



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Mejora de procesos y control de calidad en una empresa de  
galvanoplastia**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

Ing. Mario Alberto Rodríguez López

TUTOR:

M. I. Ann Godelieve Wellens Purnal

Facultad de Ingeniería

MÉXICO D. F. MAYO 2015



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Jurado asignado:**

Presidente: M. I. Soler Anguiano Francisca Irene

Secretario: M. I. Hernández García Silvina

1er Vocal: M. I. Wellens Purnal Ann Godelieve

2do Vocal: M. I. Rivera Colmenero José Antonio

3er. Vocal: M. C. Del Moral Dávila Manuel

## **Lugar donde se realizó la tesis:**

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria, México D. F.

Director de tesis:

M. I. Ann G. Wellens Purnal

Nombre

---

Firma

## **Agradecimientos:**

A Dios, por permitirme culminar una etapa más de mi formación profesional.

A mi directora de tesis, la maestra Ann Wellens, por todo el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

A todos mis profesores y compañeros, de quienes aprendí muchas cosas tanto en el ámbito profesional como sobre la vida misma.

A mi familia y amigos por todo el apoyo que siempre me brindaron; especialmente a Cristina Ríos, quien me motivó para iniciar esta nueva etapa en mi vida y siempre me alentó para seguir adelante.

A todo el personal de la empresa donde se realizó el caso de estudio, de quienes recibí gran apoyo y un gran aprendizaje en temas de galvanoplastia.

Mario Rodríguez

Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.

Isaac Newton

## **Índice de contenido**

Resumen.....	8
Capítulo 1. Antecedentes .....	9
1.1 Introducción.....	9
1.2 Problemática .....	10
1.3 Objetivo general .....	11
1.4 Objetivos específicos.....	11
1.5 Justificación.....	11
1.6 Alcances y limitaciones .....	12
Capítulo 2. Marco teórico .....	13
2.1 Galvanoplastia.....	13
2.1.1 Principio químico de la galvanoplastia.....	13
2.1.2 Descripción general del proceso .....	14
2.1.3 Principales contaminantes generados.....	16
2.1.4 Principales problemas a la salud.....	18
2.2 Control de calidad .....	18
2.2.1 El concepto de calidad .....	19
2.2.2 Herramientas para el control de la calidad .....	21
2.3 Análisis y mejora de procesos.....	23
2.3.1 Metodologías de planeación.....	23
2.3.2 Enfoques y técnicas de mejora .....	28
Capítulo 3. Metodología .....	31
3.1 Diagnóstico de la empresa.....	31
3.2 Mejora de procesos.....	32
3.2.1 Mapeo del proceso.....	33
3.2.2 Identificación de los principales problemas presentados.....	33
3.2.3 Identificar las causas que originan los problemas .....	34
3.2.4 Selección de los problemas o situaciones a corregir o mejorar.....	34
3.2.5 Análisis de problemas y elaboración de una propuesta de solución o mejora .....	36
3.2.6 Implantación de las mejoras.....	37
3.2.7 Seguimiento y medición de resultados.....	37
3.3 Control de calidad .....	38
3.4 Seguridad e higiene industrial y medioambiental .....	41

Capítulo 4. Caso de estudio .....	43
4.1 Descripción de la empresa .....	43
4.1.1 Aspectos Generales .....	43
4.1.2 Estructura organizacional .....	47
4.2 Mejora de procesos .....	48
4.2.1 Descripción general del proceso .....	48
4.2.2 Identificación de problemas .....	57
4.2.3 Determinación de las causas que originan los problemas.....	58
4.2.4 Selección de los problemas a corregir.....	64
4.2.5 Propuestas de solución o mejora .....	68
4.2.6 Implantación de las mejoras.....	71
4.2.7 Seguimiento y medición de resultados .....	71
4.3 Control de calidad .....	74
4.3.1 Límites de especificación.....	74
4.3.2 Límites de tolerancia natural.....	75
4.3.3 Índices de capacidad del proceso .....	76
4.3.4 Porcentaje de productos defectuosos .....	77
4.3.5 Conclusión sobre la capacidad del proceso .....	77
4.4 Seguridad e higiene industrial y medioambiental .....	78
4.4.1 Emisión de contaminantes .....	79
4.4.2 Seguridad e higiene industrial .....	80
4.4.3 Recuperación de solución en el proceso de cromado .....	82
4.5 Análisis costo-beneficio .....	82
Conclusiones.....	85
Anexos .....	87
Anexo 1. Tabla periódica de los elementos.....	87
Anexo 2. Tabla de contraste de Kolmogorov – Smirnov .....	88
Referencias .....	89

## Índice de figuras y tablas

Figura 2.1 Recubrimiento electrolítico empleando cobre	13
Figura 2.2 Flujo general de la industria de galvanoplastia y contaminantes generados	17
Figura 3.1 Actividades llevadas a cabo para la mejora de procesos	38
Figura 3.2. Metodología aplicada	42
Figura 4.1 Pieza fabricada de tubular redondo (a) y cuadrado (b)	44
Figura 4.2 Piezas rectas	45
Figura 4.3 Piezas con dobleces	45
Figura 4.4 Pieza grande (a), mediana (b) y chica (c)	45
Figura 4.5 Distribución de planta de la empresa	46
Figura 4.6 Organigrama de la empresa	47
Figura 4.7 Diferentes tipos de fieltros: lisos (a) y acanalados (b)	50
Figura 4.8 Rueda de sisal	51
Figura 4.9 Diagrama de flujo general	56
Figura 4.10 Diagrama causa efecto para errores en pulido	59
Figura 4.11 Diagrama causa efecto para errores en niquelado	60
Figura 4.12 Diagrama causa efecto para errores en cromado	61
Figura 4.13 Diagrama causa efecto para entregas tardías	62
Figura 4.14 Diagrama causa efecto para falta de agua	63
Tabla 2.1 Recubrimientos electrolíticos, propiedades y aplicaciones	15
Tabla 2.2 Problemas tipo y sus características	24
Tabla 3.1 Código de color empleado para la clasificación de problemas	36
Tabla 4.1 Piezas comúnmente trabajadas	43
Tabla 4.2 Tiempos aproximados para el proceso de pulido	52
Tabla 4.3 Tiempos aproximados para el proceso de lavado	53
Tabla 4.4 Tiempos aproximados para el proceso de desengrase	53
Tabla 4.5 Tiempos aproximados para el proceso de niquelado	54
Tabla 4.6 Tiempos aproximados para el proceso de cromado	55
Tabla 4.7 Evaluación de factibilidad para los problemas a corregir	64
Tabla 4.8 Puntos de identificación e impacto de los errores detectados	65
Tabla 4.9 Grado de impacto asignado a cada causa	66
Tabla 4.10 Clasificación de problemas por color	67
Tabla 4.11 Errores seleccionados para corregir o mejorar	68
Tabla 4.12 Piezas que deben retrabajarse	72
Tabla 4.13 Grosor de material aplicado en el niquelado	75



## **Resumen**

El presente trabajo fue elaborado en una microempresa del giro de la galvanoplastia, la cual se dedica al cromado de piezas metálicas empleadas principalmente para la fabricación de muebles. El fin del proyecto fue identificar los principales problemas de producción a los que se enfrenta la empresa, para posteriormente generar una serie de recomendaciones de mejora, de las cuales se seleccionaron las más factibles para implementarlas. Una vez aplicadas se midieron los resultados para determinar si las recomendaciones tuvieron efectos positivos.

El trabajo realizado contempla tres enfoques: análisis y mejora de procesos, control de calidad y seguridad e higiene industrial y medioambiental. El primero de ellos se aplicó buscando eliminar errores en los procesos, los cuales provocaban retrabajo de piezas; el control de calidad se aplicó buscando medir la efectividad del proceso de niquelado respecto al grosor de material depositado; finalmente se evaluaron las actividades de la empresa respecto al cuidado del medio ambiente y el cumplimiento de medidas de seguridad e higiene industrial dentro de sus instalaciones.

Como resultado del estudio fue posible disminuir el número de piezas retrabajadas. Se identificó que el proceso es estadísticamente centrado pero que tiene mucha variabilidad; sin embargo, por el tamaño de la empresa y la forma artesanal de producción, así como el costo del equipo de medición requerido, no se incluyó una propuesta para la disminución de esta variación. Así mismo, se incluyen propuestas de equipo de protección personal y algunos métodos tradicionalmente empleados por otras empresas para reducir la emisión de contaminantes y tóxicos.

## **Capítulo 1. Antecedentes**

### **1.1 Introducción**

En México, como en otros países a lo largo de todo el mundo, las PyMES se han convertido en las principales generadoras de empleo e ingresos, llegando a ser los principales impulsores del crecimiento de la economía de una nación al incrementar su competitividad tanto interna como externa.

En muchos países las PyMES han sido una respuesta efectiva a problemas económicos, convirtiéndose en la fuente principal de su crecimiento y desarrollo. Un ejemplo sobresaliente se sitúa en Europa a finales de la Segunda Guerra Mundial, en la cual resultó destruida más de la mitad de su infraestructura física y económica, siendo necesario levantar toda la estructura rápidamente; la solución para reactivar la economía fue el desarrollo de las PyMES.

En Latinoamérica las PyMES son importantes debido a su alta participación en el total de empresas, además de que generan un porcentaje muy elevado de empleos y tienen una significativa aportación al Producto Interno Bruto (PIB).

Aunque las PyMES se han convertido en los principales impulsores del crecimiento económico de muchas naciones, se ven obligadas a trabajar en condiciones desfavorables que se han ido agravando con la globalización y la apertura de las grandes cadenas comerciales.

El auge de las PyMES en México se remonta a las décadas de los 50's y 60's con el modelo de sustitución de importaciones, el cual les permitió llevar un proceso de aprendizaje en el mercado interno, obteniendo importantes logros pero con limitaciones en materia de equipamiento, organización, capacitación e información. Al quedar fuera de la visión internacional pasaron por una etapa de crisis que persistió hasta los 80's. A partir de la década de los 90's se han creado políticas de apoyo a las PyMES mexicanas; sin embargo, éstas no produjeron el desarrollo esperado debido a que no fueron del todo acertadas, solo favorecieron a la mediana y gran empresa, y por otra parte generaron desempleo y endeudamiento del sector privado.

Como resultado de la difícil situación económica surgen en México miles de pequeños negocios que lograron mantener su economía a flote con base en el ingenio y la perseverancia. En el año 2003 se crea en México la Subsecretaría para la Pequeña y Mediana Empresa (SPyME) con el propósito de crear, consolidar y desarrollar las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas en el país.

Pese a los esfuerzos realizados, la situación de las PyMES en México sigue siendo desfavorable, los programas impulsados se enfocan principalmente en financiamiento y dan poca importancia a la capacitación y profesionalización, lo

cual limita sus capacidades de crecimiento y sus posibilidades de competir en el mercado interno y externo.

Actualmente, las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyMES) constituyen el 90% de las empresas de México, lo que las coloca como el pilar principal en la economía del país. Las MiPyMES generan el 72% del total de empleos y contribuyen con un 83% del Producto Interno Bruto (PIB) (Consejo de la comunicación, 2015).

Las MiPyMES son en su mayoría negocios administrados por una sola persona, la cual se ve obligada a realizar actividades administrativas, técnicas, comerciales y financieras, generando esto una serie de problemas en todos los aspectos antes mencionados. El cumulo de estos problemas dificulta el desarrollo de la empresa y limita su nivel de competitividad.

En un estudio realizado a 4 millones de MiPyMES mexicanas se encontró que:

- El 65% son de carácter familiar
- Más de 80% no cuenta con algún tipo de certificación
- Cerca de 50% no utiliza técnicas en calidad o productividad
- Sólo 24 % maneja alguna licencia o patente

Lo anterior refleja que la capacidad de este tipo de empresas para administrar, supervisar y controlar es muy restringida (Grupo Monitor, 2015).

Considerando lo expuesto anteriormente se decidió trabajar en una microempresa, con el objetivo de apoyarla en aspectos relacionados con el control de calidad y la mejora de procesos. La empresa seleccionada se ubica en Ecatepec, Estado de México, y se dedica al pulido y cromado de piezas metálicas que se emplean principalmente en la fabricación de muebles.

## **1.2 Problemática**

La empresa en cuestión ha presentado durante el último año un incremento en su número de clientes y por consiguiente en sus niveles de producción. La competencia en el mercado está basada en la calidad que se ofrece y en el tiempo de entrega, lo cual ha obligado al dueño de la empresa a buscar formas de mejorar sus niveles de producción manteniendo la calidad que hasta el momento les caracteriza.

Es importante destacar que su cartera de clientes incluye algunos situados a distancias considerables, lo cual los obliga a tener listos los trabajos de estos clientes en la fecha acordada con un margen mínimo de retraso. Aunado a esto

existen clientes que suelen solicitar trabajos urgentes, cuestión que los ha obligado a reducir sus tiempos de entrega.

Otro aspecto importante del ámbito competitivo en el cual se desarrolla la empresa es el precio: las piezas trabajadas se cotizan unitariamente; el precio depende principalmente del tipo de acabado solicitado para cada pieza, aunque también afectan las condiciones en que se reciben las piezas, por ejemplo: si tienen rebabas, están oxidadas, etc.

### **1.3 Objetivo general**

Detectar oportunidades de mejora en un proceso de galvanoplastia para piezas metálicas empleadas en la fabricación de muebles, a partir del análisis del proceso; así mismo proponer soluciones de mejora y alternativas para incrementar la eficiencia e impulsar la competitividad de la empresa.

### **1.4 Objetivos específicos**

1. Realizar un mapeo del proceso actual para identificar los puntos de mejora
2. Proponer e implementar medidas para reducir la cantidad de piezas que debe retrabajarse por no cumplir con los estándares definidos
3. Proponer e implementar medidas para minimizar el tiempo de trabajo mediante la implementación de mejoras en los procesos realizados
4. Realizar un estudio sobre la capacidad de los procesos de galvanoplastia, con lo cual se buscará generar conciencia en la empresa de la importancia que tiene el control estadístico de calidad para mejorar la efectividad de sus procesos
5. Mejorar la perspectiva de la empresa en temas de seguridad e higiene industrial y medioambiental

### **1.5 Justificación**

El presente trabajo se realizó como una respuesta de apoyo ante la inquietud del dueño de la empresa por mejorar sus métodos de trabajo y ser más eficiente dentro de su nicho de mercado. La propuesta para trabajar en esta empresa fue aceptada debido a las estadísticas existentes sobre las PyMES mexicanas, las cuales en muchos casos trabajan bajo condiciones adversas, con recursos escasos y poca capacitación. Por lo anterior resulta interesante trabajar en apoyo a esta clase de empresas, además de que se busca que el proyecto sea verdaderamente útil para la empresa y se convierta en el impulsor para su profesionalización.

## **1.6 Alcances y limitaciones**

En el presente trabajo se incluirá el mapeo de los procesos llevados a cabo en la empresa, se identificarán los principales problemas y se implementarán acciones para dar solución a aquellos que sean más factibles, considerando el impacto de los resultados esperados y la complejidad para su ejecución. Se incluirá además un estudio estadístico sobre el espesor de material aplicado en el proceso de niquelado, una de las principales características de calidad de este tipo de trabajo; el objetivo será determinar si la empresa trabaja dentro de los estándares establecidos por ellos mismos. Finalmente se incluirán recomendaciones relacionadas con seguridad e higiene industrial y medioambiental, las cuales buscarán minimizar el riesgo de accidentes y enfermedades en el área de trabajo y reducir en la medida de lo posible el impacto al medio ambiente.

## Capítulo 2. Marco teórico

### 2.1 Galvanoplastia

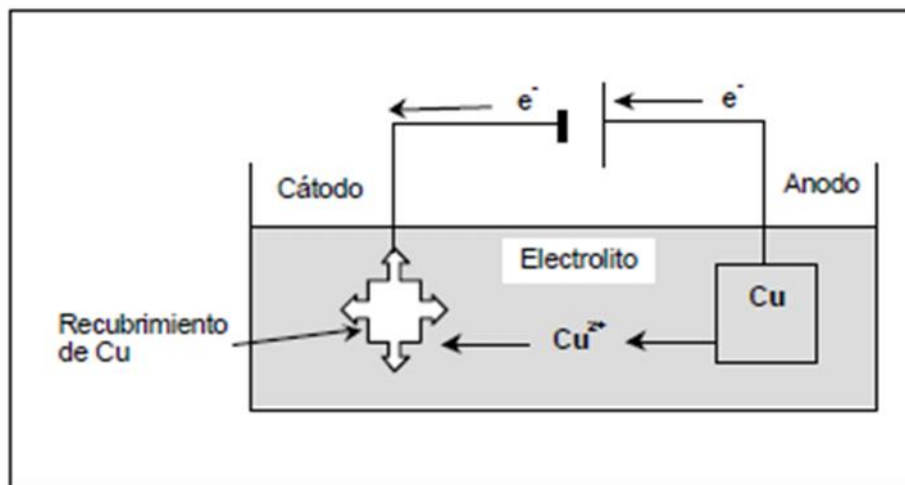
Debido a que el caso práctico del proyecto se aplicará en una empresa de galvanoplastia, a continuación se incluye una descripción general de este proceso.

#### 2.1.1 Principio químico de la galvanoplastia

El principio de los métodos de recubrimiento electrolítico o también llamados galvánicos, consiste en depositar por métodos electroquímicos finas capas de metal sobre la superficie de una pieza, la cual es sumergida en una solución de agua con iones metálicos o electrolitos, al conectar una fuente externa de corriente directa. En el recubrimiento electrolítico se tiene una solución hídrica de la sal del metal que se desea aplicar (níquel, cobre, etc.); en esta solución el metal está presente en forma de iones y corresponde al ánodo, la pieza que se va a recubrir se convierte en el cátodo, que es donde se lleva a cabo la reducción de los iones a metal. La pieza a recubrir se sumerge en la solución hídrica y se conecta a una fuente externa de corriente directa, la cual genera el flujo de electrones. La oxidación se lleva a cabo en el ánodo formando oxígeno y con el flujo de la corriente el metal con que se va a recubrir se disuelve.

El espesor que tendrá la capa del recubrimiento depende del tiempo de permanencia en el baño electrolítico, llegando a alcanzar un espesor de hasta  $100\mu\text{m}$  (Comisión Ambiental Metropolitana, 1998).

La siguiente figura muestra el proceso del recubrimiento electrolítico con cobre:



**Figura 2.1 Recubrimiento electrolítico empleando cobre**  
Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana, 1998

## 2.1.2 Descripción general del proceso

Se pueden distinguir dos fases principales en el proceso galvanoplástico: el tratamiento previo y los recubrimientos. Existen diferentes tipos de tratamiento previo que se pueden aplicar, a continuación se describen los más comunes.

### 2.1.2.1 Tratamiento previo

Antes de aplicar el proceso electrolítico o galvánico a una pieza, es necesario asegurarse que ésta se encuentre libre de impurezas como grasa y óxidos, además se deben eliminar todas las rebabas y asperezas. Los procedimientos de preparación se dividen en dos tipos de acuerdo con su naturaleza:

#### a) Pre-tratamiento mecánico de las superficies:

Su principal función es eliminar rebabas, asperezas y porosidades; además de dar brillo a la pieza. Se puede dividir en pulido y esmerilado; el primero elimina los desperfectos en las piezas y el segundo les da brillo.

#### b) Pre-tratamientos químicos de las superficies:

Su principal objetivo es desprender todos los contaminantes que la pieza pueda tener. Existen diferentes tipos, los más comunes son los siguientes:

- ✚ Desengrasado: elimina todos los residuos de grasas, aceites, emulsiones de corte y otras sustancias como refrigerantes y lubricantes. Puede llevarse a cabo con solventes o en base acuosa.
- ✚ Decapado: elimina el óxido que se forma en las piezas debido a su contacto con la atmósfera. Puede realizarse con ácido o bien por medio de una solución alcalina.
- ✚ Activado: se utiliza para eliminar la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del metal una vez que la superficie ha sido tratada o lavada en sucesivas etapas. Esa pequeña capa de óxido hace que la superficie sea pasiva y por lo tanto mala conductora. Generalmente se emplean soluciones de ácidos muy diluidos. Con el activado se pueden eliminar también manchas generadas por compuestos orgánicos y/o inorgánicos.

Es importante seleccionar los métodos adecuados, para ello deberá considerarse el tipo y tamaño de la pieza, el grado de remoción de impurezas deseado y la tecnología que se tenga disponible.

### 2.1.2.2 Recubrimiento galvanoplástico

El recubrimiento galvanoplástico puede realizarse con diversos materiales, cada uno adiciona al material tratado diversas propiedades.

A continuación se presenta una tabla que resume las propiedades que proporcionan los diferentes tipos de recubrimientos metálicos comúnmente empleados en procesos galvanoplásticos y las principales aplicaciones que se da a cada uno de ellos.

**Tabla 2.1 Recubrimientos electrolíticos, propiedades y aplicaciones**

<b>Métales y aleaciones</b>	<b>Propiedades</b>	<b>Aplicaciones</b>
Cr, Ni, Sn, Au, Zn, Rh, Cd	Protección anticorrosiva	Piezas automotrices
Cr, Fe, Ni	Síntesis de material en una superficie	Restauración de piezas gastadas o maltratadas
Cr, Au, Ag, Pt, Ni, 70:30 Cu-Zn	Mejoramiento estético de las superficies	Alhajas, vajillas
Cr, Ni, Fe, Sn, Ru, Pd	Protección contra el desgaste	Rodillos, pistones, contactos, apagadores
Cr, Ru, Os	Dureza	Moldeado, prensado
Cr, Rh, Au	Reflexión (óptica o térmica)	Lámparas, proyectores, escudos
Cu, Ag, Au	Conductividad eléctrica	Circuitos impresos, antenas, cables
Cu, 65:35 Sn-Ni	Retención de aceite	Sistemas hidráulicos
Ni, Sn, Cd, 60:40 Sn-Pb	Capacidad para soldarse	Circuitos impresos, contactos eléctricos
Ag, Au, Rh, Pd, Sn, 80:20 Pd-Ni	Poca resistencia al contacto	Contactos eléctricos

**Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana, 1998**

Para mayor información de los elementos químicos puede consultarse la tabla periódica en el Anexo 1.

En la empresa caso de estudio se aplican recubrimientos de cromo y níquel; a continuación se describen sus principales propiedades:

#### **Recubrimientos de níquel**

El níquel tiene las siguientes propiedades: protección anticorrosiva, síntesis de material en una superficie, mejoramiento estético de la superficie y protección contra el desgaste.

El proceso de niquelado se lleva a cabo principalmente para brindar protección superficial en las piezas, con fines decorativos y como recubrimiento previo antes del cromado y de otros acabados.



Los materiales que pueden niquelarse directamente son: cobre, aleaciones de cobre, hierro y acero; también se puede aplicar en estaño, zinc y plomo; sin embargo, en estos casos se tiene que aplicar una capa de cobre previamente.

### **🚧 Recubrimientos de cromo**

Existen dos tipos de recubrimiento con cromo: el cromado brillante o decorativo y el cromado duro.

En el cromado brillante se depositan capas de cromo delgadas y brillantes que tienen un efecto decorativo, además de dar protección anticorrosiva; se aplica sobre capas intermedias de níquel.

El cromado duro se aplica principalmente para aumentar la dureza de herramientas y para incrementar la resistencia al desgaste de moldes, válvulas, etc. En el cromado duro se depositan capas de cromo de mayor espesor a temperaturas elevadas.

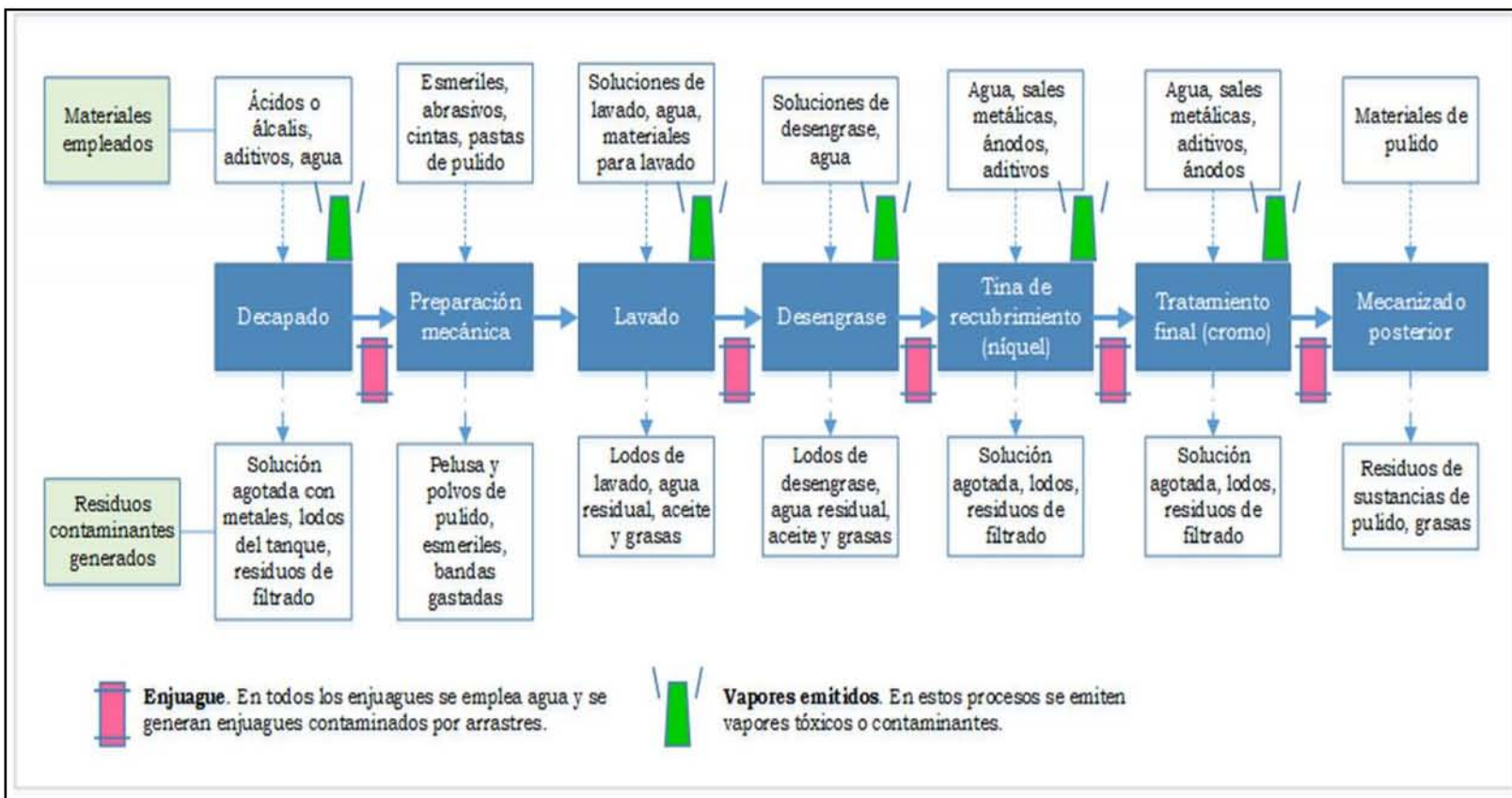
#### **2.1.3. Principales contaminantes generados**

Los residuos generados por empresas de galvanoplastia son muy variados, siendo posible generalizar tres tipos (Comisión Ambiental Metropolitana, 1998):

- Partículas suspendidas en el aire por procesos de preparación mecánica (esmerilado y abrillantado)
- Residuos de sustancias tóxicas empleadas en los procesos químicos, los cuales están contenidos en lodos, aguas de enjuague y soluciones agotadas
- Vapores tóxicos emitidos en los procesos químicos durante la ejecución de los procesos y cuando las tinas están en reposo

La figura 2.2 presenta un diagrama que muestra los principales contaminantes emitidos en cada parte del proceso general que se lleva a cabo para la aplicación de recubrimientos galvanoplásticos:

Figura 2.2 Flujo general de la industria de galvanoplastia y contaminantes generados



La contaminación más importante de los procesos galvanoplásticos tiene que ver con las sustancias químicas empleadas; como se ha mencionado anteriormente se produce en todo momento, aun cuando no se esté llevando a cabo ningún proceso. Este tipo de contaminantes representa un riesgo directo para los trabajadores y para el medio ambiente, además de representar un riesgo indirecto para la población cercana a los lugares de trabajo.

*Dentro de la empresa en cuestión, las principales sustancias químicas empleadas son cromo y níquel.*

#### **2.1.4 Principales problemas a la salud**

La Comisión Nacional del Medio Ambiente de Chile (2000) menciona que los principales problemas de salud y seguridad en industrias de galvanoplastia son los siguientes:

- **Efectos del cadmio:** perturbación aguda y crónica en el sistema respiratorio, disfunción renal, tumores testiculares, hipertensión, arteriosclerosis, inhibición en el crecimiento, cáncer.
- **Efectos del cromo hexavalente:** cáncer pulmonar, cáncer gastrointestinal, enfermedades de la piel, úlceras, perforaciones de tabique nasal, complicaciones respiratorias.
- **Efectos del plomo:** interferencia en el proceso de formación de elementos sanguíneos, daños al hígado y riñón, efectos neurológicos, afecciones a la piel, anemia.
- **Efectos del níquel:** enfermedad respiratoria, defectos y malformaciones en el nacimiento, cáncer pulmonar, cáncer nasal.
- **Efectos del cianuro:** daños en sistema respiratorio, mortalidad.

#### **2.2 Control de calidad**

En la actualidad las empresas se enfrentan a un gran número de competidores, cada uno de los cuales lucha por lograr la mejor oferta, aquella que resulte más atractiva para los clientes potenciales. Un parámetro importante que debe considerar la oferta es la calidad de los productos. Las empresas de galvanoplastia no son ajenas a este concepto, razón por la cual a continuación se presenta una descripción del concepto de calidad y las herramientas comúnmente empleadas para su control.

## 2.2.1 El concepto de calidad

En su concepción más sencilla, el concepto de calidad se refiere al cumplimiento de especificaciones en la fabricación de un producto o en la prestación de algún servicio; sin embargo, la evolución misma de la sociedad con los avances tecnológicos y la ampliación del conocimiento, aunado además a la alta competitividad que se desarrolla en todos los tipos de mercado, han orillado a las empresas a desarrollar un concepto de calidad más amplio, en el cuál se considera la satisfacción de las necesidades del cliente, el cumplimiento de especificaciones, la innovación, el precio y el tiempo de entrega, entre otros factores.

Se ha evolucionado de un concepto simple de calidad, en el cual se podía garantizar el cumplimiento con la revisión de especificaciones (*control de calidad*), a un concepto complejo que involucra el trabajo y compromiso de toda la empresa para lograr un bien que satisfaga todas las demandas del cliente, además de tener características que lo hagan competitivo y a un precio adecuado según la oferta del mercado (*control total de la calidad*).

Algunas definiciones de calidad encontradas en la literatura son las siguientes:

- *Calidad es lo que el cliente está dispuesto a pagar en función de lo que obtiene y valora (Pola, 1999).*
- *Satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente (Tarí, 2000).*
- *Producto o servicio que está libre de deficiencias (Besterfield, 2009).*
- *Grado con el que un conjunto de características inherentes cumple los requisitos (ISO 9000:2000).*
- *Es el juicio que el cliente tiene sobre un producto o servicio, resultado del grado con el cual un conjunto de características inherentes al producto cumple con sus requerimientos (Gutiérrez y de la Vara, 2009)*

Con base en las definiciones anteriores se puede establecer que el término calidad se refiere a las características de un producto o servicio que son capaces de satisfacer las demandas de los clientes y que además cumplen las especificaciones de diseño; estas características no están limitadas sólo a las características del producto o servicio en sí, además involucran todos aquellos aspectos de servicio en el proceso de compra-venta como son: tiempo de entrega, garantía, calidad y rapidez en el servicio postventa, disponibilidad del producto o servicio, etcétera.

El termino satisfacción del cliente significa que un producto o servicio cumple con las características que el comprador desea obtener y carece de deficiencias (Tarí,

2000). Esto implica que para lograr la satisfacción del cliente es necesario considerar todos los aspectos que considera necesarios o importantes.

Considerándolo desde otro punto de vista, la satisfacción del cliente dependerá también de la diferencia entre las expectativas del cliente y la percepción del mismo respecto al bien o servicio recibido. Si las expectativas del cliente son mayores que lo que percibe del bien recibido, el cliente quedará insatisfecho; si por el contrario, lo que percibe el cliente supera sus expectativas, o incluso estando en el mismo nivel, el cliente quedará satisfecho.

El concepto de calidad es generalmente difícil de definir debido a que puede tener diferentes niveles, concepciones o incluso percepciones; de este modo lo que puede ser de calidad para una persona puede no serlo para otra. Por lo mismo puede haber productos considerados de calidad sin ser productos de alto nivel y puede haber productos de alto nivel que no sean considerados de calidad por alguna característica que no gusta a los clientes.

Al respecto (Reyes, 2009) distingue tres niveles diferentes de calidad:

- a) *Calidad que se espera* (implícita): características mínimas que los clientes dan por supuestas y por tanto no solicitan explícitamente. Por ejemplo la recepción de un teléfono celular.
- b) *Calidad que satisface* (explícita): características que los clientes solicitan explícitamente y que en su conjunto satisfacen sus expectativas. Por ejemplo las dimensiones o el color en un teléfono celular.
- c) *Calidad que deleita*: características positivas que los clientes no solicitan porque desconocen que puede existir. Por ejemplo los íconos del menú en un teléfono celular.

Cada empresa define la importancia y la trascendencia que tendrá el concepto de calidad en su forma de trabajar, al respecto se tienen los siguientes conceptos:

- De acuerdo con la definición de los Japanese Industrial Standards (Z8101-1981), el **control de calidad** es un “*sistema de medios para producir económicamente bienes o servicios que satisfagan los requisitos del cliente*” (Imai, 2001).
- Para el doctor Kaoru Ishikawa un auténtico **control de calidad** consiste en “*desarrollar, diseñar, producir y servir un producto o servicio de calidad, el cual debe ser lo más económico posible, útil y siempre satisfactorio para el cliente o usuario*” (Pola, 1999).
- La **administración de la calidad total** (TQM, de Total Quality Management) “*es al mismo tiempo una filosofía y un conjunto de principios conductores que representan la base de una organización en mejora*”

*continua. Es la aplicación de métodos cuantitativos y de recursos humanos para mejorar todos los procesos de una organización y para exceder las necesidades del cliente, ahora y en el futuro” (Besterfield, 2009).*

- **Gestión de la calidad:** “actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización en lo relativo a la calidad”. Generalmente incluye el establecimiento de la política de calidad y los objetivos de la calidad, la planificación de la calidad, el control de la calidad, el aseguramiento de la calidad y la mejora de la calidad (ISO 9000:2005).

## 2.2.2 Herramientas para el control de la calidad

A continuación se describen las herramientas más comunes que se aplican al control de calidad; algunas de ellas son de fácil aplicación y pueden generar resultados útiles, razón por la cual resultan una buena opción para implementarse en aquellas empresas donde no se cuenta con grandes recursos técnicos, como lo son las pequeñas empresas. Puede consultarse mayor información sobre las herramientas de control de calidad en diversas fuentes bibliográficas, como por ejemplo UNIT (2009) y Gutiérrez y de la Vara (2009).

### **Lista de errores o checklist**

Consiste en una lista de errores y su frecuencia de aparición. La lista de errores tiene la ventaja de ser una herramienta sencilla y de fácil aplicación, se puede implementar rápidamente y cualquier persona dentro de la empresa podría aplicarla. Si se realiza correctamente puede dar un panorama general de los problemas más frecuentes que se presentan en la empresa.

### **Histograma**

Es una representación gráfica de una variable en forma de barras, donde la superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados. Generalmente en el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de las variables. Para realizar el histograma puede tomarse como base una lista de errores. Permite visualizar la distribución de probabilidad correspondiente a los datos obtenidos.

El histograma puede emplearse para diversos fines, algunos de ellos son: determinar los valores centrales y la dispersión de alguna característica, representar de forma aproximada la distribución de probabilidad de una serie de datos, clasificar y representar de forma clara una gran cantidad de datos.

### **Diagrama de correlación**

Es una herramienta gráfica que permite identificar la relación existente entre dos clases de datos y cuantificar la intensidad de dicha relación. Permite conocer si

efectivamente existe una correlación entre dos magnitudes o parámetros de un problema y en su caso, identificar el tipo de correlación que presentan.

Una vez que se ha realizado la gráfica pueden emplearse técnicas estadísticas para determinar si existe o no relación entre las variables; las herramientas estadísticas más empleadas son la recta de regresión y el coeficiente de correlación lineal.

### **Diagrama de control**

Es la representación gráfica del cambio temporal de una variable de proceso.

Existen dos tipos de variaciones: aquellas que son inevitables y que suceden bajo condiciones normales y las que pueden deberse a una causa, llamadas anormales. Los diagramas de control permiten detectar tendencias anormales e identificar la presencia de errores sistemáticos.

### **Diagrama de Pareto**

Es un gráfico de barras cuyo campo de análisis y aplicación son los datos categóricos, tiene como objetivo ayudar a identificar él o los problemas más importantes, así como sus principales causas. Es de gran utilidad ya que permite cuantificar y graficar la frecuencia de las causas de reclamos o fallas, en orden de mayor a menor importancia. Generalmente se observa el *principio de Pareto*, el cual establece que el 20% de las causas generalmente generan el 80% de los defectos.

### **Diagrama causa efecto**

El diagrama de Ishikawa o de causa–efecto es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con las posibles causas principales y sub-causas que lo generan. Es útil debido a que permite identificar las fuentes o incluso soluciones de un problema. Permite además visualizar la relación entre las causas que generan el problema. La identificación de las posibles causas puede llevarse a cabo mediante la técnica de *Lluvia de ideas* (brainstorming).

### **Lluvia o tormenta de ideas**

Es una técnica que busca que todos los miembros de un grupo participen libremente y aporten ideas sobre determinado tema o problema. Esta técnica es de gran utilidad para el trabajo en equipo ya que permite la reflexión y el dialogo respecto a un problema. Su principal propósito es generar una gran cantidad de ideas.

## 2.3 Análisis y mejora de procesos

El análisis y mejora de procesos es un conjunto de herramientas que puede ser de gran utilidad cuando se busca mejorar las condiciones de funcionamiento de una empresa. En el presente trabajo se aplicará esta técnica con el fin de reducir los errores en el proceso y de esta manera evitar el retrabajo de las piezas.

Si bien la metodología general del análisis y mejora de procesos se puede adecuar para aplicarse a cualquier problema, existen dentro de la literatura una diversidad de enfoques que buscan dar solución a problemas específicos. A continuación se presenta una propuesta para la solución de problemas de diversos tipos (Fuentes, 2002). La mejora de procesos del presente trabajo se respaldará en las técnicas aquí presentadas.

### 2.3.1 Metodologías de planeación

La planeación en su nivel más elemental puede ser entendida como “*aquella actividad en la que un sujeto busca como actuar sobre un objeto para cambiarlo de acuerdo con ciertos propósitos*”.

El proceso de planeación está condicionado por tres factores: el sujeto, el objeto y los propósitos.

✚ **El sujeto.** Se han identificado cuatro formas básicas, cada una de las cuales incide de forma diferente:

- a) *Decisor único:* la planeación tiene un carácter técnico
- b) *Procesos grupales:* se busca la participación y el consenso en la planeación
- c) *Grupos de poder:* la planeación es vista como una mezcla de análisis, negociación y conflicto
- d) *Sectores sociales:* la planeación es parte de un proceso político

✚ **El objeto.** Se clasifica según su grado de complejidad con las implicaciones siguientes:

- a) Objeto relativamente simple: permite aplicar métodos bien programados y construir soluciones detalladas
- b) Objeto altamente complejo: solo es posible obtener un conocimiento fragmentado o superficial, lo que lleva a la aplicación de métodos de mayor generalidad

✚ **Los propósitos.** Impulsan al sujeto a intervenir en el objeto; se han identificado cuatro posibilidades, cada una de las cuales conduce a modos diferentes de planear:

- a) Corregir o mejorar la operación del sistema



- b) Fortalecer la competitividad de la organización
- c) Aprovechar las oportunidades o responder a las amenazas futuras
- d) Idear y dar concreción al rumbo deseado para la organización

Antes de iniciar cualquier proceso de planeación es necesario identificar el tipo de problema que se analizará, de esta forma es posible identificar la metodología que más conviene aplicar. Combinando los tres factores que condicionan el proceso de planeación se definen los siguientes problemas tipo:

**Tabla 2.2 Problemas tipo y sus características**

Tipo de problema	Características	
Operacionales	Se parte del supuesto de que el objeto es cognoscible y de que es posible alcanzar unos criterios únicos o comunes, por lo que únicamente varía el punto de partida de la planeación	Los requerimientos que se tienen y las metas de la planeación son esencialmente diferentes
De competencia		
De oportunidades y amenazas		
De cambio normativo		
De ideación de opciones		Ya se tiene un avance en la solución
De evaluación		
De asignación y regulación		
De alta complejidad	Sólo es posible obtener un conocimiento parcial o superficial de la situación	
De negociación y conflicto	No es posible lograr la confluencia de puntos de vista por los medios convencionales en la planeación.	

Elaborado con base en la clasificación de problemas de Fuentes, 2002

Una vez que se ha definido el tipo de problema que se presenta, es necesario elegir la metodología de aplicación más conveniente. Fuentes propone una metodología para cada tipo de problema, en este documento se abordarán solo los problemas operacionales, los cuales clasifica como: procesos de mejora, métodos causales y métodos funcionales.

### 2.3.1.1 Procesos de mejora

De acuerdo con Fuentes, esta técnica consiste en invitar al personal para que en forma activa use sus conocimientos y habilidades para mejorar su propia área de trabajo, sin importar cuan pequeños sean los cambios que se lleguen a plantear.

Los tres *factores clave* que se deben cuidar para darle vida a estos procesos de mejora son:

- a) *Crear una cultura de mejora*, la cual atraiga una genuina atención de las personas, a la vez que lleve a reconocer que aun los problemas pequeños son importantes y que siempre hay un espacio para la mejora
- b) *Proceso simple y rápido*. Se debe implementar un procedimiento de análisis amigable que favorezca la participación, con un lenguaje simple y pasos claros que todos capten de inmediato
- c) *Respuesta rápida*. Es necesario estructurar un sistema que reúna y dé respuesta rápida a las propuestas de cambio, para su pronta puesta en marcha

Aunque los procedimientos de mejora propuestos por los diversos autores de la literatura clásica tienen gran variación en su contenido y forma, generalmente contienen las 5 etapas que se citan a continuación:

#### 1. Detección de problemas

El punto de partida es observar diaria y detenidamente la propia área de trabajo y hacerse distintos cuestionamientos para localizar problemas aún donde parezca que no los hay.

#### 2. Registro de problemas

Es necesario capturar por escrito los problemas, esto es, cualquier cosa que parezca frustrante, difícil, inconveniente, mejorable, etc., incluso cuando no venga a la mente ninguna solución. El registro debe realizarse en un formato sencillo, es recomendable añadir a la descripción por escrito un gráfico que ilustra la situación.

#### 3. Elaboración de propuestas

El paso que sigue es dar cauce a la imaginación y preguntarse cómo intervenir, qué pasaría si se hiciera algún cambio particular, etc., sin dudar en pedir ayuda o comentarlo con otras personas. La propuesta que surja se incluye en el formato anterior, anotando los costos y beneficios esperados, para luego remitirla a un centro de sugerencias.

#### 4. Aprobación y puesta en marcha

Las ideas que lleguen al centro de sugerencias deben ser valoradas, para que en caso de que se estimen de interés hacer su prueba y llevarlas a la práctica tan pronto como sea posible, con la participación de quien o quienes formularon la propuesta.

#### 5. Seguimiento

Es necesario vigilar los resultados que se vayan dando y hacer los ajustes necesarios hasta cumplir con lo que se quiere.

### 2.3.1.2 Métodos causales

Los métodos causales están dirigidos a aquellos casos en los que se detectan ciertas fallas o se buscan ciertas mejoras, las fallas o los puntos de mejora se conciben como el efecto visible de alguna causa que es necesario precisar, para luego buscar cómo actuar sobre ella y así dar solución al problema planteado.

Para identificar la causa de los problemas es conveniente emplear herramientas de apoyo como son el diagrama Ishikawa, la cadena causa efecto y los diagramas de relaciones.

Una vez que se ha identificado él o los problemas es necesario plantear una solución. Las alternativas de solución pueden ser de dos tipos:

- *Aquellas que alivian los efectos.* Son más fáciles de identificar y aplicar, además de que los resultados son más rápidos y visibles, aunque con frecuencia su valor es limitado, ya que como las causas no se alteran, los problemas pueden volver a presentarse e incluso agravarse
- *Aquellas que van al origen del problema.* Aunque pueden ser más difíciles de identificar y aplicar y los resultados ser más tardados, las mejoras que se obtienen se suponen más efectivas y duraderas

Los diversos autores manejan prácticamente el mismo procedimiento para el análisis y solución de los problemas causales, los pasos que contemplan son los siguientes:

#### 1. Planteamiento de la problemática

El análisis principia con un levantamiento de las dificultades que existen, ya sea a través de una lluvia de ideas o revisando los registros que se tengan, para luego proceder a su jerarquización y selección del problema por atacar, ya que se recomienda trabajar con un problema a la vez. La intención es concentrar la atención en los pocos problemas vitales que se tengan y dejar un tanto de lado los muchos triviales que necesariamente existen.

#### 2. Diagnóstico

Para cada problema se establece el conjunto de posibles causas, apoyándose en representaciones como la del diagrama de pescado, cadenas causa-efecto o diagrama de relaciones.

Una vez que se han identificado los culpables potenciales, en forma secuencial y partiendo de los más sospechosos, se procede a la obtención y análisis de la información requerida para identificar las causas reales.

Finalmente, se presenta el resultado del diagnóstico, en el que se indica para cada efecto cuáles son las causas específicas que lo producen.

### 3. Prescripción

El conjunto de alternativas de solución está representado por todas aquellas acciones que permitan anular las causas, atenuar los efectos o romper con las estructuras causales en cualquiera de sus partes.

Cumplida esta tarea, se procede a evaluar la efectividad y factibilidad de las distintas opciones, para así seleccionar la más apropiada; siendo válido pensar en una combinación de las mismas, tal que por un lado se vaya sobre los efectos para atender lo urgente y por el otro se vaya a la raíz para dar una solución definitiva.

### 4. Instrumentación y control

Con frecuencia es recomendable integrar un grupo responsable que se encargue de afinar las propuestas, llevarlas a la práctica y vigilar los resultados que se vayan obteniendo.

#### **2.3.1.3 Métodos funcionales**

Fuentes menciona que los métodos funcionales están dirigidos a aquellos casos en los que para eliminar las fallas o alcanzar las mejoras a las que se aspira, no basta con intervenir sobre alguna causa o factor particular, ya que el comportamiento que se tiene no solo depende de las características y el manejo de las partes, sino también de la forma en que interactúan y ajustan. Algunos ejemplos de estos casos son:

- Situaciones en las que se detectan fallas generalizadas o fallas totales del sistema
- Dificultades relacionadas con la forma en que se organiza y ejecuta un proceso o un conjunto de procesos
- Situaciones en las que se aspira a mejoras globales

La forma de trabajo general del análisis funcional es la siguiente:

#### 1. Planteamiento de la problemática

El análisis principia con una recopilación de las dificultades percibidas, las cuales se sugiere presentar sobre un diagrama del proceso, un plano de las instalaciones o algún medio similar, para favorecer un mejor entendimiento y brindar un panorama amplio de la situación.

#### 2. Diagnóstico

Una vez que se ha identificado la problemática, se indica qué procesos o subprocesos están relacionados con ella. Para cada proceso se elabora el *sistema de actividades* correspondiente, esto es, el conjunto de actividades que

en el terreno de la lógica se requieren para cumplir con la finalidad prevista; primero en un nivel general (de 5 a 7 actividades básicas), para luego dividir las actividades básicas en sub-actividades hasta donde se considere necesario.

Este sistema de actividades se emplea como guía para indagar en el objeto en búsqueda de lo que está mal, como son actividades que no se cumplen satisfactoriamente (oportunidad, calidad, cantidad, etc.), conexiones inadecuadas, etapas sin sentido, mala organización de actividades, etc.

### 3. Prescripción

Una vez que se han definido las fallas locales o generales, se procede a identificar las opciones de mejora, que pueden ir desde ligeros ajustes hasta un rediseño completo del proceso

A continuación se debe hacer la evaluación de las distintas alternativas, cuidando qué tan bien se responde a la problemática planteada y revisando la factibilidad técnica y operativa de las propuestas.

### 4. Instrumentación y control

Una vez que se ha decidido sobre los cambios por realizar, es obligado realizar un diseño detallado para cuidar los tiempos y forma de los cambios, así como crear un grupo que brinde soporte técnico, a la vez que vigilará la implantación y verificará los resultados.

## **2.3.2 Enfoques y técnicas de mejora**

En la búsqueda por mejorar los procesos que se llevan a cabo en la empresa del caso de estudio, se analizaron algunas de las técnicas y enfoques de mejora existentes para definir aquellas que es conveniente aplicar. A continuación se describen algunas de las más comunes:

### **a) Reingeniería**

El concepto de reingeniería es introducido por Michael Hamer y James Champy a finales de la década de los 80 (Escalera et al., 2008). Puede describirse como el rediseño total de un proceso o bien un cambio drástico en un proceso, comenzar de nuevo desde cero.

Con la reingeniería se busca alcanzar mejoras radicales en el proceso que se analiza. El concepto de reingeniería implica dejar atrás los viejos procedimientos, olvidarse de las viejas prácticas y buscar métodos de trabajo contemporáneos que agreguen valor al consumidor, contemplando factores como costo, calidad, servicio y rapidez.

Para poder implementar la reingeniería en una empresa es necesario que todas las actividades que se llevan a cabo se agrupen o bien se organicen en procesos bien definidos, dejando de lado el desarrollo de tareas aisladas.

## **b) Círculos de calidad**






Los primeros círculos de calidad se crean entre 1960 y 1962 y son atribuidos al Dr. Kaoru Ishikawa (Kasuga, 1993). Los círculos de calidad están formados por un grupo pequeño de trabajadores que se reúnen de manera voluntaria para llevar a cabo actividades de control de calidad dentro de un área de trabajo específica. En los círculos de calidad se estudia un problema de trabajo o bien una posible mejora, su misión es analizar, buscar y encontrar soluciones.

Algunas de las ventajas que proporcionan los círculos de calidad a las empresas son: mejora de la calidad, reducción del desperdicio, cambio de actitud en los trabajadores, reducción de costos, mejora de la seguridad, mayor productividad, mejora en las habilidades del personal, entre otras.

## **c) Las 5's**

La metodología de las 5's surge en Japón y es el resultado del desarrollo de algunas empresas en conceptos de organización, orden y limpieza; su concepción está ligada hacia la orientación de la calidad total (Hirano, 1998). También conocida como la teoría de los cinco pilares, la teoría de 5's basa su metodología en la aplicación y monitoreo de cinco actividades, entendiendo cada actividad como un elemento que forma parte de un sistema cuyo objetivo final es la mejora de la empresa en la cual se aplica.

Los cinco pilares provienen de términos japoneses:

-  Seiri: clasificar, organizar, arreglar
-  Seiton: orden
-  Seiso: limpieza
-  Seiketsu: limpieza estandarizada
-  Shitsuke: disciplina

La correcta aplicación de las 5's permite lograr un funcionamiento más eficiente y uniforme de las personas en los centro de trabajo.

## **d) Células de manufactura**

Una célula de manufactura es un grupo de máquinas o procesos agrupados y dedicados a la manufactura de una familia de partes (Pérez, 2008). Estas partes son similares en sus requerimientos de proceso, como pueden ser operaciones, tolerancias, herramientas utilizadas, entre otros. Una célula de manufactura puede

distinguirse como una unidad de trabajo más grande que una máquina o bien como un sitio de trabajo más pequeño que un departamento. En una célula de manufactura pueden trabajar en conjunto diversas personas, típicamente tienen entre 3 y 12 personas aunque se puede formar una célula de trabajo en la cual sólo participe una persona.

Una célula de manufactura se usa en cualquier lugar dónde hay actividades continuas que añaden valor, pasando una pieza a la vez de una estación de trabajo a otra.

Los trabajadores en la manufactura celular están tradicionalmente entrenados para realizar funciones diversas, por lo tanto son capaces de atender diversas interrogantes. En conjunto la disposición de las máquinas, la polivalencia de los trabajadores y la rotación de tareas, permiten el mejoramiento de las relaciones humanas y de las pericias de los trabajadores, además de disminuir el material en proceso y los tiempos de fabricación y de preparación, facilitando a su vez la supervisión y el control visual.

En una célula de manufactura las máquinas deben arreglarse de modo que se obtenga un flujo ágil de la producción, esto implica un acomodo de acuerdo a la secuencia lógica de las actividades.

## **Capítulo 3. Metodología**

En el presente capítulo se describe la metodología que se aplicó en el caso de estudio, el cual se llevó a cabo en una microempresa dedicada al giro de la galvanoplastia, específicamente al pulido y cromado de piezas metálicas.

Las actividades desarrolladas se dividen en tres grupos o bloques: mejora de procesos, control de calidad, seguridad e higiene industrial y medioambiental. El objetivo de abarcar estos tres aspectos es lograr una mejora generalizada en la empresa, que le permita ser competitiva, cuidando al máximo la seguridad de los trabajadores y disminuyendo en la medida de lo posible la contaminación del medio ambiente.

Cabe mencionar que antes de la aplicación del presente proyecto, la empresa no contaba con documentación alguna sobre los procesos llevados a cabo. Se observó que el área de cromado trabaja con mucho orden, pero el área de pulido no. Prácticamente todo el trabajo se realiza de forma empírica y no se llevan registros de lo que ocurre en la empresa ni de los cambios realizados en los procedimientos.

### **3.1 Diagnóstico de la empresa**

Antes de iniciar el trabajo resulta de suma importancia realizar una descripción detallada de la empresa, con el objetivo de conocer y comprender aspectos relevantes como son: su estructura organizacional, sus métodos de trabajo, el tipo de clientes que tiene, los niveles de producción que maneja, el grado de capacitación y experiencia de sus trabajadores, las características del dueño o director, entre otros.

El conocimiento adecuado de la empresa y su personal permitirá plantear una idea general de los métodos que deben emplearse para obtener información verídica, el alcance que pueden tener las propuestas, la disposición de los trabajadores a participar en el proyecto, la disposición del director para implementar los cambios propuestos, los recursos con que se cuenta para la realización del proyecto, etcétera.

Para conocer y entender adecuadamente las características de la empresa se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Entrevista con el dueño de la empresa. El objetivo de esta reunión fue obtener directamente de él datos relevantes como son: tipo de clientes, niveles de producción, estructura organizacional, métodos de trabajo en general. En esta reunión se le plantearon los objetivos del proyecto y se consiguió su autorización.



2. Visita a cada área de trabajo. Este fue el primer acercamiento con el personal de la empresa, el cual permitió identificar a los responsables de cada área, así como las principales características de los trabajadores, por ejemplo: son colaborativos o son cerrados, comparten información, cómo es el ambiente laboral, que grado de conocimiento y de experiencia tienen, etc.

El principal objetivo de esta visita fue establecer un vínculo positivo con los miembros del equipo de trabajo y conocer de forma generalizada la manera en que se lleva a cabo el trabajo. En estas visitas se entrevistó en primera instancia al responsable de cada una de las áreas y posteriormente se habló con todos los trabajadores.

3. Revisión bibliográfica y documental de las principales características de las empresas de este tipo, con el objetivo de formular un panorama general de la situación de la empresa.
4. Toda la información fue recopilada en un mismo archivo, con el objetivo de facilitar su consulta, se incluyó todo aquello que se consideró necesario, cuidando no incluir cuestiones que no tuvieran relevancia para el proyecto.

### **3.2 Mejora de procesos**

Para llevar a cabo el proceso de mejora se tomó como base la metodología presentada por Fuentes (2002), de acuerdo con la cual los factores de planeación presentes en la empresa de estudio son los siguientes:

- *El sujeto.* Se tiene un decisor único que es el dueño de la empresa. Si bien todos los trabajadores de todas las áreas participaron en el análisis, las decisiones finales fueron presentadas al dueño de la empresa, quien tuvo la última palabra sobre las medidas que se podrían aplicar.
- *El objeto.* Se presenta un objeto del tipo “relativamente simple”, en el cual es posible aplicar métodos bien programados y construir soluciones detalladas. Todas las soluciones propuestas corresponden a metodologías bien definidas y programadas, con las cuales se busca dar una solución para cada problema específico.
- *Los propósitos.* Todas las acciones emprendidas tuvieron el propósito de “corregir o mejorar en algún punto la operación del sistema”.

En apego a la metodología, todos los problemas que se analizaron son de tipo operacional, por lo tanto se aplicaron los llamados “métodos causales” para su análisis. Una vez identificados y seleccionados los problemas a resolver, las alternativas de solución fueron orientadas al origen del problema, buscando mejoras efectivas y duraderas.

Para la mejora de procesos se llevaron a cabo las siguientes actividades:

### **3.2.1 Mapeo del proceso**

Se realizó una descripción detallada de los procesos que se llevan a cabo en la empresa, incluyendo todos los elementos que participan: maquinaria, materiales, herramientas, personal y responsables de área. Se realizó una descripción escrita y un diagrama de flujo; en la descripción escrita se incluyeron todos los pormenores del trabajo que se realiza y la forma en que se realiza, el diagrama de flujo tiene como objetivo mostrar una visión generalizada de los procesos que se ejecutan.

La información se obtuvo de dos fuentes principales: descripción del proceso por parte de los trabajadores y análisis presencial de los modos de realizar el trabajo.

Un punto importante a destacar es que durante esta visita se hizo saber a cada trabajador que su participación es importante para el proyecto y la forma en que cada uno de ellos se verá beneficiado una vez que se apliquen los cambios.

Para la realización de los diagramas de flujo se utilizó la simbología comúnmente manejada, la cual se puede consultar en diversas fuentes, por ejemplo en García (2005).

### **3.2.2 Identificación de los principales problemas presentados**

Para la identificación de los problemas más comunes se llevaron a cabo las siguientes actividades:

#### *a. Entrevistas directas con el personal de cada área*

Las entrevistas se llevaron a cabo por separado para cada área de la empresa (pulido y cromado) y participaron todos los trabajadores. Las entrevistas se llevaron a cabo en las áreas de trabajo mientras los trabajadores llevaban a cabo sus actividades cotidianas. Se solicitó al personal que describiera los procesos que llevan a cabo, indicando cual es la labor que cada uno realiza, además se solicitó que en la descripción del proceso indicaran cuales son los puntos en los que tienen problemas o que piensan que pueden mejorar.

#### *b. Revisión presencial de los métodos de trabajo*

Una vez que se tuvo la entrevista con los trabajadores de la empresa y habiendo identificado los principales problemas que ellos consideran, se llevaron a cabo otras dos visitas presenciales a cada área de la empresa; en estas visitas se corroboró la aplicación de los procesos previamente documentados en las entrevistas. Este análisis tiene dos objetivos, el primero es ver si realmente se trabaja de acuerdo con lo manifestado por los trabajadores y segundo identificar puntos de mejora que pudieran apoyar en la solución de los problemas

previamente identificados. Las visitas se llevaron a cabo sin previa notificación a los trabajadores.

*c. Revisión de los resultados preliminares con el dueño de la empresa*

Una vez concluidos los dos puntos anteriores se llevó a cabo una reunión con el dueño de la empresa, se presentó la información recabada y se solicitó su análisis y participación para validar y complementar la información en caso de considerarlo necesario.

El resultado final fue una lista de errores, en la cual se resumieron todos los errores mencionados por el personal de la empresa y los detectados durante las visitas realizadas a cada área.

### **3.2.3 Identificar las causas que originan los problemas**

Una vez que se determinaron los principales problemas, el siguiente paso fue realizar una investigación para determinar las causas que los originan. Para este fin se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- a. Lluvia de ideas con todos los involucrados en el proceso. Considerando la probabilidad de que los mismos trabajadores saben o tienen idea sobre las causas que originan los problemas, se buscó hacerlos partícipes a todos ellos, incluido el dueño de la empresa. Debido a que no fue posible juntarlos a todos, la lluvia de ideas se llevó a cabo por separado para cada área (pulido y cromado), participaron todos los trabajadores de cada área; el dueño de la empresa participó con los trabajadores del área de cromado.
- b. Posterior a la lluvia de ideas se llevó a cabo una revisión presencial de los procesos de trabajo, con el objetivo de validar los datos recabados en la lluvia de ideas respecto a las causas de los problemas, así como detectar otras situaciones que impactan en el proceso y puedan ser causantes de los problemas.
- c. Con la información recabada en los puntos anteriores se realizaron diagramas de Ishikawa, en ellos se resumen las causas identificadas para cada problema.

### **3.2.4 Selección de los problemas o situaciones a corregir o mejorar**

Dentro de la literatura existen diversas técnicas para la priorización y elección de los problemas que deben corregirse; sin embargo, se consideró más factible y útil la aplicación de una técnica que permitiera clasificar los problemas de acuerdo con las características particulares de la empresa. Para cumplir con este fin se llevó a cabo una clasificación de los problemas por colores, cada color está definido por el impacto negativo que los problemas tienen en el proceso y la factibilidad para aplicar las acciones correctivas.

Las acciones que se llevaron a cabo son las siguientes:

### **a) Análisis de factibilidad para solucionar el problema**

El primer paso para elegir los problemas a corregir fue realizar una tabla en la cual se indicaron las posibles causas de cada problema y los requisitos para corregirlas; cada causa fue clasificada como factible y no factible de trabajarse de acuerdo con la posibilidad de implementar los cambios requeridos. Para llevar a cabo esta clasificación se consideraron los siguientes factores: conocimiento técnico y habilidades necesarias, equipo y herramientas requeridas. Se clasificaron como factibles aquellas causas (actividades o procedimientos) para las cuales se cuenta con todos los factores que permiten aplicar los cambios requeridos.

### **b) Determinación del nivel de implicación de cada problema**

El segundo paso fue analizar cada problema para identificar la parte del proceso donde pueden ser detectados y para determinar las implicaciones negativas que tienen, se observó que un problema puede tener implicaciones diferentes según la parte del proceso donde se detecte. Los principales factores considerados son retrabajo de las piezas y desperdicio de materiales, los cuales tienen como implicaciones directas pérdida de tiempo y un incremento en el costo. Los resultados se resumieron en una tabla.

Tomando como base los resultados de la tabla anterior, se realizó una nueva tabla en la cual a cada posible causa de cada problema se le asignó un grado de implicación de acuerdo a lo siguiente:

- Implicación alta: pérdida de tiempo e incremento en costo
- Implicación media: incremento en costo
- Implicación baja: pérdida de tiempo

### **c) Clasificación de problemas por color**

Tomando como base el nivel de impacto de cada causa dentro del proceso y la factibilidad de aplicar las correcciones necesarias, se definió un código de color que permitiera captar a simple vista la situación de cada problema.

Esta forma sencilla de identificación de problemas se ha aplicado con resultados favorables en otros trabajos de control y administración de proyectos en donde ha participado el autor de este trabajo, por lo que se decidió emplearla para el caso de estudio.

**Tabla 3.1 Código de color empleado para la clasificación de problemas**

Impacto	Factible	Clasificación	Descripción
Alta	SI		Urge, factible a corto plazo
Alta	NO		Urge, poco factible a corto plazo
Media	SI		Importante, factible a corto plazo
Media	NO		Importante, poco factible a corto plazo
Baja	SI		Necesario, factible a corto plazo
Baja	NO		Necesario, poco factible a corto plazo

Cada causa de cada problema fue clasificada de acuerdo con el código de color, los resultados del análisis en la empresa bajo estudio se resumen en la tabla 4.9.

La clasificación de problemas por colores tiene la finalidad de indicar de forma clara y visible los problemas que deben corregirse y la prioridad que tiene cada uno según el impacto que generan en el proceso, además permite comprender los tipos de problemas que se presentan y cuantos de cada clasificación se tienen, con lo cual se facilita la planificación de las medidas a implementar para su solución.

#### **d) Elección de los problemas a corregir**

En el presente proyecto se seleccionaron todos aquellos problemas clasificados como factibles, por ser aquellos que pueden corregirse con los recursos disponibles en la empresa. En un futuro análisis podrían considerarse las diferentes clasificaciones para elaborar un proyecto que logre trabajar todos los problemas detectados.

Los problemas seleccionados se agruparon en una tabla, en la cual se indica la factibilidad de realización, el nivel de implicación y el color asignado. Para el presente proyecto no se hizo un plan de trabajo ya que todos los problemas seleccionados se fueron trabajando de forma paralela; sin embargo, puede emplearse la clasificación de colores para determinar el orden en que deben trabajarse.

### **3.2.5 Análisis de problemas y elaboración de una propuesta de solución o mejora**

En este punto fue necesario analizar cada problema seleccionado en la búsqueda de diversas alternativas de solución; para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Se analizó el proceso general en busca de puntos de mejora evidentes.
2. Se realizó un análisis de las diversas filosofías y rutinas de mejora existentes (células de trabajo, reingeniería, kanban, las 5's, etc.), en busca de ideas que pudieran aplicarse a la solución de los problemas de la empresa.

3. Se llevó a cabo una revisión de bibliografía referente al proceso de galvanoplastia, el objetivo fue identificar buenas prácticas y algunas ideas que puedan aplicarse en la solución de los problemas presentados.
4. Tomando como base la información recabada, se realizaron las propuestas de solución para los problemas seleccionados.

El resultado de este punto fue la propuesta de solución para cada problema, la cual se presentó al dueño de la empresa para obtener su autorización.

Una vez obtenida la autorización verbal del dueño de la empresa se llevó a cabo la implementación de las actividades de mejora.

### **3.2.6 Implantación de las mejoras**

Para la implementación de las mejoras se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Se comunicaron al personal los cambios a realizar. Se puso énfasis en que los trabajadores entendieran la forma en que se verán beneficiados con la nueva propuesta, se consideró que de esta manera estarían más dispuestos a colaborar con el proyecto.
2. Se realizó la implementación de los cambios. Se explicó a cada trabajador el porqué de los cambios aplicados, el objetivo de la explicación es que el trabajador entienda la mejora que se busca y colabore con una implementación adecuada o incluso con mejoras en la ejecución del cambio.

Se considera que este es un punto crucial dentro de la mejora de procesos ya que una mala implantación podría echar a perder el trabajo efectuado en la definición de las propuestas de mejora.

### **3.2.7 Seguimiento y medición de resultados**

El último paso fue medir los resultados obtenidos con las mejoras implementadas; los resultados se evaluaron de forma cualitativa y cuantitativa según las características del cambio implementado.

Cualitativamente se midió el nivel de compromiso y participación de los trabajadores. Cuantitativamente se midió el porcentaje en que se redujeron las piezas que requieren retrabajo y la disminución en tiempo muerto. Se obtuvo además un estimado en términos monetarios del ahorro logrado al disminuir el número de piezas que deben retrabajarse.

El siguiente diagrama ilustra la secuencia de las actividades llevadas a cabo:

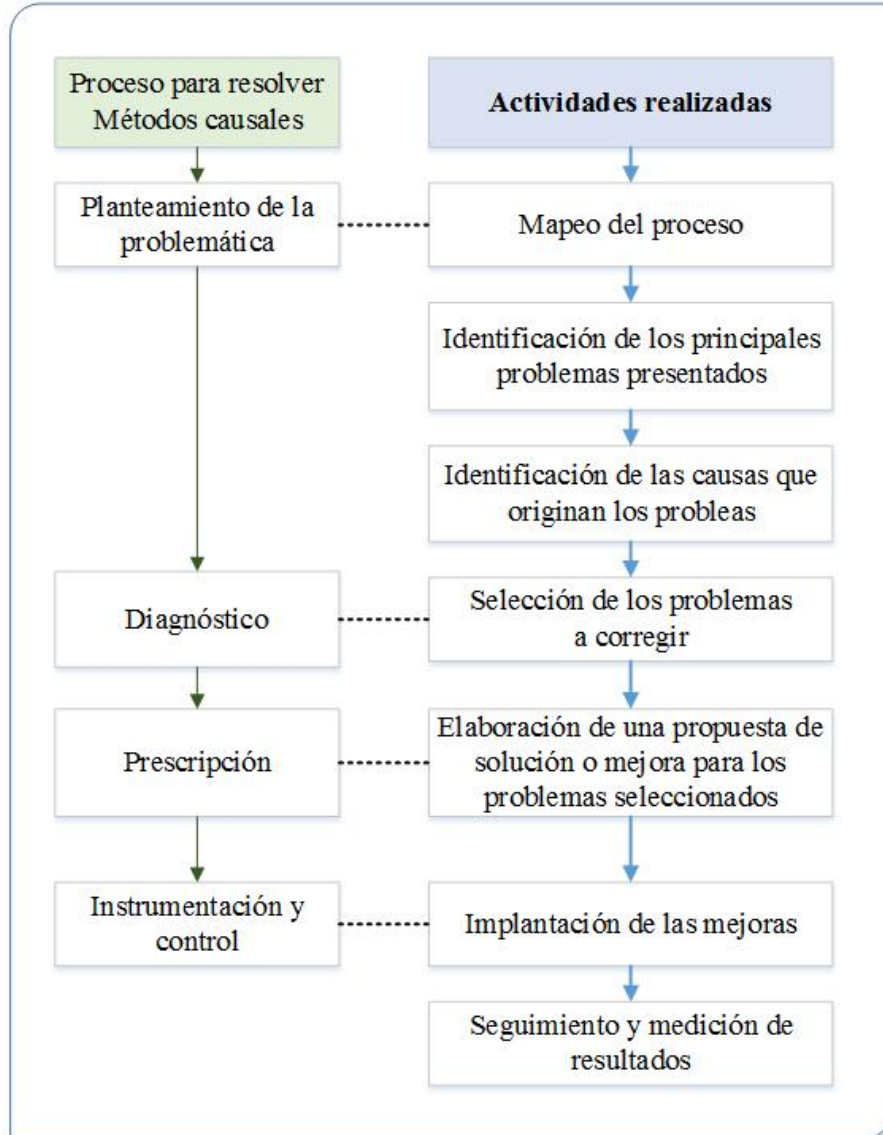


Figura 3.1 Actividades llevadas a cabo para la mejora de procesos

### 3.3 Control de calidad

Dentro de la empresa no se lleva ningún control ni inspección de calidad de tipo cualitativo; sin embargo, el entregar piezas que cubran los estándares de calidad requeridos se maneja como una parte importante para la adquisición y conservación de clientes.

En esta parte del proyecto se propone romper ese paradigma e implementar una inspección cuantitativa de calidad, considerando que el parámetro considerado es el grosor de la película de material aplicada en los procesos galvanoplásticos.

Para cumplir este objetivo, se llevó a cabo un análisis de la capacidad del proceso de niquelado, con este estudio se buscó determinar si la capa de níquel aplicada en las piezas tiene el grosor que en la empresa se supone que manejan.

Originalmente se buscó aplicar el mismo análisis a los procesos de cromado y niquelado; sin embargo, la capa de cromo aplicada es de un grosor mínimo y por lo tanto imposible medirlo con el micrómetro empleado en el análisis. Por esta razón el análisis solo pudo ser aplicado al proceso de niquelado.

Para medir la capacidad del proceso se llevaron a cabo las siguientes actividades:

### **1. Establecer los límites de especificación**

Se recabó información con el director de la empresa con respecto a los límites de especificación manejados y se encontró que no existe información formal sobre el diseño de éstos límites; sin embargo, considerando la experiencia que tiene la empresa con respecto a la calidad solicitada en el recubrimiento de níquel que se aplica, se estableció un rango de especificación tentativo (entre 10 y 25 micras).

La información proporcionada por el dueño de la empresa se comparó contra lo indicado en la literatura con respecto al grosor requerido en recubrimientos de níquel aplicados sobre metal, encontrando que en cumplimiento a las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), los valores mínimos requeridos para recubrimientos de níquel corresponden con lo mencionado en la empresa: entre 5 y 25 micras para trabajos de calidad media. Para mayor información sobre requisitos de recubrimientos de níquel se puede consultar por ejemplo: Di Bari, 2010 y Troya, 2009.

Para llevar a cabo el estudio se consideraron los valores proporcionados por el dueño de la empresa debido a la correspondencia existente entre éstos y lo requerido en las normas de la ASTM.

### **2. Establecer los límites de tolerancia natural**

Debido a que en la empresa nunca se han realizado mediciones del grosor de la película aplicada en los procesos galvanoplásticos, no se cuenta con información sobre los límites de tolerancia natural del proceso.

Para establecer los límites de tolerancia natural se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Empleando un micrómetro se realizaron mediciones del grosor de la capa de níquel depositado, se tomaron 5 muestras de 11 piezas cada una, las muestras se tomaron de dos piezas diferentes, que eran las que se estaban trabajando al momento de realizar el estudio.



- Con los datos obtenidos en el punto anterior se estimaron los parámetros estadísticos del proceso: media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ).
- Se aplicó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov para determinar si el proceso sigue una distribución normal. Este punto resulta de suma importancia ya que las formulas empleadas para realizar los cálculos de capacidad son diferentes para un proceso que sigue una distribución normal y uno que no se apega a la normal. Si los datos no siguen una distribución normal, los límites de capacidad del proceso deben calcularse con los percentiles 0.00135 para el límite inferior (LITN) y 0.99865 para el superior (LSTN). Los detalles de la prueba no se incluyen en el presente documento, se puede localizar mayor información en diversas fuentes bibliográficas (por ejemplo Pérez, 2012).
- Con los resultados anteriores se calcularon los límites de tolerancia natural del proceso.

### **3. Calcular los índices de capacidad del proceso**

Dentro de la literatura existen diversos índices de capacidad que pueden calcularse, cada uno de ellos entrega información referente a alguna característica del proceso analizado; en el presente proyecto se calcularon los siguientes:

✚ Índice de capacidad potencial ( $C_p$ )

✚ Razón de capacidad ( $C_r$ )

✚ Índice de localización ( $K$ )

Puede consultarse mayor información sobre estudios de capacidad del proceso en diversas fuentes (por ejemplo Besterfiel, 2009; Montgomery, 1996 y Gutiérrez y de la Vara, 2009).

### **4. Estimar la cantidad de piezas fuera de especificación**

Para obtener el estimado de las piezas que no cumplen con los parámetros definidos para el proceso se consideró el valor obtenido en el índice de capacidad potencial y se comparó con tablas existentes en la literatura.

### **5. Conclusiones respecto a la capacidad del proceso**

Esta parte del proyecto concluyó con el análisis de resultados y las conclusiones y recomendaciones respecto a la capacidad del proceso.

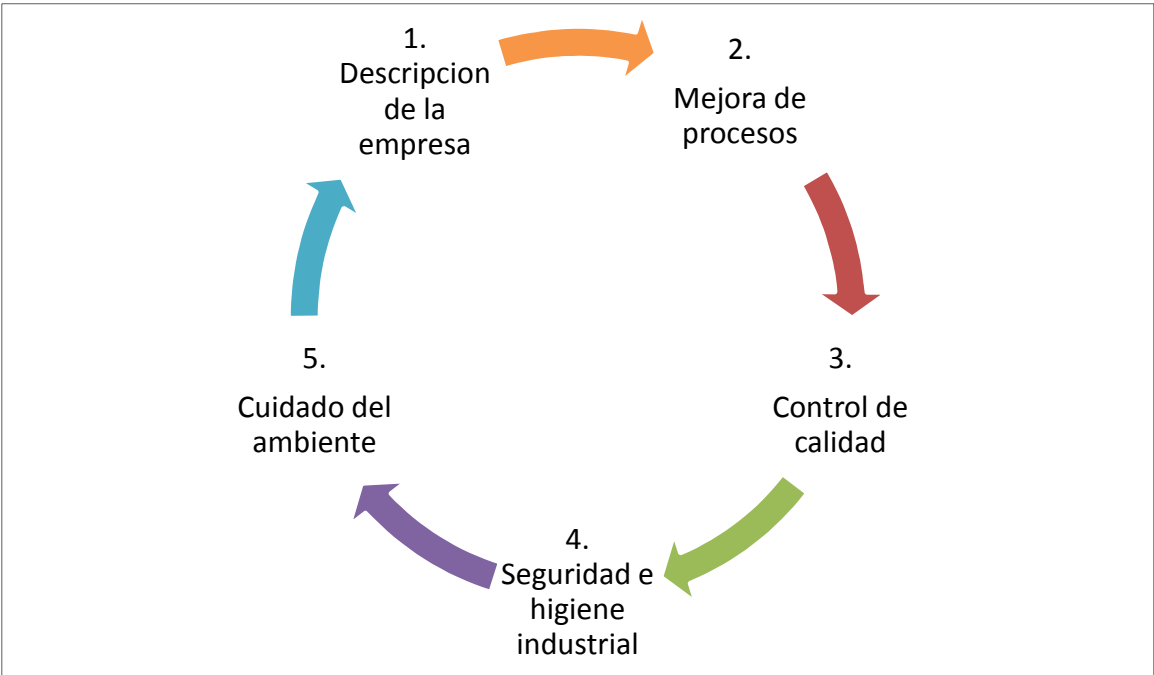
### 3.4 Seguridad e higiene industrial y medioambiental

El objetivo de esta última parte de la aplicación fue conocer los riesgos laborales a los que están expuestos los trabajadores de las empresas del giro de la galvanoplastia, así como los principales problemas que la emisión de contaminantes generados por estas empresas pueden generar en el medio ambiente. Se buscó generar conciencia en los trabajadores sobre las medidas de seguridad e higiene que deben seguir, además de hacer notar la importancia de aplicar medidas para disminuir la emisión de contaminantes al medio ambiente.

En esta fase del proyecto se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- I. Considerando información sobre los principales contaminantes y tóxicos que las empresas de galvanoplastia emiten al medio ambiente y recomendaciones en materia de seguridad e higiene para este tipo de empresas, se realizó una evaluación de las condiciones en las cuales opera la empresa respecto a lo que denominamos “seguridad e higiene industrial y medioambiental”. Los principales puntos analizados fueron la seguridad de los trabajadores y la emisión de contaminantes al medio ambiente.
- II. Se realizaron algunas recomendaciones sobre las prácticas de seguridad e higiene industrial que deben seguir los trabajadores de la empresa.
- III. Se hicieron además algunas recomendaciones sobre la reducción de la emisión de contaminantes y tóxicos al medio ambiente.
- IV. Se implementaron algunas mejoras respecto a seguridad e higiene industrial y medioambiental:
  - ✚ Las prácticas de seguridad e higiene industrial que están relacionadas con el cuidado de los trabajadores se dejaron solo como recomendaciones ya que su aplicación no fue autorizada por el dueño de la empresa; sin embargo, se comprometió a aplicarlas en el mediano tiempo.
  - ✚ Con respecto a la emisión de contaminantes, dentro de la literatura existe una gran variedad de técnicas que pueden implementarse; sin embargo, la mayoría requieren una inversión considerable de capital y en algunos casos conocimientos técnicos muy específicos. Por lo anterior se seleccionaron para su aplicación en la empresa solo dos de ellas: prolongación del tiempo de escurrido y captación del escurrimiento. Estas dos técnicas que son de aplicación muy sencilla cumplen una doble función: disminuyen la emisión de contaminantes al medio ambiente y hacen posible recuperar solución, con lo cual se obtiene un beneficio económico.

En el siguiente diagrama se resumen los puntos generales que se trabajaron en la empresa y que conforman la metodología aplicada:



**Figura 3.2 Metodología aplicada**

## **Capítulo 4. Caso de estudio**

### **4.1 Diagnóstico de la empresa**

Se inicia el caso de estudio con una descripción detallada de la empresa, en la cual se incluyen sus principales características. Cabe mencionar que la empresa no contaba con registro alguno de sus procedimientos de trabajo, toda la documentación de los procesos forma parte del trabajo realizado.

#### **4.1.1 Aspectos generales**

La empresa seleccionada para el caso de estudio tiene por nombre: Pulido y cromado “La peque”. Se ubica en Ecatepec, Estado de México. Se dedica al pulido y cromado de piezas metálicas, las cuales mayoritariamente se emplean en la fabricación de muebles, otras piezas que trabajan son escapes de automóvil y extintores. Dentro de la empresa trabajan 8 personas incluido el dueño, por lo tanto y según la clasificación del INEGI (Censos económicos, 2009) se trata de una microempresa.

Actualmente la empresa tiene una gran variedad de clientes, los cuales se distribuyen mayoritariamente en el Estado de México y el Distrito Federal. Manejan una amplia variedad de piezas con cerca de 90 modelos diferentes, de los cuales el 90% son tubulares, el resto corresponde a piezas especiales, por ejemplo platonos de metal. Las piezas tubulares son las que trabajan todo el tiempo, las piezas especiales rara vez son trabajadas.

En la siguiente tabla se incluyen las piezas que comúnmente se trabajan:

**Tabla 4.1 Piezas comúnmente trabajadas**

<b>Piezas sueltas</b>		
Ménsula chica	Tubo de 90 x 2”	Tubo con tornillo chico
Ménsula con gancho	Tubo de 62 x 2”	Tubo con tornillo grande
Ménsula grande	Tubo de 150 x 1”	Base de v’s
Ménsula “L”	Tubo de 110 x 1”	Base con 6 aros
Ménsula “L” chica	Y’s	Base de gallo 2
Barra	Araña para bastón	Base de gallo 3
T	Piezas de banco	Marco de 130 x 50 con pata
Perfil 120	Pistolas	Base de gallo
Perfil 120 delgado	Refuerzo	Tubo de 74 x 2 ½
Tubos de 1 ½	Racks	Tubo de 110 x 7/8
Cruceta	Alas	Tapas
Marco de 130 x 50		

Muebles completos		
Periquera	Banco Maromero	Banco Iván giratorio
Pony chico	Silla plegadiza	Silla apilable
Pony grande	Silla plegadiza Jr.	Periquera 2
Banco de escalera	Silla chesca	Periquera 3
Banco de respaldo	Banco Pony	Silla Florida
Banco de canasta	Esquinero	Sillón Monarca
Banco de soleras	Mesa de perfil	Banco giratorio
Banco Q	Mesa de centro	Banco armado chico
Silla Montreal	Cristalero	Silla chabela
Silla Valencia	Telefonera	Banco Iván
Silla Princesa	Mesa 4 y 1	

Las piezas son muy variadas pudiendo clasificarlas de una manera muy general en cuadradas y redondas; esta clasificación se debe al tipo de tubo con el que se fabrican. El 90% son redondas y sólo el 10% son cuadradas; la figura 4.1 muestra la imagen de una pieza de cada tipo.



(a)



(b)

Figura 4.1 Piezas fabricadas de tubular redondo (a) y cuadrado (b)

De las piezas tubulares que se manejan, el 95% tienen dobleces y sólo el 5% son rectas o sin doblez. Aunque el tratamiento es el mismo, según el tipo de doblez que tenga una pieza, ésta puede ser más difícil de trabajar que otras en los procesos de tratamiento previo; para los procesos de galvanoplastia la característica de la pieza que más impacta es el tamaño.

Las figuras 4.2 y 4.3 muestran ejemplos de piezas recta y con dobleces:



**Figura 4.2 Piezas rectas**



**Figura 4.3 Piezas con dobleces**

Debido a que en la empresa se manejan cerca de 90 piezas diferentes, éstas se han clasificado por su tamaño en grandes, medianas y chicas. En la figura 4.4 se muestra un ejemplo de una pieza de cada tamaño.



**Figura 4.4 Pieza grande (a), mediana (b) y chica (c)**

La empresa puede dividirse en dos áreas: pulido y cromado. En el área de pulido se llevan a cabo tratamientos previos de tipo mecánico: pulido y esmerilado. Se cuenta con 2 motores rotatorios, cada motor proporciona dos estaciones de trabajo. Los motores empleados son de 2 hp. En el área de cromado se llevan a cabo tratamientos previos de tipo químico: decapado, lavado y desengrasado; además de los procesos galvanoplásticos: niquelado y cromado.

La figura 4.5 muestra la forma en que está distribuida la empresa. En el área de cromado las tinas están dispuestas de forma sucesiva de acuerdo con la secuencia del proceso; se muestra el transformador que alimenta las tinas de la corriente eléctrica controlada y el espacio destinado para el secado y almacenamiento del material. En la zona de pulido se muestra la disposición de los dos motores con los que se cuenta.

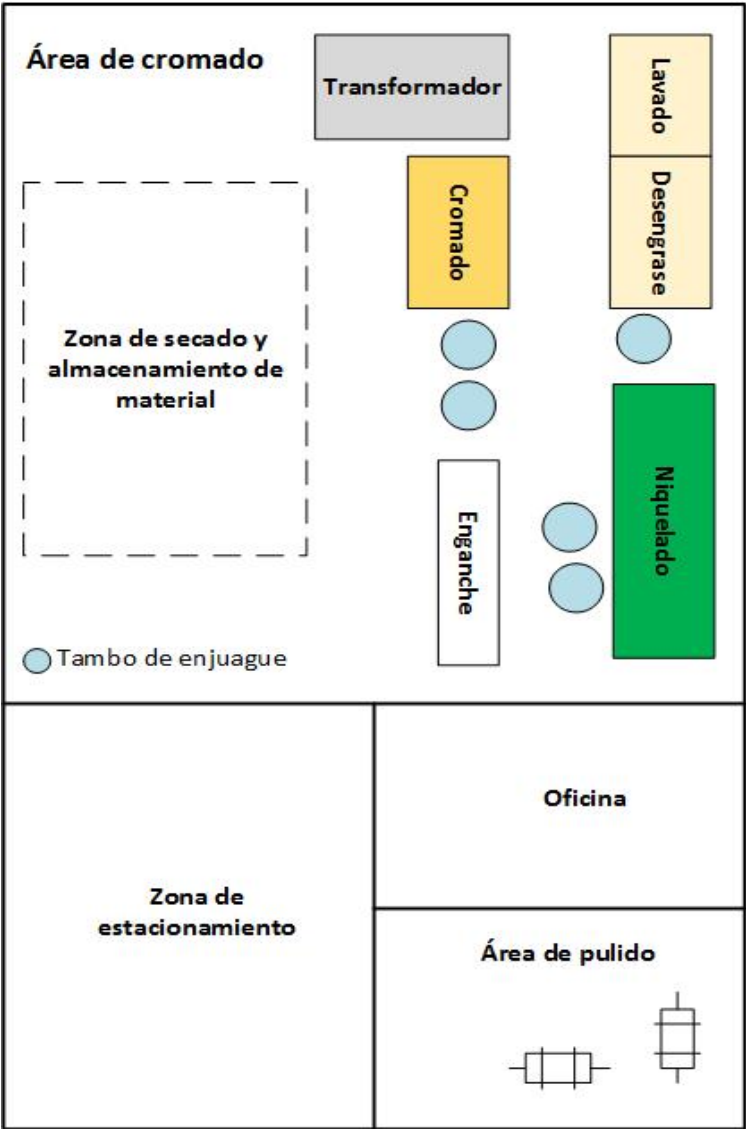


Figura 4.5 Distribución de planta de la empresa

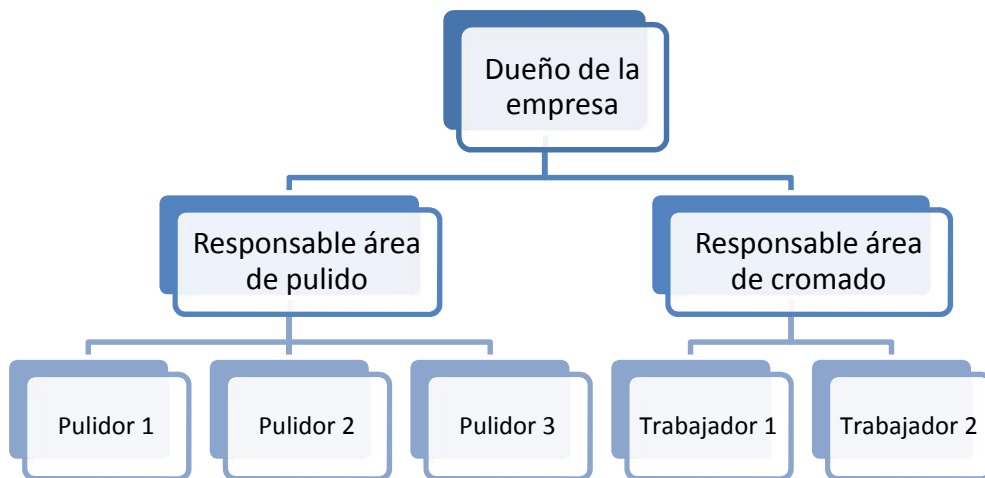
#### 4.1.2 Estructura organizacional

El personal que labora en la empresa tiene amplia experiencia en el ramo, es contratado directamente por el dueño, ya sea porque lo conoce por su experiencia o bien, por recomendación de sus trabajadores de confianza.

La empresa labora en un horario de 8 a 18 horas de lunes a viernes y los sábados de 8 a 13 horas. Generalmente se respeta el horario de trabajo, sólo cuando la carga de trabajo es muy grande o se requiere entregar urgentemente, el horario de trabajo se prolonga una o dos horas más cada día. Lo usual en estos casos es que se inicien labores a las 7 horas, incrementando una hora de trabajo.

Existen dos áreas de trabajo en la empresa, el área de pulido y el área de cromado; en el área de pulido trabajan 4 personas incluyendo al responsable, y en el área de cromado laboran 3 personas, incluyendo también al responsable. El dueño de la empresa se encarga de la entrega y recolección de material, es además quien visita a los clientes para ofrecer sus servicios.

Considerando lo anterior, el organigrama de la empresa es el siguiente:



**Figura 4.6 Organigrama de la empresa**

Es importante mencionar que aunque en cada área existe un responsable, estas personas también realizan trabajo dentro del área, son un trabajador más.

Asimismo, en ocasiones especiales se ha tenido que contratar personal eventual, una o dos personas, principalmente por cargas grandes de trabajo. Al finalizar estos periodos sale el personal eventual y se conserva el organigrama presentado.



## 4.2 Mejora de procesos

El primer punto a tratar dentro del caso de estudio es la mejora de procesos; en esta parte se busca evitar errores y disminuir el número de piezas que deben retrabajarse.

### 4.2.1 Descripción general del proceso

La empresa trabaja bajo un esquema “pull”, es decir que se va trabajando lo que los clientes solicitan. En algunas ocasiones los clientes otorgan un tiempo de entrega holgado, pero en otras ocasiones los clientes demandan que el trabajo se entregue lo antes posible, incluso el mismo día que se solicita. Debido al sistema de trabajo y a las exigencias de los clientes, algunas veces se tienen tiempos muertos y en otras ocasiones se tienen cargas de trabajo grandes.

Aunque a todas las piezas se aplica el mismo proceso, se manejan diferentes tipos de calidad (acabado de las piezas), el cuál es demandado por el cliente y depende principalmente del uso que se le da a cada pieza.

Los tipos de acabado que manejan se pueden definir de la siguiente manera:

- ✚ Calidad alta: la pieza no debe tener rebabas ni porosidades y debe contar con un alto nivel de brillo después del niquelado (acabado espejo). Se estima que el 30% de las piezas trabajadas son de alta calidad.
- ✚ Calidad media: se toleran ligeras porosidades, no debe tener rebabas y el nivel de brillo debe ser alto después del niquelado pero sin llegar al acabado espejo. En promedio el 10% de las piezas trabajadas son de calidad media.
- ✚ Calidad baja: se toleran porosidades y rebabas que no sean tan notorias, el nivel de brillo es bajo después del niquelado. Aproximadamente el 60% de las piezas trabajadas son de baja calidad.

El acabado espejo se refiere a que una persona puede usar la pieza como un espejo cuando sale del proceso. Cabe mencionar que además de los parámetros antes mencionados, se realiza una inspección visual para garantizar que la pieza no tenga coloración azul o amarillenta como resultado del proceso de cromado.

El nivel de acabado requerido afecta directamente el proceso, específicamente en los procesos de pulido y niquelado; esta situación se explica más adelante y representa tiempos más largos en el proceso y un mayor uso de materiales.

Como en todos los procesos galvanoplásticos, dentro de la empresa pueden distinguirse varias etapas de tratamiento previo de tipo mecánico y químico, para posteriormente pasar a la aplicación de los recubrimientos. A continuación se describen los procesos llevados a cabo en la empresa.

#### 4.2.1.1 Tratamiento previo

La empresa lleva a cabo procesos de tratamiento previo mecánicos (esmerilado y abrillantado) y químicos (decapado, desengrasado y lavado); a continuación se describe cada uno de ellos.

##### Proceso de decapado

Este proceso se aplica únicamente a las piezas que presentan óxido o zonas oscurecidas antes del pulido, consiste en sumergir las piezas en ácido durante aproximadamente 15 minutos, con lo cual se eliminan las impurezas. Una vez que las piezas han sido decapadas, se enjuagan en agua.

##### Proceso de pulido

El proceso de pulido forma parte de los métodos de tratamiento previo que se aplican a todas las piezas, es el primer método que se aplica cuando no se requiere el decapado. El objetivo de este método es eliminar rebabas, porosidad y otros desperfectos que pudieran tener las piezas; en este proceso se obtiene además el brillo propio del metal. Como se mencionó anteriormente este proceso es afectado por el nivel de acabado requerido en las piezas, en relación al brillo y textura que se puede obtener.

El proceso de pulido se realiza de forma manual y se divide en dos subprocesos, ambos se llevan a cabo en los mismos motores cambiando las herramientas: fieltros acondicionados con esmeril en polvo para esmerilado y ruedas de sisal para abrillantado.

Las características de los dos subprocesos se describen a continuación:

**a. Esmerilado:** Su objetivo es quitar rebaba y asperezas del material, así como dar al mismo un acabado fino. El esmeril empleado se adquiere en polvo y se adhiere a la rueda de esmerilado o fieltro usando un pegamento líquido.

Los calibres de esmeril empleados son los siguientes:

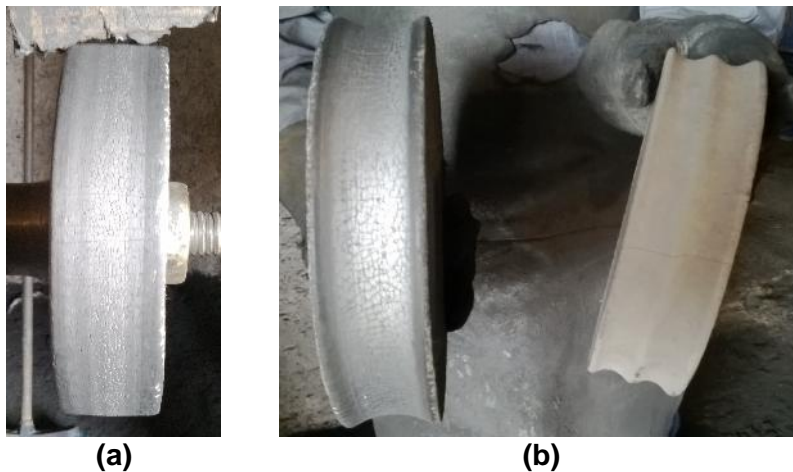
Calibre de esmeril	Resultado obtenido
150	Quitar rebaba
240	Quitar asperezas
360	Dar acabado fino

Durante el proceso se debe aplicar constantemente esterina al fieltro, esto es para lubricar y para que la pieza pueda desplazarse fácilmente. La cantidad y la constancia con la cual se aplica la esterina la determina el pulidor.

Las piezas pueden requerir diferente tratamiento según las condiciones en las que se recibe (porosidad, rebabas, rugosidad) y la calidad deseada (alta, media o baja). Las piezas que requieren alta calidad deben tratarse con los tres calibres de esmeril y deben aplicarse varias pasadas en cada calibre. Las piezas con calidad media llevan sólo calibre 150 y 240 con varias pasadas, incluso una pasada rápida con calibre 360. Las piezas de baja calidad sólo llevan calibre 150 y 240 y sólo una pasada rápida.

Para poder pulir la totalidad de las piezas se cuenta con diferentes tipos y tamaños de fieltros, básicamente se pueden dividir en lisos y acanalados. Los lisos se emplean en piezas de material cuadrado y los acanalados en piezas de material redondo. El tamaño del fieltro empleado depende del tamaño de la pieza y de la forma que tenga. Los dobleces que tiene la pieza determinan la complejidad para su tratamiento, una pieza con muchos dobleces que generen espacios muy pequeños deberá ser tratada con ruedas pequeñas y en algunas ocasiones con ruedas de diferente tamaño para poder alcanzar todos los espacios. La mayoría de los tipos de fieltro puede adquirirse; sin embargo, existen algunos que han realizado los mismos pulidores tomando uno adquirido y modificándolo de modo que tenga las dimensiones o la forma requerida.

A continuación se incluyen imágenes de diferentes tipos de fieltros:



**Figura 4.7 Diferentes tipos de fieltros: lisos (a) y acanalados (b)**

Cuando el esmeril aplicado al fieltro se ha desgastado, éste se debe eliminar por completo del mismo, este proceso lo lleva a cabo el trabajador al percatarse que ya no obtiene los resultados deseados. Para eliminar la capa de esmeril, el fieltro se pone a girar en el motor y con el filo de algún tubo se aplica presión a forma de espátula.

Resulta imposible llevar un control sobre el número de piezas o el tiempo al cual se debe cambiar la capa de esmeril, esto se debe a que el desgaste del esmeril se ve afectado por los siguientes factores:

- ✚ Presión aplicada a la pieza, que depende del trabajador
- ✚ Número de pasadas que se da a cada pieza, que depende de las condiciones en que se recibe la pieza y la calidad deseada
- ✚ Calidad del esmeril aplicado al fieltro
- ✚ Calidad del pegamento aplicado al fieltro para adicionar el esmeril
- ✚ Número de capas de esmeril aplicadas al fieltro; aunque está estandarizado y a cada fieltro se le aplican 5 capas de esmeril, es posible que por error se aplique un número diferente de capas

Pese a todos los factores anteriores, los trabajadores saben por experiencia cuando es necesario reemplazar el fieltro por no obtener los resultados deseados; consideran que es aproximadamente cada 3 horas de trabajo continuo. Para evitar defectos en el acabado, se propone que el responsable del área de pulido supervise de manera visual los fieltros cada 2.5 horas, para evitar que se presenten errores en las piezas por desgaste del esmeril aplicado al fieltro.

Durante el cambio del esmeril, el adhesivo se aplica con una brocha; para cada calibre de esmeril se tiene una brocha diferente, es importante que no se mezclen las brochas ya que esto contamina el adhesivo y puede provocar mal funcionamiento del fieltro.

**b. Abrillantado:** El objetivo de este proceso es darle brillo al material. Para el abrillantado se emplea una rueda de sisal; a diferencia del esmerilado, solo se emplea un solo tipo de sisal y la única variación que existe es en el tamaño de las ruedas.

Durante el abrillantado se debe aplicar al sisal un preparado químico conocido coloquialmente como *pasta negra para pulido*, del cual no fue posible encontrar su composición precisa y la cual proporciona el brillo a la pieza y facilita que esta se desplace fácilmente.

A continuación se muestra una imagen del tipo de sisal empleado en el proceso:



**Figura 4.8 Rueda de sisal**

### Generalidades del proceso de pulido:

- Este proceso se lleva a cabo con un método de producción parecido a las células de manufactura (ver 2.3.2 inciso d): cada miembro del área aplica ya sea esmeril o sisal a ciertas zonas de la pieza. Para cada pieza el proceso es diferente, debido a la forma y tamaño de las mismas.
- Cada miembro del equipo de pulido sabe qué parte del proceso le corresponde realizar, esto es por la experiencia y por previo acuerdo. Lo anterior aplica para las piezas que ya se conocen; cuando se reciben piezas que no se han trabajado, deben primero analizarla para definir qué parte del proceso aplicará cada quien, aunque esto último no es muy común.
- En algunos casos, el acomodo que se realiza cuando se han trabajado las operaciones que le corresponden a cada trabajador no facilita que el encargado del próximo paso pueda tomar la pieza fácil y cómodamente.
- No todos los pasos del proceso se llevan a cabo en el mismo lapso de tiempo, lo cual puede provocar que alguno de los pulidores no pueda sobrellevar el ritmo de los demás y se quede rezagado; para resolver este problema existe un acuerdo no escrito de que alguno de los miembros del equipo (o incluso todos) deben apoyar a quien le tocó el proceso más largo.
- En algunos casos es necesario cambiar el fieltro o las ruedas de sisal para poder aplicar el paso correspondiente; el cambio se realiza sobre la marcha y toma cerca de 30 segundos para cada estación de trabajo.
- Se observa que el área de trabajo presenta demasiado desorden, situación que en ocasiones puede retrasar el proceso o bien provocar desperdicio de material.
- El proceso de pulido es el más tardado de todos, debido a que una pieza se somete a varios subprocesos, en ocasiones genera cuellos de botella, sobre todo con piezas para las que se demanda una alta calidad.
- Los fieltros usados no se clasifican de acuerdo con el calibre de esmeril que se les ha aplicado; cuando se requiere emplearlos nuevamente, el trabajador debe revisarlos para identificar el calibre.

La siguiente tabla contiene un estimado del tiempo que se requiere para pulir una pieza. Se considera el tamaño de la pieza y la calidad solicitada.

**Tabla 4.2 Tiempos aproximados para el proceso de pulido**

Tamaño / Calidad	Tiempo en minutos		
	Alta	Media	Baja
Grande	8	3	2
Mediana	4	2	1
Pequeña	0.5	0.5	0.5

## **Proceso de lavado**

Una vez que se han pulido las piezas, estas se someten a un proceso de lavado; en este proceso las piezas se sumergen en una tina que contiene una mezcla de sosa con agua, la mezcla debe estar caliente para obtener buenos resultados. La pieza debe tallarse con una esponja con la finalidad de eliminar toda la suciedad y los residuos de pastas de pulido que pueda tener.

El proceso de lavado se lleva a cabo en una tina de  $1 \times 1.20 \times 1 \text{ m}^3$ .

En la siguiente tabla se muestran los tiempos aproximados que se requieren para lavar una pieza; estos tiempos dependen sólo del tamaño de la pieza.

**Tabla 4.3 Tiempos aproximados para el proceso de lavado**

<b>Tamaño de la pieza</b>	<b>Tiempo en segundos</b>
<b>Grande</b>	15
<b>Mediana</b>	7
<b>Chica</b>	4

## **Proceso de desengrase**

Una vez que la pieza ha sido lavada, ésta se introduce a una tina que contiene una mezcla de sosa y agua, la pieza se sumerge y se sujeta a una barra que está alimentada con corriente eléctrica. El objetivo de este proceso es eliminar de la pieza toda la grasa que pueda tener. La pieza se deja dentro de la tina y conectada a la corriente eléctrica por un cierto tiempo, el cual depende del tamaño de la misma. En la siguiente tabla se muestran los tiempos aproximados que se requieren en el proceso de desengrase.

**Tabla 4.4 Tiempos aproximados para el proceso de desengrase**

<b>Tamaño de la pieza</b>	<b>Tiempo en minutos</b>
<b>Grande</b>	7
<b>Mediana</b>	4
<b>Chica</b>	3

El proceso de desengrase se lleva a cabo en una tina de  $1 \times 1.20 \times 1 \text{ m}^3$ .

Una vez que la pieza es retirada de la tina de desengrase se aplica un nuevo enjuague con agua. Es importante garantizar que al finalizar este proceso la pieza esté libre de cualquier suciedad o grasa ya que a continuación se aplica el niquelado que es el primero de los procesos galvanoplásticos y es requisito indispensable que la pieza este totalmente limpia para obtener buenos resultados.

#### 4.2.1.2 Procesos de galvanoplastia

Dentro de la empresa se llevan a cabo dos procesos de recubrimiento galvanoplástico: niquelado y cromado. El niquelado tiene como objetivo proteger la pieza y darle brillo, el cromado se aplica principalmente como protección ante la corrosión. A continuación se incluye una descripción de cada proceso galvanoplástico.

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

Este proceso se lleva a cabo sumergiendo la pieza en una solución electrolítica de níquel, la pieza debe hacer contacto con una barra que le proporciona corriente eléctrica controlada con lo cual se logra que el níquel se adhiera a la superficie. La pieza debe dejarse un cierto tiempo dentro de la tina, el tiempo depende del tamaño que tenga la pieza y de la calidad requerida. En este proceso la pieza adquiere brillo que no es propio del material.

La siguiente tabla contiene los tiempos de aplicación del proceso de niquelado; se considera el tamaño de la pieza y la calidad solicitada.

**Tabla 4.5 Tiempos aproximados para el proceso de niquelado**

Tamaño / Calidad	Tiempo en minutos		
	Alta	Media	Baja
Grande	12	7	4
Mediana	7	5	4
Pequeña	4	4	4

Existe la opción de acelerar el proceso si se aumenta la corriente eléctrica que se aplica a las piezas, pero no se usa con mucha frecuencia ya que los resultados pueden variar con respecto al grosor de la película de material aplicado. Una vez que el material se retira de la tina de niquelado se enjuaga con agua y está listo para pasar al proceso de cromado.

El proceso de niquelado se lleva a cabo en una tina de 3.20 x 1.30 x 1.30 m<sup>3</sup>.

##### **Proceso de cromado**

Para llevar a cabo el proceso de cromado las piezas se sumergen en una solución electrolítica que contiene cromo disuelto y se hace contacto con una barra por la que circula electricidad controlada, este es el proceso más rápido ya que la pieza solo se electrifica por algunos segundos.

La siguiente tabla contiene los tiempos de aplicación del proceso de cromado para diferentes piezas; este tiempo depende sólo del tamaño de la pieza.

**Tabla 4.6 Tiempos aproximados para el proceso de cromado**

<b>Tamaño de la pieza</b>	<b>Tiempo en segundos</b>
<b>Grande</b>	5
<b>Mediana</b>	3
<b>Chica</b>	De 1 a 2

El proceso de cromado es también uno de los más delicados ya que si se da más tiempo a la pieza esta sale con una coloración azulada, lo cual se conoce como “pieza quemada”; si por el contrario no se da el tiempo suficiente, la pieza sale con una coloración amarillenta. Para corregir ambos errores la pieza debe sumergirse en la tina de desengrase para eliminar el cromo que se ha adherido, posteriormente se activa sumergiéndola en ácido y haciendo contacto por algunos segundos con la corriente eléctrica (entre 3 y 5 segundos). El activado se realiza para que sea posible cromar la pieza nuevamente ya que de lo contrario no es posible aplicar la nueva capa de cromo.

El proceso de cromado se lleva a cabo en una tina de  $1.6 \times 0.8 \times 1 \text{ m}^3$ .

Después de ser cromada la pieza se enjuaga en agua, en este proceso se utilizan dos pasos de enjuague. Una vez que la pieza ha sido enjuagada se seca con papel periódico (piezas grandes) o bien con aserrín (piezas pequeñas).

Al finalizar este proceso las piezas están listas para ser entregadas a los clientes.

Antes de la entrega se realiza una inspección visual para determinar si las piezas presentan el aspecto requerido. Si las piezas tienen algún defecto que es fácilmente perceptible a simple vista, éstas deben retrabajarse; la decisión es más bien arbitraria y depende de la calidad solicitada por los clientes y de la tolerancia supuesta de un determinado cliente ante los defectos.

A continuación se presenta un diagrama de flujo del proceso general que se lleva a cabo en la empresa:



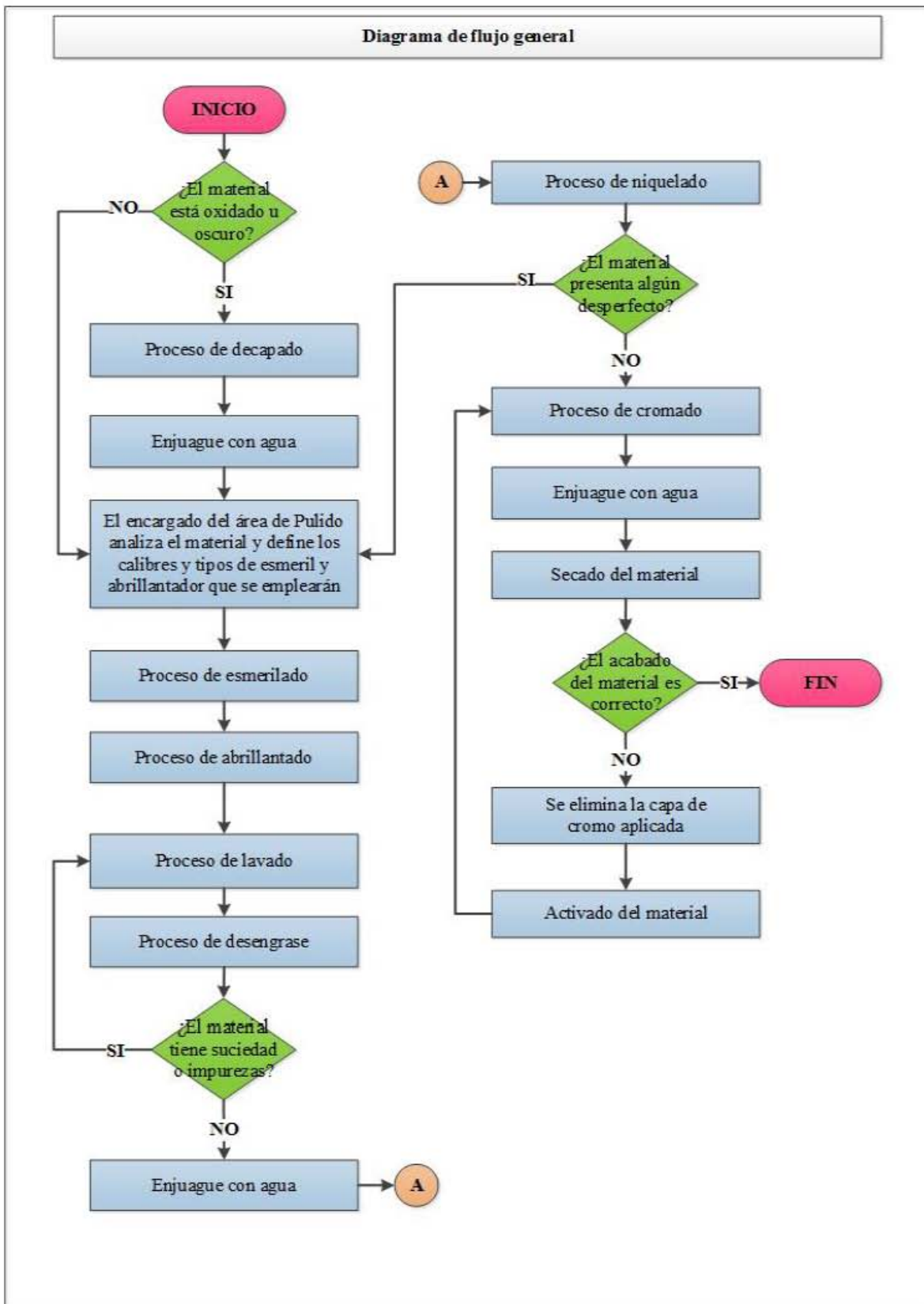


Figura 4.9 Diagrama de flujo general

## 4.2.2 Identificación de problemas

Durante la investigación realizada se obtuvo la siguiente lista de problemas:

- Piezas que deben retrabajarse por acabado no satisfactorio
- Entregas tardías
- Falta de agua
- Métodos no adecuados en el área de pulido

A continuación se incluye una descripción de cada uno de los problemas detectados.

### **Piezas que deben retrabajarse por acabado no satisfactorio**

El retrabajo de piezas puede ser resultado de errores en los procesos de pulido, niquelado o cromado, esto implica que los procesos no se están llevando a cabo correctamente y que las piezas no tienen el acabado requerido. El acabado es la única característica de calidad utilizada por los clientes para evaluar la calidad del trabajo, por lo tanto resulta de suma importancia evitar este tipo de problemas.

Cabe mencionar que la evaluación del acabado de las piezas se realiza visualmente, en primera instancia mientras se está realizando el proceso y después al finalizar el mismo. Otro punto importante a mencionar es que no todas las piezas con defectos son retrabajadas, si el defecto no es perceptible a simple vista las piezas son entregadas a los clientes y sólo en algunas ocasiones los clientes regresan las piezas por no aceptar el acabado.

De manera general los errores detectados en el acabado de las piezas son los siguientes:

- a. Errores en el proceso de pulido. Pueden presentar porosidad excesiva, rebabas, falta de brillo, rallado, etc.
- b. Errores en el proceso de niquelado. Las piezas no tienen la brillantez requerida.
- c. Errores en el proceso de cromado. Las piezas presentan cierta coloración, la cual puede ser azulada o amarillenta.

### **Entregas tardías**

En ocasiones las piezas se entregan después de la fecha pactada con el cliente, esto genera clientes molestos, con el riesgo de que el cliente deje de trabajar con la empresa. Algunas veces los clientes están esperando afuera de las instalaciones hasta que sus piezas estén listas y puedan llevárselas.

## Falta de agua

Como es común en los procesos galvanoplásticos, la empresa emplea grandes cantidades de agua. En ocasiones se presentan problemas por escasez de agua ya que en la zona donde se ubica la empresa la falta de agua es una constante. Cuando no se cuenta con el agua suficiente ésta debe comprarse, incrementando con esto los costos de operación.

## Métodos no adecuados en el área de pulido

Durante la inspección en el área de pulido se identificaron prácticas no adecuadas que pueden ser mejorables, dentro de las que destacan: falta de orden en el área, pérdida de tiempo por buscar un material o herramienta, los materiales no se clasifican ni ordenan.

Estas malas prácticas generan errores y pérdida de tiempo, los cuales implican retrabajo y desperdicio de materiales, incrementando los costos de producción.

### **4.2.3 Determinación de las causas que originan los problemas**

A continuación se incluye una breve descripción de las causas que originan los problemas:

#### Retrabajo de piezas

El diagnóstico para los problemas que generan retrabajo de piezas es el siguiente:

##### **a. Errores en el proceso de pulido:**

- Uso de esmeril de un calibre diferente al requerido. Originado por error del trabajador al determinar el calibre de esmeril que se ha aplicado anteriormente al fieltro.
- El esmeril está desgastado. La pieza fue trabajada con un esmeril muy gastado, razón por la cual el resultado no es satisfactorio.
- La pieza no fue trabajada correctamente (error del trabajador). Originado por fatiga del trabajador o por premura al realizar el trabajo, el error consiste en no aplicar la presión suficiente al pulir la pieza, o bien no dar las pasadas necesarias a cada pieza para eliminar los desperfectos.
- Existen zonas de la pieza que no fueron pulidas correctamente. Puede ser por error al dividir las zonas de la pieza que cada trabajador deberá pulir, porque la pieza tiene una forma complicada haciendo difícil el acceso de los fieltros a todas las zonas, o bien porque algún trabajador olvido pulir cierta zona de la pieza.

Las causas del problema se resumen en el siguiente diagrama causa efecto:

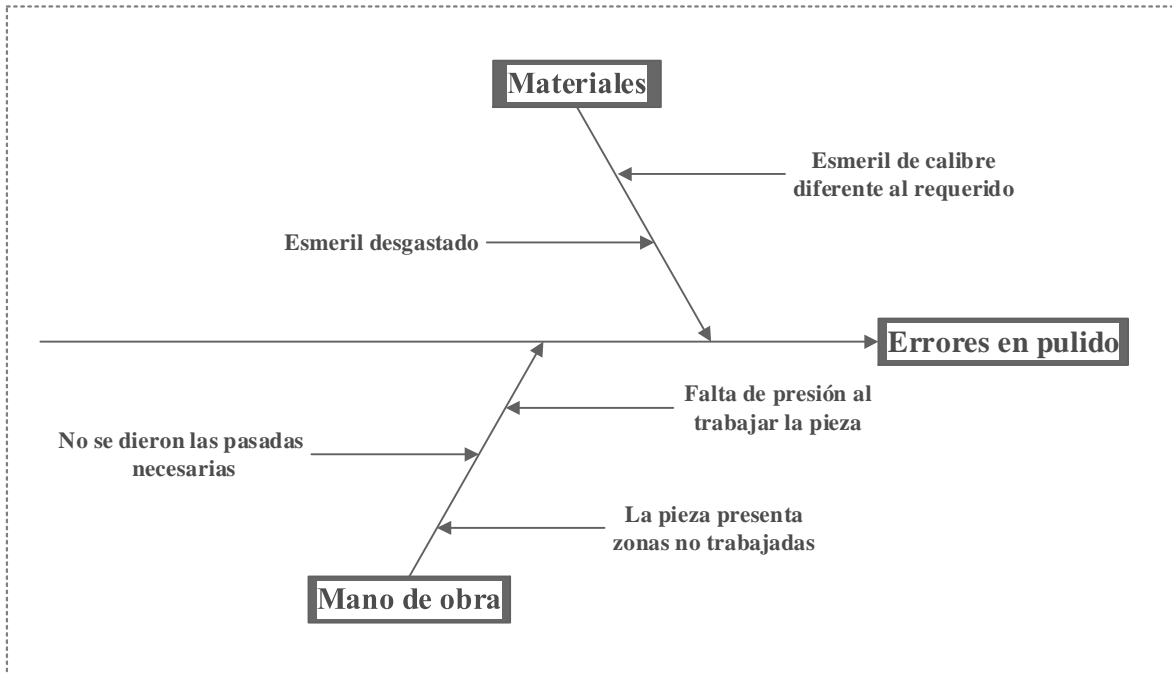


Figura 4.10 Diagrama causa efecto para errores en pulido

#### b. Errores en el proceso de niquelado:

- La solución de la tina está desgastada, es decir que no tiene la concentración de níquel necesaria para funcionar bajo los parámetros establecidos (tiempo de aplicación y voltaje aplicado). El desgaste de la solución es normal y depende del número de piezas trabajadas.
- Se ha aplicado exceso de abrillantador en la tina. La aplicación del abrillantador se realiza en forma intuitiva cada semana y se aplica una medida específica (aproximadamente dos litros), el abrillantador tiene el objetivo de mejorar los resultados de la aplicación al incrementar el brillo de las piezas. La aplicación semanal se maneja como un estándar; sin embargo, en ocasiones debe aplicarse antes del tiempo definido, en estos casos es el trabajador quien por su experiencia en el proceso decide la aplicación al percatarse de que las piezas no tiene el brillo deseado.
- La solución de la tina está contaminada. Existen diversos factores por los cuales la solución puede contaminarse, por ejemplo: las piezas no fueron bien enjuagadas antes de ingresarlas a la tina, le ha caído a la tina tierra o algún otro material por fractura de paredes o techos, los guantes del trabajador están sucios o contaminados, etcétera.

- No se aplicó el tiempo suficiente a las piezas de acuerdo con la calidad requerida. Es un error por parte del trabajador, que, al no existir procedimientos ni tiempos específicos, no deja las piezas en la tina el tiempo suficiente.

A continuación se muestra el diagrama causa efecto para los problemas de niquelado:

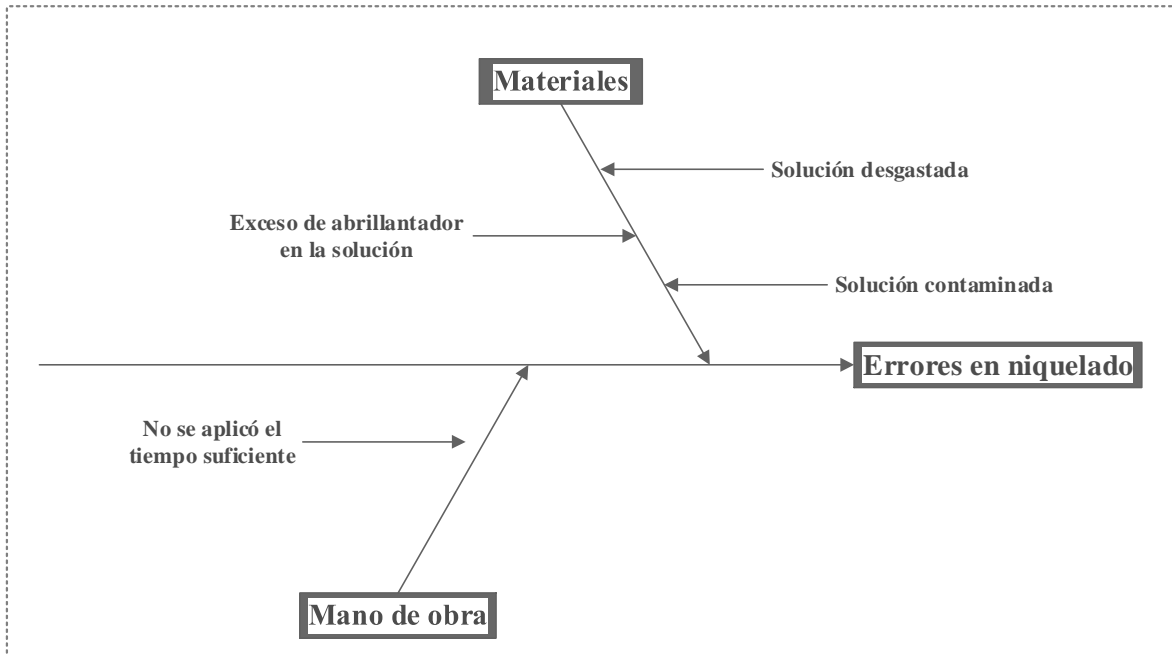


Figura 4.11 Diagrama causa efecto para errores en niquelado

### c. Errores en el proceso de cromado

- El cromo se ha asentado en la tina. Si el metal se ha asentado, el recubrimiento aplicado no tendrá el acabado necesario, las piezas tienden a salir con una coloración amarillenta.
- La solución de la tina está desgastada; al no tener la concentración necesaria, el recubrimiento presentará desperfectos. El desgaste de la solución es natural y depende del número de piezas trabajadas.
- La solución de la tina está contaminada. Existen diversos factores por los cuales la solución puede contaminarse, por ejemplo: las piezas no fueron bien enjuagadas antes de ingresarlas a la tina, le ha caído a la tina tierra o algún otro material por fractura de paredes o techos, los guantes del trabajador están sucios o contaminados, etcétera.

- No se aplicó el tiempo adecuado a las piezas. Un tiempo excesivo generará una coloración azul, la falta de tiempo provoca una coloración amarillenta.

Las causas del problema se resumen en el siguiente diagrama causa efecto:

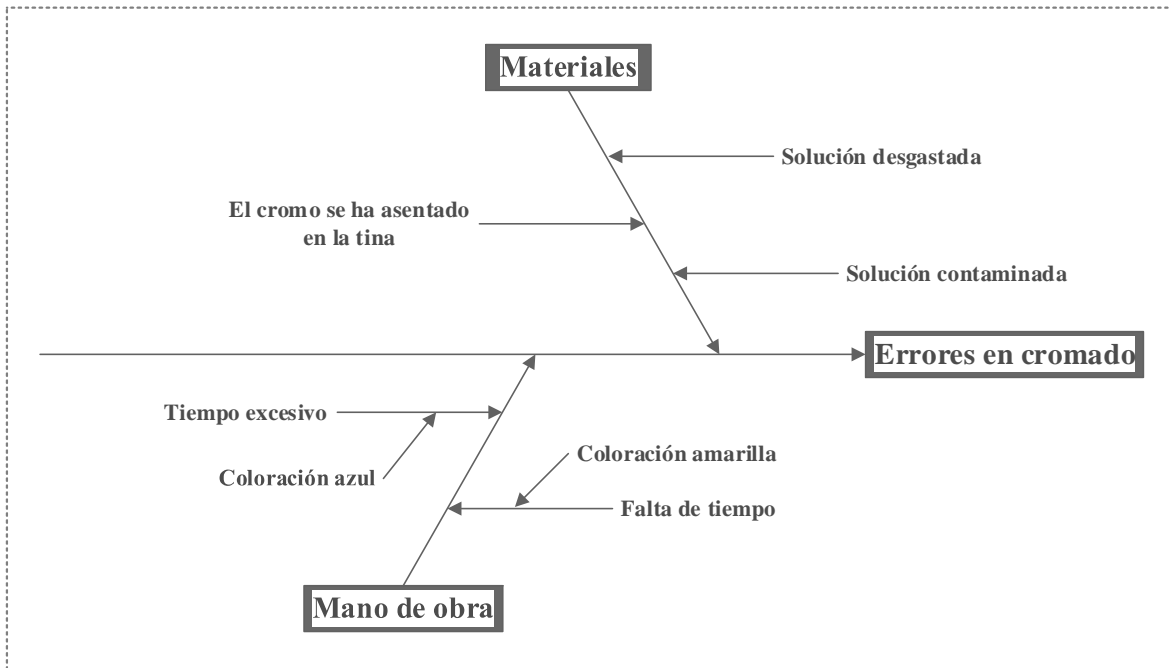


Figura 4.12 Diagrama causa efecto para errores en cromado

### 🚦 Entregas tardías

Las entregas tardías tienen tres causales:

- Piezas que deben retrabajarse, causado por errores en los procesos
- Exceso de trabajo, por días o por temporadas cortas se presenta una gran demanda por parte de los clientes
- El cliente pide las piezas con urgencia, dando un intervalo de tiempo corto y a veces insuficiente para realizar el trabajo adecuadamente

En el siguiente diagrama se resumen las causas de las entregas tardías:

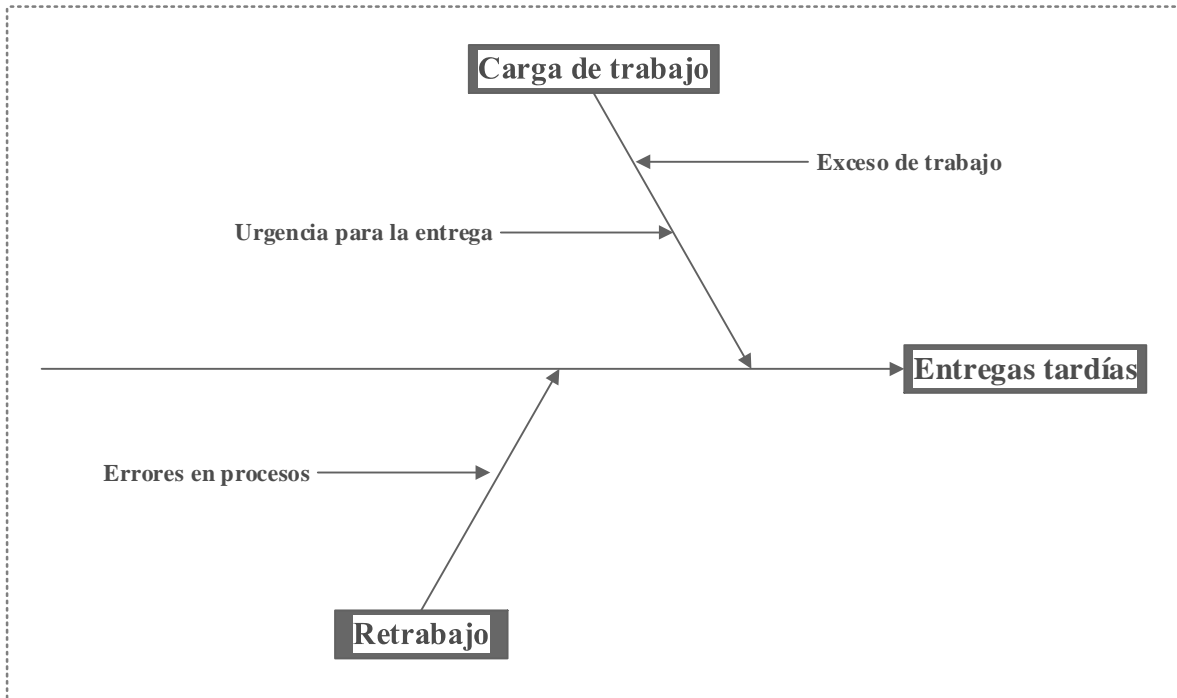


Figura 4.13 Diagrama causa efecto para entregas tardías

### Falta de agua

La falta de agua se presenta por las siguientes causas:

- Escasez del servicio en la zona
- El proceso demanda una gran cantidad de agua
- No se cuenta con un método o sistema de tratamiento o recuperación de aguas residuales

A continuación se presenta el diagrama causa efecto para el problema de falta de agua:

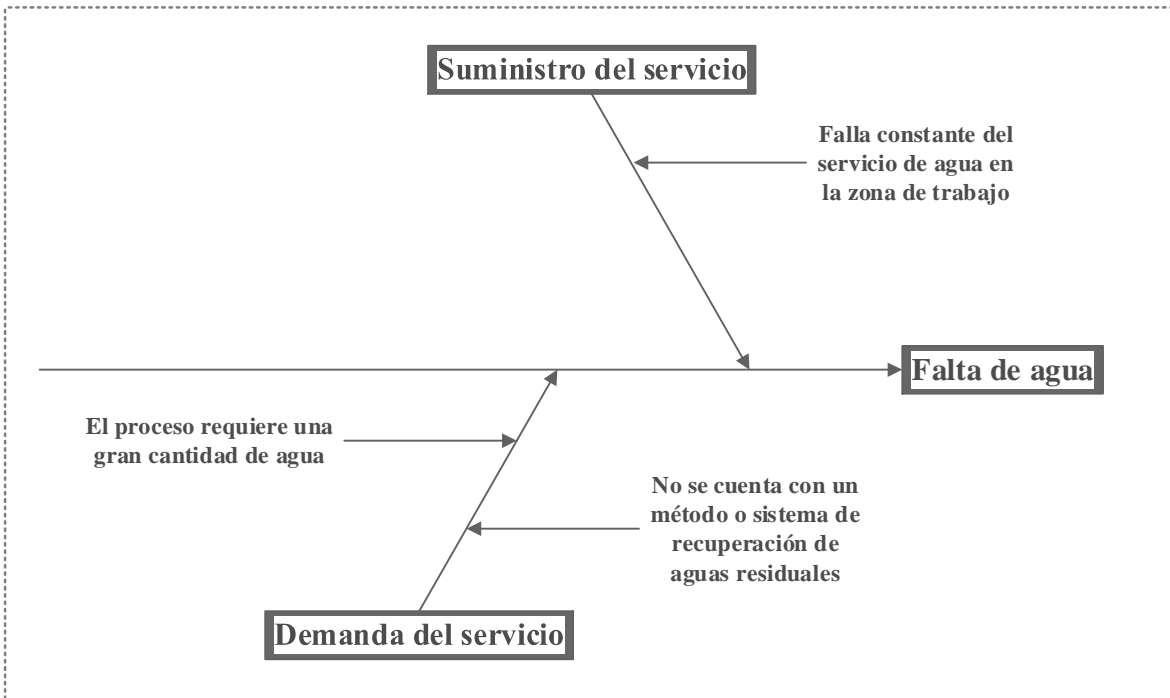


Figura 4.14 Diagrama causa efecto para falta de agua

#### 🚧 Métodos no adecuados en el área de pulido

Se han detectado en el área de pulido las siguientes situaciones:

- El área está en desorden, no hay un lugar definido para cada cosa
- Los fieltros no se clasifican de ninguna manera, de modo que los trabajadores deben revisar cada fieltro cada vez que se van a utilizar, para identificar el calibre del esmeril que se les ha aplicado previamente
- Los contenedores con el pegamento y las brochas con los cuales se aplica el esmeril a los fieltros no están etiquetados, razón que podría provocar error en el tamaño de esmeril aplicado y la consecuente contaminación del fieltro

Los problemas mencionados se presentan sólo en el área de pulido; de acuerdo con el análisis realizado esta situación es originada por la falta de orden y control dentro de la citada área. En el área de galvanoplastia no se presentan problemas de este tipo ya que se trabaja con orden y todos los materiales están debidamente clasificados. Presumiblemente esto puede ser originado porque dentro de la empresa el área de pulido es vista como una actividad de preparación que no agrega valor en el proceso; además que las tinas empleadas en el área de galvanoplastia se trabajan con mucho cuidado ya que de lo contrario podrían



contaminarse, generando retrasos en la producción y un impacto económico para la empresa. Todos los puntos mencionados anteriormente son originados por malas prácticas del personal, las cuales pueden ser atribuibles a la falta de procedimientos escritos y ausencia de estandarización en los procesos que se llevan a cabo.

#### 4.2.4 Selección de los problemas a corregir

##### a) Análisis de factibilidad

El resultado del análisis de factibilidad se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 4.7 Evaluación de factibilidad para los problemas a corregir**

Problema	Causa	Posibles soluciones	Recursos humanos	Equipo	Realizable corto plazo
Errores en pulido	Esmeril con calibre erróneo	Selección correcta del calibre del esmeril	SI	SI	SI
	Esmeril desgastado	Cambio de esmeril a tiempo	SI	SI	SI
	Error al trabajar la pieza	Concentración y habilidad del trabajador	SI	SI	SI
	Zonas no trabajadas en la pieza	Concentración y habilidad del trabajador	SI	SI	SI
Errores en niquelado	Solución desgastada	Medir la concentración	NO	NO	NO
	Exceso de abrillantador	Ajuste por parte del trabajador	SI	SI	SI
	Solución contaminada	Limpiar la solución	NO	NO	NO
	Error en el tiempo	Concentración y habilidad del trabajador	SI	SI	SI
Errores en cromado	Cromo asentado	Aplicar compuesto para remover el material asentado	SI	SI	SI
	Solución desgastada	Medir la concentración	NO	NO	NO
	Solución contaminada	Limpiar la solución	NO	NO	NO
	Error en el tiempo	Concentración y habilidad del trabajador	SI	SI	SI
Entregas tardías	Piezas que deben retrabajarse	Solución de problemas y evitar errores	SEGÚN ERROR	SEGÚN ERROR	SEGÚN ERROR
	Exceso de trabajo	Incrementar el tiempo para la entrega	SI	NO	NO
	Urgencia en la entrega	Incrementar el tiempo para la entrega	SI	NO	NO
Falta de agua	Escasez del servicio	Mejorar las condiciones del servicio	NO	NO	NO
	Alta demanda en el proceso	No se puede minimizar la demanda	NO	NO	NO
	No se emplean métodos de recuperación o reúso de aguas	Implementar algún método de recuperación o reúso de aguas residuales	SI	NO	PARCIAL

En la tabla anterior, las primeras dos columnas presentan respectivamente los errores observados y sus causas, la tercera columna presenta las posibles soluciones para cada causa, y las últimas columnas indican si la empresa cuenta con los respectivos recursos humanos y materiales requeridos para implantar la solución, así como la factibilidad de la solución a corto plazo.

Puede observarse en la tabla que los errores que resultan factibles de corregirse son aquellos que tienen que ver con errores de los trabajadores. Con respecto a los problemas de las soluciones o baños, resulta imposible resolverlos en el corto plazo ya que no se cuenta con los instrumentos necesarios para monitorear la concentración de las tinas. El problema de las entregas tardías puede corregirse parcialmente al eliminar errores y reducir las piezas que deben retrabajarse. El problema del agua puede mejorarse parcialmente debido a que puede implementarse el reúso de aguas de enjuague.

Tomando como base la tabla anterior, sólo se consideraron para la aplicación aquellas causas que resultaron factibles de resolver en el corto plazo; para aquellas que no resultaron factibles por la falta de equipo de medición se realizó una propuesta sencilla de tipo artesanal, con el objetivo de minimizar los resultados negativos hasta que la empresa cuente con recursos suficientes para la implantación de otras soluciones que involucran la compra de equipos y materiales especializados.

## b) Determinación del nivel de impacto de cada problema

**Tabla 4.8 Puntos de identificación e impacto de los errores detectados**

Problema	Punto de identificación	Afectaciones
<b>Errores en pulido</b>	Al lavar las piezas	Pérdida de tiempo por tener que retrabajar las piezas en el área de pulido, desperdicio de los materiales de lubricación y esmerilado empleados en el área de pulido
	Cuando la pieza está en proceso de niquelado	Retrabajo y pérdida de materiales en el área de pulido, retrabajo por lavado y desengrasado, desperdicio de níquel que es un material de costo elevado
<b>Errores en niquelado</b>	Al salir del niquelado	Puede implicar solo falta de tiempo en el proceso; si el problema está en la solución puede implicar retrabajo total, desde el pulido
	Al salir del cromado	
<b>Errores en cromado</b>	Al salir del cromado	Pérdida de tiempo al eliminar el cromo aplicado y activar la pieza, retrabajo por volver a cromar y desperdicio del cromo, que junto con el níquel, son los materiales más costosos
<b>Entregas tardías</b>	Cuando hay retraso en la entrega	Molestia y posible pérdida de clientes
<b>Falta de agua</b>	Cuando no se tiene la cantidad suficiente	La falta de agua podría implicar detener el proceso

En la tabla 4.8 se detallan las partes del proceso donde pueden ser detectados los errores y las afectaciones que pueden generar. Con base en esta tabla se puede concluir que todos los errores detectados tienen afectaciones graves para la empresa; siendo las peores aquellas que implican el retrabajo total de la pieza, seguidas de aquellas que implican eliminación y retrabajo de los procesos galvanoplásticos: niquelado y cromado. Aunque la falta de agua es un problema grave, poco puede hacerse para corregir el problema; es importante mencionar que siempre está presente la opción de comprar pipas de agua, y aunque genera un incremento en los costos resulta la mejor opción para sobrellevar el problema. Por su parte las entregas tardías, al no afectar el proceso directamente, se pueden clasificar como los problemas menos graves; sin embargo, aun siendo menos importantes que los otros problemas, a largo plazo pueden incidir negativamente en la imagen y credibilidad de la empresa.

De acuerdo con el análisis anterior, en la siguiente tabla se presenta el grado de impacto que se asignó a cada causa de cada problema:

**Tabla 4.9 Grado de impacto asignado a cada causa**

<b>Problema</b>	<b>Causa</b>	<b>Impacto</b>
<b>Errores en pulido</b>	Esmeril con un calibre erróneo	Alto
	Esmeril desgastado	Alto
	Error al trabajar la pieza	Alto
	Zonas no trabajadas en la pieza	Alto
<b>Errores en niquelado</b>	Solución desgastada	Alto
	Exceso de abrillantador	Alto
	Solución contaminada	Alto
	Error en el tiempo	Bajo
<b>Errores en cromado</b>	Cromo asentado	Bajo
	Solución desgastada	Alto
	Solución contaminada	Alto
	Error en el tiempo	Alto
<b>Entregas tardías</b>	Piezas que deben retrabajarse	Alto
	Exceso de trabajo	Bajo
	Urgencia en la entrega	Bajo
<b>Falta de agua</b>	Escasez del servicio	Medio
	Alta demanda en el proceso	Medio
	No se emplean métodos de recuperación o reúso de aguas	Medio

### **c) Clasificación de problemas por color**

A continuación se presenta una tabla en la cual se clasifican las causas que originan cada problema de acuerdo al código de color establecido (tabla 3.1):

**Tabla 4.10 Clasificación de problemas por color**

Problema	Causa	Impacto	Factible	Clasificación
<b>Errores en pulido</b>	Esmeril con un calibre erróneo	Alto	SI	
	Esmeril desgastado	Alto	SI	
	Error al trabajar la pieza	Alto	SI	
	Zonas no trabajadas en la pieza	Alto	SI	
<b>Errores en niquelado</b>	Solución desgastada	Alto	NO	
	Exceso de abrillantador	Alto	SI	
	Solución contaminada	Alto	NO	
	Error en el tiempo	Bajo	SI	
<b>Errores en cromado</b>	Cromo asentado	Bajo	SI	
	Solución desgastada	Alto	NO	
	Solución contaminada	Alto	NO	
	Error en el tiempo	Alto	SI	
<b>Entregas tardías</b>	Piezas que deben retrabajarse	Alto	SI	
	Exceso de trabajo	Bajo	NO	
	Urgencia en la entrega	Bajo	NO	
<b>Falta de agua</b>	Escasez del servicio	Medio	NO	
	Alta demanda en el proceso	Medio	NO	
	No se emplean métodos de recuperación o reúso de aguas	Medio	SI	

Tomando como base la tabla anterior es posible visualizar la situación de cada causa de cada problema, con lo cual es posible elaborar una planificación eficiente para implementar las mejoras, definiendo aquellas que se pueden implementar de inmediato y el orden en que deben aplicarse.

Se observa que todas las causas que provocan errores en el proceso de pulido tienen implicación alta y son factibles de corregirse a corto plazo; esto sugiere que se pueden obtener resultados notables al trabajar estas causas y corregir estos problemas. Por el contrario, las causas que provocan errores en los procesos de niquelado y cromado y que son clasificadas con implicación alta no son factibles de corregirse a corto plazo ya que no se cuenta con el equipo de medición necesario; esto hace evidente que existe una gran área de oportunidad para mejorar los procesos si se trabaja para corregir esas causas.

#### **d) Elección de los problemas a corregir**

Para la aplicación del presente proyecto, en esta fase sólo se eligieron para trabajar en su corrección aquellas causas clasificadas como factibles a corto plazo. Para las causas clasificadas como no factibles por requerir equipos de medición en el proceso de galvanoplastia, en este momento solo se harán recomendaciones para tratar de minimizar su impacto, con la sugerencia de que la empresa retomará su análisis en un futuro, cuando tenga la posibilidad de adquirir el equipo de medición requerido.

En la siguiente tabla se muestran las causas de cada problema seleccionadas para trabajar en su corrección o mejora:

**Tabla 4.11 Errores seleccionados para corregir o mejorar**

Problema	Causa	Impacto	Factible	Clasificación
<b>Errores en pulido</b>	Esmeril con un calibre erróneo	Alto	SI	
	Esmeril desgastado	Alto	SI	
	Error al trabajar la pieza	Alto	SI	
	Zonas no trabajadas en la pieza	Alto	SI	
<b>Errores en niquelado</b>	Exceso de abrillantador	Alto	SI	
	Error en el tiempo	Bajo	SI	
<b>Errores en cromado</b>	Cromo asentado	Bajo	SI	
	Error en el tiempo	Alto	SI	
<b>Entregas tardías</b>	Piezas que deben retrabajarse	Alto	SI	
<b>Falta de agua</b>	No se emplean métodos de recuperación o reúso de aguas	Medio	SI	

Puede observarse que el 70% de las causas factibles de resolver a corto plazo tienen impacto alto y sólo el 20% tiene impacto bajo; esto supone que es posible obtener resultados satisfactorios con la aplicación de las mejoras al proceso.

Es importante mencionar que lo que se denominó “métodos no adecuados en el área de pulido” y que corresponde a malas prácticas mejorables dentro del área, se trabajará en su totalidad debido a que implican cambios que no demandan herramientas ni conocimiento especial, pero que pueden provocar fallas o errores en el proceso.

#### **4.2.5 Propuestas de solución o mejora**

La propuesta para la mejora de problemas se dividió en tres puntos, cada uno de los cuales busca solucionar uno o varios de los problemas seleccionados. A continuación se especifica cada uno de estos puntos:

##### **1. Organizar el área de pulido**

Este punto está basado en la metodología de las 5’s, la cual busca mantener en orden el área de trabajo, además de clasificar e identificar las herramientas y materiales empleados; las actividades realizadas fueron:

- ✓ Ordenar el área de pulido, sacando las cosas que no se usan
- ✓ Clasificar los fieltros de acuerdo con el calibre de esmeril que se les ha aplicado
- ✓ Etiquetar los contenedores del pegamento para cada calibre de esmeril

Con estas actividades se buscó dar solución a los siguientes problemas:

- ✚ Métodos no adecuados del área de pulido
- ✚ Pulido con un esmeril de calibre erróneo

Además de lo anterior, se disminuye el tiempo empleado por los trabajadores para buscar materiales o herramientas y para determinar el calibre de esmeril que previamente se ha aplicado a los fieltros; se evita también contaminar el pegamento empleado para aplicar el esmeril.

## **2. Implementar una revisión visual de las piezas que salen del pulido**

Con este punto se buscó reducir el número de piezas que llegan a los procesos de lavado y niquelado con errores en el pulido. Se espera que al hacer de la revisión un paso obligatorio, los trabajadores pongan más atención en el trabajo que realizan y se disminuya el número de piezas que deben retrabajarse.

Con esta actividad se pretende minimizar los siguientes problemas:

- ✚ Pulido con un esmeril desgastado
- ✚ Error al realizar el pulido
- ✚ Piezas con zonas sin pulir

Se decidió implantar esta revisión ya que la empresa se divide en dos áreas: (pulido y galvanoplastia) y el trabajo de cada área es independiente de la otra por lo que los problemas en la calidad del pulido generalmente no se detectan sino hasta que la pieza ya se está trabajando en el área de galvanoplastia, específicamente en el proceso de niquelado. Por lo anterior, la detección temprana de errores en el pulido evitará que una pieza que ha pasado por los procesos de lavado, desengrase y niquelado, tenga que regresarse al pulido; disminuyendo así el retrabajo de piezas y el desperdicio de materiales.

Cabe destacar que los errores que se pretenden corregir con esta acción son de mano de obra y son responsabilidad directa del trabajador, por lo cual resulta imposible evitarlos; sin embargo, el objetivo es reducirlos al mínimo y sobre todo evitar que la pieza sea sometida a otros procesos antes de detectar el error del pulido.

### 3. Reúso de aguas de enjuague

Como una estrategia para mitigar el problema de escasez del agua se implementó el reúso de las aguas de enjuague del proceso de cromado. En el proceso se emplean dos tambos de enjuague, la propuesta es cambiar el tambo del segundo enjuague al primero en lugar de desecharla. Con esto solo se necesitaría rellenar el último tambo de enjuague y se reusaría el agua para el primero.

### 4. Otros problemas

A continuación se enlistan algunas causas que no pueden ser trabajadas en su totalidad ya sea por la naturaleza de la causa o por no contar con los recursos en la empresa:

- Con respecto al exceso de abrillantador **en el niquelado**, se sugiere trabajar una pieza y analizar el resultado obtenido cada tercer día al inicio del turno laboral. El objetivo de esta prueba es identificar si la tina contiene la cantidad de abrillantador correcto antes de comenzar las labores del día. El abrillantador se agrega a la tina de niquelado cada semana, razón por la cual se considera que al realizar esta prueba cada tercer día puede evitar el retrabajo de piezas por no contar con el brillo requerido.
- El error consistente en no dejar la pieza en la tina de níquel el tiempo necesario de acuerdo con la calidad solicitada puede corregirse con la estandarización por escrito de los procedimientos. Se propone pegar un cartel en la zona de niquelado que indique el tiempo que debe dejarse una pieza en la aplicación, se sugiere que contenga imágenes de piezas según la clasificación de tamaño y calidad requerida. Para complementar el cartel puede emplearse un temporizador con alarma, los cuales son fáciles de conseguir y económicos, su precio es de aproximadamente \$150.
- El problema referente al **cromo asentado en la tina** se resuelve agregando una sustancia que hace un efecto efervescente y remueve el material acumulado al fondo. Este problema se corrige actualmente al detectar errores en las piezas (piezas amarillas); sin embargo, sería mejor poder aplicar la solución antes de que se presenten errores. Se propone cromar una pieza y analizarla para identificar si el resultado es adecuado (la pieza no sale amarilla) todos los días al inicio de la jornada laboral. Debido a que este problema no tiene un periodo de ocurrencia estable, la prueba diaria tiene como objetivo la identificación temprana del problema, con lo cual se disminuye la probabilidad de obtener piezas amarillas que posteriormente deben retrabajarse.
- Los **errores en el tiempo de contacto de la pieza durante el proceso de cromado** pueden corregirse con la misma implementación recomendada para el tiempo de niquelado; un cartel con imágenes de las piezas según la clasificación de tamaño y el tiempo requerido, complementado. Cabe

mencionar que en el cromado no se manejan calidades, razón por la cuál el único factor a considerar es el tamaño de la pieza.

- Las **entregas tardías** podrían disminuirse al minimizar la cantidad de piezas a retrabajar y al disminuir los tiempos muertos, resultados esperados de los puntos anteriores. Los resultados pueden mejorarse con la implementación de un procedimiento escrito que contenga los lineamientos que deben seguirse cuando se tiene exceso de trabajo. Para evitar la premura generada por exigencia de los clientes podría establecerse una política de trabajo que regule los periodos mínimos y máximos de entrega del material.

#### **4.2.6 Implantación de las mejoras**

Las actividades llevadas a cabo para la implementación de las mejoras fueron las siguientes:

- a. Comunicación a todo el personal de las acciones a realizar en cada área, haciéndoles ver de qué manera serán ellos beneficiados con los cambios
- b. Ordenamiento del área de pulido, establecimiento de áreas para la clasificación de los fieltros por calibre de esmeril aplicado y etiquetado de los contenedores del adhesivo empleado para cada calibre de esmeril
- c. Establecimiento de la revisión de las piezas que salen del área de pulido como una actividad diaria y asignación del responsable del área de pulido para llevar a cabo la actividad
- d. Comunicación a todo el personal de la empresa de la importancia de disminuir el número de piezas que se retrabajan, originadas por errores en el proceso que son factibles de evitarse
- e. Implementación del reúso de las aguas de enjuagué del proceso de cromado

#### **4.2.7 Seguimiento y medición de resultados**

Al dar seguimiento a la implementación de los cambios, se observó un mayor compromiso por parte de los trabajadores al realizar sus actividades, lo cual se vio favorecido por la competencia entre las áreas para tener el menor número de piezas erróneas.

El anterior es un beneficio de tipo cualitativo, a continuación se presentan los beneficios de tipo cuantitativo que se midieron.



## 1. Reducción de tiempos muertos

Se considera reducción de tiempo al ya no tener que buscar los filtros y determinar el esmeril que se ha aplicado previamente a cada uno de ellos. Para obtener este indicador se obtuvo un promedio del tiempo que tomaba a los trabajadores encontrar el filtro que deben emplear, ese tiempo promedio se multiplicó por el número estimado de veces que se cambia el filtro en un día (dato proporcionado por los trabajadores), los resultados son los siguientes:

<b>Tiempo promedio para encontrar el filtro</b>	20 s
<b>Estimado de cambios de filtro al día</b>	45 (considerando 3 trabajadores)
<b>Tiempo muerto eliminado</b>	900 s = 0.25 h/día

El estimado de cambios es un parámetro que presenta una variación muy grande ya que depende de la carga de trabajo, del tipo de pieza y del número de piezas diferentes que se manejen al día. Por esta razón, el dato presentado anteriormente debe considerarse aproximado, puede presentar variaciones importantes tanto en incremento como en decremento.

## 2. Disminución del número de piezas que deben retrabajarse

Para obtener este dato, se llevó un registro del número de piezas que debieron retrabajarse antes de implementar los cambios y del número de piezas a retrabajarse una vez implementados los cambios. El monitoreo se llevó a cabo un mes antes de los cambios y un mes después de los cambios, las mediciones se registraron con frecuencia semanal.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 4.12 Piezas que deben retrabajarse**

Área/Semana	Antes de los cambios		Después de los cambios	
	Pulido	Cromado	Pulido	Cromado
Semana 1	28	12	18	5
Semana 2	19	8	13	11
Semana 3	25	10	26	9
Semana 4	20	4	24	6
<b>Suma, S<sub>i</sub></b>	<b>92</b>	<b>34</b>	<b>82</b>	<b>31</b>
<b>Piezas analizadas, n<sub>i</sub></b>	<b>2250</b>		<b>2600</b>	
<b>Proporción, p</b>	<b>0.041</b>	<b>0.015</b>	<b>0.031</b>	<b>0.012</b>

Con el objetivo de medir el impacto obtenido con los cambios, se aplicó una prueba de hipótesis de comparación de dos proporciones.

Las hipótesis adecuadas para resolver el problema son:

$$H_0: p_1 = p_2$$

$$H_1: p_1 > p_2$$

Lo anterior se resuelve considerando que la proporción sigue una distribución binomial; sin embargo, cuando  $n$  es grande – como es el caso – se puede emplear la distribución normal como aproximación a la binomial, tomando como parámetros correspondientes  $\mu_p = p$  y  $\sigma_p = \sqrt{pq/n}$ .

El estadístico de prueba es dado por:

$$z_p = \frac{p_1 - p_2}{\sqrt{pq \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

en donde:

$$p = \frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2} \quad q = 1 - p$$

Los resultados con respecto a los estadísticos de prueba  $z$  son los siguientes:

$$z_{\text{pulido}} = \frac{0.041 - 0.031}{\sqrt{0.0357 \cdot 0.964 \left( \frac{1}{2250} + \frac{1}{2600} \right)}} = 1.82$$

$$z_{\text{cromado}} = \frac{0.015 - 0.012}{\sqrt{0.0134 \cdot 0.986 \left( \frac{1}{2250} + \frac{1}{2600} \right)}} = 0.96$$

Si se lleva a cabo la prueba de hipótesis a un nivel de confianza del 95%, se encuentra el valor crítico como:  $z_{0.05} = 1.64$

Se obtiene el siguiente comparativo:  $z_{\text{cromado}} < z_{0.05} < z_{\text{pulido}}$

Los resultados muestran que los cambios en el área de cromado tienen diferencia estadísticamente significativa, lo cual implica que si hubo una mejora considerable. En el área de cromado no se presenta esa diferencia estadísticamente significativa, es decir, no hay un cambio notable en las piezas que deben retrabajarse.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo esperado ya que para mejorar los procesos del área de cromado solo se hicieron sugerencias, mientras que en el área de pulido sí se implementaron algunos cambios. Aunque los problemas presentados en el área de cromado tienen como una causa directa la atención del trabajador al realizar el proceso y esto resulta difícil de controlar, con el monitoreo de la concentración de las tinas será posible disminuir los errores causados por baños desgastados, lo cual implicará una mejora notable para dicha área.

Como se ha mencionado anteriormente, para este análisis sólo se consideraron las piezas que fue necesario retrabajar; no todas las piezas que presentan desperfecto se retrabajan, ya que algunas veces son aceptadas por el cliente. Sin embargo, con las propuestas de mejora implementadas, se espera una mejora general en el proceso que tendrá como consecuencia una disminución notable en las piezas retrabajadas en ambas áreas.

Es importante mencionar que en los procesos galvanoplásticos sólo se incluye al área de cromado debido a que en el área de niquelado no se presentaron errores durante el muestreo; lo cual se puede explicar porque un error observado en el niquelado generalmente es por falta de tiempo de permanencia en la tina y se resuelve fácilmente sobre la marcha conectando la pieza por unos minutos más.

### **3. Ahorro en agua para enjuague del cromado**

El agua de enjuague en el cromado se cambia 2 veces por semana, si se reúsan dos botes de 100 litros en cada cambio, en total *se tiene un ahorro de 200 litros de agua a la semana.*

### **4.3 Control de calidad**

Para el control de calidad de tipo cuantitativo sólo se consideró el grosor del material aplicado en el proceso de niquelado, no se realizaron mediciones para el proceso de cromado debido a que la precisión del micrómetro empleado no fue suficiente para medir el grosor de la capa de cromo. Lo anterior concuerda con lo manifestado por los trabajadores, que en el proceso de cromado solo se aplica una capa muy ligera de material.

#### **4.3.1 Límites de especificación**

El primer punto fue identificar las especificaciones que se tienen sobre la característica de calidad a evaluar; debido a que en la empresa no se llevan a cabo procesos de control de calidad de tipo cuantitativo, no se tienen límites de especificación definidos. Según su experiencia el dueño de la empresa estima que el grosor de la película de material aplicada en el proceso de niquelado se encuentra entre 10 y 25 micras. Por su parte, en la literatura referente a procesos de niquelado se menciona que en apego a las normas ASTM el recubrimiento de níquel sobre metal debe tener un grosor entre 5 y 25 micras (Troya, 2009); Di Bari

(2010) menciona que para una calidad moderada el grosor del recubrimiento de níquel debe estar entre 10 y 20 micras.

Considerando la información anterior se consideraron los siguientes límites de especificación:

Límite inferior de especificación (LIE) = 10

Valor nominal o esperado (VN) = 17.5

Límite superior de especificación (LSE) = 25

#### 4.3.2 Límites de tolerancia natural

El siguiente paso fue realizar mediciones del grosor real de níquel aplicado en el proceso. Las piezas se midieron antes de la aplicación de la capa de níquel y después de la aplicación, el grosor del recubrimiento se obtuvo restando estos datos. Las mediciones se realizaron con un micrómetro, durante una jornada de trabajo en mayo del 2014. Las mediciones se tuvieron que tomar el mismo día porque el equipo de medición se consiguió a préstamo y debía entregarse al siguiente día. Se obtuvieron cinco conjuntos de datos tomados de dos tipos diferentes de piezas, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.13 Grosor de material aplicado en el niquelado**

No.	Pieza 1			Pieza 2	
	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5
1	25.40	12.70	12.70	12.70	12.70
2	12.70	12.70	12.70	12.70	10.16
3	25.40	25.40	12.70	10.16	5.08
4	12.70	25.40	12.70	5.08	5.08
5	12.70	38.10	12.70	7.62	12.70
6	25.40	25.40	12.70	5.08	12.70
7	12.70	12.70	38.10	12.70	25.40
8	114.30	25.40	12.70	38.10	12.70
9	127.00	63.50	76.20	7.62	10.16
10	12.70	25.40	38.10	12.70	7.62
11	38.10	-	-	38.10	7.62

Puede observarse en la tabla que los datos correspondientes a las mediciones 8 y 9 de la serie 1 y las mediciones 9 de las series 2 y 3 están muy por encima de todos los demás, razón por la cual no fueron considerados para realizar los cálculos. Se asume que estos datos se midieron con error ya que el proceso difícilmente puede presentar una variación tan grande para piezas que se trabajan bajo los mismos parámetros: concentración del baño, intensidad de la corriente eléctrica y tiempo de aplicación. Es casi imposible que un recubrimiento estimado de 18 micras que se aplica en 12 minutos pueda resultar con un incremento

cercano a las 100 micras en el mismo tiempo de aplicación. Esta observación se refuerza con el hecho de que todas las tablas consultadas de parámetros para recubrimientos de níquel manejan como máximo 60 micras y los valores eliminados superan este parámetro.

Adicional a lo anterior, se pudo observar que el calibre de las piezas no es uniforme, lo cual podría representar un error si las mediciones no se toman en el mismo punto de la pieza. Con respecto a este punto, una opción sería solicitar a los proveedores que el calibre de las piezas sea más uniforme; sin embargo, las piezas se emplean en su mayoría para la fabricación de muebles de precios económicos y el exigir calibre uniforme podría incrementar el precio de las piezas, razón por la cual podría no resultar costeable el cambio.

### 🚦 Prueba de normalidad

Al aplicar la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

Para obtener el resultado se calculó el parámetro  $D_n(x)$  para el conjunto de datos, después se comparó contra el parámetro de referencia de la Tabla de contraste Kolmogorov – Smirnov (Anexo 1), se eligió una significancia de 95%. Se obtuvo el siguiente resultado:

$$D_n x = 0.8013 > D_{(0.05, 49)} = 0.1265$$

**Conclusión:** dado que el valor calculado  $D_n$  es mayor que el valor obtenido de la tabla de Kolmogorov-Smirnov para una significancia de 95% y una muestra de 49 datos, se concluye que **los datos no siguen una distribución normal.**

### 🚦 Definición de los límites de tolerancia natural

Dado que los datos no siguen una distribución normal, los límites de tolerancia natural se calcularon mediante los percentiles 0.00135 para el límite inferior (LITN) y 0.99865 para el superior (LSTN).

Los parámetros calculados para la muestra son:

$$\mu_x = 16.95 \quad * S_x = 9.89$$

$$LITN = 5.08 \quad LSTN = 38.10$$

### 4.3.3 Índices de capacidad del proceso

A continuación se presentan los índices de capacidad calculados y lo que representa cada uno de ellos:

✚ Índice de capacidad potencial:  $C_p = 0.45$

El valor obtenido para el índice de capacidad indica un proceso “no adecuado” que requiere modificaciones serias. El proceso no es capaz de producir un porcentaje aceptable de piezas dentro de los límites de especificación.

✚ Razón de capacidad:  $C_r = 2.20$

El valor obtenido en la razón de capacidad es demasiado alto, indica que la variación del proceso abarca un 220% de la banda de especificaciones, una variabilidad muy alta y por lo tanto un proceso con capacidad pobre que genera una gran cantidad de productos fuera de especificación.

✚ Índice de localización:  $K = -7.3\%$

El signo negativo en el valor de K indica que la media del proceso se ubica por debajo del valor nominal esperado, el valor obtenido indica una variación de 7%. El 7% indica un proceso centrado, es decir, que la media está cercana al valor nominal, con lo cual se puede concluir que el problema principal no es de centrado sino de variabilidad.

#### **4.3.4 Porcentaje de productos defectuosos**

Considerando el valor de  $C_p$  calculado para el proceso que es de 0.45 y comparándolo contra tablas existentes en la literatura, se estima que se tiene un porcentaje de productos fuera de especificación de 23%.

El porcentaje obtenido resulta demasiado alto e inaceptable.

#### **4.3.5 Conclusión sobre la capacidad del proceso**

El proceso analizado genera 23% de sus productos fuera de especificación, lo que se clasifica como inaceptable y significa que el proceso tiene una capacidad muy pobre.

Dos de los parámetros que comúnmente se emplean para definir la capacidad del proceso son el nivel de centrado y la variabilidad. Respecto a estos parámetros se puede concluir que el proceso tiene un nivel de centrado aceptable, es decir, la media del proceso está muy cerca del valor esperado o valor nominal, la variación es sólo del 7%. Por el contrario, la variabilidad del proceso es muy grande, abarcando más del doble de la banda de especificaciones. Lo anterior indica que el principal problema a corregir es la variabilidad; si se logra disminuir la variabilidad se tendrá una reducción considerable del porcentaje de productos defectuosos.

La variabilidad del proceso tiene diversidad de causales, entre ellas se encuentran las siguientes:

- ✚ Concentración del baño en la tina de níquel
- ✚ Intensidad de la corriente eléctrica aplicada
- ✚ Niveles de contaminación del baño en la tina de níquel
- ✚ Tamaño de la pieza
- ✚ Cantidad de abrillantador aplicado al baño en la tina de níquel

Todos los parámetros mencionados anteriormente con excepción de la intensidad de la corriente, no pueden ser controlados de una manera adecuada dentro de la empresa, por esta razón se puede asumir que existen altas probabilidades de que el proceso no se encuentre bajo control estadístico, situación que puede generar errores en los cálculos realizados.

Como se ha mencionado anteriormente, la empresa no lleva un control estadístico de calidad para su proceso y el número de piezas que les son devueltas es mínimo; sin embargo, por cuestiones económicas, resulta importante la implementación de un estudio de este tipo, sobre todo para evitar sobrepasar el límite superior de especificación, lo cual significa un incremento en los costos por el uso de una cantidad mayor de níquel.

Se propone ampliar este estudio y hacerlo de una manera más detallada para que la empresa pueda tener un mayor control del proceso de niquelado, con lo cual podrá obtener beneficios económicos al disminuir la cantidad de cromo empleado en el proceso, y de prestigio al mantener sus recubrimientos dentro de los parámetros estipulados en normas internacionales. Se propone que el estudio de capacidad se realice cada año.

#### **4.4 Seguridad e higiene industrial y medioambiental**

El último punto a analizar en la empresa se refiere al cuidado de la salud de los trabajadores y la emisión de contaminantes. Cabe mencionar que algunos de los resultados de este punto se manejarán solo como propuestas, sin llegar a la implementación. Se ha insistido y el dueño de la empresa se comprometió a implementar los cambios lo antes posible.

Tomando como base información bibliográfica relativa a las recomendaciones de seguridad e higiene para las empresas de galvanoplastia, se realizó un análisis de las condiciones en las cuales labora la empresa. El objetivo de este análisis es realizar algunas recomendaciones para mejorar la situación de la empresa y prevenir enfermedades o accidentes en los trabajadores. Los resultados del análisis se muestran a continuación.

#### 4.4.1 Emisión de contaminantes

Pudo observarse que dentro de la empresa no se maneja ningún método o técnica para reducir la emisión de contaminantes; todos los desechos se tiran directamente al drenaje sin tratamiento previo. Se supone que esta situación responde a desconocimiento por parte del dueño de la empresa, o bien a falta de recursos, los cuales pueden ser técnicos o monetarios.

La empresa emite a la atmósfera una gran cantidad de contaminantes, lo cual afecta el medio ambiente y puede afectar la salud de las personas que habitan en sus alrededores; además de que puede generar problemas con autoridades de salubridad y ecología. Por lo anterior resulta de suma importancia que se implementen medidas para reducir la cantidad de contaminantes que son emitidos a la atmósfera.

Si bien existe una gran variedad de métodos que pueden emplearse para reducir la emisión de contaminantes en las empresas de galvanoplastia, la mayoría de ellos requiere una inversión considerable y un alto conocimiento técnico respecto a las situaciones del proceso. Por lo anterior, la mayoría de estos métodos quedan fuera del alcance de este proyecto; sin embargo, se implementaron las siguientes técnicas como una medida para disminuir la emisión de contaminantes sin afectar los métodos de trabajo actuales:

- ✚ **Prolongación del tiempo de escurrido en el proceso de cromado.** Se solicitó a la persona que realiza el proceso de cromado incrementar el tiempo de escurrido de las piezas en la tina de cromo al máximo posible, sobre todo cuando la carga de trabajo no es mucha.
- ✚ **Captación de escurrimiento en el proceso de cromado.** Se colocó un tambo para captación de escurrimientos cuando las piezas salen del proceso de cromado. Las piezas se dejan escurriendo un cierto tiempo, lo suficiente para que se desprenda la solución que se ha adherido en el proceso.

El objetivo principal de estos dos métodos es recuperar la mayor cantidad posible de solución para que pueda ser regresada a la tina; con esto se disminuye la emisión de contaminantes al disminuir la cantidad de material de arrastre que se desecha, al tiempo que se apoya a la economía de la empresa mediante el regreso del material de arrastre a la tina de cromado.

Para mayor información de otros métodos empleados para reducir la emisión de contaminantes en las empresas de galvanoplastia puede consultarse por ejemplo el documento proporcionado por la Comisión Ambiental Metropolitana (1998).



#### 4.4.2 Seguridad e higiene industrial

En las visitas a la planta se observó que las medidas de seguridad e higiene seguidas por el personal son insuficientes, la mayoría de ellos trabaja con el mínimo equipo de seguridad, incrementando con esto el riesgo de un accidente o de la aparición de enfermedades.

El análisis se realizó por separado para cada área de la empresa: pulido y procesos galvanoplásticos. Se realizó de esta manera ya que las áreas están físicamente separadas y los trabajadores de cada área están expuestos a diferentes riesgos y contaminantes en cada una de ellas.

##### a) Trabajadores del área de pulido

Los principales riesgos detectados para los trabajadores del área de pulido son los siguientes:

- ✚ Polvos y partículas generadas durante el proceso, las cuales pueden ser inhaladas por los trabajadores
- ✚ Ruido constante en el área de trabajo; los niveles de ruido no parecen ser dañinos para la capacidad auditiva de los trabajadores; sin embargo, se debe considerar que los trabajadores están expuestos al ruido por periodos prolongados de tiempo
- ✚ Riesgo de sufrir lesiones por la caída de objetos pesados en los pies
- ✚ Riesgo de que alguna partícula se incruste en el ojo del trabajador
- ✚ Riesgo de sufrir quemaduras ya que las piezas trabajadas alcanzan temperaturas muy elevadas

De acuerdo con los criterios de protección personal de la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 1998) los trabajadores del área de pulido requieren el siguiente equipo de protección personal:

- Gafas protectoras para ojos
- Tapones de oídos para disminuir los efectos por el ruido
- Mandil de cuero para proteger el tronco y la parte alta de las piernas
- Guantes protectores para las manos
- Zapato industrial con casquillo
- Uso de mascarilla para evitar la inhalación de polvos y partículas suspendidas

El equipo de protección personal empleado por los trabajadores es el siguiente:

- Mandil de cuero
- Guantes protectores para las manos
- Solo algunos emplean zapato con casquillo
- Cubre bocas, que en algunos casos están mal colocados o en mal estado

#### **b) Trabajadores del proceso galvanoplástico**

De acuerdo con los criterios de la OIT, los trabajadores de los procesos galvanoplásticos deben emplear el siguiente equipo de protección personal:

- Gafas protectoras para los ojos
- Mascarilla con protección contra vapores
- Mandil de plástico para proteger el tronco y la parte superior de las piernas contra salpicaduras de los baños empleados
- Guantes de plástico
- Botas de plástico

El equipo de protección que realmente emplean es el siguiente:

- Gafas protectoras para los ojos, solo algunos trabajadores
- Mandil de plástico, en algunos casos no empleado correctamente
- Guantes de plástico
- Botas de plástico

Puede observarse de manera general que los trabajadores no emplean el equipo de protección personal que requieren, incrementando con esto el riesgo de sufrir un accidente o de adquirir alguna enfermedad. Los trabajadores están expuestos a diversos accidentes y enfermedades, razón que hace necesario e indispensable el uso del equipo de protección personal completo. Cabe resaltar en este punto que todos los trabajadores de la empresa llevan muchos años trabajando en el giro, lo cual hace suponer que conocen los riesgos a los que están expuestos; sin embargo, se consideró de gran utilidad comunicarles todos estos riesgos, para que tomen las medidas de seguridad con la seriedad y responsabilidad necesarias. Para cumplir con el punto anterior se recomienda realizar una plática informativa en la cual se expliquen estos puntos a todos los trabajadores, incluido el dueño de la empresa. Se recomienda que la plática sea impartida por un médico, de modo que pueda aclarar todas sus dudas respecto a los daños y enfermedades a los que están expuestos.

Adicional a la plática se sugiere que todos los trabajadores se sometan a un programa de vigilancia que incluya chequeos médicos periódicos; con esto se busca garantizar una buena salud y la detección oportuna de enfermedades relacionadas a las sustancias empleadas y a los procesos llevados a cabo.

#### **4.4.3 Recuperación de solución en el proceso de cromado**

Como se mencionó anteriormente para este último punto del caso de estudio, referente a seguridad e higiene industrial y medioambiental, todo se manejó como sugerencia, sin llegar a la implementación. La única sugerencia que se implementó fue la concerniente a colocar un recipiente para captar escurrimientos del material que sale del proceso de pulido, logrando con esto una recuperación promedio de 60 litros de solución a la semana, llegando a ser de 100 litros por semana cuando la carga de trabajo es alta o cuando se trabajan piezas muy grandes.

#### **4.5 Análisis costo-beneficio**

En todo proyecto resulta importante monitorear los beneficios económicos que se obtienen o que pueden obtenerse, con el objetivo de garantizar que las medidas propuestas o los cambios realizados sean capaces de generar beneficios para la empresa.

En el presente trabajo se llevó a cabo un análisis del beneficio obtenido al mejorar los procesos y evitar el retrabajo de piezas, se realizó además un estimado del porcentaje de material que podría ahorrarse al disminuir la variabilidad del proceso de niquelado; se concluye con un estimado del ahorro obtenido al recuperar solución de la tina de cromado.

##### **a) Reducción de las piezas retrabajadas**

Se considerará una pieza cualquiera trabajada en su totalidad, para la cual se tiene lo siguiente:

- Costo total por trabajar la pieza: \$25
- Precio al que normalmente se cobra la pieza trabajada: \$31

Para realizar el cálculo se consideró que la pieza debe retrabajarse en su totalidad. Para estimar el costo por retrabajo se consideró el costo por el trabajo realizado a la pieza, el costo por eliminar los recubrimientos aplicados y el costo por volver a trabajar la pieza.

Por lo anterior se estimó que el costo por retrabajo es de \$55

Se sabe que en promedio se trabajan 2000 piezas en una semana; los resultados arrojaron un promedio de 32 piezas que se debían retrabajar cada semana, al aplicar las mejoras se obtuvo un porcentaje de disminución de retrabajo de 21%, con lo cual se tienen 26 piezas que deben retrabajarse. A continuación se presenta un resumen de los datos y el beneficio económico obtenido:

<b>Promedio de piezas a retrabajar</b>	<b>Costo por retrabajo</b>
Antes: 32	\$1760
Después: 26	\$1430
<b>Ahorro al disminuir el retrabajo</b>	<b>\$330 / semana</b>

Se observa un beneficio económico al disminuir las piezas que deben retrabajarse de \$330 por semana, que resulta en \$15,840 cada año; cabe resaltar que los cambios realizados no requirieron inversión alguna, cuestión que maximiza el ahorro. En términos porcentuales, se tiene un ahorro de 18.7% en el costo por retrabajo.

#### **b) Disminución de la variabilidad del proceso de niquelado**

El estudio de capacidad realizado en el proceso de niquelado arrojó como resultado una variabilidad muy grande en el proceso, lo cual se ve claramente reflejado en el índice de razón de capacidad, el cual indica que el proceso abarca un 220% de la banda de especificaciones.

Lo anterior quiere decir que se tiene una cantidad considerable de piezas a las cuales se les está aplicando un recubrimiento más grueso de lo requerido, impactando de esta manera en la economía de la empresa, ya que como se ha mencionado antes, el níquel es uno de los materiales más costosos que se emplean, además que su precio es variable y tiende a tener subidas considerables en diferentes intervalos de tiempo.

Tomando como base el índice de capacidad, se estima que el 23.01% de las piezas trabajadas está fuera de los parámetros de especificación. Si consideramos 2000 piezas producidas a la semana, se tienen 460 piezas a la semana fuera de rango. Estas 460 piezas podrían estar por encima o por debajo de las especificaciones, las piezas que implican un mayor costo para la empresa son las que están por encima del rango. Debido a que no se tiene el dato del porcentaje de piezas que está por encima y cuál por debajo de las especificaciones, se consideró 50% para cada tipo; de esta forma se tiene un estimado de 230 piezas que están por arriba de la banda de especificaciones.

Para realizar un estimado del material que se aplica en exceso, se consideró que a las 230 piezas se les aplica 50% más material del que se requiere.

Con la finalidad de obtener un resultado en términos monetarios, se consideró que el costo promedio del material aplicado a cada pieza dentro de especificaciones es de \$4, considerando este dato se tiene lo siguiente:

- Aplicar 50% más de material a una pieza implica un costo mayor en \$2, con lo cual se tiene un costo de níquel en cada pieza de \$6, en lugar de \$4.
- Considerando las 230 piezas estimadas anteriormente, se tiene que la empresa invierte \$460 más cada semana, derivados de la aplicación de una capa de níquel más gruesa de lo requerido. Si escalamos este valor, la empresa gasta cerca de \$22,000 al año por esta situación.

El resultado anterior refleja la importancia que tiene para la empresa resolver el problema de la variabilidad en su proceso de niquelado, razón por la cual se recomienda tomar medidas lo antes posible, ya que de resolverse, la empresa podría tener un ahorro considerable en sus costos de operación. Cabe destacar que los resultados obtenidos son solo estimados, además que debe considerarse la inversión necesaria para llevar a cabo las acciones que logren disminuir la variabilidad.

Como dato informativo se encontró que un aparato para medir la concentración de las tinas, cotizado a los primeros meses del 2015 en la empresa Metrohom México es de \$320,000 más IVA (Plate Tritando para análisis de baños galvánicos). Cabe mencionar que este tipo de equipo permite un monitoreo constante de todos los parámetros importantes de la solución, razón por la cuál sería ideal contar con él.

Se sabe que la empresa es una microempresa y que por el momento su economía no le permite la adquisición de este tipo de equipos; sin embargo, existen otros equipos más sencillos que pueden adquirir para iniciar el monitoreo y control de sus baños. Algunos de estos equipos y el precio estimado son los siguientes: conductímetro \$1200, densímetro salinómetro \$1000, medidor de espesores \$8000, peachímetro \$1200.

### **c) Recuperación de la solución de la tina de cromado**

Se registró una recuperación promedio de 60 litros de solución de la tina de cromo a la semana. Si pensamos que cada litro de solución cuesta \$5, estaríamos hablando de un ahorro de \$300 pesos cada semana.

Tomando como base los resultados anteriores, podemos concluir que la empresa ha obtenido beneficios económicos considerables con la aplicación del proyecto. Con la disminución de las piezas que deben retrabajarse y la recuperación de solución de cromado se tiene un ahorro estimado de \$660 cada semana; ahorro que resulta libre ya que durante la realización del proyecto la empresa no tuvo que realizar ninguna inversión.

## **Conclusiones**

Durante la elaboración del presente trabajo fue posible constatar las estadísticas sobre las empresas micro y pequeñas, referente a las limitaciones técnicas con las que trabajan. La empresa caso de estudio que es una microempresa trabaja con cierto orden; sin embargo, presenta diversas deficiencias que limitan su competitividad y desarrollo. Al finalizar el proyecto fue posible obtener mejoras para la empresa, lográndose con esto el objetivo planteado.

El trabajo se enfocó en tres aspectos de la empresa: mejora de procesos, seguridad e higiene industrial y medioambiental y control de calidad; obteniéndose mejoras en los dos primeros.

Con respecto a la mejora de procesos, en el área de pulido se logró una reducción considerable en el número de piezas que deben retrabajarse, con lo cual se disminuyen los tiempos de entrega y se evitan costos adicionales generados por el retrabajo. Este punto apoya además la entrega de piezas en el tiempo pactado con los clientes, cuestión que en ocasiones genera problemas para la empresa. Los cambios propuestos tienen que ver en su mayoría con actividades que realizan los trabajadores directamente sobre las piezas; sin embargo, se identificaron otras actividades que pueden mejorarse, las cuales tienen que ver con monitoreo y control de los parámetros de los baños de níquel y cromo. Estas actividades quedaron fuera del alcance del presente trabajo ya que en la empresa no se cuenta con el equipo necesario para realizar las mediciones. El control de los baños representa una gran área de oportunidad para la empresa, con la cual podrían mejorar notablemente su proceso, por esta razón se recomienda un trabajo posterior enfocado en la mejora de estos aspectos.

En los temas relacionados con seguridad e higiene industrial y medioambiental, se encontró que la empresa no emplea ninguna técnica para reducir la emisión de contaminantes, además los trabajadores no emplean el equipo de protección personal necesario. Con respecto a la emisión de contaminantes, dentro de la literatura se puede encontrar una gran cantidad de métodos que pueden emplearse en las empresas de galvanoplastia, muchos de los cuales podrían llevarse a cabo en la empresa en cuestión. La limitante para la aplicación de estos métodos tiene dos vertientes, la primera de ellas es la falta de conocimiento técnico para poder aplicar los métodos y la segunda es la inversión económica que se requiere. Por lo anterior, solo fue posible implementar una técnica que consiste en recuperar solución del baño de cromo antes de enjuagar las piezas, con esta medida se logró una recuperación considerable de solución, en promedio 60 litros por semana. Esto implica ahorro económico para la empresa ya que la solución recuperada puede regresarse a la tina, además que reduce la cantidad de contaminantes emitidos, específicamente cromo y otras sustancias contenidas en la solución, las cuales terminarían en el agua de enjuague y posteriormente se arrojarían al drenaje.

Resulta importante que la empresa trabaje para reducir la emisión de contaminantes, ya que además de que puede generar problemas en sus propios trabajadores y en el ambiente cercano a la planta, existe una amplia normatividad mexicana referente a estos aspectos, de la cual podría recibir penalizaciones.

Si bien los trabajadores no manifestaron haber sufrido enfermedades relacionadas con las prácticas en el trabajo, se sabe que las principales sustancias empleadas que son de cromo y níquel pueden generar una gran cantidad de problemas para la salud. Por esta razón se recomienda que los trabajadores hagan uso del equipo de protección personal recomendado y se sometan a chequeos médicos constantes.

El estudio de control de calidad se aplicó al recubrimiento de níquel que se aplica a las piezas, los resultados muestran que el proceso tiene una gran variabilidad, lo que genera un gran número de piezas fuera de los parámetros establecidos. Debido a que en la empresa no se aplica un control a estos parámetros, este problema parece no ser grave; sin embargo, con este estudio fue posible detectar que se está gastando más níquel del que realmente se requiere, generando con esto costos de producción mayores a lo necesario. La conclusión anterior se deduce del hecho que la variabilidad detectada abarca más del doble de la banda de especificación, es decir que una cantidad considerable de piezas sale con un recubrimiento más grueso de lo solicitado. El trabajo que resta por hacer para la empresa es buscar en la medida de lo posible disminuir la variabilidad de su proceso, lo cual no es una tarea fácil ya que son muchos los parámetros que deben controlarse, la mayoría no son controlables actualmente. Esto hace evidente la existencia de un área de oportunidad para posteriores trabajos, ya que podrían lograrse ahorros en los costos de producción de la empresa. Se propone que el estudio de la capacidad del proceso se realice cada año dentro de la empresa con el objetivo de identificar los factores que provocan la variabilidad del proceso, para después trabajar en disminuir la variación.

Si bien se lograron mejoras considerables en la empresa, quedan muchos puntos que se pueden trabajar. Dentro del trabajo se ha propuesto la aplicación de procedimientos por escrito ubicados en el área de trabajo con el objetivo de evitar los errores del factor humano. También se ha propuesto que se realicen pruebas periódicas para monitorear las soluciones de cromo y níquel, con el fin de evitar retrabajo de las piezas resultado de problemas con la solución.

Al realizar el trabajo fue posible identificar que existe una gran cantidad de empresas micro y pequeñas pertenecientes al giro de la galvanoplastia, las cuales probablemente trabajen en condiciones similares a las observadas en la empresa caso de estudio. Esto supone una gran área de estudio, en la cual se pueden trabajar diversos aspectos, destacando la reducción de contaminantes emitidos y el control químico de los procesos llevados a cabo.

### Tabla Periódica de los Elementos

1																	18
1 <b>H</b> Hidrógeno 1.008																	2 <b>He</b> Helio 4.003
3 <b>Li</b> Litio 6.941	4 <b>Be</b> Berilio 9.012											5 <b>B</b> Boro 10.811	6 <b>C</b> Carbono 12.011	7 <b>N</b> Nitrógeno 14.007	8 <b>O</b> Oxígeno 15.999	9 <b>F</b> Flúor 18.998	10 <b>Ne</b> Neón 20.180
11 <b>Na</b> Sodio 22.990	12 <b>Mg</b> Magnesio 24.305											13 <b>Al</b> Aluminio 26.982	14 <b>Si</b> Silicio 28.086	15 <b>P</b> Fósforo 30.974	16 <b>S</b> Azufre 32.066	17 <b>Cl</b> Cloro 35.453	18 <b>Ar</b> Argón 39.948
19 <b>K</b> Potasio 39.098	20 <b>Ca</b> Calcio 40.078	21 <b>Sc</b> Escandio 44.956	22 <b>Ti</b> Titanio 47.88	23 <b>V</b> Vanadio 50.942	24 <b>Cr</b> Cromo 51.996	25 <b>Mn</b> Manganeso 54.938	26 <b>Fe</b> Hierro 55.933	27 <b>Co</b> Cobalto 58.933	28 <b>Ni</b> Níquel 58.693	29 <b>Cu</b> Cobre 63.546	30 <b>Zn</b> Zinc 65.39	31 <b>Ga</b> Galio 69.722	32 <b>Ge</b> Germanio 72.61	33 <b>As</b> Arsénico 74.922	34 <b>Se</b> Selenio 78.09	35 <b>Br</b> Bromo 79.904	36 <b>Kr</b> Kriptón 84.80
37 <b>Rb</b> Rubidio 84.468	38 <b>Sr</b> Estroncio 87.62	39 <b>Y</b> Itrio 88.906	40 <b>Zr</b> Zirconio 91.224	41 <b>Nb</b> Niobio 92.906	42 <b>Mo</b> Molibdeno 95.94	43 <b>Tc</b> Tecnecio 98.907	44 <b>Ru</b> Rutenio 101.07	45 <b>Rh</b> Rodio 102.906	46 <b>Pd</b> Paladio 106.42	47 <b>Ag</b> Plata 107.868	48 <b>Cd</b> Cadmio 112.411	49 <b>In</b> Indio 114.818	50 <b>Sn</b> Estaño 118.71	51 <b>Sb</b> Antimonio 121.760	52 <b>Te</b> Telurio 127.6	53 <b>I</b> Yodo 126.904	54 <b>Xe</b> Xenón 131.29
55 <b>Cs</b> Cesio 132.905	56 <b>Ba</b> Bario 137.327	57-71 Lantánido	72 <b>Hf</b> Hafnio 178.49	73 <b>Ta</b> Tantalio 180.948	74 <b>W</b> Wolframio 183.85	75 <b>Re</b> Renio 186.207	76 <b>Os</b> Osmio 190.23	77 <b>Ir</b> Iridio 192.22	78 <b>Pt</b> Platino 195.08	79 <b>Au</b> Oro 196.967	80 <b>Hg</b> Mercurio 200.59	81 <b>Tl</b> Talio 204.383	82 <b>Pb</b> Plomo 207.2	83 <b>Bi</b> Bismuto 208.980	84 <b>Po</b> Polonio [208.982]	85 <b>At</b> Astatino 209.987	86 <b>Rn</b> Radón 222.018
87 <b>Fr</b> Francio 223.020	88 <b>Ra</b> Radio 226.025	89-103 Actínido	104 <b>Rf</b> Rutherfordio [261]	105 <b>Db</b> Dubnio [262]	106 <b>Sg</b> Seaborgio [266]	107 <b>Bh</b> Bohrio [264]	108 <b>Hs</b> Háscio [269]	109 <b>Mt</b> Meitnerio [268]	110 <b>Ds</b> Darmstadtio [269]	111 <b>Rg</b> Roentgenio [272]	112 <b>Cn</b> Copernicio [277]	113 <b>Uut</b> Ununtrio desconocido	114 <b>Fl</b> Flerovio [289]	115 <b>Uup</b> Ununpentio desconocido	116 <b>Lv</b> Livermorio [293]	117 <b>Uus</b> Ununseptio desconocido	118 <b>Uuo</b> Ununoctio desconocido
57 <b>La</b> Lantano 138.906	58 <b>Ce</b> Cerio 140.115	59 <b>Pr</b> Praseodimio 140.908	60 <b>Nd</b> Neodimio 144.24	61 <b>Pm</b> Prometio 144.913	62 <b>Sm</b> Samario 150.36	63 <b>Eu</b> Europio 151.966	64 <b>Gd</b> Gadolinio 157.25	65 <b>Tb</b> Terbio 158.925	66 <b>Dy</b> Disprosio 162.50	67 <b>Ho</b> Holmio 164.930	68 <b>Er</b> Erbio 167.26	69 <b>Tm</b> Tulio 168.934	70 <b>Yb</b> Iturbio 173.04	71 <b>Lu</b> Lutecio 174.967			
89 <b>Ac</b> Actinio 227.028	90 <b>Th</b> Torio 232.038	91 <b>Pa</b> Protactinio 231.036	92 <b>U</b> Uranio 238.029	93 <b>Np</b> Neptunio 237.048	94 <b>Pu</b> Plutonio 244.064	95 <b>Am</b> Americio 243.061	96 <b>Cm</b> Curio 247.070	97 <b>Bk</b> Berkelio 247.070	98 <b>Cf</b> Californio 251.080	99 <b>Es</b> Einsteinio [254]	100 <b>Fm</b> Fermio 257.095	101 <b>Md</b> Mendelevio 258.1	102 <b>No</b> Nobelio 259.101	103 <b>Lr</b> Lawrencio [262]			



## Anexo 2. Tabla de contraste de Kolmogorov – Smirnov

<b>Contraste Kolmogorov – Smirnov (Lilliefors)</b>					
Tablas de $D_n =  F_n(x) - F(x) $ para contrastar la hipótesis de normalidad cuando la media y la varianza poblacional son estimadas por sus valores muestrales					
<b>Tamaño muestral</b>	<b>Nivel de significación</b>				
<b>n</b>	<b>0.20</b>	<b>0.15</b>	<b>0.10</b>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>
4	0.300	0.319	0.352	0.381	0.417
5	0.285	0.299	0.315	0.337	0.405
6	0.265	0.277	0.294	0.319	0.364
7	0.247	0.258	0.276	0.300	0.348
8	0.233	0.244	0.261	0.285	0.331
9	0.233	0.233	0.249	0.271	0.311
10	0.215	0.224	0.239	0.258	0.294
11	0.206	0.217	0.230	0.249	0.284
12	0.199	0.212	0.223	0.242	0.275
13	0.190	0.202	0.214	0.234	0.268
14	0.183	0.194	0.207	0.227	0.261
15	0.177	0.187	0.201	0.220	0.257
16	0.173	0.182	0.195	0.213	0.250
17	0.169	0.177	0.189	0.206	0.245
18	0.166	0.173	0.184	0.200	0.239
19	0.163	0.169	0.179	0.195	0.235
20	0.160	0.166	0.174	0.190	0.231
25	0.149	0.153	0.165	0.180	0.203
30	0.131	0.136	0.144	0.161	0.187
>30	$\frac{0.736}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{0.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$

## Referencias

- ✚ Ballesteros, E. (2006). *Electrodepósitos de cobre y níquel. Procesamiento de metales acuosos*. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- ✚ Bartual, J. (1984) *NTP 108: Criterios toxicológicos generales para los contaminantes químicos*. Instituto de seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España.
- ✚ Bautista, S. (2011). *Pymes, hacia una cultura empresarial en México*. Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM. México.
- ✚ Besterfield, D. (2009). *Control de Calidad*. Octava edición. Pearson Education.
- ✚ Canseco, S.; Castro, J.; Cristán, A.; Loredó, O.; Prieto, E.; Ruiz, F. (1997) *Programa de gestión ambiental de sustancias tóxicas de atención prioritaria*. Instituto Nacional de Ecología, México.
- ✚ CEEI CV (2008). *Reingeniería de procesos*. Centros Europeos de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana. Valencia, España.
- ✚ Comisión Ambiental Metropolitana (1998). *Manual de minimización, tratamiento y disposición. Concepto de manejo de residuos peligrosos e industriales para el giro de la galvanoplastia*. México D. F.
- ✚ Comisión Nacional del Medio Ambiente (2000). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Galvanoplastia*. Proyecto FDI-CORFO / INTEC-CHILE. Santiago de Chile.
- ✚ Di Bari, G. (2010). *Modern Electroplating*. 5ª Edición. Wiley & Sons Inc.
- ✚ Escalera, G.; Masa, C.; García, E. (2008). *Implantación de la reingeniería por procesos: actividades, técnicas y herramientas*. Universidad San Pablo CEU.
- ✚ Fuentes, A. (2002). *Enfoque de planeación. Un sistema de metodologías*. Universidad Nacional Autónoma de México. Segunda impresión. México.
- ✚ García, C. R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. Ed. Mc Graw Hill. 2da. Edición.
- ✚ Gutiérrez, H., De la Vara, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. Segunda edición. Mc Graw Hill. México.
- ✚ Hammer, M. Champy, J. (1994). *Reingeniería*. Grupo Editorial Norma. Traducción Jorge Cárdenas N. México.

- ✚ Hiroyuki H. (1998). *5 pilares de la fábrica visual. La fuente para la implantación de las 5's*. Editorial Productivity Press. Tokyo, Japon.
- ✚ Imai, M. (2001). *Kaizen. La ventaja competitiva japonesa*. Compañía editorial Continental. Décima tercera reimpresión. México.
- ✚ INCO (1989). *Guía para el niquelado*. Inco Limited.
- ✚ INEGI (2009). *Micro, pequeña, mediana y gran empresa. Estratificación de los establecimientos*. Censos económicos. México.
- ✚ UNIT (2009). *Herramientas para la mejora de calidad*. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas.
- ✚ ISTAS (2007). *La prevención de riesgo en los lugares de trabajo. Guía para una intervención sindical*. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España. Paralelo Edición, S. A.
- ✚ Juran, J., Gryna, F. (1994). *Análisis y Planeación de la Calidad*. Tercera Edición. Mc Graw Hill.
- ✚ JUSE (2009). *Práctica de los Círculos de Control de Calidad*. Unión of Japanese Scientists and Engineers bajo la dirección del Dr. Kaoru Ishikawa. 2ª Edición, Productivity Press.
- ✚ Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Oficina Internacional del Trabajo. 4ª Edición. Ginebra, Suiza.
- ✚ Kasuga, H. (1993). *Círculos de Calidad. La nueva dimensión organizacional*. Editorial Grad. 6ta Edición, México.
- ✚ Montgomery, D. (1996) *Introduction to statical quality control*. Limusa Wiley. New York.
- ✚ OIT (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Capítulo 30: Higiene Industrial*. Organización Internacional del Trabajo. Responsable del capítulo: Herrick, R.
- ✚ OIT (1998). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Capítulo 63. Metales: propiedades químicas y toxicidad*. Organización Internacional del Trabajo. Responsable del capítulo: Nordberg, Gunnar.
- ✚ Pérez, I. (2008). *Proyecto para incrementar la productividad con el diseño de células de manufactura en el área de condensadores en una empresa metalmecánica*. Instituto Politécnico Nacional. México.

- ✚ Pérez, N. (2012). *Análisis sobre las pruebas de bondad de ajuste*. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- ✚ Pola, A. (1999). *Gestión de la calidad*. Ed. Alfaomega.
- ✚ Reyes, J., López, J. (2009). *Kaoru Ishikawa y la gestión de la calidad total*. Universidad de Playa Ancha. Valparaíso, Chile.
- ✚ Rodríguez, A. (2010). *Pymes: agentes impulsores del crecimiento económico de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- ✚ Ruiz-Falcó, A. (2006). *Control Estadístico de Procesos*. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.
- ✚ Tarí, J. (2000). *Calidad Total: Fuente de ventaja competitiva*. Publicaciones Universidad de Alicante. Murcia, España.
- ✚ Tehoyotl, R. (2011). Tesis: Guía para la mejora y rediseño de procesos: ejemplos de aplicación. Facultad de Ingeniería, UNAM. México.
- ✚ Troya. J. C. (2009). Construcción de un banco experimental didáctico para prácticas de laboratorio en protección de metales. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador.
- ✚ Walco (1997). *Todo sobre los quelatos*.
- ✚ Wellens, A. (2012). *Análisis de la capacidad de procesos industriales*. Facultad de Ingeniería. UNAM. México.

**Páginas web consultadas:**

- ✚ Consejo de la comunicación (2015). Campaña *Pepe y Toño*. [www.pepeytono.com.mx](http://www.pepeytono.com.mx), consultado el 11 de marzo de 2015.
- ✚ Grupo Monitor (2015). [www.infored.com.mx](http://www.infored.com.mx), consultado el 24 de marzo de 2015.