desfavorecen la dilución de oxígeno en la masa de agua, alterando el desarrollo de la vida acuática
Sólidos suspendidos	Se produce la acumulación de sedimentos que ocasionan embancamiento y depósitos en terrenos de uso agrícola

Continuación

Aceites y grasas	Efectos sobre la absorción de oxígeno atmosférico en el agua, afectando los procesos de fotosíntesis de algas, plantas y organismos acuáticos en general
Metales pesados y tóxicos	Interfieren en los procesos naturales de autodepuración biológica de cuerpos receptores
Detergentes	Interfieren en los procesos de absorción de oxígeno, creando ambientes anaerobios

5.5 Normativa: descargas líquidas y emisiones al aire

Residuos líquidos

Las descargas de efluentes líquidos al sistema de alcantarillado deben cumplir con regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado..

Emisiones atmosféricas

Se deben establecer condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo y donde los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y agentes físicos y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

5.6 Opciones de gestión ambiental

La gestión ambiental de una empresa se puede jerarquizar según el grado de facilidad de su implementación y costos asociados. Es así, como la más alta prioridad se le asigna a la **prevención de la contaminación a través de la reducción en la fuente y el reuso o reciclaje.**

La prevención disminuye o elimina, por ejemplo, la necesidad de reciclaje fuera de la planta o el tratamiento de los residuos y su posterior disposición. La reducción de residuos es siempre más barata que su recolección, tratamiento y disposición final. También permite disminuir los riesgos ambientales para los trabajadores, la comunidad y el ambiente en general.

5.6.1 Producción limpia

Para la producción mas limpia se debe considerar lo siguiente:

- ❖ Reducción en origen
- ❖ Cambios en proceso: sustitución de materias primas e insumos contaminantes
- ❖ Cambios tecnológicos, introducción de tecnologías limpias
- ❖ Mejoramiento de las prácticas de operación
- ❖ Cambios en productos: diseño con menor impacto ambiental, incremento de la vida útil del producto
- ❖ Reciclaje
- ❖ Recuperación y reuso dentro del proceso de producción
- ❖ Reciclaje fuera del proceso
- ❖ Control y disposición final
- ❖ Pretratamiento y tratamiento, que implica el uso de tecnologías de control o al final del proceso (end of pipe) .
- ❖ Disposición final
- ❖ Destrucción, que implica la utilización de vertederos autorizados, entre otros.

Tabla XXIX Tabla de jerarquización

Jerarquía de opciones		Descripción de la opción
Producción limpia		
Reducción de origen	Buenas practicas \$-	Desarrollo de políticas del personal: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Capacitación y entrenamiento del personal ❖ Uso de incentivos al personal
		Desarrollo de manuales y procedimientos: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Sistemas de documentación adecuados ❖ Optimización de operaciones de manejo, almacenamiento de materias primas y control de inventario ❖ Programación de la producción ❖ Manutención preventiva de equipos
		Medidas de prevención de pérdidas: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Control de calidad y certificación de materias primas ❖ Manejo de derrames y goteras
		Reparación de pisos
		Modificación de distribución de baños (layout)
	Mejoramiento de Procesos (\$)	Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y sustancias químicas: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Implementación de lavado o enjuague en contracorriente o cascada ❖ Implementación de baño de economía, estanco o eco ❖ Implementar sistemas sencillos de cierre y apertura de válvulas ❖ Dosificar los baños con el contenido necesario de sustancias químicas ❖ Lavado intermitente del material
		Prolongamiento de la vida del baño: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Filtración continua ❖ Uso de sacos anódicos para filtrar los ánodos ❖ Monitoreo de baños ❖ Disminución de arrastre de electrolito desde las piezas
		Sustitución de materiales
		Reducción consumo de sustancias químicas
		Implementar tratamiento de detoxificación integrado a la producción: <ul style="list-style-type: none"> ❖ Detoxificación de cromo hexavalente ❖ Detoxificación de cianuro
RECICLAJE/ REUSO/ RECUPE-RACIÓN	(\$\$)	Aguas de lavado y agua de baños agotados

Control y disposición final		
Tecnologías de Control Ambiental (tratamiento al Final del Proceso o .end Of pipe.)	(\$\$\$\$)	Precipitación química y tecnologías alternativas
Disposición Final	(\$\$\$\$)	Disposición en vertederos especiales

5.6.1 Producción limpia

Para realizar la producción limpia se debe considerar lo siguiente:

5.6.1.1 Reducción de contaminación de origen

Para esto se toma en cuenta:

5.6.1.1.1 Buenas prácticas

El desorden, la falta de higiene y el caos en el lugar de trabajo constituyen un riesgo para el personal de la empresa y contribuyen a aumentar las descargas no deseadas hacia el medio ambiente. Estas condiciones también dificultan la implementación de muchas de las medidas para ahorrar costos.

La implementación de buenas prácticas al interior de la empresa se basa en la puesta en marcha de una serie de procedimientos o políticas organizacionales y administrativas destinadas a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos.

Dentro de estas prácticas se incluyen:

- ❖ Las políticas de personal: capacitación, uso de incentivos,

- ❖ Medidas para incluir mejoras en los procedimientos: sistemas de documentación adecuados, optimización de manejo y almacenamiento de materias primas y control de inventario, programación de producción y
- ❖ Medidas de prevención de pérdidas

Las siguientes medidas pueden ser de utilidad para crear procesos y estructuras más efectivas para la integración de .buenas prácticas. en las operaciones diarias de la empresa:

- ❖ Fijar metas realistas y cuantificables para lograr la reducción del volumen de residuos
- ❖ Entregar la responsabilidad a una sola persona en cada sección para cada acción específica a realizar y para monitorear los resultados logrados a través del tiempo
- ❖ Identificar los procesos que requieren de grandes cantidades de agua y energía y aquellos en los que se genera un gran volumen de aguas residuales. Dar prioridad a las medidas que deben tomarse en estas áreas
- ❖ Hacer un inventario periódicamente de las materias primas
- ❖ Realizar una limpieza general de la planta regularmente, una vez por semana
- ❖ Capacitación del personal que incluya:
 - Manejo adecuado de materiales tendientes a minimizar las pérdidas y prevenir riesgos y
 - accidentes (uso de ropa de seguridad incluyendo protectores para la vista)
 - Detección y minimización de pérdidas de materiales hacia el aire, agua y suelo
- ❖ Involucrar a los empleados en acciones voluntarias tendientes a disminuir el volumen de residuos, ahorrar agua, energía y materias primas

- ❖ Control de pérdidas de materiales. Las pérdidas de materiales pueden identificarse observando el consumo de productos químicos y del agua. Los derrames pueden reducirse manipulando y trasladando las piezas cuidadosamente
- ❖ Racionalización en el uso de energía: Mantener apagados los equipos que no se utilizan constantemente permite reducir el consumo de energía. La limpieza general y el mantenimiento de los equipos permite mejorar el rendimiento y aumentar la vida útil de éstos
- ❖ La protección de los operarios que incluye la protección del medioambiente físico, depende en gran medida de las medidas preventivas adecuadas, apoyadas por procedimientos organizacionales apropiados. Una combinación de medidas como éstas contribuyen a reducir la exposición a riesgos por la manipulación con productos químicos, por manejo de maquinarias y al estrés térmico, acústico y vibracional

Es importante mencionar que en la implementación de este tipo de gestión se entrecruzan los principios desarrollados en las Normas ISO 9000 (aseguramiento de calidad) e ISO 14000 (gestión ambiental).

5.6.1.1.2 Mejoramiento de procesos

Revestimiento de pisos: Los pisos de las plantas de proceso comúnmente se encuentran expuestos a sustancias corrosivas y contaminantes, las que pueden ocasionar su deterioro debido a un escaso mantenimiento. Por otro lado, si estos pisos no se encuentran debidamente protegidos, las implementaciones destinadas a mejorar procesos y reducir la contaminación, pierden su efectividad.

La mejor alternativa resulta ser la construcción de pisos de hormigón estructural con recubrimiento especial de ciertas características y medidas de seguridad en zonas de tránsito. Considerando características técnicas y de seguridad, se recomienda cubrir los pisos con un material resistente a la corrosión, ya sea ladrillos o azulejos revestidos con resinas epóxicas. Los pisos deben otorgar condiciones tales como:

- ❖ Antideslizamiento
- ❖ Resistencia química y mecánica
- ❖ Resistencia térmica
- ❖ Fácil reparación y mantenimiento

Para una planta de galvanoplastía, el costo asociado a la implementación de pisos de las características antes mencionadas, es decir considerando un radier en hormigón estructural y revestimiento, tiene un costo de inversión de: \$ 27.000 por m²

Modificación de la distribución (layout) de baños de proceso: El proceso productivo del rubro galvanoplastía corresponde a un proceso secuencial de diversas etapas que involucran tanto estanques de proceso como de enjuague intermedio, entre dichos procesos de depósito metálico.

En este sentido es fundamental determinar una distribución o layout adecuado que permita un esquema de trabajo en un espacio reducido y que permita una racionalización de tiempo y protección del medio circundante, ya que esta distribución cumple un rol preponderante en relación a la eficiencia y generación de residuos.

En términos de eficiencia, una modificación de la distribución de los estanques incide en el consumo de materias primas, consumo de agua y rendimiento productivo.

Fortalece la no generación de residuos (arrastre, derrames, contaminación de estanques, entre otros) y facilita la implementación, en el futuro, de tecnologías integradas de recuperación de químicos.

Específicamente, la redistribución de los estanques permite a la empresa:

- ❖ *Reducir* al mínimo sus efluentes que incluyen el drenaje y los arrastres
- ❖ Reducir el consumo de agua para el enjuague y mejorar las técnicas de enjuague
- ❖ Implementar un flujo de trabajo más eficiente, y
- ❖ Detoxificar y reducir las concentraciones de los metales que se descargan en el alcantarillado

Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y de sustancias químicas

Lo cual es importante.

Implementar estanques de lavado en contracorriente con el fin de conservar el consumo de agua

La implementación de varios estanques para enjuague, reduce significativamente el volumen de agua utilizado. En este aspecto, un sistema de lavado en cascada o contracorriente puede reducir los requerimientos de agua en un porcentaje notable, en comparación a un sistema de estanque único.

En este sistema, la pieza se mueve en dirección opuesta a la calidad del flujo de agua de lavado. Esto consiste en que agua limpia es alimentada en el estanque más alejado del baño de proceso y luego ésta alimenta por rebalse al estanque de lavado más cercano al baño de proceso. Esta alimentación de agua por rebalse disminuye los consumos de agua.

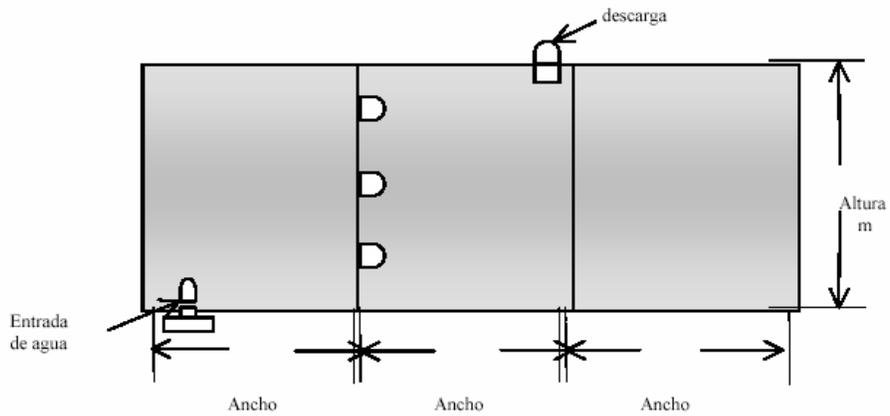
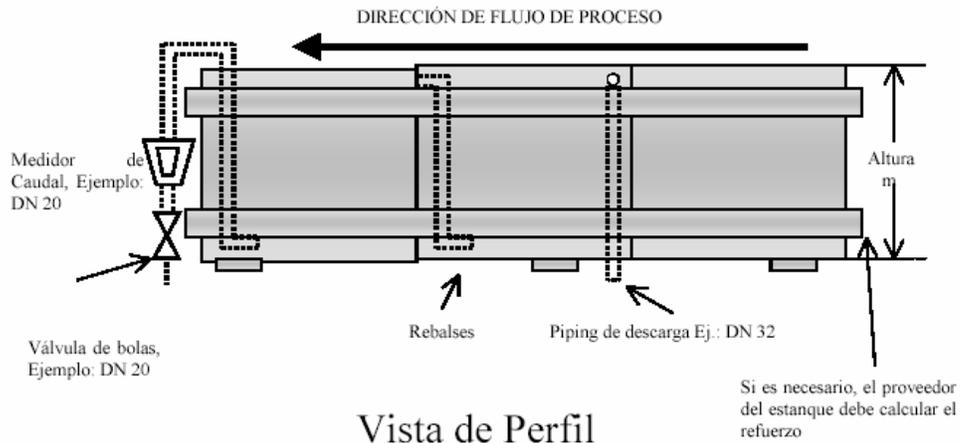
De esta manera, la pieza es sumergida primero en el estanque con agua menos pura y en el estanque con agua más limpia después y al final, dependiendo del número de estanques. Así la pieza entra en el próximo baño de proceso, con una solución de arrastre menos concentrada, lo que reduce la contaminación del próximo baño y aumenta su vida útil.

Los estanques, desde el punto de vista estructural no requieren de especiales cálculos en relación a las presiones a las que serán sometidos ya que éstas son mínimas con respecto a los esfuerzos máximos admisibles por el material. Es así que para efectos de construcción se considera 3 - 4mm de espesor para el caso de estanques en acero carbono y 4 -5 mm en el caso de resina vinilester. Como recomendación se advierte que la alternativa más económica y de mejor vida útil la constituye la construcción de estanques en resina vinilester con refuerzos.

El costo de un estanque en resina vinilester es de: \$ 20.000 por m²

En las figuras a continuación se puede observar la secuencia de proceso utilizando sistema de enjuague en cascada triple (tres compartimentos) y un esquema del diseño de estanques.

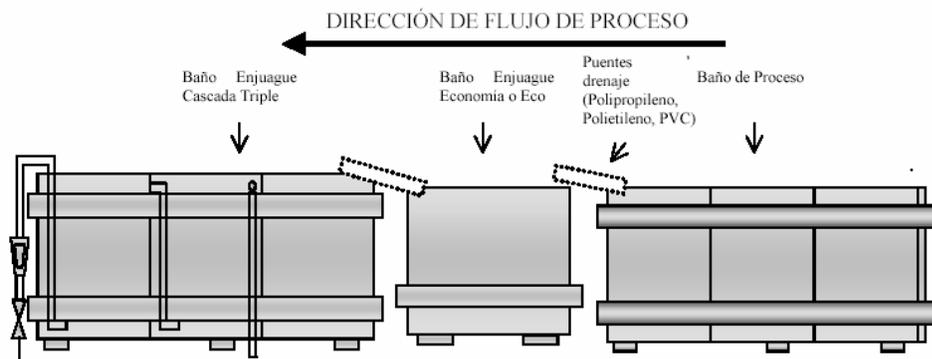
Figura 33 Secuencia de proceso de enjuague en cascada



En una planta de galvanoplastía se debe reducir el caudal de descarga de residuos industriales líquidos desde 4 m³/hr a 1 m³/hr. Por medio de la implementación de 6 estanques en cascada triple, fabricados en fibra de vidrio revestida con resina epóxica: Costo de la inversión: \$ 1.680.000

Implementar enjuague de economía (sin entrada y salida de agua), luego del baño de electrodeposición. En este caso luego de sumergir la pieza en el baño de proceso, ésta se sumerge en este baño de economía, en donde se concentra el electrolito, solución que puede ser utilizada para rellenar los baños de proceso de electrodeposición y así conservar el consumo de sustancias químicas y disminuir el arrastre de estas. En la figura 34 es posible observar la secuencia a utilizar:

Figura 34 Enjuague de economía



En una planta de galvanoplastia se pueden implementar cinco estanques de polipropileno. Costo de la inversión: \$ 220.000

Sistemas sencillos de apertura y cierre, para el control de suministro de agua

La implementación de sistemas controladores de caudal permite conocer los flujos de agua utilizados en el proceso productivo, permite saber si estos son adecuados para los requerimientos de las instalaciones de la planta de proceso productivo y saber cuando existen pérdidas por mal uso, filtraciones, etc.

La cuantificación de caudales está en estrecha relación con la magnitud de los costos asociados al servicio de alcantarillado, uso de un potencial tratamiento químico y lodos generados

En una planta de galvanoplastía se puede implementar un rotámetro para agua potable $\frac{1}{2}$., con aprox. 40 lt/hr de caudal de entrada en enjuague. Costo de la inversión: US\$ 292 +IVA

Lavado intermitente del material con pulverizadores de agua, lo que sustituiría algunas etapas en cascada

Prolongamiento de la vida del baño. El volumen de residuos y los costos de reemplazo de baños pueden ser disminuidos a través de:

- Filtración continúa de baños de proceso. Este procedimiento se utiliza con la finalidad de eliminar sustancias nocivas y contaminantes
- Cubrir los ánodos con sacos anódicos para que mediante un proceso de filtración, se evite la contaminación de los baños de proceso con sustancias sólidas insolubles provenientes de las aleaciones. Otra fuente de sustancias sólidas que contaminan los baños de proceso corresponde al polvo de tratamiento mecánico, por esto es importante separar la línea de electrodeposición de metales del sector de taller metalmecánico
- Monitoreo de baños de proceso. Es importante efectuar el seguimiento periódico de variables como el pH, el contenido de metales y controlar por método de Celda Hull, la composición correcta del baño. Esto permite conocer la necesidad de adicionar uno de los constituyentes químicos o remover contaminantes y con ello prolongar la vida del baño

- Disminución del arrastre de electrolito desde las piezas. La mayoría de los contaminantes de las descargas líquidas depositadas en el piso de las plantas de proceso, provienen de los procesos de enjuague, en donde el arrastre de electrolito con productos químicos ocurre cuando las piezas son trasladadas entre baños de proceso y enjuague. Para evitar este aspecto se debe aumentar el escurrimiento de los líquidos adheridos a las piezas sobre los baños, con el fin de reducir dicho arrastre y la contaminación posterior al próximo baño. En este caso se recomienda la construcción de porta gancheras sobre los baños, a fin de suspender desde éstos, las piezas para drenado

Existen además otros aspectos en donde intervenir y estos están en relación con:

- ❖ La velocidad con la que se retiran las piezas desde los baños (lentamente)
- ❖ La geometría de la pieza (los bordes y concavidades retienen electrolito)
- ❖ El tiempo de escurrimiento (el más, el mejor)
- ❖ La posición de la pieza en la ganchera (privilegiar posiciones de gancheras que favorezcan el drenaje desde el interior de las piezas)
- ❖ La temperatura del baño (25-30°C) y la viscosidad (la más baja, la mejor)
- ❖ Sustitución de material. La sustitución de cianuro es posible utilizando otros baños poco básicos o directamente ácidos, por ejemplo, por acabado de cobre y zinc. La sustitución de material puede requerir la modificación de la química de los baños y del proceso

La sustitución de material es recomendable siempre que se mantengan los estándares de producción para una buena adhesión de las capas metálicas y la calidad de los productos.

En el contexto de sustitución de material se recomienda el uso de agua purificada, es decir, desmineralizada, tanto para la preparación de baños de electrolito o ya sea para procesos de lavado o enjuague final, esto con el propósito de evitar manchas o concentración de contaminantes en la superficie de las piezas.

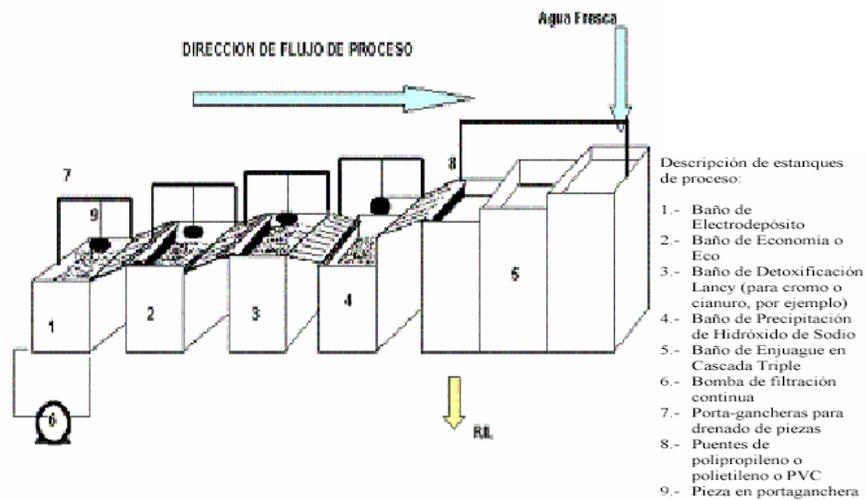
- ❖ Reducción del consumo de sustancias químicas, con el objetivo de reducir la generación de lodos y de productos químicos para detoxificar o neutralizar los residuos líquidos

- ❖ Implementar tratamiento de detoxificación Integrado a la producción: El método de detoxificación directa consiste en la inmersión de las piezas después del baño de proceso, en un baño estanco de enjuague y luego directamente en una solución detoxificante concentrada. Esta solución debe contener los productos químicos detoxificantes en una dosificación en exceso, que cause una reacción completa y rápida con la película de arrastre sobre las piezas.

- ❖ .Lancy : Detoxificación de Cromo Hexavalente: De acuerdo a la figura 35 presentada a continuación, las piezas salen del baño de proceso electrolítico de cromado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanco) o de economía (eco). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o .baño Lancy., que consiste en una solución saturada de bisulfito de sodio que produce la reducción de cromo hexavalente a trivalente ($\text{pH} < 2,5$). Luego la pieza es sumergida en un estanque con soda cáustica al 20% para precipitar el cromo trivalente. La pieza se sumerge en un baño de enjuague en cascada y continúa su trayectoria de proceso.

❖ . Lancy : detoxificación de cianuro: De acuerdo a la figura no. 35 presentada a continuación, las piezas salen del baño de proceso electrolítico de zincado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanco) o de economía (eco). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o .baño Lancy., que consiste en una solución saturada de hipoclorito de sodio (pH 11-12)., que produce la detoxificación de cianuro a cianato.

Figura 35 Sistema de detoxificación integrado a la producción Sistema Lancy.



Fuente: INTEC-CHILE, Proyecto FDI-CORFO/GTZ .Generación de capacidades nacionales en tecnologías aplicables a residuos industriales líquidos.. 1995-2000

En una planta de galvanoplastía se redujo la concentración de cromo hexavalente, de la descarga del agua de enjuague en cascada, en un 99,9 %, vía detoxificación con Sistema Lancy.

5. 6.1.2 Reciclo / Reuso / Recuperación

Las técnicas de reciclaje o recuperación de materiales tales como los metales, provenientes del proceso de acabado de superficies, sólo resultan ser económicas cuando se tratan metales preciosos como oro y plata. El método de recuperación aplicable en este caso, es la electrólisis.

Existe otra posibilidad de recuperar el electrolito activo por métodos de operaciones unitarias, en este caso se puede utilizar ultrafiltración, tecnologías de membrana, cristalización, concentración y otros. Pero estos métodos necesitan un equipamiento adicional, dependiendo además de la situación actual de la empresa. En la mayoría de los casos estos sistemas no son una alternativa económica.

Sin embargo, esta recuperación puede ser llevada a cabo utilizando un baño de enjuague estanco.

Ejemplo de tecnología:

Sistema combinado de osmosis inversa . ultrafiltración ;

Inversión: US\$ 20.000 para tratar 0,07 m³/hr.; US\$ 90.000 para tratar 1,0 m³/hr.

5.6.2 Control y disposición final

Para llevar control y hacer la disposición final, se debe considerar lo siguiente:

5.6.2.1 Tecnologías de control ambiental, (tratamientos al final del proceso o end of pipe.)

Las tecnologías que deben tomarse en cuenta para el control ambiental son:

5. 6.2.1.1 Residuos industriales líquidos

Los residuos líquidos pueden ser tratados a través de tecnologías de control convencionales (al final de proceso o end of pipe) utilizando procedimientos químicos que promuevan la detoxificación, neutralización, precipitación, sedimentación y filtración. El residuo líquido tratado corresponde a un residuo no tóxico, pero que contiene sales neutras. El residuo sólido o lodo puede contener en gran parte, cal y óxidos de metales insolubles.

Por otro lado, dentro del campo de tecnologías emergentes, estos residuos líquidos pueden ser tratados utilizando métodos de evaporación, ultrafiltración, lechos fluidizados de cristalización, intercambio iónico, electroflotación, etc.

Tecnologías convencionales

En el acabado de metales existen cuatro tipos de efluentes, soluciones ácidas y alcalinas que pueden contener metales pesados. Estos efluentes no son tóxicos, pero pueden contaminar el suelo y los cuerpos de agua. Cuando son descargados en un sistema de recolección de aguas servidas pueden inhibir los procesos biológicos de tratamiento.

Los otros efluentes son tóxicos como efluentes cianurados y efluentes cromados. Estos efluentes necesitan una detoxificación para eliminar estos compuestos. Principalmente, los cianuros son oxidados y los cromatos son reducidos por diversos métodos químicos o electrolíticos.

Los efluentes generados pueden corresponder a:

- ❖ Residuos líquidos que contienen cianuros simples o bien complejos cianurados
- ❖ Residuos líquidos que contienen ácido crómico
- ❖ Residuos líquidos que contienen metales en solución ácida

En relación a algunos ejemplos de costos asociados a sistemas de tratamientos convencionales de control podrían ser mencionados los siguientes:

- ❖ Sistema de tratamiento físico-químico para abatimiento del cromo hexavalente y metales pesados: US\$ 53.000 (+IVA) ; para tratar 10 m³/hr.
- ❖ Sistema de tratamiento físico-químico para abatimiento de metales pesados con separación de efluentes: US\$ 34.000; para tratar 5 m³/hr US\$ 14.450; para tratar 1 m³/hr.
- ❖ Sistema de tratamiento físico-químico para abatimiento de metales pesados presentes en un efluente unificado, sin separación US\$ 96.000; para tratar 4 m³/hr.
- ❖ Sistema de tratamiento de Residuos Industriales Líquidos que incluye filtro prensa y clarificador US\$ 76.700; para tratar 4 m³/hr.

Tecnologías emergentes

❖ **Intercambio Iónico:** Existen dos tipos de unidades de intercambio: catiónicos y aniónicos. La unidad catiónica contiene un tipo específico de resina para remover los iones cargados desde la solución. Los cationes son reemplazados por iones hidrógeno que son desplazados desde la resina.

La unidad de intercambio aniónico contiene una resina que remueve los iones cargados negativamente, tales como cromatos y cianuro. Estos se reemplazan con iones hidroxilo, que se desplazan desde la resina, debiendo ser regenerada con una base fuerte como el hidróxido de sodio. Luego de un tiempo, la capacidad de la resina decrece, debiendo ser regenerada, por ejemplo con ácido sulfúrico. La tecnología de Intercambio Iónico es adecuada para el tratamiento o recuperación de materiales a partir de soluciones muy diluidas. Esta tecnología se puede utilizar para concentrar el electrolito para reutilizarlo en el proceso.

❖ **Técnicas de membranas: La osmosis inversa** es un proceso de separación a presión a través de una **membrana**, en la cual el flujo de residuo líquido alimentado a presión, es separado en un agua reconocida como producto, denominado permeado o permeato, que contiene muy pocas sales y un concentrado o rechazo, rico en sales. Esta separación se debe a una permeación selectiva del agua a través de una membrana semipermeable.

Es una técnica utilizada para recuperar aguas de lavado y para concentración de soluciones, debido a la aplicación de una alta presión (20-30 bar), para forzar a las moléculas del líquido a pasar a través de una membrana semipermeable. Las moléculas grandes no pueden pasar a través de la membrana. Otra técnica, la **Ultrafiltración** tiene como característica que la solución a tratar es filtrada a través de un filtro muy fino con el propósito de remover sólidos, emulsiones y compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Esta tecnología emplea membranas con poros de mayor diámetro que la osmosis inversa y puede operar con una menor presión (ej. 1-8 bar).

Es útil para separar especies químicas de moléculas de mayor tamaño, tales como aceites y sustancias orgánicas disueltas. Se aplica, por ejemplo para remover emulsiones o coloides de baños de desengrase. El agua obtenida por este medio es menos pura que la obtenida por osmosis inversa.

A fin de prevenir daños e impurezas en los módulos de la membrana, es necesario instalar, antes del equipo de ultrafiltración, un estanque en el que sedimenten las partículas sólidas. De esta manera es posible prolongar la vida del baño 10 a 20 veces. Por otra parte, para prevenir obstrucciones, daños e impurezas en las membranas es necesario mantener el mismo contenido de los baños, pues al cambiar las sustancias tensoactivas, aceites y grasas, ocurren los problemas mencionados. La selección de esta alternativa tecnológica es crucial en empresas que desarrollan trabajos a terceros, pues las variaciones son amplias.

❖ **Técnicas de electroflotación:** Proceso utilizado para tratar aguas residuales industriales con presencia de **contaminación** por aceite, metales pesados, emulsiones, especies orgánicas. El sistema puede estar compuesto por un reactor al cual es bombeada agua contaminada, bajo presión. Antes de entrar al reactor, el agua es saturada con aire, oxígeno, ozono o peróxido de hidrógeno, dependiendo de los componentes contaminantes. De esta manera son reducidos los compuestos orgánicos disueltos.

El reactor es un estanque rectangular con equipamiento interno consistente en tuberías y placas metálicas instaladas como electrodos. Los electrodos están fabricados de hierro normal, acero inoxidable, aluminio o grafito, dependiendo de la contaminación. Bajo circunstancias normales los electrodos son seleccionados durante el diseño de la planta y el material no será cambiado durante la operación.

La alta presión de salida en el tubo de alimentación del estanque en conexión con aire presurizado, permite el tratamiento del agua. En el reactor ocurren procesos físico-químicos para separar los contaminantes del agua. Los compuestos orgánicos no disueltos como las emulsiones son separados tanto en el agua como en la fase no acuosa. La fase no acuosa flota en la parte superior del reactor o es capturada por el $\text{Fe}(\text{OH})^2$ o $\text{Al}(\text{OH})^3$ formados en los electrodos.

Por otra parte, los componentes orgánicos disueltos son oxidados o reducidos dependiendo del tipo de electrodo. Los metales pesados disueltos son precipitados y capturados por $\text{Fe}(\text{OH})^2$ o $\text{Al}(\text{OH})^3$. La mezcla agua y lodo de aceite contaminado son separados en compuestos disueltos y no disueltos, en lodo y agua.

En relación a algunos ejemplos de costos asociados a sistemas de tratamientos emergentes de control podría ser mencionado el siguiente:

Sistema de Electroflotación: US\$ 45.000 para 0,1 m³/hr. y US\$ 68.000 para 0,5 m³/hr.

5.6.2.1.2 Suelo

La contaminación del suelo en planta no es relevante, si se procede a aislarlo mediante un pavimento impermeable y resistente a ácidos y álcalis. Un problema puede ser la movilidad de metales pesados en los lodos no depositados en forma controlada, los cuales emigrarían a las napas subterráneas. Los costos asociados a recubrimiento de pisos son:

Plástico reforzado con fibra de vidrio	\$ 14.790 (+ IVA) por m ²
Revestimiento antiácido estervinílico	\$ 90.000 (+ IVA) por m ²

5.6.2.1.3 Emisiones atmosféricas

Para reducir o eliminar los aerosoles se utilizan lavadores de niebla; torres lavadoras empacadas o con atrapa nieblas tipo lamellas; filtros colectores de polvo y en ocasiones pulverizadores de agua. Los costos asociados a control de emisiones atmosféricas son:

Sistema de control mediante instalación de un lavador Venturi

US\$ 60.000 para 1 m³ de aire

5.6.2.2 Disposición final

Los lodos que se obtienen de un proceso de tratamiento de efluentes contiene solamente óxidos e hidróxidos de metales pesados y una gran cantidad de sales neutras, tales como carbonatos, sulfatos y silicatos. Cuando se depositan en un lugar donde una infiltración del suelo no ocurre, no existen problemas con estos lodos.

La descarga de los efluentes post tratamiento no es problemática ya que todas las sustancias tóxicas, al igual que los metales pesados han sido eliminadas. Estas aguas sólo contienen sales neutras.

Costo de tratamiento/disposición: US\$ 200 por tonelada

5.7 Resultados de la evaluación de opciones de mejoramiento

Algunas opciones de mejoramiento implementadas fueron las siguientes:

Tabla XXX Opciones de mejoramiento

Opción	Opciones de mejoramiento	Jerarquización opciones
1	Implementación de baños de enjuague en cascada	Opción de modificación proceso de enjuague
2	Implementación de baño Lancy y neutralización, luego del baño de cromo	Opción de detoxificación integrada a la producción
3	Implementación de sistema Lancy para cianuro	Opción de detoxificación integrada a la producción

La evaluación económica de las opciones antes indicadas es la siguiente:

Tabla XXXI Evaluación económica

Opción	Inversión (ms)	Ahorro bruto anual (ms)	Periodo retorno (meses)	Van (ms)	TIR %
1	1600	2.183	11	7,463	117
2	1200	3.580	6	13,411	255
3	800	2.492	5	9,091	259

CONCLUSIONES

1. Es necesario conocer qué es la electrólisis, para comprender el proceso de fabricación de níquel.
2. Para hacer un diagnóstico de la situación actual de un proveedor que se dedica al proceso de fabricación de níquel, es necesario auxiliarse de gráficas de control.
3. Para que el proceso que se lleva a cabo sea hecho en buenas condiciones, es necesario cumplir con las especificaciones de los materiales, tomar en cuenta la mejor forma de aplicar los compuestos, y hacer el proceso de pulido, preparación de las piezas, desengrase y aplicación del recubrimiento de níquel brillante de la mejor forma.
4. Se estableció que es necesario cuidar los factores que afectan la calidad del recubrimiento como son las instalaciones, y la forma en que se desarrollan las operaciones de pulido de las piezas, preparación y desengrase, efecto del ph, de la densidad de corriente, del tiempo de deposición y de la temperatura de trabajo.
5. Las pruebas que se deben realizar para la determinación de los diferentes aspectos que afectan la calidad son el ph de la solución, la determinación del brillo y la resistencia a la corrosión.

6. Para obtener recubrimientos de níquel brillante de buena calidad, es importante mantener el ph de la solución electrolítica en un nivel de 4.0, la temperatura de trabajo de 55 °C y el tiempo de deposición de las piezas debe ser de 20 minutos. Por otra parte, es importante mantener control sobre los otros subprocesos como el pulido de las piezas, así como la preparación y desengrase de las mismas. Es importante además, mantener los baños cargados en los niveles especificados, para que la calidad sea apropiada.

7. Las opciones de gestión ambiental se basan especialmente en realizar una producción limpia y en llevar control y disposición final.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que el proceso de electrodeposición de níquel brillante es realizado en forma empírica, se carece de un análisis periódico de las soluciones electrolíticas, lo cual incide en la calidad del recubrimiento. Por lo que se recomienda que si las empresas que se dedican a procesar dicho proceso no cuentan con el equipo y el personal calificado, tomen muestras de sus baños y las envíen al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC, para su análisis y se tomen las medidas correctivas que de dicho análisis determinen.
2. Es necesario llevar un control en las condiciones de trabajo que implica el proceso (PH, densidad de corriente, temperatura instalaciones y tiempo de deposición) para poder mantener una calidad aceptable en los recubrimientos.
3. Se debe hacer una revisión constante de los métodos y equipos de trabajo, a fin de ir mejorándolos y corrigiendo deficiencias en el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Krause, Hugo; Galvanoplastia – pruebas, 1987
2. Fontanal R.; El níquel químico Kanigen, Ediciones Cedel, 1965, Cap1
3. Principles of Electroplating and Electroforming 3 Edition. Mc Graw Hill, 1949, Chap. IV And VIII.
4. Estadística aplicada centro regional de ayuda técnica; 1965. Pág. 275-282.
5. Bobadilla Rosales, Horacio; Diseño de un sistema de control de calidad, Administración e Ingeniería. 1981.. USAC Guatemala. Págs. 42 a la 71.
6. Sánchez, Antonio; La inspección y el control de calidad– Editorial Limusa – México 1975 Pág. 212 - 230.
7. Feigenbaum, Control Total de la calidad, ingeniería y administración A.V.. Editorial Continental. México. Pág 725-732
8. BH Ansted, Philip; Procesos de Manufactura, versión SI CECSA. . pp 793 – 798
9. Riera, Jaime; Fontanilla Análisis y control de baños y recubrimientos en Galvanotecnia; Buenos Aires. 1972 Pág. 85-95.
10. Cruz Juan José; Los Electrolitos y el PH Beauregard, México – 1983
11. Formulación y Condiciones de Operación M & T Harshaw. México 1985.
12. APEC. Training Workshop on Cleaner Production for the Metal Finishing Industry.. Taiwan. 1998
13. De Lora, F. y Miró, J. "Técnicas de Defensa del Medio Ambiente", España. 1978.
14. EPA, "The Metal Finishing Industry". Guides to Pollution Prevention. EE.UU. 1992.
15. Hong Kong Productivity Council. .Cleaner Production Technology Manual for Electroplating Industry, 1998.

16. Instituto Politécnico Nacional. .Guías de Producción Más Limpia: 1. Galvanoplastia.. México.1997.
17. INTEC CHILE, "Análisis y Aplicación de Tecnologías en Descontaminación Industrial en Aire, Agua y Suelo", 1992.
18. INTEC CHILE, Proyecto FDI-CORFO/GTZ "Generación de Capacidades Nacionales en Tecnologías Aplicables a Residuos Industriales Líquidos", 1995-2000.
19. Stinson Mary K., "Emerging Technologies for Treatment of Electroplating Wastewaters", 1979.
20. US.EPA/SEDESOL. .La minimización de residuos en la Industria del Acabado de Metales.. EE.UU. 1993.

Referencias electrónicas

21. <http://www.corfo.cl> Corporación de Fomento de la Producción, CORFO.
22. <http://www.conama.cl> Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA.
23. <http://www.sesma.cl> Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, SESMA.
24. <http://www.saludatacama.cl> Servicio de Salud Atacama.
25. <http://www.ssnuble.cl> Servicio de Salud Ñuble.
26. <http://www.saludvald.telsur.cl> Servicio de Salud Valdivia.
27. <http://www.ssvsa.cl> Servicio de Salud Valparaíso y San Antonio
28. <http://www.ssvq.cl> Servicio de Salud Viña del Mar . Quillota.
29. <http://www.siss.cl> Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS.
30. <http://www.emos.cl> Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias, EMOS.
31. <http://www.essat.cl> Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A, ESSAT.
32. <http://www.essco.cl> Empresa de Servicios Sanitarios de Coquimbo S.A, ESSCO.

33. <http://www.esval.cl> Empresa de Obras Sanitarias de Valparaíso S.A, ESVAL.
34. <http://www.essel.cl> Empresa de Servicios Sanitarios del Libertador S.A, ESSEL.
35. <http://www.essam.cl> Empresa de Servicios Sanitarios del Maule S.A, ESSAM.
36. <http://www.essar.cl> Empresa de Servicios Sanitarios de la Araucanía S.A, ESSAR.
37. <http://www.essal.cl> Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos S.A, ESSAL.
38. <http://www.intec.cl> Corporación de Investigación Tecnológica, INTEC-CHILE.
39. <http://www.produccion-limpia.cl> Programa Centro Nacional de Producción Limpia.
40. <http://www.pl.cl> Secretaría Ejecutiva de Producción Limpia, Ministerio de Economía.
41. <http://www.nei.com.br>: Revista NEI, Noticiário de Equipamentos Industriais, Brasil.
42. <http://www.finishing.com>: Industria de tratamientos de superficie, a nivel mundial.
43. <http://aesf.org>: The American Electroplaters and Surface Finishers Society. Inc.
44. <http://www.nmfr.org>: National Metal Finishing Resource Center.
45. <http://www.surface-finishing.com/main.htm>: VerticalNet, Inc. Acquires Industry On Line, Inc.