Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotécnia

FUNDES
La red de soluciones empresariales

REPUBLICA DE COLOMBIA

ÁLVARO URIBE VÉLEZ
Presidente de la República

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

CECILIA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ-RUBIO
Ministra de Medio Ambiente

JUAN PABLO BONILLA ARBOLEDA
Viceministro de Medio Ambiente

GERARDO VIÑA VIZCAÍNO
Director General Ambiental Sectorial

JOSÉ FILIBERTO MONTOYA PÁEZ
OLGA LUCIA BAUTISTA MARTÍNEZ
Grupo Producción Más Limpia

FUNDES
La red de soluciones empresariales

RUBEN DARIO SALAZAR
Gerente

EQUIPO PROFESIONAL DE PROPEL
FUNDES COLOMBIA
Grupo Ejecutor

Derechos Reservados Ministerio del Medio Ambiente y FUNDES Colombia

Esta investigación se llevo a cabo con un convenio entre el MMA y PROPEL, y fue cofinanciado con una donación otorgada por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Ottawa, Canadá.

FUNDES

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO 3

INTRODUCCIÓN 4

CONTEXTO DEL SECTOR GALVANOTÉCNIA 5

1. GENERALIDADES DEL SECTOR 5

2. Indicadores macroeconómicos del sector 6

3. Factores de competitividad de la industria 8
3.1. Actores que determinan la competitividad 8
3.2. Condiciones de la demanda interna 9
3.3. Rivalidad de los competidores 9
3.4. Ingreso al mercado de nuevos competidores 10
3.5. Ingreso al mercado de productos sustitutos 11
3.6. Poder de negociación de los proveedores 12
3.7 Factores de competitividad del sector 12
3.8. Alternativas y técnicas de uso eficiente de los recursos 14
3.9. Importancia relativa, según costos, de los diferentes sectores. 25
3.10. Casos exitosos 29

BUENAS PRÁCTICAS (BP) PARA EL SECTOR DE LA GALVANOTÉCNIA 33

1. Consideraciones generales 33

2. Procesos generales 33
2.1. Gestión de proveedores 33
2.2. Almacenamiento 34
2.3. Alimentación al proceso 34
2.4. Proceso productivo 35
2.5. Manejo de residuos 38

3. Procesos críticos 38
3.1. Tratamiento de dextoxificación integrado a la producción 38
3.2. Recuperar el arrastre de soluciones de proceso. 41
3.3. Eliminar los aceites y las grasas superficiales a las soluciones de desengrase 47
3.4. Reducir el consumo de agua de enjuague 48
3.5. Agitar los Enjuagues 50
3.6. Reducir la concentración de las materias primas en las soluciones del proceso. 51
3.7. Otras opciones en producción 52
3.8. Control de residuos industriales líquidos 54
3.9. Tecnologías convencionales 55
3.10. Tecnologías emergentes 56
3.11. Control de efluentes 61
3.12. Control de la contaminación atmosférica 62

3.13. Control de residuos industriales sólidos 62
3.14. Acciones de producción más limpia 62

BIBLIOGRAFIA 68

ANEXOS 69

1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD 69

2. EL PROCESO GALVÁNICO 72
2.1. Proceso de Galvanoplastia 72

PROLOGO

Las políticas de control de la contaminación ambiental han cambiado sustancialmente desde finales de los 80, hacia nuevas tendencias preventivas que reformulan la pregunta *"¿Qué hacemos con los residuos?",* por *"¿Qué podemos hacer para no generar residuos?".* Este replanteamiento es la base del concepto de producción limpia, que en la práctica no corresponde con su significado literal. La expresión indica realmente *una producción ambientalmente más limpia*, para generar un *producto final más respetuoso con el medio ambiente*, como resultado de un proceso que incorporan, en cada una de las fases del ciclo de vida de los productos, las *mejores prácticas ambientales.*

En este contexto y como una contribución a la solución de la problemática ambiental de los sectores productivos colombianos, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio del Medio Ambiente, ha definido como una de sus políticas ambientales fundamentales, la de incentivar *la prevención de la contaminación* en su origen, en lugar de tratarla una vez generada. Para lo anterior y en el marco de la *Política Nacional de Producción Más Limpia*, los esfuerzos se han centrado en la incorporación de las actividades ambientales en los procesos de planeación y gestión a través de la adopción de las mejores prácticas ambientales que conlleven a la sostenibilidad ambiental y al mejoramiento de la competitividad empresarial.

En esta ocasión, el Ministerio del Medio Ambiente, durante el año 2001, en cooperación con la Corporación Promoción de la Pequeña Empresa Ecoeficiente Latinoamericana *–PROPEL-* y más recientemente con la Fundación Suiza para el Desarrollo Sostenible en América Latina *–FUNDES-*, a través de un acuerdo de cooperación, han desarrollado un proyecto orientado al fortalecimiento de la gestión ambiental industrial sostenible en las PyMES del país, mediante la incorporación de los conceptos fundamentales de la producción más limpia.

Como resultado de este esfuerzo, presentamos las *Guías Ambientales: Buenas Prácticas de Producción Más Limpia para el Sector PYME en Colombia*, las cuales están llamadas a constituirse en uno de las herramientas más importantes para estos propósitos, por cuanto proponen acciones concretas para el ahorro y usos eficiente del agua y la energía y para el mejoramiento continuo de las PyMES, núcleos fundamentales del desarrollo económico del país, al enfocar el desempeño ambiental de sus actividades propias y conexas, hacia esquemas que además de impulsar el mejoramiento del desempeño ambiental, permiten insertar en la gestión los aspectos propios de la competitividad empresarial.

El éxito de esta herramienta depende, en gran medida, de la apropiación que de ella hagan los sectores productivos nacionales, del compromiso en su aplicación y seguimiento y del esfuerzo de las instituciones ambientales. Aspiramos que estas guías, así como los espacios de concertación y diálogo abiertos entre los sectores productivos y la autoridad ambiental, contribuyan a la misión de fortalecer el rigor técnico y la efectividad de las políticas, para que el desarrollo y la sostenibilidad ambiental convivan para el bien de Colombia.

CECILIA RODRÍGUEZ GONZÁLEZ-RUBIO
Ministra de Medio Ambiente

INTRODUCCIÓN

El Proyecto Colectivo Ambiental (*PCA*) en 1998, estableció entre sus objetivos específicos el de dinamizar el desarrollo regional y urbano sostenible y el de contribuir a la sostenibilidad ambiental de los sectores. En la atención de estos principios, El Ministerio del Medio Ambiente y la Corporación Promoción de la Pequeña Empresa Ecoeficiente Latinoamericana –*PROPEL*- suscribieron un convenio de cooperación para el fortalecimiento de la gestión ambiental industrial en las PyMES del país.

El fortalecimiento se fundamenta en la promoción del control preventivo y correctivo de la contaminación industrial, el establecimiento de instrumentos de autogestión en estas materias y la adopción de buenas prácticas ambientales que lleven a la sostenibilidad ambiental y el mejoramiento de la competitividad empresarial. Específicamente el convenio se orientó a:

- Desarrollar proyectos de alto impacto económico y ambiental en las PyMES de los sectores de la industria de alimentos, galvanoplastia, textiles y artes gráficas
- Lograr la implementación de tecnologías más limpias o prácticas correctivas ambientales, que conduzcan a la disminución del consumo de materias primas e insumos, agua, energía y a la minimización de residuos
- Promover el cumplimiento de las disposiciones legales en materia ambiental, mediante la incorporación del mejoramiento o la introducción de procesos limpios y acciones integrales correctivas
- Capacitar al recurso humano en las PyMES, en el desarrollo y sostenimiento de las mejores prácticas ambientales y de gestión empresarial
- Promover la conformación de asociaciones gremiales que agrupen a la PyMES de cada sector
- Establecer un sistema de información sobre el desempeño ambiental de las industrias, como fundamento para la toma de decisiones y la evaluación del desempeño ambiental en las PyMES
- Promover y divulgar las mejores prácticas ambientales, a través del desarrollo de *Guías Ambientales de Buenas Prácticas de Producción Más Limpia para el Sector PYME en Colombia*

Como uno de estos resultados, presentamos a consideración las presentes guías, con el ánimo que las mismas sean el referente técnico mínimo para el manejo y uso racional del agua y la energía y para la minimización de residuos en las PyMES del país, traduciéndose en herramienta valiosa e indispensable para elevar la competitividad y la productividad de los sectores empresariales colombianos.

GERARDO VIÑA VIZCAÍNO
Director Ambiental sectorial
Ministerio del Medio Ambiente

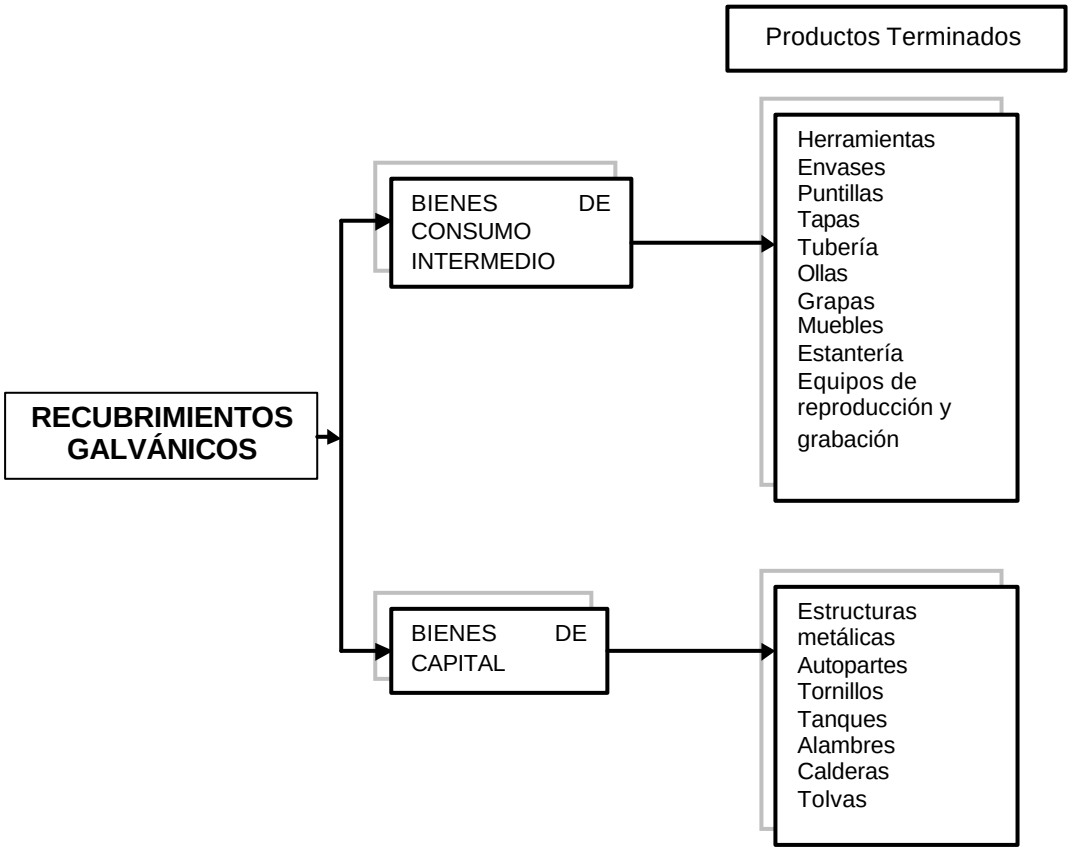
CONTEXTO DEL SECTOR GALVANOTÉCNIA

1. GENERALIDADES DEL SECTOR

El sector galvánico comprende todos aquellos recubrimientos vía electrolítica sobre diferentes superficies con fines decorativos y de protección contra la corrosión, dadas las propiedades que presentan estas películas entre las cuales se destacan; la dureza, uniformidad, estabilidad y buen aspecto.

A nivel industrial el Sector Galvánico hace parte de la Cadena Productiva Metalmecánica aportando bienes de consumo intermedio y bienes de capital, entendidos como artículos utilizados inmediatamente por el usuario final o para ser incorporados en la fabricación de otros bienes y en artículos que directa o indirectamente contribuyen a la producción de maquinaria y equipos respectivamente (Figura 1).

Figura 1. Cadena del sector de galvanotécnia según el destino final de los bienes



2. *Indicadores macroeconómicos del sector*

Uno de los grandes problemas que enfrenta el microempresario del Sector Galvánico es la falta de sistemas de registros generales de sus actividades, este hecho los ubica en desventaja competitiva con respecto a otros competidores, ya que no pueden auto diagnosticarse permanentemente para evaluar su desempeño e identificar algunos aspectos críticos sobre los cuales deben centrar los esfuerzos de mejoramiento.

A esto se suma la ausencia de registros nacionales para el cálculo de indicadores en las micro industrias [1].

Como parte de los mecanismos de medición, evaluación, mejoramiento y fortalecimiento de la competitividad de este sector, se proponen a continuación algunos indicadores para fortalecer, a través de la comparación con los estándares nacionales e internacionales, la calidad, flexibilidad, innovación, rapidez, rentabilidad y productividad de las empresas del sector registradas en la Cámara de Comercio de Bogotá (Ver información Tabla 1), en la Tabla 2 se aprecian los indicadores a evaluar.

Tabla 1. Base de datos de las empresas del sector galvánico

ITEM	VALOR
Número empresas matriculadas en Bogotá[2]	325
Número trabajadores totales de las empresas	3,168
Ventas Totales (Anuales)	13,000'000,000
Valor de Producción	10,725'000,000
Valor Mano de Obra	3,003'000,000
Inversión en Maquinaria y Equipo	1,406'651,025

Fuente: Cámara de Comercio de Bogotá y datos de campo

[1] A nivel internacional existen indicadores de productividad, pero debe tenerse en cuenta que los parámetros para definir el concepto de microempresa difieren a los manejados en Colombia.
[2] De un total 521 Empresas en todo el País.

Tabla 2. Indicadores macroeconómicos propuestos

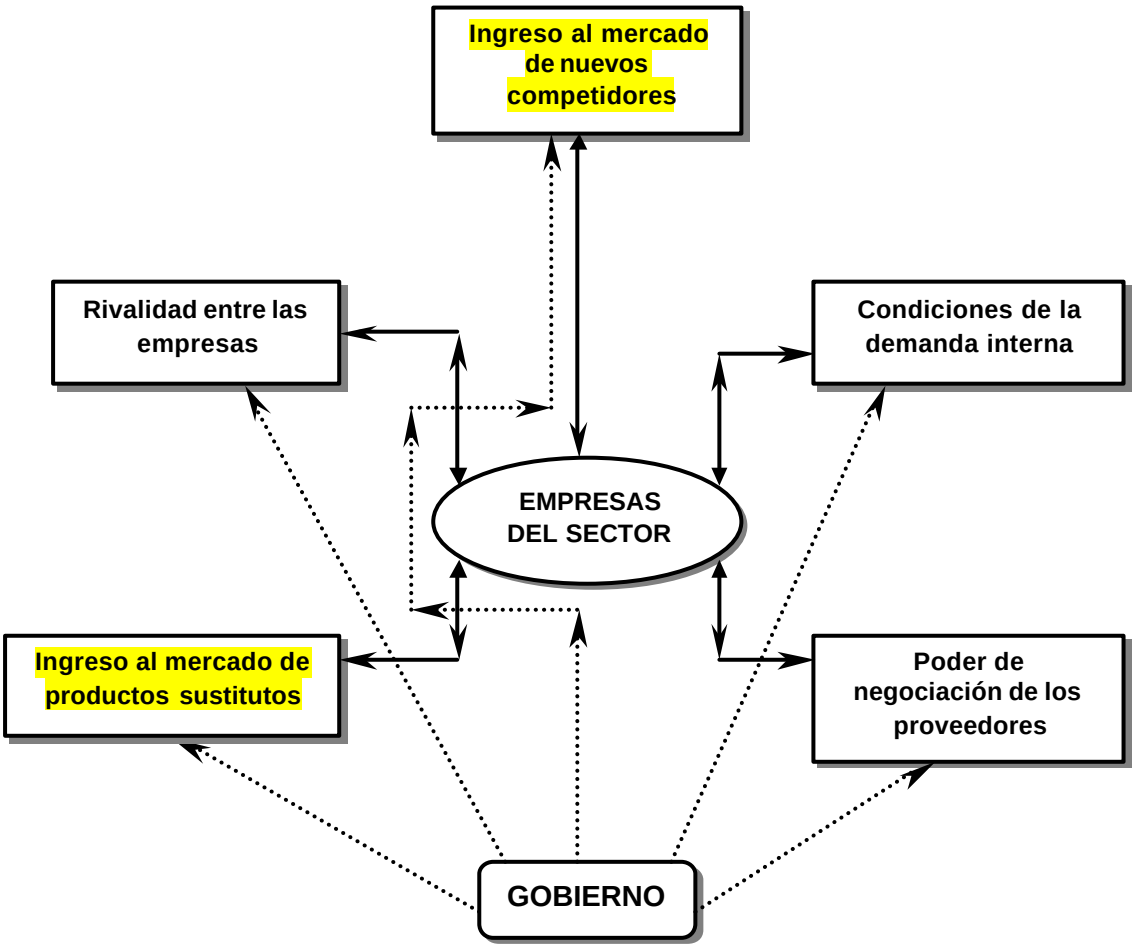
INDICADOR
$\frac{Valor\ Mano\ de\ obra}{No.\ de\ trabajadores} = 947{,}917\$ / Trabajador$
$\frac{Valor\ Mano\ de\ obra}{Valor\ materia\ prima} = 0.7369\$ / \$Invertido\ materia\ prima$
$\frac{Ventas}{No.\ de\ empresas\ \ totales} = 40'000{,}000\$ / Empresa$
$\frac{Ventas}{Inversión\ maquinaria\ \ equipo} = 9.2418\$ / \$Invertido\ maquinaria\ \ equipo$
$\frac{Inversión\ maquinaria\ equipo}{No.\ de\ empresas\ totales} = 4'328{,}157\$ / Empresa$
$\frac{Ventas}{No.\ de\ trabajadores} = 4'103{,}535\$ / Trabajador$
$\frac{Valor\ producción}{Valor\ materia\ prima} = 2.6317\$ / \$Invertido\ materia\ prima$
$\frac{Valor\ producción}{No.\ de\ empresas\ totales} = 33'000{,}000\$ / Empresa$
$\frac{Ventas}{Valor\ producción} = 1.21\$ / \$Invertido\ en\ producción$

3. *Factores de competitividad de la industria*

3.1. Actores que determinan la competitividad

Para desarrollar el análisis competitivo del sector es necesario determinar qué influencia ejercen las cinco fuerzas productivas (Ver figura 2) que rigen la competencia industrial sobre los objetivos y recursos de las empresas de galvanotécnia.

Figura 2. Las cinco fuerzas de la competencia industrial.



3.2. Condiciones de la demanda interna

La producción del Sector Galvánico se destina principalmente al mercado interno, éste hecho ha permitido que aumenten las importaciones de bienes de capital para la modernización tecnológica y bienes intermedios no producidos en el país de manera que se mantiene estable el consumo interno, con el atenuante de un acceso fácil para penetrar el mercado por parte de competidores internacionales.

3.3. Rivalidad de los competidores

El sector galvánico formal se caracteriza por empresas posicionadas (medianas y pequeñas) que suplen las necesidades de un mercado atomizado, sin que sean marcadas las rivalidades entre ellas, ya sea en calidad o en precio; sólo al interior de las organizaciones se encuentran diferencias de tipo estratégico, especialmente en el sector informal.

Las empresas del sector galvánico de la cadena metalmecánica se pueden clasificar en (Ver Tabla 3):

- Preparadores de piezas conocidos como pulidores
- Empresas de acabados
    - Anódicas
    - Catódicas
        - Plásticos
        - Vidrio
        - Metal

A su vez, estas empresas pueden estar integradas en la cadena productiva formando unidades integrales o empresas de servicios.

Tabla 3. Exportaciones de la cadena metalmecánica clasificación CIIU a 4 dígitos

CIIU	DESCRIPCIÓN	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
3710	Industrias básicas del hierro y el acero	118.1	160.4	244.7	229.2	201.1	168.0	223.9	311.5
3720	Industrias básicas de metales no ferrosos	22.6	91.0	205.4	237.8	26.1	31.4	29.5	36.8
3812	Fabricación de muebles y accesorios principalmente metálicos	1.4	1.2	1.4	1.3	2.7	3.0	3.1	6.5
3813	Fabricación de productos metálicos estructurales	23.9	29.0	18.1	15.9	12.9	10.9	12.1	19.2
3822	Construcción de maquinaria y equipo para agricultura	8.1	16.2	9.7	22.5	2.5	2.4	2.0	3.2
3824	Construcción de maquinaria y equipo especiales para la industria, excepto maquinaria para trabajo	45.2	54.5	50.9	94.5	17.1	13.3	11.6	13.0
3831	Construcción de máquinas y aparatos industriales eléctricos	18.6	21.2	27.4	39.8	38.0	47.9	33.0	54.3
3832	Construcción de equipos y aparatos de radio y televisión	21.5	22.2	37.5	47.2	25.8	28.4	32.4	32.3
	Total General (Millones US$)	485.5	662.1	914.0	1,011	703.5	639.9	632.9	836.9

Fuente: DANE

La primera división entre pulidores y empresas de servicios surgió de la problemática generada por la mala calidad del producto cuando se encontraba en el mismo recinto. De otra parte, las empresas de acabados son anódicas y catódicas en razón al sustrato sobre el que se obtiene el producto. Los procesos catódicos a su vez se pueden realizar sobre superficies no conductoras (plásticos y vidrio) o sobre metal conductor. En Bogotá hay alrededor de 325 industrias de carácter formal y por lo menos 400 informales. Esta proporción (1 a 2) se puede proyectar al resto del país, arrojando una cifra de 512 empresas formales contra unas 1200 informales.

3.4. Ingreso al mercado de nuevos competidores

En general, el sector presenta una alta informalidad, provocado por un proceso sui generis de aprendizaje del oficio por operarios no calificados que una vez conocida la técnica montan su propia unidad productora para ofrecer competencia con menores precios y menor calidad. Este proceso

de generación de unidades productoras operando sin gestión administrativa ni ambiental hace que cada día mueran y nazcan nuevas unidades productoras.

El costo estimado de inversión para el montaje de una unidad electrolítica varía de acuerdo con la cantidad de producto esperado, así para una planta básica se requiere del siguiente equipamiento con sus respectivos costos consignados en la Tabla 4.

Tabla 4. Costos mínimos para el montaje de una planta galvánica

Equipos e Insumos	Costo
1. Rectificador de corriente 1000A (20V)	5'000,000
2. Cubas revestidas 4 (2000 L)	4'000,000
3. Conectores Eléctricos(25 KVA)	4'000,000
4. Equipo adicional: Tambor, Desengrase, Puente grúa.	5'000,000
5. Insumos iniciales	2'000,000
6. Adecuación de pisos	2'000,000
7. Sistema de tratamiento	2'000,000
Total	**24 a 25'000,000**

3.5. Ingreso al mercado de productos sustitutos

La principal amenaza del sector es la entrada al mercado de tornillos de plástico sustituyendo los tornillos galvanizados de baja resistencia mecánica, también parachoques plásticos en vez de metalizados o nuevas aleaciones resistentes a la corrosión en vez de los mismos metalizados ya sea por precio o por calidad tecnológica, esto sumado a la poca diferenciación de los productos hace que el sector pueda entrar en crisis y sea vulnerable. Otro factor determinante a la entrada es que la calidad ofrecida del producto como servicio no es controlada y presenta algunas deficiencias; esto se debe a la falta de controles y mediciones, por parte tanto del productor como del usuario, quienes la mayoría de las veces se guían por el aspecto como variable de control, sin entrar en detalle en otras variables como espesor, adherencia, resistencia a la abrasión, resistencia a la flexión, ensayos de cámara salina, entre otras.

3.6. Poder de negociación de los proveedores

Los proveedores del sector tienen normalizados los precios, si no gremialmente, sí individualmente lo que permite que no se presenten alzas en los precios de los insumos, además su número es bastante limitado (alrededor de 10), los insumos nacionales son sales genéricas fabricadas en Medellín, Barranquilla y Bogotá principalmente, los insumos que se importan proceden de México, Italia, España, Estados Unidos y Alemania.

3.7 Factores de competitividad del sector

De acuerdo con el esquema de la figura 2, la interacción de estas fuerzas determina los factores que hacen competitivo a un sector.

A continuación se describen las características propias de los factores determinantes en la competitividad (Ver Tabla 5) del sector de galvanotécnia.

1. Nivel macro

- Política financiera
- Política de competencia
- Política comercial

2. Nivel meso

- Infraestructura física
- Aspectos ambientales
- Políticas de ciencia y tecnología

3. Nivel micro y meta

- Capacidad de gestión
- Estrategias empresariales
- Gestión de la innovación
- Integración en redes de cooperación tecnológicas
- Estructuras de competitividad

Tabla 5. Factores de competitividad, objetivos e instrumentos

FACTORES DE COMPETITIVIDAD	OBJETIVOS	INSTRUMENTOS
NIVEL MACRO	➢ Aumentar productividad. ➢ Implementar los sistemas integrales de crédito. ➢ Generar un fortalecimiento de nuevos recursos con mayor asignación y cubrimiento regional más amplio. ➢ Fortalecer el programa nacional de servicios tecnológicos. ➢ Implementar el sistema de costos y precios bajo la técnica del *Mark-up Pricing* para la venta de productos y servicios.	➢ Finurbano con operaciones de crédito, *factoring* y *leasing.* ➢ Fondo Nacional de Garantías. ➢ Centros de desarrollo empresarial (FENALCO, SENA, entre otros).
FACTORES DE COMPETITIVIDAD	**OBJETIVOS**	**INSTRUMENTOS**
NIVEL MESO	➢ Generar condiciones óptimas Productividad y Competitividad. ➢ Desarrollar sectores industriales (Parques Industriales ecoeficientes). ➢ Desarrollar relaciones con el entorno en el que operan las micro industrias para permitir la integración a las cadenas de valor. ➢ Fomentar alianzas a nivel nacional e internacional. ➢ Interactuar más con el ambiente minimizando el impacto sobre éste. ➢ Adecuar mejores tecnologías de proceso.	➢ Mindesarrollo ➢ Mingobierno ➢ Cámaras de comercio ➢ DAMA ➢ ACERCAR (proyecto de acompañamiento para las PYMES) ➢ Embajadas a través de personal pensionado altamente calificado para brindar apoyo técnico.

Tabla 5. Factores de competitividad, objetivos e instrumentos (Continuación)

FACTORES DE COMPETITIVIDAD	OBJETIVOS	INSTRUMENTOS
NIVEL MICRO Y META	➢ Fomentar la construcción de un sistema nacional de ciencia y tecnología. ➢ Creación del centro de control de calidad y metrología ➢ Crear el desarrollo e integración de las pequeñas y medianas empresas con las grandes ➢ Fomentar la transferencia de tecnología, la negociación de tecnologías, la información técnica, el suministro de asistencia técnica, los servicios tecnológicos, la formación y capacitación y desarrollo de actividades estratégicas. ➢ Orientar las estrategias competitivas desarrollando frentes de trabajo ➢ Fortalecer la inversión extranjera; mejorar mediante inversiones la infraestructura en el sistema aeroportuario, la red vial, el transporte férreo, los puertos, las telecomunicaciones y la energía.	➢ Colciencias, Sena, Superintendencia de Industria y Comercio, Instituto de Fomento Industrial, Proexport, los centros de desarrollo tecnológico, universidades gremios nacionales, banca comercial ➢ Red Nacional de Subcontratación ➢ Consejo Nacional de Competitividad

3.8. Alternativas y técnicas de uso eficiente de los recursos

3.8.1. Generación de residuos y aspectos Ambientales

3.8.1.1. Generalidades

Los residuos generados por el rubro industrial de Galvanoplástia se consideran potencialmente contaminantes debido a sus características, encontrándose conformados mayoritariamente por metales pesados tales como zinc, níquel, cromo hexavalente, cobre, cadmio, los cuales son

considerados, entre otros aspectos, inhibidores de tratamientos biológicos de residuos líquidos y dañinos para la salud.

Esta potencialidad contaminante tiene su justificación al considerar los volúmenes de agua utilizados en los procesos, sobre todo en los de lavado o enjuague que presentan contaminantes en descargas continuas. Relacionado con lo anterior, la operatividad relativa a la descarga de esta agua residual también incide, pues el peso total de estos compuestos químicos es inferior a los acumulados en los estanques de electrodeposición, que comúnmente, son asociados a procesos discontinuos.

Como resultado de los procesos galvánicos se presentan grandes cantidades de efluentes líquidos, residuos sólidos, humos y gases y vapores.

3.8.1.2. Fuente y caracterización de los residuos líquidos

La industria galvánica involucra consumo de agua en los baños de proceso, en las etapas de lavado y enjuague. Las descargas de estas aguas residuales están compuestas por efluentes que se caracterizan por su carga contaminante tóxica en términos de su contenido de cianuro, metales pesados como el cromo hexavalente, ácidos, álcalis.

El proceso de recubrimiento metálico en general, es muy poco efectivo ya que sólo una pequeña cantidad de las sustancias utilizadas es éste se deposita en la pieza. Hasta un 90% de las sustancias pueden evacuarse a través de las aguas residuales.

Los vertimientos líquidos pueden presentar características ácidas o básicas según donde provengan. En particular, los residuos líquidos provenientes de procesos de cromado, se caracterizan por su contenido de ácido crómico libre y bicromatos en solución neutra o débilmente ácida. También pueden contener altas cantidades de sólidos en suspensión, sustancias tóxicas disueltas y grasa proveniente de los baños de desengrase; si se utilizan baños ácidos de cobre, níquel, plata entre otros. Las aguas ácidas generadas contienen los metales correspondientes en concentraciones de trazas, más los diversos compuestos asociados a productos anexos agregados al baño.

Los principales compuestos disueltos que deben ser controlados son: cromo hexavalente, estaño bivalente, iones de paladio, cobre, níquel, plata, sodio y potasio y algunos orgánicos reductores como formaldehído y azúcares.

En general los residuos líquidos descargados por este tipo de industria provienen de:

- Aguas de lavado, enjuague y enfriamiento
- Goteos y derrames de trasiego
- Líquidos del lavado de gases
- Baños de proceso agotados
- Mantenimiento de baños de proceso
- Baños de remoción y acondicionamiento: contaminados, agotados
- Soluciones de sistemas de lavado/extracción de gases
- Pérdidas accidentales

Dependiendo del tamaño de la planta, el volumen de efluentes para estos talleres, oscila entre 0.05 m^3/hora y 0.2 m^3/hora. Algunas de estas plantas procesan sus líquidos residuales neutralizando con cal y filtrando, lo cual genera residuos sólidos que deben ser dispuestos de la mejor manera. El volumen total de las aguas residuales descargadas por la industria galvanotécnica en Bogotá no puede ser calculado exactamente, pero el volumen estimado es igual o mayor a 3000 m^3/mes con base al número total de compañías y el consumo de agua que es menor a 5 m^3/mes en promedio. Como algunas de las compañías grandes instalaron plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua descargada por ellas no está contaminada.

3.8.1.3. Fuente y caracterización de los residuos sólidos

Los residuos sólidos generados están constituidos por los lodos resultantes de los baños de proceso, desengrase, decapado y enjuague, así como también los lodos que se obtienen de los procesos de tratamiento de estas aguas residuales, las cuales deben ser confinadas dada su naturaleza tóxica. La composición de estos lodos o barros es variada, pudiendo contener metales como níquel, cobre, cromo, zinc y otros metales pesados.

En el caso del desengrase y decapado del aluminio en la industria del anodizado, los lodos contienen aluminato sódico, sales ferrosas en el decapado de piezas de hierro, los lodos son óxidos y sales ferrosas. Otros residuos sólidos son el polvo y partículas metálicas producidas durante la preparación preliminar de la superficie por abrasión. De menor impacto ambiental, por ser fácilmente reciclables, son los recortes de metal, los alambres de amarre, el cartón y los zunchos de empaque.

En este tipo de industria, al obtener residuos líquidos que contienen variadas especies químicas (metales pesados, cianuro entre otros), se

obtienen lodos de iguales características a los residuos líquidos que los generaron, lo que dificulta su reutilización o reciclaje. Sin embargo, la segregación o separación de corrientes de efluentes, permite la producción de un monolodo con la posibilidad de reuso en la industria metalúrgica.

De 10 empresas visitadas en Bogotá, 5 tienen instalados y en operación sus propios sistemas de tratamiento de aguas residuales y en cuatro compañías los residuos sólidos son controlados hasta que no sean contaminantes, pero en una de estas cinco compañías el tratamiento elegido no trabajaba bien y los desechos sólidos podrían contener tóxicos. El volumen total estimado de sólidos generados en estas compañías es de 1 a 2 ton/mes.

En las pequeñas empresas de galvanizado de Bogotá no se han instalado sistemas de tratamiento de aguas residuales, por lo que los sólidos son descargados junto con el agua residual.

3.8.1.4. Fuente y caracterización de emisiones atmosféricas

Se presentan gases, vapores, humos y neblinas. En algunas etapas del proceso, se producen gases por efecto de las reacciones electroquímicas que allí se suceden. Los vapores generados de solventes ácidos alcalinos de los procesos de desengrase, activación, neutralización y proceso de cromado. Este volumen de vapores es muy pequeño pero la acumulación causada por la no remoción de estos de los ductos en el sitio de operación es muy peligrosa para los operadores.

Las emisiones a la atmósfera de la industria galvanotécnica se producen en las distintas etapas del proceso productivo y se caracterizan de acuerdo a la naturaleza de los compuestos químicos utilizados en ellos. Así en los procesos de decapado en los que se emplea ácido nítrico se generan gases nitrosos y nítricos, debido a la naturaleza oxidante del ácido. Del mismo modo constituye fuente de contaminación el arrastre del ácido en forma de neblina o gotas, que se encuentran contenidas en los vapores de las soluciones de limpieza. Por otra parte, la utilización de ácido clorhídrico provoca las emisiones del ácido, debido a la alta presión de vapor ejercida a temperatura ambiente.

En la electrólisis se generan gases de hidrógeno en el cátodo y oxígeno en el ánodo, lo que permite que estos gases arrastren gotas de solución en su ascenso y difusión en el aire. En la preparación mecánica de las piezas, se produce la emisión de partículas de polvo. El hidrógeno se desprende durante el decapado de hierro o durante el anodizado de aluminio. Las neblinas son producidas por los baños en tanques abiertos, debido a la presión de vapor de las soluciones utilizadas, lo que sucede en especial en

los baños de decapado. Los humos se presentan en los procesos de combustión que se realizan en las plantas galvánicas para generar la energía necesaria para el calentamiento de los baños y para la producción de vapor. Los vapores de disolventes se presentan cuando el desengrase se hace por este método.

Las cantidades de emisiones atmosféricas producidas por la galvanotécnia no son relevantes desde el punto de vista ambiental global, sin embargo existe un efecto importante desde el punto de vista de salud ocupacional, pues los trabajadores están expuestos directamente a las nieblas y aerosoles emitidos, cuando no existen aspiradores o absorbentes sobre los baños de proceso y cuando no se utilizan implementos de seguridad adecuados.

3.8.1.5. Principales impactos ambientales generados por el sector

Los impactos ambientales ocasionados por los residuos producidos en el rubro de la galvanotécnia tienen directa relación con la naturaleza tóxica de muchos de los compuestos químicos involucrados, los cuales son los elementos base de esta industria. En particular es necesario hacer especial mención a los metales pesados tales como el cromo hexavalente y la especie cianuro. Así entonces, los procesos llevados a cabo en este tipo de industria significan un importante aporte en el deterioro del medio ambiente.

Estos residuos contaminantes, presentes en los efluentes líquidos descargados, sólidos generados y vapores emitidos a la atmósfera, afectan al medio físico circundante así como la salud de las personas. Los efectos producidos abarcan desde el deterioro de los sistemas de recolección de aguas servidas, el deterioro de sistemas de tratamientos microbiológicos, inhibiendo el desarrollo microbiano, hasta el efecto en la salud de los trabajadores expuestos y la población en general

A continuación en la Tabla 6 se visualiza un resumen de los residuos y su origen en la industria galvanotécnica.

Tabla 6. Residuos de galvanotécnia.

RESIDUO	RIESGO	CORRIENTE	PROCESO
Álcalis	Corrosividad	Residuo líquido	Limpieza y electrodepósito
Ácidos (nítrico, sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico)	Toxicidad	Residuo líquido	Limpieza
Detergentes	Toxicidad	Residuo líquido	Limpieza
Aceites y grasas	Toxicidad	Residuo líquido, solvente agitado	Limpieza
Cianuro	Toxicidad	Baño de recubrimiento, agua de lavado, otras aguas, lodos.	Electrodepósito, remoción, tratamiento calórico, desmanchado.
Cromatos	Toxicidad	Baño de recubrimiento, agua de lavado, lodos, otros	Electrodepósito, cromado, recubrimiento
Emisiones de vapores ácidos y alcalinos	Toxicidad	Atmósfera de trabajo	Desengrase, baños de cobre, niquelado y cromado.
Partículas de pintura y de polvo	Afección mucosas y vías respiratorias	Atmósfera de trabajo	Pintura, preparación mecánica de piezas.

3.8.1.5.1. Contaminación atmosférica.

Las emisiones al aire o a la atmósfera se producen en diferentes etapas del proceso y dependen de su naturaleza. Ejemplos de lo anterior son las nieblas que no constituyen una contaminación para el ambiente externo, pero si es importante desde el punto de vista de la salud ocupacional ya que afecta el ambiente interno de los empleados. En la preparación mecánica de piezas se produce la emisión de partículas de polvo.

3.8.1.5.2. Contaminación del agua.

En el rubro de la galvanotécnia existen cuatro tipos de efluentes, dos de ellos, tales como soluciones ácidas y alcalinas pueden contener metales pesados (exceptuando cromo hexavalente). Estos efluentes no son tóxicos pero pueden contaminar los cuerpos de agua. Cuando son descargados en un sistema de recolección de aguas servidas, pueden inhibir los procesos biológicos de tratamiento. Los otros dos tipos de efluentes corresponden a residuos tóxicos tales como efluentes cianurados y los que

contienen cromo hexavalente, los cuales al ser vertidos sin tratamiento previo en cuerpos receptores los afectan gravemente.

Si bien es cierto, que los procesos involucrados en la industria galvanotécnica son variados, estos producen residuos industriales líquidos cuya composición o caracterización química no es contaminante por si sola, pero si se convierte en un peligro potencial por los efectos sinérgicos de tales compuestos cuando se mezclan en un sistema de descarga o recolección.

En la Tabla 7, se presentan los efectos de ciertos contaminantes sobre la salud**.**

Tabla 7. Efectos de los contaminantes procedentes de la industria galvanotécnia sobre la salud humana.

PARAMETRO	EFECTO DE SU INHALACION	EFECTO DE SU INGESTION
Cadmio	Perturbación aguda y crónica en el sistema respiratorio. Disfunción renal.	Tumores testiculares Disfunción renal Hipertensión Arterioesclerosis Inhibición del crecimiento Cáncer.
Cromo	Cáncer pulmonar Cáncer gastrointestinal Enfermedades de la piel	Cáncer pulmonar Ulceras Perforaciones en tabique nasal Complicaciones respiratorias
Plomo	Interferencia en el proceso de formación de elementos sanguíneos Daños al hígado y riñón Efectos neurológicos	Afecciones a la piel Anemia Disfunción neurológica Daños al riñón
Níquel	Enfermedad respiratoria Defectos y malformaciones en el nacimiento Cáncer pulmonar Cáncer nasal	
Cianuro	Daños sistema respiratorio Letal	Daños sistema respiratorio Letal

En la Tabla 8 se presentan los efectos de ciertos contaminantes sobre los sistemas o instalaciones de recolección de aguas servidas y en la Tabla 9, se muestran los efectos de ciertos contaminantes descargados en las aguas superficiales.

Tabla 8. Efectos de los contaminantes sobre instalaciones de alcantarillado.

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

Tabla 9. Efectos de los contaminantes sobre aguas superficiales.

PARÁMETRO	EFECTO
PH	Efectos sobre las aguas destinadas a consumo humano, bebida animal, riego, recreación, estética y vida acuática.
Temperatura	Las altas temperaturas desfavorecen la dilución de oxígeno en la masa de agua, alterando el desarrollo de la vida acuática.
Sólidos suspendidos	Se produce acumulación de sedimentos que ocasionan embancamiento y depósitos de terrenos de uso agrícola.
Aceites y grasas	Efectos sobre la absorción de oxígeno atmosférico en el agua, afectando los procesos de fotosíntesis de algas, plantas y organismos acuáticos en general.
Metales pesados y tóxicos	Interfieren en los procesos naturales de autodepuración biológica de cuerpos receptores.
Detergentes	Interfieren en los procesos de absorción de oxígeno, creando ambientes anaerobios.

En Bogotá, el impacto contaminante del cianuro y los elementos metálicos es estimado entre 90-180 Kg/mes y 380-750 Kg/mes respectivamente, basados sobre los resultados del análisis general de la industria galvanotécnica y un total de 3000 m^3 de efluentes al mes. En la Tabla 10 se presentan los resultados de los análisis realizados en 10 empresas de este rubro en Bogotá.

Tabla 10. Resultados de los análisis de metales pesados en 9 empresas galvanotécnicas de Bogotá

		ppm						
INDUSTRIA	**Aguas residuales (m^3/mes)**	**pH**	**CN**	**Cu**	**Ni**	**Zn**	**T,Cr**	**Al**
GALVANOTÉCNIA GENERAL								
Relec	170	3.3-11.2	41.5	2.32	0.72	73.6	15.8	---
Ind. Electro-Química	200	2.4-6.3	1.7-3.1	10.8-6.1	75-99	10.9-5.7	133 - 162	--
Galvano-Tecnia	250	5.5	73	1.4	16.9	56.5	68.1	--
CROMADO DURO								
Mecrotec	20	No muestreado						
Anodinados	60	2.4	0.97	0.05	0.91	1-10	1.85	-
Challenger	700	6.8-6.9	0	<0.04	0.18	6.13	<0.06	-
Colombiana De Anodizados	120	1.96	1.08	No se tienen datos				402
Gutemberto	270	6.1	0	<0.04	<0.06	1.19	<0.05	--
ZINCADO EN CALIENTE (DOPING)								
Imegaç	40	1.8-3.4		0.48-0.57	0.45-0.54	68-74	0.85-1.05	--

3.8.1.5.3. Contaminación del suelo.

Las descargas no controladas de residuos líquidos en plantas y la inadecuada disposición de lodos no inertizados que contienen compuestos tóxicos, pueden producir contaminación de suelos y aguas subterráneas. Los efectos de los contaminantes infiltrados al suelo, son similares a los ocasionados por descarga de residuos líquidos contaminados a las aguas superficiales.

3.8.1.5.4. Puntos Críticos

En los procesos de galvanotécnia los puntos críticos se presentan en el control de proceso y la generación de residuos, así:

- Baños de desengrase con pH > 12
- Sustancias sensibles al azul de metileno (Detergentes)
- Soluciones fuertemente ácidas de HCl y H_2SO_4
- Generación de hidrógeno (el cual arrastra partículas produciendo la lluvia ácida)
- Baños de proceso de acuerdo con la legislación vigente (Ver Tabla de visitas 11)
- Presencia de cianuros
- Sales disueltas que aumentan la conductividad
- En el pasivado del cinc y en el cromado, presencia de Cr+6 altamente tóxico
- Presencia de hidrógeno con neblinas ácidas en el Anodizado y el cromado de piezas metálicas

Las opciones de prevención de la contaminación, dentro del marco de la gestión ambiental de una empresa se pueden jerarquizar según el grado de facilidad de su implementación y costos asociados. Es así, como la más alta prioridad se le asigna a la prevención de la contaminación a través de las buenas prácticas, la reducción en la fuente y el reciclaje.

Las buenas prácticas, la prevención o reducción en origen y el reciclaje en la fuente, disminuyen o eliminan la necesidad de reciclaje fuera de la planta o el tratamiento en parte de los residuos y su posterior disposición. La reducción de residuos es siempre más barata que su recolección, tratamiento y disposición. También permite disminuir los riesgos ambientales para los trabajadores, la comunidad y el ambiente en general.

En la Tabla 11, se presentan algunas opciones de gestión ambiental para la industria de la galvanotécnia en orden creciente de costos asociados.

Tabla 11.Opciones de gestión ambiental en galvanotécnia

JERARQUIA DE OPCIONES DE GESTION AMBIENTAL	ACTIVIDAD	DESCRIPCION DE LA OPCION
REDUCCION EN ORIGEN	BUENAS PRACTICAS	a. Desarrollo de políticas del personal: ■ capacitación y entrenamiento del personal ■ Uso de incentivos al personal b. Desarrollo de manuales y procedimientos: ■ Sistemas de documentación adecuados. ■ Optimización de operaciones de manejo y almacenamiento de materias primas y control de inventario ■ Programación de la producción ■ Mantenimiento preventivo de equipos. c. Medidas de prevención de pérdidas: ■ Control de calidad y certificación de materias primas ■ Manejo de derrames y goteras d. Reparación de pisos
	MEJORAMIENTO DE PROCESOS	a. Modificación de la distribución en planta *b.* Prolongación de la vida del baño ■ Filtración continua o de sacos anódicos para filtrar ánodos ■ Monitoreo de baños ■ Instalar porta gancheras/piezas sobre el baño de electrodepósito c. Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y sustancias químicas: ■ Implementación de lavado o enjuague en contracorriente o cascada ■ Implementación de baño de economía ■ Implementar criterio de enjuague ■ Implementar sistemas sencillos de cierre y apertura de válvulas ■ Implementar lavado intermitente ■ Aumentar escurrimiento de piezas ■ Instalar puentes de polipropileno ■ Dosificar los baños con el contenido necesario de sustancias químicas d. Implementar tratamiento de destoxificación integrado a la producción. ■ Destoxificación de cromo hexavalente ■ Destoxificación de cianuro
RECICLAJE		Aguas de lavado y agua de baños agotados
PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO		Precipitación química o tecnologías alternativas
DISPOSICION FINAL DESTRUCCION		Disposición en vertederos especiales

3.9. Importancia relativa, según costos, de los diferentes sectores.

Dentro del Sector de Galvanotécnia los procesos más comunes y de mayor consumo a nivel industrial son citados a continuación:

- Cobreado Ácido –Cobreado Alcalino
- Niquelado
- Cromado
- Zincado
- Plateado
- Anodizado Simple
- Anodizado Coloreado

Para cada uno de estos recubrimientos metálicos se presenta la importancia relativa de acuerdo a los costos en el Tabla 12.

Tabla 12 Importancia relativa de acuerdo a los costos

COSTO	Cu Ácido	Ni	Cr	Zn	Ag	Anodizado Simple	Anodizado Color
Energía KW-h	20%	15%	30%	15%	10%	65%	40%
Agua + Tratamiento	10%	10%	10%	10%	10%	5%	15%
Materias Primas	65%	65%	45%	60%	70%	28%	40%
Empaque + Control de Calidad	5%	10%	15%	15%	10%	2%	5%

Figura 3. Costo representativo correspondiente al consumo de energía y su incidencia sobre el costo total en el proceso de diferentes metalizados

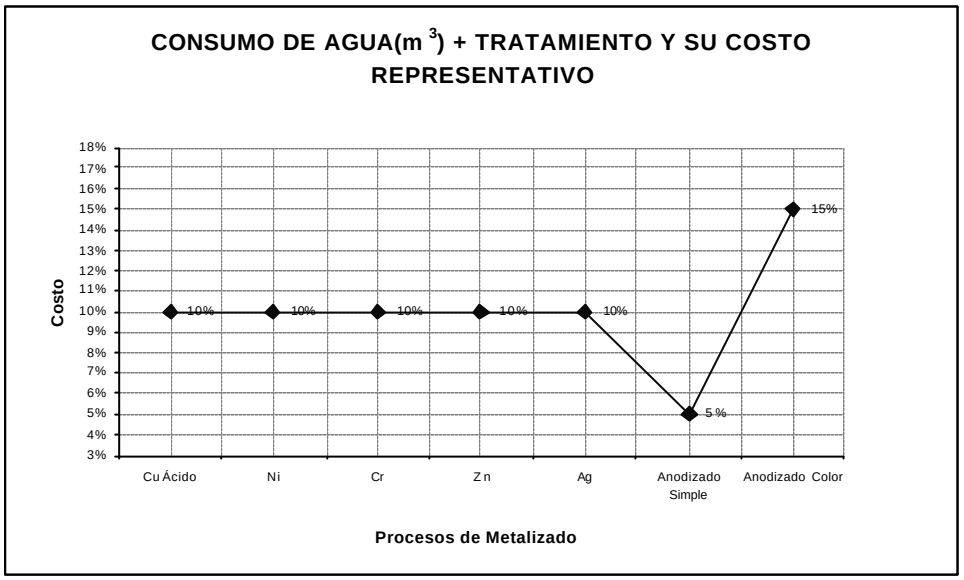


Figura 4. Costo representativo correspondiente al consumo de agua y su incidencia sobre el costo total en el proceso de diferentes metalizados.

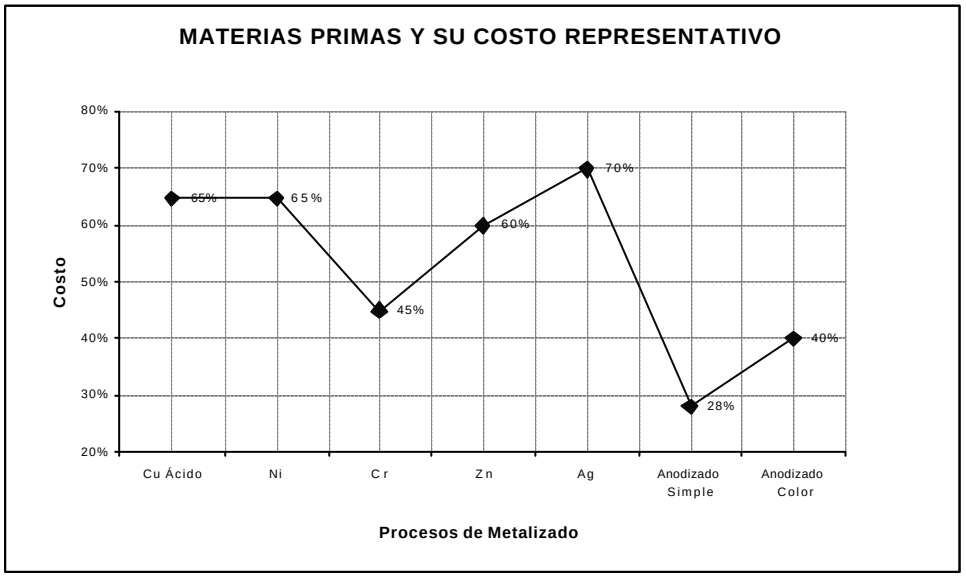


Figura 5. Costo representativo correspondiente a las materias primas y su incidencia sobre el costo total en el proceso de diferentes metalizados.

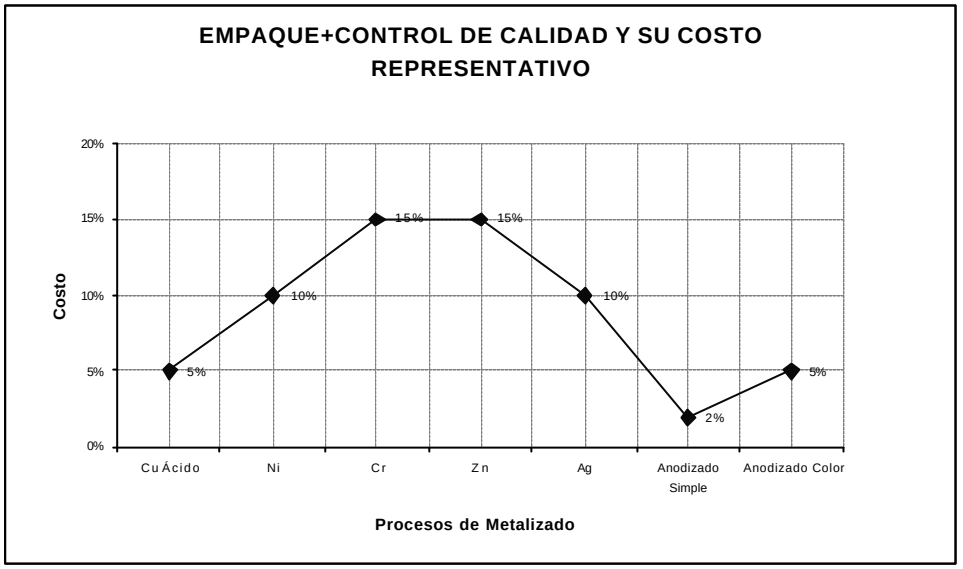
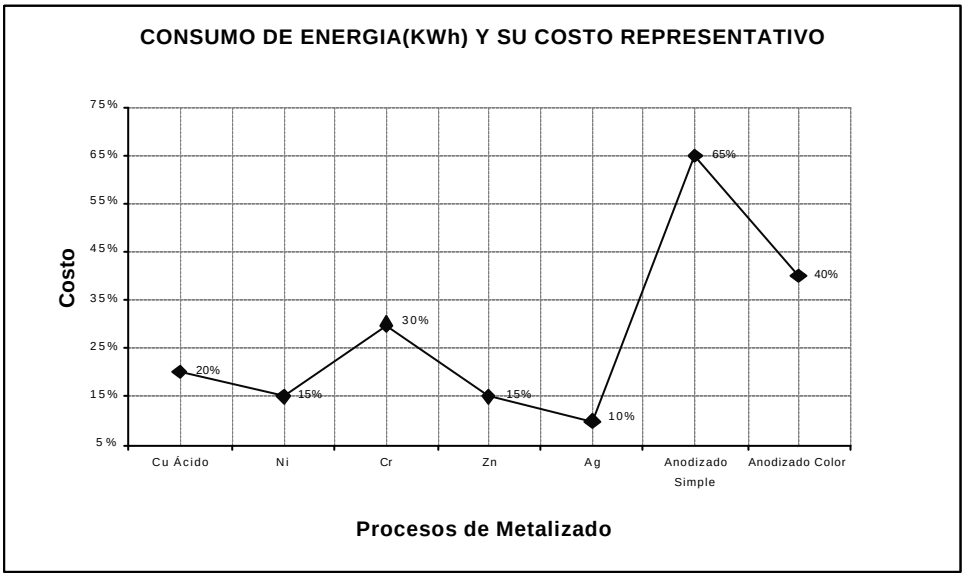


Figura 6. Costo representativo correspondiente al empaque y el control de calidad sobre los productos terminados y su incidencia sobre el costo total en el proceso de diferentes metalizados.



El consumo de energía es un factor crítico en los procesos de metalizado, también su costo dentro del costo total del producto, en algunos casos como en los anodizados (65 y 40%) es fundamental y tiene mayor incidencia en el procesos, mientras que en otros procesos como el cromado (30%) y el cobrizado (20%) tiene una incidencia media, aunque de ésta depende la calidad del producto. En procesos como el niquelado(15%), zincado(15%) y plateado(10%) su incidencia en el costo global es mucho menor (ver Figura 3).

El agua de lavado en los procesos de metalizado no es muy representativa en el costo global ya que oscila sólo entre 10 y 15% (ver Figura 4), aunque de ella depende en gran parte el acabado que obtenga la pieza en todas las fases del recubrimiento. Su disposición final genera costos indirectos, tales como sanciones, multas e inclusive cierre de la planta, debido al alto impacto de los efluentes sobre el entorno.

El consumo de materias primas en el eslabón de costos, tiene mayor incidencia en el balance global de costos de producción. En la gráfica 2.1.5, se puede apreciar la tendencia de los baños de cobrizado y niquelado (65%), plateado(70%), zincado(60%), cromado(45%) y anodizados de color(40%) y simple(28%), estos tres últimos metalizados con una incidencia menor al 50%, en razón a que los costos en el mercado de los insumos(electrodos y sales) son más cómodos que en los demás metalizados.

Los costos por concepto de empaques y control de calidad en el sector de metalizados no son representativos (ver Figura 6), dadas las características físicas de los productos, además en la parte de control de calidad sólo se hace inspección visual y no se tienen otros parámetros en cuanto a desempeño de la calidad de las piezas terminadas. En las industrias en donde se han implementado sistemas de control de calidad sus productos abren puertas a mercados internacionales.

3.10. Casos exitosos

Fábrica de Tornillos Gutemberto S.A.

Se encarga de realizar recubrimientos electrolíticos (zinc) en piezas maquinadas o preparadas en fundición.

Antecedentes

El proceso de decapado en la fábrica se hace con ácido sulfúrico a temperatura ambiente, en el se consumen aproximadamente 7 m^3/ semana de solución de una concentración de ácido entre 17 y 18%, la solución se agota hasta una concentración entre 6 y 7%. El ácido agotado se neutraliza con soda cáustica subiendo el pH a valores entre 6 y 7 unidades, produciendo un precipitado de sulfato de sodio e hidróxido ferroso, el cual es retirado por sedimentación. La solución neutralizada es filtrada antes de verterla a la red de alcantarillado, con este tratamiento aún queda en el agua residual una apreciable cantidad de sólidos disueltos con alto contenido de hierro.

El tratamiento de la solución neutralizada se realiza por la misma red donde se descargan las aguas de enjuague del baño de fosfatado lo que ocasiona su acidificación y en consecuencia el incumplimiento del parámetro de pH, según lo contemplado en la Resolución 1074 del DAMA. La autoridad ambiental viene adelantando jornadas de seguimiento a las diferentes industrias con el fin de controlar las cargas de los vertimientos industriales y en un futuro cercano, implementar el cobro de las tasas retributivas como contribución al tratamiento del Río Bogotá.

Estrategia

Valorización del ácido agotado: El baño agotado del proceso de decapado tiene una composición típica: agua 73,67%, ácido sulfúrico libre 5,46%, Sulfato ferroso 20,85%.

Cuando la solución agotada se somete a un proceso de calentamiento y posterior evaporación se obtiene una solución concentrada rica en sulfato ferroso que al enfriarse forma cristales de sulfato ferroso hidratado (Color azul verdoso) siempre y cuando el pH se mantenga por debajo de 4 unidades. Si en algún momento el pH sube por encima de 4 unidades el producto obtenido es sulfato férrico que tiene menos aplicaciones en la

industria. En la teoría al evaporar el agua de la solución se deberían obtener 420 g de sulfato ferroso heptahidratado / L de solución, no obstante queda producto disuelto en las aguas madres, las cuales se deben recircular al proceso y, existen perdidas de producto por eficiencia del proceso

Relec Ltda.

Se encarga de realizar acabados electrolíticos de Cromo, Cobre, Níquel y Zinc.

Antecedentes

Los procesos de recubrimientos electrolíticos llevados a cabo en la planta generan un alto impacto ambiental debido a que sus vertimientos tienen alto contenido metálico de Ni, Cr, Fe, y Zn.

En estos mismos vertimientos se encuentran altas estándares de grasas, aceites y tensoactivos producidos durante el proceso intermedio de desengrase alcalino, a su vez se genera gran cantidad de lodos. Todos estos parámetros incumplen los estándares según lo contemplado en la Resolución 1074 del DAMA.

Estrategia

Unidad para el tratamiento de las aguas residuales que se generan por su actividad industrial: La planta de tratamiento consta de seis partes, en las cuales se desarrolla un proceso físico químico para la remoción de Cr, Ni, Cu, Fe y Zn, metales involucrados en los procesos de acabados por electrodeposición. De forma análoga se logra retirar en gran medida los tensoactivos utilizados en los baños y las grasas y aceites producidos durante el proceso de desengrase alcalino.

En la primera parte del proceso se retiene en dos trampas de grasa la mayoría de las sustancias solubles en n- hexano (grasa y aceites) y los lodos producidos por la remoción del oxido que poseen las piezas a recubrir. Luego de su paso por las trampas de grasa el vertimiento se almacena en un tanque con capacidad de 5 m^3, el cual sirve para homogeneizar las aguas que van a ser tratadas en el proceso físico químico. La tercera parte de la planta consiste en un tanque plástico elevados con una capacidad de 2000 L, en la cual se lleva a cabo la adición de reactivos, la agitación y la sedimentación de las aguas tratadas.

Los lodos sedimentados son evacuados por gravedad a un lecho de secado, correspondiente a la cuarta parte de la planta, en el que son desaguados. El agua clarificada se hace pasar por un filtro de arena a presión (Quinta parte) y es enviada a un tanque de almacenamiento de 20 m^3 desde donde es bombeada a un tanque de suministro de 2000 L para su uso como agua de proceso.

Empresa Colombiana de Anodizados

Anodización de aluminio arquitectónico como es el caso de perfilería para ventanería, cortinería y piezas de aluminio diversas para uso del hogar, también Anodizado de acero estructural para aviación y para implementos de energía solar.

Antecedentes

En el proceso de preparación de la pieza antes de anodizar se requiere un desengrase y decapado los cuales se llevan a cabo en soluciones fuertemente alcalinas. Cada solución requiere de un enjuague, cuya disposición implica vertimiento con pH superior a 11 medida que se encuentra por fuera de la norma.

Un segundo impacto significativo es la evolución de hidrógeno en el proceso de decapado y en el proceso de Anodizado, en el primer caso es generada una neblina alcalina y en el segundo caso una neblina altamente ácida, las dos agresivas a la salud de los trabajadores. El tercer impacto consiste en la generación de lodos en el tanque de decapado por la formación de aluminato de sodio fuertemente alcalino en forma de lodo, con una generación promedio de 1 ton/ día

Disposición del ácido agotado cuando la concentración del aluminio es superior a 25 g/l caso en el cual se reduce la eficiencia de formación de película de óxido y es práctica común desechar el baño para disminuir la concentración de aluminio presente.

Estrategia

Autoneutralización de corrientes ácidas y alcalinas, dosificando soda o ácido faltante según el caso.

La evolución de hidrógeno se minimiza con la adición de un agente tensoactivo que genera espuma sobre la superficie del baño, limpiando la burbuja de gas al salir. Los lodos procedentes del decapado se recogen

para un secado parcial y luego son enviados a un gestor quien lo utiliza para fabricar una frita cerámica. Finalmente, el ácido contaminado con Al^{+3}, es calentado a 60ºC una vez cada seis meses, se le adiciona estequiométricamente una sal de amonio, se enfría a temperatura por debajo de 10ºC para que precipite la sal doble de aluminio y amonio, la cual es retirada del fondo después de 10 horas de precipitación y el ácido se vuelve a reutilizar.

Tabla 13 Eficiencia y productividad en función de costos

EMPRESA	CONCEPTO	PONDERACIÓN / MES		AHORRO
		ANTES	DESPUÉS	
GUTEMBERTO S.A.	Agua	10%	6%	40% DEL COSTO INTEGRAL DE OPERACIÓN DEL COSTO DE DECAPADO
	Materias Primas	30%	20%	
	Tratamiento de vertimientos	50%	5%**	
	Energía	5%	2%	
	Salud ocupacional	Vapores irritantes al operario	Condiciones amigables al operario	
RELEC LTDA	Agua	15%	7%	10% COSTOS OPERATIVOS
	Materias Primas	20%	4%	
COLOMBIANA DE ANODIZADOS	Agua	15%	10%	15% COSTOS OPERATIVOS
	Tratamiento de vertimientos	50%	5%**	
	Materias Primas	60%	45%	
	Salud ocupacional	Vapores irritantes al operario	Condiciones amigables al operario	

BUENAS PRÁCTICAS (BP) PARA EL SECTOR DE LA GALVANOTÉCNIA

1. Consideraciones generales

La guía de buenas prácticas en el sector de la galvanotécnia se compondrá de tres partes. La primera de ellas poseerá prácticas relativas a procesos generales, ya sea con respecto a los proveedores, el almacenamiento, el proceso productivo, y el manejo de residuos. Estas prácticas serán más generales que particulares, pero de todas formas servirán para minimizar la generación de residuos y contaminantes.

La segunda parte de este manual abarcará los procesos críticos de la galvanotécnia, así como las buenas prácticas para minimizar el uso de recursos y la generación de residuos o contaminación.

Por último, se presentarán varias tablas que contienen una serie de estrategias de producción más limpia que pueden ser aplicadas a cada una de las áreas de la empresa...

2. Procesos generales

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

2.1. Gestión de proveedores

Operación

BP: Efectuar control de calidad de materias primas al momento de recibirlas, para verificar si cumplen las especificaciones requeridas. Solicitar a los proveedores que certifiquen la calidad de sus productos y llevar a cabo la devolución de los materiales si estos no cumplen los requerimientos deseados.

2.2. Almacenamiento

Política

BP: Llevar un buen control de inventario (lo primero que entra es lo primero que sale). Se trata de mantener el stock mínimo de materiales, sobretodo si este es perecedero para evitar pérdidas innecesarias. Utilizar materias primas en cantidades exactas para cada trabajo. Evitar tráfico excesivo en zonas de almacenamiento y producción.

Planeación y Mantenimiento

BP. La instalación u optimización de los sistemas de ventilación permite el mejoramiento del ambiente laboral debido a la reducción de las partículas en el aire. También debe tomarse en cuenta que se disminuirá la contaminación de las soluciones del proceso por deposición de estas partículas en su superficie**.**

2.3. Alimentación al proceso

Planeación y Mantenimiento

BP: En las empresas de galvanotécnia es habitual encontrar infiltraciones de piso y suelo, por falta de protección o por escaso mantenimiento de estos. Los pisos han sido mayoritariamente corroídos por la naturaleza química de los compuestos que drenan a estas superficies ya sea con ocasión de arrastre de electrolito desde las piezas al ser transportadas o bien por derrames de los baños. Así entonces, a largo plazo se producen contaminaciones peligrosas de los suelos y las aguas freáticas debido a la acumulación de metales pesados y otras especies químicas.

Se recomienda mantener el piso en buen estado o recubrimiento del suelo, apoyado por la implementación de buenas prácticas y modificaciones de proceso mencionadas en el presente manual. Sin embargo, de ser económicamente factible, es más recomendable la utilización de pisos recubiertos con material epóxico.

BP. Deben hacerse inspecciones periódicas de tanques y líneas con la reparación de las unidades dañadas o corroídas, deben remplazarse regularmente los sellos en las bombas que transportan sustancias químicas y sistemas de filtración y revisar regularmente el fondo de los

tanques para recuperar piezas, accesorios y racks que se hayan caído dentro del baño.

BP. La pérdida de productos químicos que se da por goteras y escurrimientos puede ser considerable; si el goteo proveniente de las bombas, los filtros o los tanques es ignorado por un largo periodo, la pérdida total puede ser significativa. Algunos métodos para reducir las pérdidas químicas a partir de estas fuentes son los siguientes:

- Adopción de una conducta preventiva para el mantenimiento de bombas, filtros y tanques.

- Instalar alarmas de sobreflujo en todos los tanques del proceso especialmente en los que son calentados y que requieren ser reconstituidos con agua.

- Implementar reglas sobre adiciones a los baños y transferencia de materias primas.

2.4. Proceso productivo

Política

BP : Capacitación y entrenamiento permanente del personal que trabaja en un proceso industrial, referida específicamente a la manutención de condiciones del proceso ambientalmente confiables, opciones de segregación de residuos, seguridad industrial, uso óptimo de equipos, manejo de materiales y salud ocupacional. Es vital que los empleados sepan por que se les exige una forma de trabajo y que se espera de ellos. La experiencia de los empleados es vital. Normalmente, los empleados antiguos entienden muy bien el proceso y los errores que resulten en la generación de residuos son mínimos y poco frecuentes.

El uso de incentivos de todo tipo al personal, hace que los empleados se comprometan más con la aplicación de medidas de prevención si saben que obtendrán algún beneficio.

BP : Para obtener mejoras en los procedimientos se hace necesaria la implementación de sistemas de documentación adecuados de procedimientos, manuales de operación de equipos que inicien con una lista de chequeo o llamados de atención para los operarios, hasta

manuales dirigidos al personal profesional destinados a clarificar y/o modificar operaciones para hacerlas más eficientes y controlar pérdidas.

Planeación y Mantenimiento

BP : El mantenimiento de equipos de acuerdo a una programación de la producción, con el fin de evitar emergencias, accidentes, escapes y derrames o fallas de los equipos, mediante el chequeo y revisión de bombas, válvulas, estanques, filtros, equipo de seguridad, entre otros. Establecer un manual centralizado de catálogos y documentos relacionados con los equipos del proceso. Verificar periódicamente y en forma programada que las partes y piezas de los equipos se encuentren en buen estado.

Operación

BP. Modificación de la distribución en planta: el proceso de galvanotécnica esta constituido por distintas etapas que se suceden. Lo ideal es que estas etapas estén dispuestas en lo que podría llamarse una línea de producción, es decir que los estanques o baños se encuentren unos a continuación de los otros, de modo que las piezas no deban recorrer un largo camino entre una etapa y otra. Esto disminuiría las pérdidas de líquido durante los traslados y permitirá por ejemplo, implementar técnicas de enjuague que optimicen la recuperación de materiales minimizando las pérdidas y disminuyendo el volumen de efluentes generados durante el proceso.

BP. El volumen de residuos y los costos de reemplazo de los baños pueden ser disminuidos al prolongar la vida útil del baño de electrodepósito a través de:

- Filtración continua de los baños de electrodepósito. Este procedimiento se utiliza con la finalidad de eliminar sustancias nocivas y contaminantes.

- Para evitar la contaminación con sustancias sólidas por ejemplo sustancias insolubles en las aleaciones, los ánodos se pueden filtrar por medio de un saco anódico. Otra fuente de sustancias sólidas es el polvo de tratamiento mecánico, por lo que es necesario separar la línea galvanotécnica del sector del taller metalmecánica.

- Monitoreo: Seguimiento periódico de variables como el pH, el contenido de metales y la celda Hull para controlar la composición correcta del

baño. Este sistema permite conocer la necesidad de adicionar uno de los constituyentes químicos o remover contaminantes y con ello prolongar la vida del baño, sino efectuar un control químico total. Este control puede ser efectuado por los proveedores de materias primas o bien por laboratorios externos, mediante técnicas de análisis químico.

- Aumentar el escurrimiento de los líquidos adheridos a las piezas sobre los baños con el fin de reducir el arrastre y la contaminación posterior, al próximo baño, mediante instalación de porta-gancheras o bien que el operador mantenga manualmente la pieza escurriendo sobre el baño de electrodepósito. Esto es válido también para los baños de enjuague. También puede mejorar la posición de la pieza en la ganchera, de modo que se facilite el escurrido. De ser necesario, se pueden modificar los porta-gancheras de modo que las piezas se puedan colocar convenientemente inclinadas sin que se caigan.

BP. Mejoramiento del manejo en el consumo de agua y de sustancias químicas:

- Implementar estanques de lavado en contracorriente o cascada con el fin de reducir el consumo de agua. En este sistema la pieza se mueve en dirección opuesta a la calidad de flujo de agua de lavado. Este consiste en que agua limpia es alimentada en el estanque más alejado del baño de proceso y luego esta agua alimenta por rebase el estanque de lavado más cercano al baño de proceso. El agua por rebase disminuye el consumo de agua de lavado. La pieza es sumergida primero en el estanque con agua menos pura y en el estanque con agua más limpia, después y al final dependiendo del número de estanques.

    - Introducir un enjuague “estanco” o “economía” (batch sin entrada y salida de agua) con el fin de reducir el consumo de sustancias químicas y disminuir el arrastre de estas entre baños. El electrolito acumulado es este estanque se utiliza para regenerar el baño de electrodepósito, es decir se regresa electrolito (recicla) al baño de electrodepósito manteniendo su nivel.

    - Implementar sistemas sencillos de apertura y cierre de válvulas, para el control de suministro de agua.

    - Implementar lavado intermitente de material con pulverizadores de agua, lo que sustituye etapas en cascada.

- Dejar escurrir el electrolito y el agua de enjuague en los baños desde la superficie de las piezas, antes de transportarlas al baño siguiente, con el fin de evitar la contaminación de los baños siguiente y con ello reducir el consumo de químicos y agua.

- Instalar puentes de polipropileno, en posición inclinada, entre estanques a fin que el electrolito escurra al estanque desde donde proviene, disminuyendo el arrastre. Esto es válido para estanques de electrolito como de enjuague.

- Dosificar los baños con el contenido necesario de sustancias químicas, con el objetivo de reducir la generación de lodos y de productos químicos para dextoxificar o neutralizar los residuos líquidos.

2.5. Manejo de residuos

BP. La recuperación de materias primas puede ser llevada a cabo mediante la utilización de un baño de enjuague estanco o de economía o eco o de recuperación , ya mencionado anteriormente, el cual es localizado a continuación del baño del electrodepósito y en donde la pieza es sumergida previo al baño de enjuague. En este baño económico el electrolito puede ser almacenado y utilizado luego para la regeneración del baño de electrodepósito y con ello disminuir el consumo de materias primas.

BP. Se puede utilizar agua desmineralizada para preparación de baños de Electrolito o en procesos de lavado o enjuague final, para evitar manchas o concentración de contaminantes en la superficie de las piezas. Los contaminantes naturales del agua, tales como calcio, hierro, magnesio, manganeso, cloruros, carbonatos y fosfatos pueden irse acumulando en procesos de reciclaje.

3. Procesos críticos

3.1. Tratamiento de dextoxificación integrado a la producción

Una posibilidad de tratar directamente el arrastre de un baño de proceso (activo) es la dextoxificación en un baño de tipo Lancy. Este método de dextoxificación químico directo fue creado en los años 50's pero en la

actualidad no se aplica en las empresas galvanotécnicas. Lancy propuso este método como “tratamiento integrado a la producción”.

Sin embargo, para empresas pequeñas y no automatizadas, este método es una posibilidad de dextoxificar efluentes de baños tóxicos tales como cromo hexavalente, cianuro y otros, directamente cuando no existe un tratamiento de efluentes al final del proceso.

El método de dextoxificación directa requiere la inmersión de las piezas, después del baño de proceso, en un baño de estanco de enjuague y luego directamente en una solución dextoxificante concentrada. Esta solución debe contener los productos químicos desintoxicantes en una dosis excesiva que cause una reacción completa y rápida con la película de arrastre sobre las piezas. La solución parcialmente agotada es bombeada a un recipiente donde las sales insolubles que se forman pueden ser decantadas. Cuando la reacción no es completa en el baño de Lancy, se completa en este recipiente. Antes que la solución del recipiente sea retornada en el estanque de Lancy, los productos químicos en exceso son removidos hasta el nivel necesario, con un dosificador. A causa del relativamente gran volumen del recipiente, variaciones en el arrastre no afectan la concentración de las sustancias dextoxificantes.

3.1.1. Particularidades técnicas del proceso

En un baño de enjuague, la película adherente tóxica está diluida con un gran volumen de agua. Esta solución diluida sería desintoxicada en un tratamiento final adicional, debido a que las reacciones químicas normalmente ocurren en forma lenta, en soluciones diluidas. En este sentido, se requiere un tiempo de reacción bastante largo o bien, se necesita un gran exceso de reactivos químicos para convertir los productos cuantitativamente. En este caso el pH puede ser ajustado, idealmente al pH de la solución a dextoxificar ya que el baño Lancy es directamente acoplado al baño del proceso.

En una dextoxificación adicional final convencional, existen normalmente mezclas que no pueden ser tratadas a un pH óptimo. Sino que se necesita la aplicación de sustancias químicas más caras para optimizar la precipitación de hidróxidos de metales.

3.1.2. Consumo de productos químicos

Excepto por las pérdidas debido al arrastre de la solución de enjuague, los productos dextoxificantes son consumidos estequiométricamente y no necesitan un gran exceso, como en el modo convencional de tratamiento de efluentes. Los pequeños volúmenes del baño de Lancy, permiten

ajustar el pH alcalino con menor cantidad de soda cáustica que la necesaria durante un tratamiento final de gran volumen de agua. En este sentido, el ajuste de pH con soda provoca la precipitación de calcio y magnesio.

El proceso se inicia cuando las piezas salen del baño de proceso de cromado e ingresan a un baño de recuperación o de economía. Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o baño Lancy.

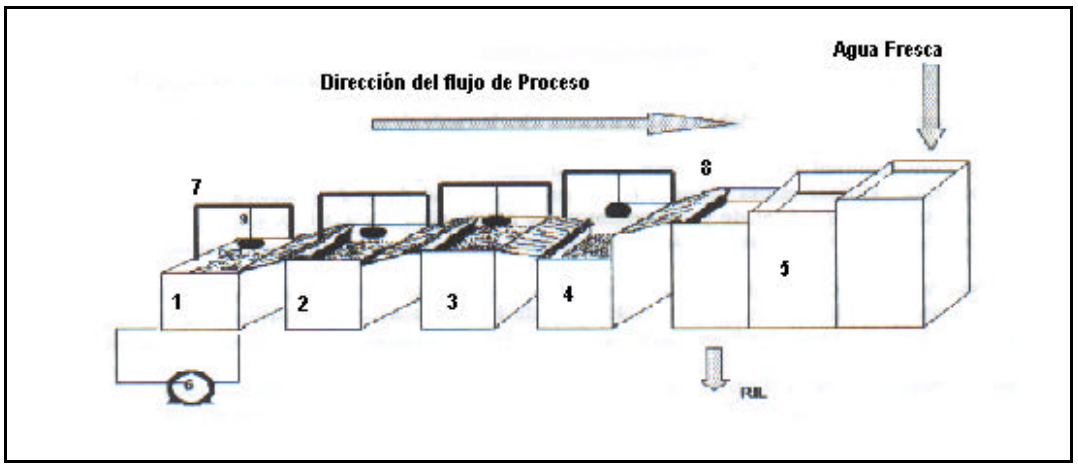
i) Lancy: Dextoxificación de cromo hexavalente

Las piezas salen del baño de proceso electrolítico de cromado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanco) o de economía (eco). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o baño lancy que consiste en una solución saturada de bisulfito de sodio que produce la reducción de cromo hexavalente a trivalente. Luego la pieza es sumergida en un estanque con soda cáustica al 20% para precipitar el cromo trivalente. Luego, la pieza se sumerge en un baño de enjuague en cascada y continúa su trayectoria de proceso.

ii) Lancy: Dextoxificación de cianuro

De acuerdo a la figura, las piezas salen del baño de proceso electrolítico de zincado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanco) o de economía (eco). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o baño Lancy que consiste en una solución saturada de hipoclorito de sodio que produce la dextoxificación de cianuro a cianato. Luego la pieza es sumergida en un estanque con soda cáustica al 20% para precipitar el cianato. Luego la pieza es sumergida en un estanque con agua de lavado, cuyo efluente es descargado al alcantarillado sin cianuro, El lodo obtenido es un cianato no tóxico.

Figura 7. Sistema de dextoxificación integrado a la producción Lancy



1. Baño de electrodepósito
2. Baño de economía o estanco o eco
3. Baño de dextoxificación Lancy para cromo o cianuro
4. Baño de Precipitación de hidróxido de sodio
5. Baño de enjuague en cascada triple
6. Bomba de filtrado
7. Porta-gancheras para drenado de piezas
8. Puentes de polipropileno
9. Pieza en portaganchera

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

3.2. Recuperar el arrastre de soluciones de proceso.

El arrastre de las soluciones de proceso es un problema común en la industria galvanotécnica y representa pérdidas considerables a las empresas en forma de mayor consumo de materias primas y tratamiento de aguas residuales. El arrastre generado depende de factores como la forma de la pieza, la posición en el soporte y la velocidad de extracción de las piezas entre otros.

La reducción del arrastre de las soluciones del proceso puede lograrse de las siguientes maneras:

- **BP. Colocar adecuadamente las piezas sobre el soporte**

La principal consideración acerca de la posición de las piezas en los soportes, es la exposición apropiada de las superficies que serán recubiertas garantizando así una capa de recubrimiento óptimo y uniforme. Sin embargo las consideraciones respecto al escurrimiento de la solución también son importantes y deben ser tomadas en cuenta en el momento de colocar las piezas. La posición de las piezas que maximice el escurrimiento debe determinarse experimentalmente para cada pieza, tomando en cuenta factores como la forma de las piezas y su tamaño.

- **BP. Escurrir sobre el tanque de proceso**

El volumen de arrastre de las soluciones del proceso es una función del tiempo de escurrimiento sobre dicha solución. A partir de los 10 segundos el escurrimiento no aumenta de manera apreciable. Dado que este es un tiempo general de escurrimiento, aplicable a un rango extenso de piezas, se recomienda realizar pruebas para determinar el tiempo de escurrimiento óptimo de cada pieza, cuidando de no ocasionar problemas de calidad. Otra consideración a tomar en cuenta es la velocidad de extracción de las piezas de las soluciones del proceso.

El volumen de arrastre es función directa de la velocidad de la extracción de las piezas; entre más rápido se extraigan las piezas, mayor será la película de solución sobre estas, y por tanto, mayor el volumen de arrastre, por lo cual se recomienda extraer las piezas lo más lento posible sin que llegue a afectar otros factores como la calidad del recubrimiento.

En el caso de una línea manual, el escurrimiento de la solución puede realizarse colgando las piezas sobre un soporte instalado sobre el tanque de proceso. Las líneas automáticas pueden ser programadas para escurrir las piezas al ser estas extraídas de manera inclinada de las soluciones del proceso. Debe tenerse en cuenta que un escurrimiento muy prolongado puede ocasionar deficiencias de la calidad del recubrimiento debido a l adhesión de contaminantes y químicos en la superficie de las piezas.

- **BP. Enjuagar sobre el tanque del proceso**

El enjuague de las piezas sobre el tanque del proceso debe hacerse por medio de aspersores. La cantidad de agua utilizada dependerá del equilibrio de agua de cada solución del proceso en particular, siendo la evaporación y el arrastre de la solución los principales factores que afectan este equilibrio. Esta operación sólo se recomienda en los tanques de proceso que trabajen temperaturas mayores a la ambiental. Se estima que

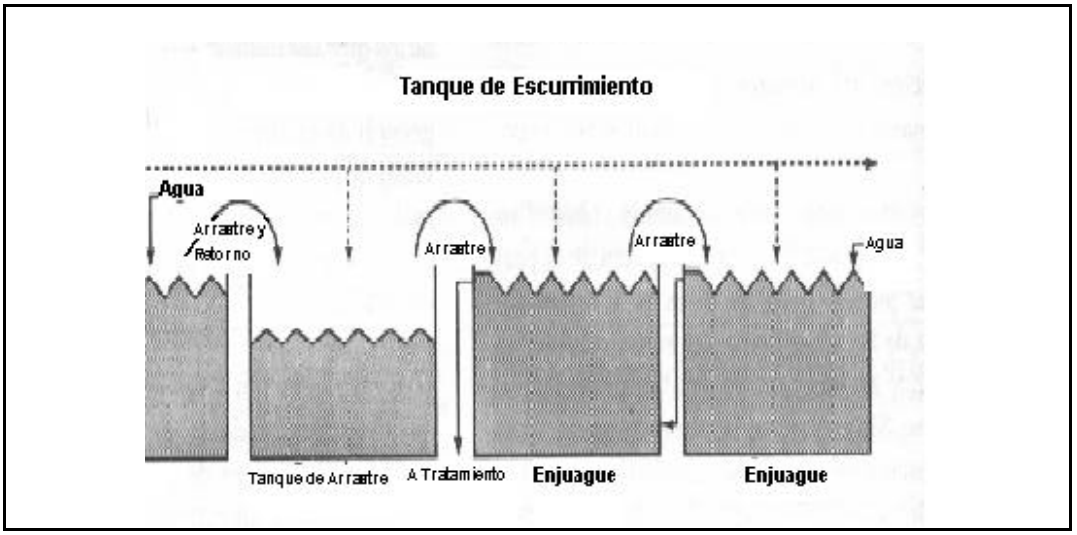
al escurrir y enjuagar sobre el tanque del proceso se recupera hasta 90% del arrastre de la solución.
La cantidad de agua evaporada puede ser estimada de la siguiente manera:

Evaporación (l/día)=área superficial de la solución (m^2) x 5.3 l/m^2/hr de pérdidas evaporativas (asumiendo 50C x tiempo de operación (h/día)

- **BP. Instalar tanque de escurrimiento**

El tanque de escurrimiento es un tanque vacío que sirve de recolector del arrastre de la solución del proceso antes de enjuagar las piezas. Se recomienda el uso de tanques de escurrimiento para procesos con poca evaporación o que necesiten escurrir durante un tiempo prolongado (como el escurrimiento de los barriles en galvanizado y de las piezas es anodizado). Una gran ventaja de este sistema es que permite la recolección del arrastre sin interferir en el flujo operativo ni demorar la producción.
Para implementar esta opción se necesita por lo menos dos tanques después de la solución del proceso. El primero sería un tanque vacío que recolecta la mayor parte del escurrimiento de las piezas y puede retornarse directamente al tanque del proceso. El o los tanques siguientes son tanques de enjuague que se recomienda operen a contracorriente. (ver figura 8: tanque de escurrimiento)

Figura 8. Tanque de escurrimiento

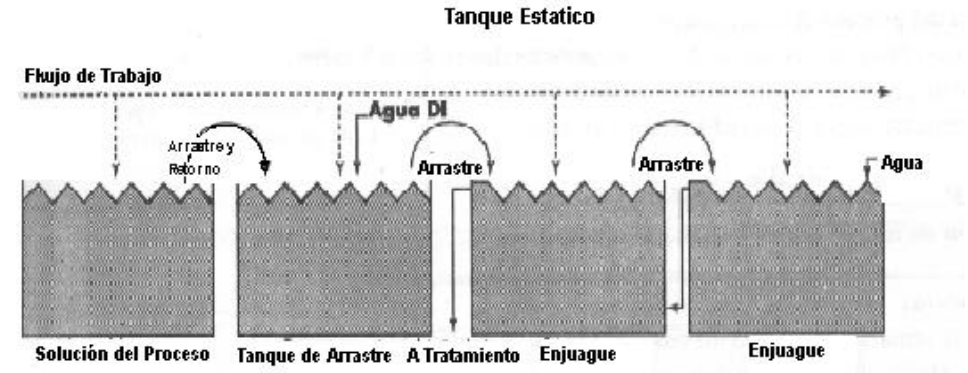


BP. Instalar tanque estático

El tanque estático es un tanque de enjuague que se utiliza para reponer las pérdidas por evaporación y arrastre de la solución del proceso. El tanque estático permite la recuperación de un alto porcentaje de arrastre de la solución del proceso. Se recomienda solamente para soluciones del proceso que trabajen a temperaturas mayores que la ambiental (níquel o cromo).

Para implementar esta opción se necesitan por lo menos dos tanques de enjuague después de la solución del proceso. El primero es un enjuague estático con agua desionizada. El volumen perdido de la solución del proceso será repuesto con agua de ese tanque, la cual contiene una alta concentración de los químicos utilizados en la solución del proceso a reponer. Los demás tanques de enjuague están interconectados y trabajan a contracorriente. La eficiencia de este tanque dependerá de las pérdidas evaporativas y del arrastre de la solución del proceso (ver figura 2.1.9)

Figura 9. Tanque estático

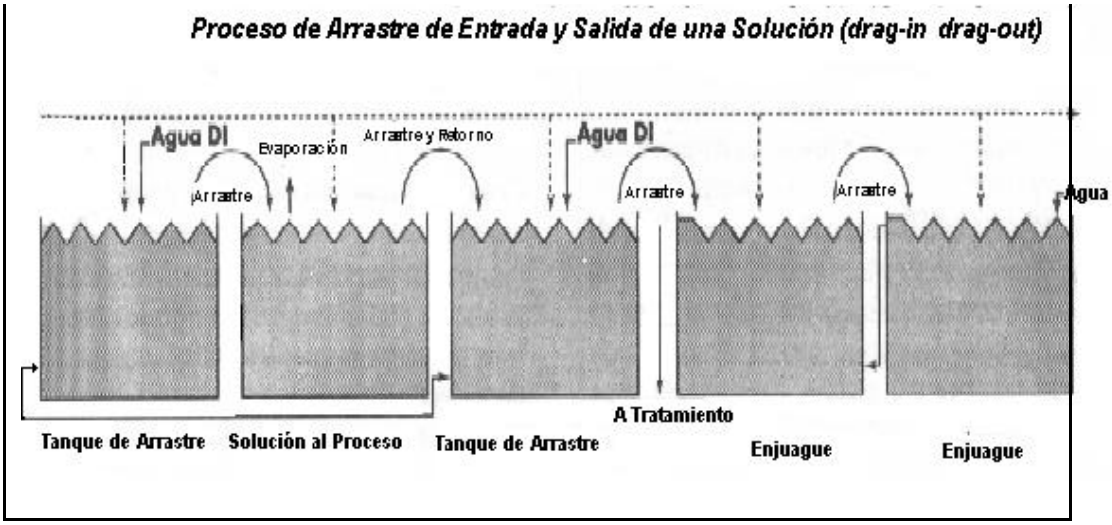


BP. Instalar sistema de drag in-drag out

El sistema de arrastre de entrada y salida de una solución denominada drag in-drag out consiste en utilizar el enjuague anterior y posterior a la solución del proceso como enjuagues principales. Las piezas se sumergen en el primer enjuague, después pasan a la solución de recubrimiento, regresando posteriormente al primer enjuague, para finalmente sumergirse en el enjuague posterior a la solución del recubrimiento. De esta manera, la mayor parte de la solución del proceso se regresa al tanque por arrastre

de las piezas y el enjuague posterior al tanque del proceso se descarga de manera menos frecuente. (Figura 10)

Figura 10. Proceso Drag-in-Drag-out



- **Notas:** La recuperación del arrastre de las soluciones del proceso puede provocar a largo plazo la concentración de contaminantes en dichas soluciones, lo cual obliga a realizar mantenimientos más frecuentes, los cuales se pueden evitar usando agua desionizada: i) al preparar las soluciones del proceso, ii) al enjuagar las piezas sobre las soluciones del proceso, iii) en el agua de enjuague estático y iv) en el agua de los enjuagues anterior y posterior del drag in-drag out.

- **Beneficios económicos**: Para calcular la cantidad de materias primas perdidas por arrastre, debe cuantificarse el volumen de arrastre, el área superficial recubierta y la concentración de los químicos en la solución del proceso.

Es importante tener en cuenta que las medidas de producción más limpia generan ahorros relacionados con el tratamiento de aguas residuales. Al disminuir el volumen de arrastre disminuye la carga de compuestos tóxicos a tratar (cianuros y cromo hexavalente) y la carga de metales a precipitar (por ejemplo cromo, níquel y zinc). Los ahorros están relacionados con una menor inversión debido a la compra de sistemas de tratamientos más pequeños así como una reducción en los gastos de operación del sistema debido a un menor consumo de sustancias químicas.

3.3. Eliminar los aceites y las grasas superficiales a las soluciones de desengrase

3.3.1. Consideraciones técnicas

Las grasas y aceites removidos de las piezas en la solución de desengrase, forman una capa en la superficie de la solución. Esta capa de grasas y aceites es un grave contaminante de las soluciones posteriores del proceso, además de ser la fuente principal de grasa y aceites en la descarga final de aguas residuales.

Se propone la instalación de un sistema de eliminación de grasas y aceites superficiales en el baño de desengrase. Este sistema ayudará a prevenir la contaminación de las soluciones del proceso posteriores, a extender la vida de las soluciones de limpieza, a prevenir la adhesión de grasa en las piezas limpias cuando estas se sacan del baño de desengrase ya a disminuir las descargas de aceite y grasa al drenaje. Esta remoción puede realizarse en forma manual o automática.

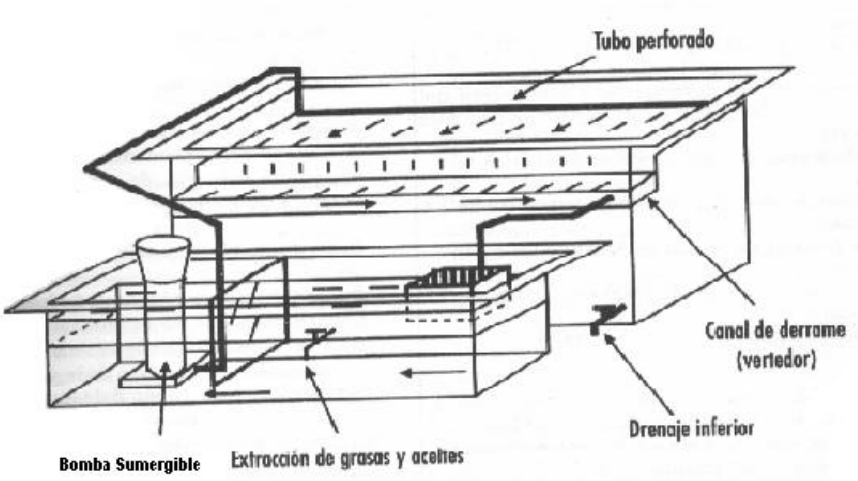
- **Sistema manual**

Se puede usar una rastra para empujar el aceite hacia una esquina del tanque, y posteriormente colectarse y enviarse a un recipiente adecuado para su confinamiento final. El sistema manual tiene dos desventajas i) requiere la participación de los operadores, cuando su principal ocupación es la producción, ii) se desperdicia solución del proceso, ya que es imposible remover el aceite sin remover también solución de desengrase.

- **Sistema automático**

Una mejor opción es modificar el tanque de desengrase para permitir la remoción del aceite de forma automática (ver figura 11), este sistema mueve la solución del desengrase sobre un vertedor hacia otro tanque, en el cual se separa la solución de las grasas y aceites. Las grasas y aceites se pueden drenar sencillamente a través de un tubo. Por último para completar el ciclo, una bomba regresa la solución del tanque de separación hacia el tanque de desengrase. Es recomendable instalar este sistema tanto en los desengrases por inmersión como en los electrolíticos.

Figura 11. Sistema automático para remoción de grasas y aceites



3.3.2. Beneficios económicos

Aunque es difícil estimar el beneficio económico de esta opción, se puede hacer un cálculo comparando la práctica de mantenimiento de la solución con la que se considera la práctica estándar. Parte de la diferencia, se debe atribuir a la contaminación por grasas y aceites.

Generalmente se da mantenimiento a las soluciones de cobre, níquel y cromo cada 4 o 5 semanas. Durante este proceso que incluye tratamiento químico, filtración y ajustes de sustancias químicas, se puede perder más de 10% de la solución del proceso en los filtros, filtro auxiliar, fondo del tanque y transferencia entre tanques. El costo de construcción e instalación del sistema automático varía de acuerdo con las condiciones específicas de cada empresa.

3.4. Reducir el consumo de agua de enjuague

3.4.1. Consideraciones técnicas

Se han identificado diferentes métodos para la reducción del consumo de agua de enjuague. El diseño y la revisión de los sistemas de enjuague se concentran en la conservación del agua de desperdicio. El enjuague por inmersión es preferible al realizado por aspersión ya que consume menos cantidad de agua. Estos métodos pueden clasificarse de la siguiente

manera i) optimización del diseño del tanque de enjuague, ii) control del flujo de agua del enjuague, iii) otras opciones de enjuague.

3.4.2. Buenas prácticas

- **BP. Optimización en el diseño del tanque:** Se considera diseño óptimo de los tanques de enjuague el que ofrece una remoción rápida de arrastres y dispersión completa de los materiales adheridos a las piezas mediante el enjuague. Este diseño considera el tipo de piezas que se va a procesar y la manera de hacerlo. Los métodos siguientes pueden combinarse para el diseño y funcionamiento óptimo del tanque:

  √ Seleccionar las dimensiones mínimas del tanque que proporcionen un enjuague adecuado de las piezas, y utilizar las dimensiones para los tanques de área de recubrimiento.
  √ Localizar los puntos d alimentación y descarga de agua del tanque en paredes opuestas para evitar que el agua fluya en circuitos cortos.
  √ Utilizar agitación neumática, mezclando mecánicamente u otros medios de turbulencia.

- **BP. Control del flujo del agua de enjuague:** Se puede alcanzar una reducción del consumo de agua de enjuague por medio de la optimización de su uso. Se han identificado cuatro métodos para la utilización eficiente del agua de enjuague:

  √ Reguladores de flujo
  √ Controles de conductividad
  √ Controladores de tiempo para enjuagues
  √ Medidores de flujo

- **BP. Otras opciones de enjuague:** Existen diferentes opciones en la disposición y secuencia de los tanques de enjuague que permiten una reducción apreciable en el consumo de agua. Las más importantes se detallan a continuación:

  √ *Enjuagues a contracorriente*: Se refiere a la práctica de emplear varios enjuagues conectados en serie. Se introduce agua limpia al enjuague que se encuentras más lejano a la solución del proceso y fluye hasta el tanque más cercano a dicha solución (el agua y las piezas fluyen en dirección opuesta). Con el paso del tiempo, el primer enjuague se contamina por el arrastre y llega a estabilizarse con una concentración menor a la de la solución del proceso, el segundo enjuague se estabiliza a una concentración todavía menor

y así sucesivamente. Una mayor cantidad de enjuagues permite un menor consumo de agua de enjuague. Debe tenerse en cuenta que este método aumenta el tiempo de producción requiere tanques adicionales y ocupa espacio que podría ser empleado en otro aspecto de la producción. Este sistema reduce el consumo de agua en un 90%.

- √ *Enjuague en cascada:* se refiere a la práctica de reutilizar los enjuagues en múltiples ocasiones en tanques de enjuagues diferentes, siendo el flujo de reutilización desde unos enjuagues más crítico a uno menos crítico.
- √ *Enjuague retroactiva*: Es similar al enjuague en cascada, pero se refiere a los casos en que ocurre una reacción química como resultado del uso múltiple del agua de enjuague.
- √ *Enjuague de doble uso*: Se refiere a utilizar un mismo tanque para el enjuague de dos soluciones del proceso. Debe hacerse previamente un estudio de factibilidad económica y técnica de este método antes de su implementación. Generalmente este método es utilizado en plantas no automatizadas.

3.4.3. Beneficios económicos

Los beneficios económicos generados por la reducción en el consumo de agua de enjuague son, por lo general considerables. Los ahorros están relacionados con la reducción del pago por consumo. Así como también por la reducción en el tamaño del sistema de tratamiento de aguas residuales. En la práctica, la reducción en el consumo de agua puede llegar a ser hasta del 90% lo cual disminuiría considerablemente la inversión y el mantenimiento del sistema de tratamiento.

3.5. Agitar los Enjuagues

3.5.1. Consideraciones técnicas

En muchos casos los enjugues son operados a temperatura ambiente, asimismo estos son estáticos y se descargan periódicamente al sistema de drenaje municipal. Este tipo de enjuague ocasiona diferencias en la homogeneidad de la limpieza de las piezas a lo largo del tiempo, ya que con el uso diario, a medida que se va contaminando el enjuague, va disminuyendo la eficiencia de la limpieza de las piezas.

Se propone la agitación vigorosa de todos los enjuagues con aire suministrado por un soplador. La agitación mejora la eficacia del enjuague reduciendo la contaminación de las soluciones subsecuentes del proceso.

Se prefiere el aire a baja presión, suministrado por un soplador para la agitación, debido a que está menos contaminado que el aire suministrado por un compresor, aun cuando se tomen precauciones para eliminar el aceite y los sólidos

3.5.2. Beneficios económicos

Si se implementa la agitación con aire de los enjuagues, se reducirá la contaminación de las soluciones del proceso subsiguiente, lo cual reducirá la necesidad de un mantenimiento frecuente y costoso. Se estima que la agitación reduce los costos de mantenimiento de las soluciones del proceso.

3.6. Reducir la concentración de las materias primas en las soluciones del proceso.

3.6.1. Consideraciones técnicas

Por lo general las empresas trabajan con la concentración de químicos que sugiere el proveedor. Pero la experiencia indica que estas cantidades se pueden disminuir sin reducir la calidad del recubrimiento. Se recomienda realizar pruebas disminuyendo la concentración de las sustancias químicas en la solución del proceso, hasta obtener los resultados óptimos para el tipo de acabado metálico en particular.

Uno de los factores que afectan el volumen de escurrimiento en los procesos galvanotécnicos es la viscosidad de la solución, la cual se define como su resistencia al flujo o remoción por otro líquido: en este caso agua de enjuague causada por fuerzas de atracción moleculares. Como regla general cuando la concentración de sustancias químicas se incrementa, también aumenta la viscosidad de la solución. Este incremento en la viscosidad no sólo contribuye a un alto volumen de arrastre sino también a una elevada concentración de las sustancias químicas en el arrastre. En ocasiones la disminución de la concentración de los químicos en las soluciones de galvanotécnia produce una reducción de volumen de arrastre hasta del 73%.

3.6.2. Beneficios económicos

Para calcularlos se debe cuantificar el volumen de arrastre, el volumen perdido de la solución por mantenimiento y la concentración de las materias primas en la solución antes y después de implementar la opción, Los ahorros resultantes se pueden calcular usando las pérdidas de

materiales antes y después de disminuir la concentración. El único costo asociado con la implementación de esta alternativa, será el cambio de los sistemas de abrillantado y esto puede establecerse posteriormente para no aumentar los costos de operación. Dado que la implementación de esta opción sólo requiere reducir las concentraciones, el único obstáculo será el ajuste del monitoreo y el control de la solución a menores concentraciones.

Esta opción reducirá los costos de inversión y operación asociados con el tratamiento de las aguas residuales.

3.7. Otras opciones en producción

3.7.1. BP. Rediseñar la planta

Localizando las operaciones de forma secuencial y lógica promoviendo al mismo tiempo el uso óptimo del tiempo de los operadores. El beneficio principal de esta opción es la reducción de pérdidas por arrastre debido al escurrimiento entre tanques y a un mejoramiento de las prácticas operativas de la planta.

3.7.2. BP. Utilizar agua desionizada en los baños de proceso

Reduciendo los riesgos de contaminación de las aguas de proceso, alargando la vida de las soluciones y reduciendo las descargas de lodos al reducir los mantenimientos necesarios de las soluciones del proceso.

3.7.3. BP. Filtrar las soluciones de proceso

Prolonga la vida de las soluciones de proceso y disminuye la cantidad de mantenimientos de las soluciones y por ende las descargas de lodos.

3.7.4. BP. Evaporar el tanque de enjuague estático

Permitiendo una mayor recuperación del arrastre de la solución del proceso y una mayor adición de agua desionizada al enjuague, lo que ayuda a su limpieza y a disminuir la contaminación de la solución del proceso.

3.7.5. BP. Utilizar agentes humectantes en las soluciones del proceso

Con el fin de disminuir la tensión superficial de las soluciones del proceso reduciendo las pérdidas por arrastre de estas soluciones.

3.7.6. BP. Incrementar La temperatura de las soluciones del proceso pertinente

Aumentando la recuperación del arrastre de estas soluciones debido al mayor uso del agua del enjuague estático y disminuyendo la viscosidad de la solución y el arrastre de la solución del proceso

3.7.7. BP. Instalar cuadros de escurrimiento

Instalar cuadros entre las soluciones del proceso y el enjuague posterior permite la recolección del escurrimiento que se observa al transportar las piezas de un tanque a otro, disminuyendo así las pérdidas por arrastre.

3.7.8. BP. Segregar las descargas de los enjuagues

La segregación de las aguas residuales permite la recuperación de los metales de aguas concentradas, lo cual reduce el consumo de reactivos de tratamiento de estas aguas.

3.7.9. BP. Utilizar ánodos de alta pureza en las soluciones del proceso

Reduce la contaminación de la solución del proceso, los lodos resultantes y la cantidad de mantenimientos a realizar.

3.7.10. BP. Remover los ánodos de los baños del proceso cuando no estén en operación

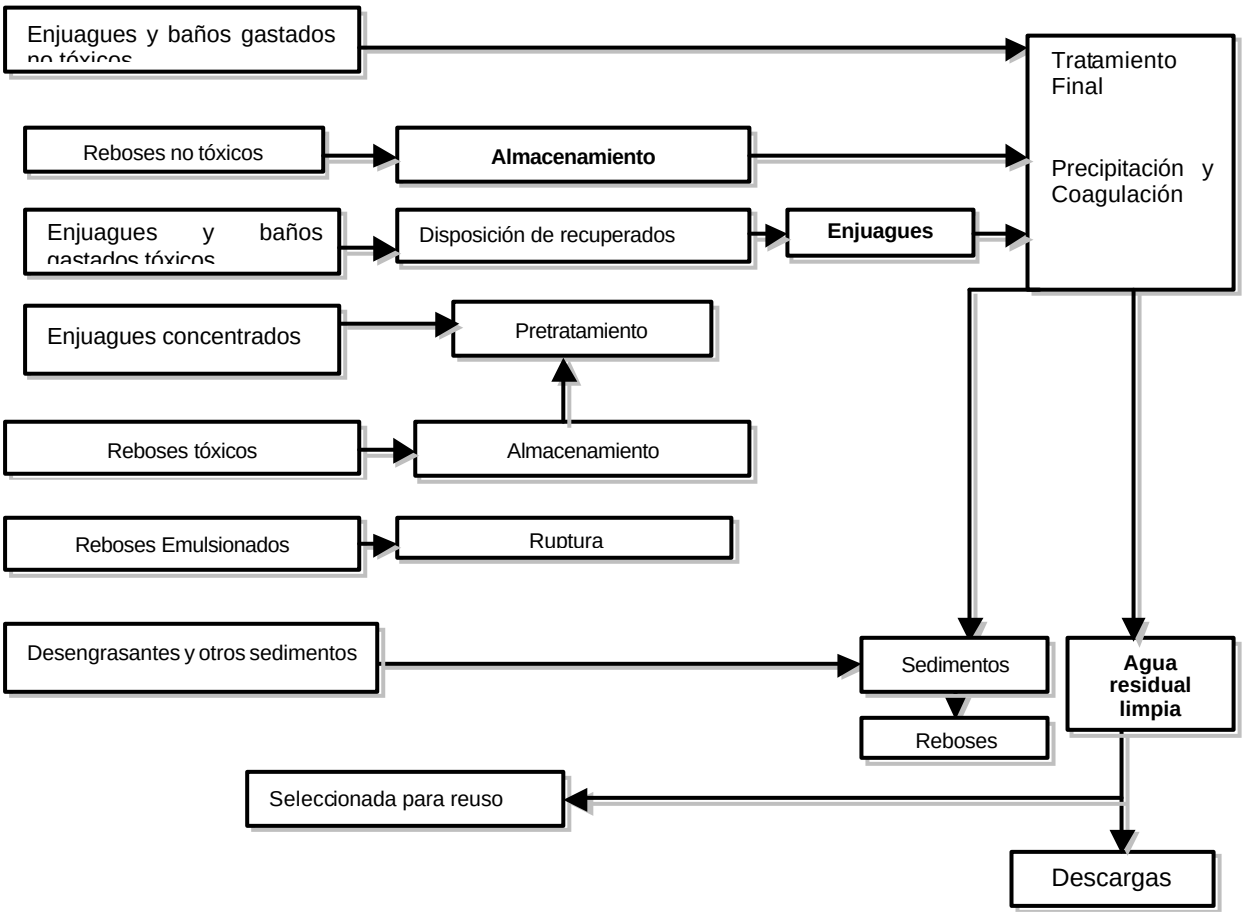
Evitando el aumento de concentración de la solución por disolución de los ánodos, lo que puede provocar problemas de recubrimiento en las piezas por variación en la relación de concentraciones de los componentes de la solución del proceso, además de que aumenta la pérdida de materias primas de la solución por arrastre debido a un aumento de viscosidad. Para solucionar este problema se recomienda colocar los ánodos en barras, para que puedan ser fácilmente removidos de la solución. Los beneficios económicos obtenidos se refieren a la reducción en el número de rechazos y la reducción de la perdida de materiales del proceso. Los beneficios ambientales que se obtienen son la reducción de las descargas de materiales tóxicos en las aguas residuales, el ahorro de agua y la reducción de los costos de tratamiento de estas aguas.

3.8. Control de residuos industriales líquidos

Las redes que recogen las aguas servidas domésticas y las aguas lluvias deben ser separadas de las que recogen las aguas residuales industriales, esto para minimizar en lo posible el volumen de aguas a tratar en la planta.

La segregación o separación de corrientes en la planta es necesaria para todas las aguas residuales que requieren pretratamiento antes de la remoción de metales y antes de la neutralización. Las aguas residuales que contienen cianuros pueden mezclarse con otras de naturaleza alcalina, pero nunca con aguas ácidas porque se producen gases extremadamente tóxicos (HCN). Las aguas residuales de baños de cromado, primero deben ser tratadas para reducir el cromo hexavalente a trivalente.

Figura 12. Esquema general para la separación y recolección de efluentes



Los residuos líquidos pueden ser tratados utilizando tecnologías convencionales o bien tecnologías emergentes. Dentro de las tecnologías convencionales se encuentran los procedimientos químicos que promueven neutralización, precipitación, sedimentación y filtración. El residuo líquido tratado corresponde a un residuo no tóxico pero que contienen sales neutras. Estos tratamientos tienen asociada la generación de sólidos, los cuales contienen en gran parte, cal y óxidos de metales insolubles.

Por otra parte, dentro de las tecnologías emergentes que pueden ser empleadas están: evaporación, intercambio iónico, ósmosis inversa, ultrafiltración entre otras.

3.9. Tecnologías convencionales

La aplicación de tecnologías que minimicen los tóxicos generados en procesos de galvanoplastia debe estar orientada al comportamiento de los componentes químicos obtenidos como residuos líquidos. En ese sentido es posible dividir las aguas residuales producidas en tres grandes grupos:

- Residuos líquidos que contienen cianuros simples o bien complejos cianurados, los cuales pueden ser tratados por medio de la adición de sulfato de hierro o mediante utilización de la descomposición del ión cianurado oxidado con cloro.
- Residuos líquidos que contienen ácido crómico, el cual puede ser tratado con anhídrido sulfuroso bisulfito de sodio
- Residuos líquidos que contienen metales en solución ácida, cuya eliminación se puede efectuar por simple precipitación con formación de los hidróxidos metálicos

Se debe mencionar que los lodos producidos en estos tratamientos se componen principalmente de sales básicas o hidróxidos metálicos. Estos residuos son de difícil secado y en su disposición final se debe tener en cuenta el impacto que producirán en las aguas subterráneas.

Para este tipo de tratamiento el equipamiento consiste principalmente en estanques de reacción, sistemas de bombeo, equipos de sedimentación, equipos de clarificación y filtros prensa.

3.10. Tecnologías emergentes

Las tecnologías emergentes en el tratamiento de residuos líquidos de galvanoplastia se basan fundamentalmente en procesos de separación y la mayoría de las veces requieren previamente de la separación de efluentes o aguas residuales o bien modificaciones de planta. Se suma a ello, la necesidad de contar con una adecuada capacitación del personal, para la operación y mantenimiento de los equipos. Dentro de estas tecnologías se pueden mencionar: evaporación, intercambio iónico, ósmosis inversa y ultrafiltración.

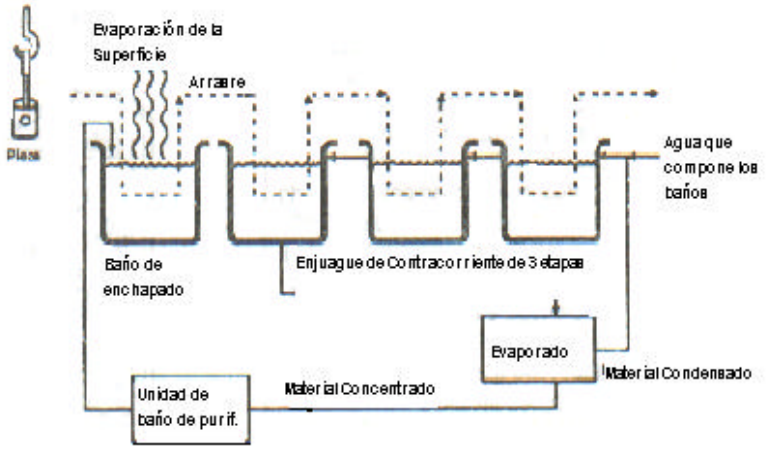
3.10.1. BP. Evaporación

En esta tecnología, el residuo líquido es sometido a ebullición hasta su concentración, de modo que el vapor obtenido es condensado y puede ser reutilizado para procesos de lavado o enjuague.

Aplicación: recuperación de baños de cromo caliente, baños de níquel a temperatura ambiente, baños de cianuro. Se usa también para reducir el volumen de una fuente de residuos para luego tratarlo o para concentrar suficientemente un contaminante para usarlos como materia de trabajo

Las concentraciones de impurezas pueden ser reducidas por la instalación de una columna de intercambio iónico o filtro de carbón activado.

Figura 13. Sistema de Evaporación



Ventajas: La evaporación no es una técnica reciente y al ser aplicada como tratamiento, permite obtener un agua de alta calidad. Además, desde el punto de vista equipos, los evaporadores se encuentran comercialmente disponibles para casi todos los tipos de procesos involucrados en la galvanoplastia

Sin embargo los evaporadores empleados deben ser construidos de materiales especiales con el fin de evitar los efectos corrosivos naturales del tipo de compuestos asociados a los procesos del sector. Se trata de un procedimiento simple y práctico que permite un ahorro real y la recuperación de los químicos y caudales de agua manejados.

Desventajas: Alto requerimiento energético para efectuar la evaporación y concentración de las impurezas contenidas en los flujos líquidos contaminados.

3.10.2. BP. Intercambio iónico

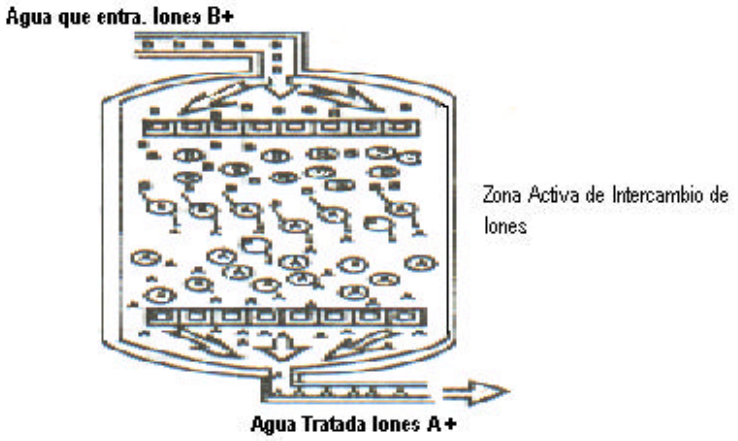
Existen dos tipos de unidades de intercambio: catiónicos y aniónicos. La unidad catiónica contiene un tipo específico de resina para remover los iones cargados desde la solución. Los cationes son reemplazados por iones hidrógeno que son desplazados desde la resina. Luego de un tiempo, la capacidad de la resina decrece, debiendo ser regenerada, por ejemplo con ácido sulfúrico.

La unidad de intercambio aniónico contiene una resina que remueve los iones cargados negativamente, tales como cromatos y cianuro. Estos se reemplazan con iones hidroxilo (OH^-) que se desplazan desde la resina, debiendo ser regenerada con una base fuerte como el hidróxido de sodio.

Aplicación: la tecnología de intercambio iónico es adecuada para el tratamiento o recuperación de materiales a partir de soluciones muy diluidas. Esta tecnología es utilizada para purificar las aguas drenadas de los procesos de lavado, pudiendo posteriormente, reciclarse las aguas purificadas.

Este sistema es adecuado para los enjuagues de ácidos de cromo y se usa para recuperar varios metales: Ni, Cu, Ag en forma de soluciones concentradas para devolverlas al proceso.
Otras aplicaciones son: la concentración de efluentes previo al tratamiento convencional o bien para remover contaminantes a nivel de trazas después de este tipo de tratamiento, eliminar o recuperar el aluminio, el arsénico, el cadmio, el cobre y el cianuro.

Figura 14. Intercambio iónico



Ventajas: la ventaja de esta tecnología radica en que ambos procesos : el de recuperación de materiales y agua conducen a la obtención de agua de alta pureza, siempre que se trate de soluciones diluidas. Desde el punto de vista instrumental, se trata de un equipo compacto y automatizado. El uso de un sistema de intercambio continuo se justifica para grandes volúmenes a tratar.

Desventajas: alto costo asociado a las resinas de intercambio iónico y al costo de los químicos utilizados para la regeneración de dichas resinas. Se suma además, los costos de disposición final del efluente obtenido. Los sistemas de múltiples columnas de lecho fijo requieren de una labor intensiva y de un alto costo, a pesar de ser completamente automáticos y de fácil operación.

Sin embargo, la tecnología es atractiva desde el punto de vista de su disponibilidad en el mercado internacional y para la aplicación en este sector. No obstante lo anterior, se debe señalar que esta técnica no remueve aditivos orgánicos y el fluente a tratar, debe ser filtrado para remover partículas y aceites que pueden dañar la resina.

3.10.3. BP. La recuperación electrolítica

La recuperación electrolítica captura el metal en una solución, enchapándola sobre una fina hoja nueva hecha del metal que se recupera, o sobre una hoja de acero inoxidable que sirve así de cátodo en el tanque. El producto de este proceso en una plancha de metal sólida que se pude reciclar o usar como un ánodo es un tanque de electro-enchapado. Esta tecnología se aplica al agua de enjuague y a los baños de proceso

gastados. Esta técnica requiere la segregación del agua de enjuague para evitar que se contamine el ánodo con los metales mezclados.

3.10.4. BP. Técnicas de membrana

Las tecnologías de membrana tales como la osmosis inversa y ultrafiltración, son particularmente utilizadas en el tratamiento/recuperación de metales en sistemas de ciclo cerrado, proveniente de los residuos líquidos de las aguas de lavado. Esto es particularmente observable en empresas de países desarrollados.

Todas las tecnologías de membrana tienen en general, las mismas ventajas:

- Bajo costo de capital dada la característica modular de las unidades, hacen de ella una alternativa favorable en instalaciones de pequeña escala.
- Bajo requerimiento de espacio: el equipo es compacto y opera continuamente requiriendo un mínimo de estanques.
- Bajo costo de trabajo u operación: el proceso es simple de operar y es totalmente automatizado, lo que hace innecesario, la plena atención del operador.
- Bajo uso de energía, los residuos líquidos no están sometidos a requerimientos de cambios de fase en el proceso.
- No hay generación de lodos: una cantidad casi nula de productos químicos son usados por lo que no resultan lodos del tratamiento bajo esta técnica.

Las técnicas de membrana se utilizan usualmente, para concentrar los efluentes totales de una planta, con el fin de facilitar un posterior tratamiento químico.

3.10.5. BP. Osmosis inversa

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

Aplicación: recuperación de aguas de lavado

Ventajas: bajo costo de energía, pues esta es sólo requerida para el bombeo de fluido

Desventajas: las limitaciones específicas de este tipo de tratamiento son:

- La ósmosis inversa sólo logra altas concentraciones cuando la presión utilizada supere a la presión osmótica de la solución. De esta manera, el grado de concentración logrado dependerá de la máxima presión de operación. En el caso de baños a temperatura ambiente, se requiere un pequeño evaporador de ciclo cerrado.
- La capacidad de separación de la membrana se degrada con el tiempo, por lo que debe ser reemplazada en forma periódica.
- Existe un rango de pH (entre 2.5 y 11) para una buena operación y duración de las membranas

3.10.6. BP. Ultra filtración.

En esta técnica, la solución a tratar es filtrada a través de un filtro muy fino con el propósito de remover sólidos, emulsiones y compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Aplicación: Se utiliza en la generación de limpiadores alcalinos, refrigerantes o baños que requieran la remoción de partículas y aceites emulsificados. Además se usa en el tratamiento de reducción de volumen de refrigerantes agotados, limpiadores y aguas de lavado.

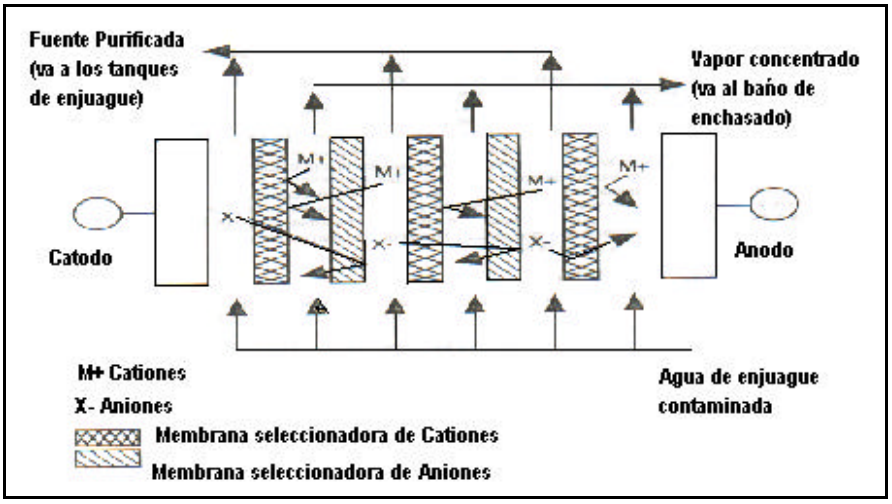
Ventajas: Se produce una remoción eficiente de aceites emulsificados y otros compuestos orgánicos de alto peso molecular.

Desventajas: Aplicación limitada para recuperación de metales disueltos en aguas residuales de lavado. Requiere una periódica eliminación de sólidos capturados en el proceso.

3.10.7. BP. La electrodiálisis

La electrodiálisis emplea membranas seleccionadoras para separar los aniones y los cationes de las aguas de enjuague. Cada componente se puede luego devolver al tanque apropiado.

Figura 15. Electrodiálisis



3.11. Control de efluentes

Un sistema preliminar del proceso ayuda a establecer el manejo que debe darse al efluente (Figura 12). Esta caracterización exige conocer de cada etapa los siguientes aspectos:

- Su función, el volumen que trabaja, el área superficial y su ubicación en la planta, la temperatura de operación, las pérdidas por evaporación, la composición química del baño y la relación del número de vertederos o desagües existentes; la presencia de gases producto de las reacciones electroquímicas; la formación de lodos u otros residuos sólidos.
- La cantidad de enjuagues después de cada etapa, el volumen de agua gastado en cada enjuague, la velocidad de enjuague o tiempo de residencia (si se hace por inmersión), si hay o no medidores de flujo, si se agita con aire o mecánicamente, la superficie de atomización y la calidad del agua de enjuague.
- Identificar todas las fuentes de aguas residuales, además de enjuagues y vertederos.
- Calcular la producción en términos de la cantidad (m3) de agua gastada por unidad de área trabajada, si es posible de medir. De lo contrario, calcular o estimar el arrastre de las soluciones de cada tanque por unidad de superficie y de tiempo (m2/hora)
- Calcular las pérdidas másicas de cada etapa del proceso (Kg/hora)

- Medir la efectividad de cada etapa del enjuague, considerando la concentración de los componentes del baño inmediatamente anterior en las aguas de enjuague.

Con los anteriores datos, es más fácil hacer una evaluación crítica de como se manejan los recursos en el proceso y puede decidirse sobre alternativas como la eliminación de etapas, la reducción de consumo de agua, recuperación total o manejo eficiente del agua, entre otras.

3.12. Control de la contaminación atmosférica

Las emisiones atmosféricas pueden ser controladas utilizando equipo relacionado a lavadores de niebla, torres lavadoras empacadas o con atrapa nieblas tipo láminas; filtros colectores de polvo y en ocasiones pulverizadores de agua. Los procesos de tratamiento están asociados a ventilación de estanques de proceso, extracción de gases y recirculación de agua de los sistemas lavadores. El equipamiento puede consistir de campanas de captación de vapores y gases, ventiladores para extracción, lavador de gases y chimenea.

3.13. Control de residuos industriales sólidos

Los residuos sólidos generados en este tipo de proceso, están asociados a los lodos y estos pueden ser dextoxificados, neutralizados, precipitados, sedimentados y filtrados. El residuo tratado corresponde a un residuo no tóxico, por que contiene sales neutras, por ejemplo hidróxidos. En el caso del cromo, la especie trivalente no es tóxica por lo que se puede disponer en los vertederos regulares. Sin embargo, un problema puede ser la movilidad de metales pesados en los lodos, no depositados en forma controlada, los cuales emigrarían a las aguas subterráneas.

3.14. Acciones de producción más limpia

En la Tabla 14 se resumen algunas alternativas de producción más limpia en la industria galvanotécnica.

Tabla 14. Acciones de producción más limpia.

1. USO EFICIENTE DE AGUA Y MATERIALES			
Actividad	**Aspecto Técnico**	**Aspecto Económico**	**Aspecto Ambiental**
a) Recuperación del arrastre de las soluciones del proceso	Reducción en el uso de materias primas	Hasta 90% de recuperación de solución del proceso	Reducción de descargas al drenaje o a la planta de tratamiento de metales pesados y compuestos tóxicos. Reducción en el uso de agua y en la generación de aguas residuales
b) Agitar los enjuagues	Aumento en la eficiencia del enjuague. Disminución de la contaminación de las soluciones del proceso. Aumento en la calidad del recubrimiento.	Hasta 50% de reducción en los costos de mantenimiento de las soluciones del proceso.	Reducción adicional de descargas al drenaje o a la planta de tratamiento de metales pesados y compuestos tóxicos. Reducción adicional en el uso de agua y en la generación de aguas residuales y de residuos sólidos peligrosos.
c) Eliminar el aceite y la grasa superficiales de las soluciones de desengrase.	Capturar la grasa y el aceite para evitar que pueda pasar hasta las soluciones de recubrimiento. Aumento en la calidad del recubrimiento.	Hasta 25% de reducción en el mantenimiento de las soluciones del proceso.	Reducción en las descargas de grasas y aceites hacia el ambiente.
d) Remover los ánodos de zinc del baño de proceso cuando no estén en operación	Reducción del proceso de disolución de los ánodos de zinc. Reducción en la pérdida de zinc por arrastre. Aumento en la calidad del recubrimiento.	Reducción en los rechazos Reducción en la pérdida de materiales de proceso.	Reducción adicional de descargas al drenaje o a la planta de tratamiento de metales pesados y compuestos tóxicos. Reducción adicional en el uso de agua y en la generación de aguas residuales.
e) Reducir la	Disminución en el	Hasta 50% de ahorro	Reducción adicional de

1. USO EFICIENTE DE AGUA Y MATERIALES			
Actividad	**Aspecto Técnico**	**Aspecto Económico**	**Aspecto Ambiental**
concentración de materias primas en las soluciones del proceso.	contenido de materias primas por reducción de arrastres de las soluciones de proceso.	por pérdida de materiales de proceso de arrastre	descargas al drenaje de metales y compuestos tóxicos. Reducción adicional en el uso de agua y en la generación de aguas residuales y de residuos sólidos peligrosos.
f) Reducción del consumo de agua de enjuague.	Reducción en el consumo de agua	Ahorro de 30% a 90% en el consumo de agua y en los costos de inversión y operación para el tratamiento de aguas residuales.	Reducción en la descarga de aguas residuales.

2. SUSTITUCION DE MATERIALES			
Actividad	**Aspecto Técnico**	**Aspecto Económico**	**Aspecto Ambiental**
a) Utilizar productos no grasos para el pulido de las piezas. (¿Cuáles pueden ser esos productos?)	Simplificación de la limpieza y desengrase posterior al pulido. Aumento en la calidad del recubrimiento	De 30 a 100% en la mano de obra utilizada para la limpieza de las piezas después del pulido. Potencial eliminación del uso de solventes orgánicos u otros materiales.	Reducción en la descarga de grasas y aceites hacia el ambiente.
b) Cambiar la solución de galvanizado por una solución alcalina sin cianuros	Mejoramiento en la calidad del recubrimiento.	Ahorro igual al costo anual por compra de cianuro para el proceso de galvanizado, más el costo de inversión y operación para la destrucción de cianuro en las aguas residuales	Reducción en las descargas de cianuro al ambiente.
c) Cambiar la solución de cromo hexavalente por una solución de cromo trivalente para sellado en galvanizado.	Mejoramiento de la calidad del recubrimiento.	Ahorro de por lo menos 30% en los costos de operación. Reducción en los costos de inversión y operación para el tratamiento del cromo hexavalente.	Eliminación de la descarga de cromo hexavalente al ambiente.

3. EFICIENCIA ENERGETICA			
Actividad	**Aspecto Técnico**	**Aspecto Económico**	**Aspecto Ambiental**
a) Evitar el uso de iluminación artificial cuando la luz diurna sea suficiente	Reducción en el consumo de energía eléctrica	Hasta 30% de consumo de energía. Ahorros variables, dependiendo de las condiciones de cada empresa.	Beneficios indirectos
b) Reemplazar la iluminación estándar por iluminación de alta eficiencia.	Reducción en el consumo de energía eléctrica,	Hasta 20% de consumo de energía. Ahorros variables, dependiendo de las condiciones de cada empresa.	Beneficios indirectos.
c) Reducir horas de operación del tanque de despintado. (¿Cómo se llega a un óptimo?)	Programación del despintado de las piezas	Hasta 60% del consumo de energía, dependiendo de la programación.	Beneficios indirectos
d) Aislar los tanques que operan a temperaturas elevadas. (¿Por medio de qué materiales?)	Evitar el desperdicio de energía	Hasta un 80% de ahorro en el consumo de energía para calentar tanques.	Beneficios indirectos
e) Cambiar los quemadores de gas por resistencias eléctricas en los tanques de desengrase que se operan en caliente (no estoy seguro de esta práctica)	Aumento en la eficiencia de calentamiento.	Hasta 60% de ahorro en los costos por calentamiento de los tanques que se operan calientes.	Beneficios indirectos
f) Control de la demanda máxima de energía mediante el desfase de los rectificadores en anodizado.	Programación de la operación de los rectificadores para controlar la demanda máxima de energía.	Hasta 40% de reducción en los costos por demanda máxima de energía.	Beneficios indirectos

4. BUENAS PRACTICAS DE MANUFACTURA ADICIONALES			
Actividad	**Aspecto Técnico**	**Aspecto Económico**	**Aspecto Ambiental**
a) Mejorar los controles del proceso: pH, concentración y temperatura.	Mejoramiento de la calidad del recubrimiento.	Hasta un 1% de ahorro en los costos totales de mano de obra y materias primas al reducir el reproceso de las piezas rechazadas	Beneficios indirectos
b) Reducir el tiempo entre el pulido y el desengrase (¿cómo se logra reducir este tiempo?)	Mejoramiento de la limpieza y desengrase de las piezas. Aumento en la calidad del recubrimiento	Hasta 30% de ahorro en los costos de reproceso.	Beneficios indirectos
c) Aprendizaje y conciencia de los empleados	Mejoramiento de las condiciones laborales	Beneficios indirectos Reducción de desperdicios de materias primas y energía	Implementación efectiva del proceso de producción más limpia
d) Compra de productos químicos, almacenamiento y manejo.	Mejora en el control del manejo interno de productos químicos	Reducción en el desperdicio de productos químicos	Reducción en la descarga de compuestos tóxicos al ambiente.
e) Prevención y control de goteras y escurrimientos, y mantenimiento preventivo.	Mejoramiento de las condiciones generales de los equipos de trabajo.	Ahorros económicos al evitar la realización constante de mantenimiento correctivo.	Prevención de fugas o derrames de materiales tóxicos al ambiente.

Tabla 15 Claves para la Producción Limpia en la Industria Galvanotécnica

CLAVES PARA LA PRODUCCION LIMPIA EN LA INDUSTRIA GALVANOTECNICA
☞ Elaborar diseños de equipo y de la tubería para volúmenes más reducidos para minimizar pérdidas en baños o cuando se realice la limpieza del equipo.
☞ Comprar materia prima de buena calidad, libre de impurezas tóxicas.
☞ Independientemente de que se use o no el enjuague de etapas múltiples, rociar con agua antes de enjuagar y dejar escurrir la pieza reducirá de forma importante el arrastre, permitiendo así reducir el paso de flujo del tanque o de los tanques de enjuague,
☞ Agitar el agua del tanque de enjuague o agitar las perchas que sostienen las piezas también aumenta la eficiencia del proceso de enjuague.
☞ Instalar sistemas de limpieza o remoción mecánicos para evitar el uso de solventes.
☞ Instalar un control de velocidad en los motores de las bombas para reducir el consumo de energía.
☞ Apagar el equipo eléctrico cuando no esté en uso
☞ Separar las corrientes de residuos para evitar que se contaminen los materiales no peligrosos con los peligrosos.
☞ Usar vertederos de desagüe y protectores contra salpicaduras
☞ Usar válvulas de bloqueo ya ajustadas o válvulas con aperturas restrictivas para controlar el flujo de agua.
☞ En cuanto a los tanques de proceso: se recomienda mantener los baños llenos en lugar de vaciarlos, eliminar los contaminantes de los baños, reducir el arrastre de las soluciones de proceso: permitiendo mayor tiempo para el drenaje, usar baños menos viscosos, usar agentes de remojo o rociar con agua desionizada y con aire a presión que evita hasta un 75% del arrastre.

BIBLIOGRAFIA

1. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial: Galvanoplastia, Santiago Febrero del 2000. Proyecto FDI-CORFO/INTEC-CHILE
2. Planes de Acción para mejoramiento ambiental, Manual para empresarios de la PYME "Galvanotécnia" DAMA-ACERCAR
3. Guías de producción más limpia. Producción más limpia en el sector de galvanoplastia. Centro Mexicano para la Producción más limpia. Instituto politécnico Nacional. Primera Edición México 1997
4. Prevención de la contaminación en la pequeña y mediana industria. La minimización de residuos en la industria del acabado de metales. Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS). OMS. Desarrollado por US EPA/SEDECOL Grupo de trabajo sobre la prevención de la contaminación. Mayo de 1993.

ANEXOS

1. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

El nivel de industrialización de Colombia y de Bogotá en particular, es en términos generales alto en varios campos de la industria en particular: comidas, textiles y químicos. En este campo la industria galvanotécnica ha sido obligada a producir en gran escala y con un elevado nivel tecnológico ya que ha venido siendo el soporte de diversas industrias. El DAMA ha seleccionado la industria de la galvanotécnia como uno de los cuatro sectores de mayor interés dado que forma parte de las industrias que generan los mayores problemas de contaminación en muchos países del mundo.

El sector de la galvanotécnia esta agrupado bajo el conjunto de industrias dedicadas a la fabricación de productos metálicos, con excepción de maquinaria y equipo. Existen en Bogotá numerosos establecimientos enmarcados en esta agrupación, dispersos tanto en las zonas residenciales como industriales y comerciales.

La industria galvanotécnica incluye un gran número de empresas dedicadas a prestar el servicio de acabado, con excepción de unas pocas que manufacturan totalmente las piezas. Los diferentes procesos de galvanotécnia dependen del tipo de elemento que va a ser tratado: zincado, cromado, niquelado y cobreado, se realiza para herramientas agrícolas, rines electrodomésticos, autopartes, entre otras, el plateado y dorado par joyería y bisutería, el anodizado para el aluminio en el sector de la construcción y el pavonado y galvanizado para elementos de ferretería.

Dentro de las modificaciones efectuadas a la superficie de las piezas es posible mencionar:

- Decoración
- Aumento de la resistencia a la corrosión
- Aumento de la resistencia a procesos de manchado
- Aumento de la resistencia al ataque de sustancias químicas
- Aumento de la resistencia al desgaste, a la fricción
- Otorgar mayor dureza

Por lo tanto el mercado que atiende el sector de la galvanotécnia es:

- Industria automotriz
- Industria de electrodomésticos
- Industria de Grifería
- Industria Sanitaria
- Industria de muebles
- Industria del artículos eléctricos y electrónicos
- Industria de la construcción

El tamaño de operación de las plantas de galvanotécnia varía desde pequeños talleres hasta organizaciones más consolidadas.

Como ya se mencionó, las plantas galvánicas pueden estar integradas en serie a los procesos productivos metalmecánicos o pueden ser plantas exclusivamente de servicios. En las plantas de servicio a su vez se pueden distinguir las de preparación de superficies con operaciones de desbastado, pulido y brillado y las plantas de acabado metalizado. A manera de comparación, mientras en los Estados Unidos hay registrados unos 20000 talleres de procesos galvánicos, en Colombia hay unos 1800 de los cuales 450 quedan en Bogotá. De ellos el 5% se dedican a la anodización del aluminio, el 8% a operaciones de preparación de superficies, una buena parte son pequeños joyeros que metalizan con material precioso, y el resto son plantas galvánicas que metalizan sobre algunos plásticos y metales bases como es el caso del hierro y aleaciones ferrosas, cobre zinc y sus aleaciones; existen algunos talleres de metalizado galvánico de aluminio, especialmente para rines y autopartes

El objeto de los procesos de preparación es la remoción de la suciedad, el desbastado metálico, el pulido y brillado de la superficie. Estos talleres generan polvillo compuesto por material abrasivo, material soporte representado en fibras textiles o de cuero, partículas metálicas y dióxidos metálicos. Generalmente, estos talleres son muy ruidosos y sucios, debido al casi nulo esfuerzo en el control del impacto ambiental que ejercen. Cuando ya la pieza preparada y embalada, generalmente en papel periódico, llega al taller de acabado, se inicia el ciclo de gran impacto ambiental, el cual comienza con el desembale y luego la limpieza y desengrase, operación esta de cuya calidad depende el resultado final del metalizado.

Tabla 16. Número de compañías de Galvanotécnia en Bogotá

PROCESO DE GALVANIZADO	NUMERO DE COMPAÑIAS
Galvanizado electroquímico (general)	150
Doping (goteo) Fincado en caliente	10
Anodizado	30
Pintura en caliente	40
Otros incluyendo compañías no registradas	180-200
Total (Aproximado)	450

La industria de la galvanotécnia se clasifica generalmente en dos categorías y cuatro grupos principales:

Categorías:

1. Integradas : Compañías que fabrican productos y galvanizan
2. De Servicios: Compañías que exclusivamente galvanizan

Grupos:

1. Galvanizado electroquímico
2. Anodizado
3. Hot doping
4. Anodizado químico

Es muy difícil estimar el tamaño de la compañía de galvanizado por el número de empleados o ventas, porque aquí se incluyen los fabricantes. Por lo cual es un mejor indicador del tamaño de la empresa el consumo de agua y el consumo de energía solo para el proceso de galvanizado, el cual se presenta en la Tabla 17 (datos del DAMA).

Tabla 17. Tamaño de industrias galvanotécnicas en Bogotá

CONSUMO DE AGUA (M3/MES)	NÚMERO DE COMPAÑÍAS
500-400	1
399-300	3
299-200	4
199-100	7
99-50	2
49-10	4
9-5	45
Menos de 5	380
TOTAL	**450**

2. EL PROCESO GALVÁNICO

La galvanotécnia es una técnica que consiste en la transformación de una superficie que puede ser o no metálica mediante un recubrimiento metálico. Se recomienda cuando por costos o por razones estructurales es necesario modificar las características del metal base seleccionada.

En general, los procedimientos tienen como finalidad modificar las propiedades de la superficie de los metales y estas pueden estar asociadas a motivos decorativos o funcionales dentro de los cuales se encuentran:

- Aumento de resistencia a la corrosión
- Aumento de resistencia al ataque de sustancias químicas
- Incremento de la resistencia a la fricción y al rayado
- Mejoramiento de propiedades eléctricas o mecánicas
- Mejoramiento de propiedades ópticas
- Ofrecer sustrato de anclaje de pinturas
- Ejercer lubricación

En galvanotécnia se consideran dos tipos de procesos: la galvanoplastia y la galvanostegia. El primero se refiere al proceso en que los recubrimientos metálicos se hacen sobre superficies de materiales no conductores. Mientras que en el segundo los recubrimientos siempre se realizan sobre materiales metálicos.

2.1. Proceso de Galvanoplastia

La galvanoplastia se utiliza cuando se requieren formas completas y depósitos de materiales bastante finos. Los moldes de plástico, cera y parafina se hacen conductores utilizando grafito o zinc en polvo y recubriéndolas electrolíticamente con un metal. Este es el proceso de fabricación de moldes, básico para las industrias manufactureras de muñecos, discos fonográficos, de algunas partes automotrices y otras.

En algunos casos, las partes de plásticos se metalizan directamente para lograr objetos con acabado metálico como en el caso de la bisutería, tapas de recipientes par perfumes, algunas autopartes, placas para circuitos impresos, artículos para el hogar, grifería etc.

El proceso de metalizado de plásticos comprende las siguientes etapas: desengrase, acondicionamiento (decapado), sensibilización y activación de la superficie, nucleación, post-nucleación, premetalizado, metalizado.

2.1.1. Pretratamientos superficiales

Esta etapa involucra los primeros baños químicos, en los cuales el objetivo es acondicionar la superficie para recibir los substratos metálicos u óxidos que posteriormente se le incorporen.

a. **Desengrase:** Tiene por objeto eliminar los aceites y grasa de la superficie para que no intervengan en las siguientes etapas. Las soluciones empleadas son normalmente alcalinas. Dependiendo del tipo de acabado se escogen soluciones fuertes o débiles. Las soluciones fuertemente alcalinas causan un efecto decapante en la superficie. Hay casos donde se utilizan desengrase ácidos y su aplicación de pende del tipo de aceite o grasa que esta presente en la superficie del metal. A veces son empleados procesos más avanzados de desengrase tales como desengrase electrolítico y ultrasonido. Este proceso necesariamente debe ser procedido de un enjuague parta remover la solución desengrasante de la superficie del metal y evitar contaminación de los baños siguientes.

b. **Acondicionamiento:** Se hace con ácido sulfúrico y ácido crómico y es una etapa que requiere control para garantizar una buena adhesión. La temperatura de esta fase oscila entre 50 y 70 C.

c. **Sensibilización y activación de la superficie:** En este proceso se introduce el uso de cloruro estañoso, a temperatura ambiente y por corto tiempo.

d. **Nucleación:** La superficie sensibilizada es expuesta a una solución de cloruro de paladio para que a través de una reacción galvánica, el

paladio se deposite sobre la superficie de plástico y actúe como catalizador.

e. **Post-nucleación:** Cuando la etapa de nucleación se hace inmediatamente después del acondicionamiento es necesario usar un agente reductor para formar el catalizador de [paladio. Los agentes más comunes son formaldehído, hipofosfito, hidrazina.

2.1.2. Procesos de terminación

En el proceso de electrólisis, los ánodos (anodizado) o cátodos (depósito electrolítico) se suspenden de barras exteriores, las cuales van conectadas a sistemas que conducen la corriente eléctrica proveniente del rectificador o generador.

a. **Premetalizado**: Se hace un metalizado previo, sin uso de corriente con soluciones que contienen iones cobre o níquel.

b. **Metalizado:** Es el depósito metálico definitivo y se realiza adecuando el voltaje y la densidad de corriente al metal con que ha de recubrirse: niquelado, cromado, cobrizado, zincado, dorado, cadmiado, entre otros. Por ejemplo el proceso cobre-níquel- cromo consta de tres pasos:

b.1. **Cobrizado**: el cobrizado cianurado es el primer recubrimiento de los sistemas multicapa de gran protección anticorrosiva que se realiza habitualmente sobre aleaciones de zinc, aluminio, magnesio y cobre y /o acero como materiales base. Los electrolitos de cobre más empleados son los de base cianuro y sulfato. El electrolito cianurado contiene pocos aditivos orgánicos.

b.2. **Niquelado:** Los recubrimientos de níquel son una base muy apropiada para la mayoría de los recubrimientos decorativos, como el cromo, el latón, la plata y el oro. Existen diferentes variedades clasificadas en función de sus aditivos y abrillantadores. Los principales son: níquel semibrillante y níquel brillante. El electrolito de níquel más empleado contiene cloruro, sulfato, ácido bórico y aditivos orgánicos en su composición.

b.3. **Cromado:** Este tipo de acabado posee excelentes características de brillo, dureza y poder anticorrosivo. Los electrolitos de cromo contienen ácido crómico, pequeñas cantidades de ácido sulfúrico y según su composición catalizadores, por lo general fluorados. Cuando se aplica en bajos espesores sobre depósitos de níquel se denomina cromo decorativo. Cuando se aplica sobre acero en grandes espesores, como es el caso de los amortiguadores y similares se denomina cromo duro.

Tabla 18 Proceso de talleres de galvanoplastia

ACTIVIDAD	MATERIAS PRIMAS	RESIDUOS GENERADOS
1. Desengrase	Solventes orgánicos : tricloroetileno	Enjuagues contaminados, vapores
2. Sensibilización	Ácido sulfúrico, ácido crómico en solución	Goteo al piso, enjuagues agotados
3. Activación	Ácido clorhídrico, cloruro estañoso	Goteo al piso
4. Nucleación	Cloruro de paladio	Enjuagues agotados
5. Postnucleación	Reductor. Hiposulfito sódico, formaldehído	-----
6. Premetalizado	Sales de Cu, Ni, Ag, ácido sulfúrico, ácido crómico	Goteo al piso
7. Metalizado	Sales de Cu, Ni, Ag, ácido sulfúrico, ácido crómico	Goteo al piso, baños gastados

2.1.2. Proceso de galvanostegia

La galvanostegia se menciono anteriormente, se refiere a los recubrimientos hechos electrolíticamente sobre superficies metálicas.

La galvanostegia puede ser de dos categorías, catódica o anódica, según que la pieza sea colocada para su tratamiento en el terminal catódico o en el anódico

La galvanostegia catódica tiene tres objetivos fundamentales: ejercer protección contra la corrosión, dar buen aspecto, cambiar alguna propiedad superficial como dar mayor dureza, mejorar la conductividad, ejercer lubricación.

La galvanostegia anódica conocida comúnmente como anodizado**,** implica la formación de películas de óxido del mismo metal para que aísle y proteja las piezas metálicas.

En general, los talleres galvanotécnicos se pueden clasificar en dos categorías: talleres de servicios, talleres integrados. Los talleres de servicio a su vez se dividen en talleres de pulido y brillo y talleres de acabado.

Los talleres de pulido y brillo se encargan de convertir las superficies de las piezas metálicas rugosas en brillantes mediante un tratamiento mecánico. La operación de un taller de pulido y brillo consta de varias

etapas, en las cuales la rugosidad es eliminada paulatinamente por la acción abrasiva de discos elaborados con diferentes materiales.

Todos los procedimientos conllevan cierto número de operaciones en las que se utiliza gran cantidad de sustancias químicas, produciendo emanaciones tanto al agua como al aire y al suelo.

2.1.2.1. Taller de Pulido y brillo

Los diferentes tipos de pulidos son:

- Pulido y brillo mecánico: el cual se realiza en varias etapas, en donde la rugosidad es eliminada paulatinamente por la acción abrasiva de discos elaborados con diferentes materiales.
- Pulido electrolítico: La superficie pulida y brillada mecánicamente, puede ser sometida a un pulido electrolítico utilizando como ánodo la pieza y como electrolito una mezcla de ácido sulfúrico (40%), ácido fosfórico (40%) glicerina y agua en proporciones que dependen del metal base de la pieza. Con es te procedimiento se obtiene brillo al espejo.

Estos procedimientos involucran operaciones en las que se utiliza gran cantidad de sustancias químicas y se producen residuos contaminantes que afectan el agua, el aire y el suelo.

Un taller típico de pulido y brillo implica las siguientes etapas:

- Preparación de discos abrasivos: En la cual se emplean óxidos metálicos de diferente tamaño de partícula y adhesivos.
- Desbastado de la pieza: En la cual se eliminan las partes rugosas para obtener una superficie más lisa.
- Pulido: se utilizan pastas pulidoras para lograra una superficie definitivamente lisa y uniforme por todo el contorno.
- Brillado

Tabla 19. Proceso de Pulido y Brillo

ACTIVIDAD	MATERIAS PRIMAS	RESIDUOS GENERADOS
1. Preparación de discos abrasivos	Óxidos metálicos de diverso tamaño de partícula, adhesivos, carburo de silicio.	Partículas finas de óxidos metálicos, partículas de cueros, fibras textiles poliméricas.
2. Elaboración de discos	Adhesivos	Fibras al aire, vapores de solvente
3. Desbastado	Piezas, cuero, budana, felpa, tela	Ruido, partículas metálicas, residuos abrasivos
4. Pulido	Pastas pulidoras, papel	Ruido, partículas metálicas, residuos abrasivos
5. Brillado	Energía eléctrica	Ruido, partículas metálicas, residuos abrasivos

2.1.2.2. Talleres de servicio de acabado

Las operaciones típicas de un taller de servicio de acabado son:

- Preparación de la superficie: La superficie pulida y brillada mecánicamente puede ser sometida a un pulido electrolítico utilizando como ánodo la pieza y como electrolito una mezcla de ácido sulfúrico 40%, ácido fosfórico 40%, glicerina y agua. Las proporciones dependen del material base de la pieza a tratar, para obtener así un brillo al espejo.

- Desengrase: Esta operación se realiza para quitar los restos de grasa, aceites o suciedades que existen en las piezas producto de las operaciones de corte y se efectúa electrolíticamente o por inmersión de las piezas en soluciones alcalinas o solventes orgánicos. Estas operaciones se llevan a cabo a temperaturas superiores a 60 C. otro método consiste en la aspersión de soluciones alcalinas calientes en las piezas. Las características del desengrasante, así como su forma de aplicación dependen del material base de la pieza.

- Enjuague: Entre cada una de las etapas es necesario realizar un enjuague con agua limpia, bien se por inmersión o por aspersión para remover las trazas de soluciones que quedan adheridas a la pieza y de esta manera no contaminar los baños de la etapa posterior.

- Decapado: Su objetivo es eliminar las capas de óxido formadas en la superficie de las piezas metálicas debido al contacto entre estas y la atmósfera. El decapado se realiza sumergiendo las piezas en una solución que puede ser ácida o alcalina según el proceso generalmente

sulfúrico, nítrico o clorhídrico inhibidos para evitar que ataquen el metal base. La remoción de los óxidos origina lodos que se acumulan en los tanques de decapado.

- Neutralización: Después del decapado y a pesar del enjuague, pueden quedar restos de ácidos que dan lugar a la formación de hidrógeno naciente ya a cambios en el pH de las soluciones de metalizado, utilizando la inmersión en soluciones alcalinas.

- Electrolisis: La pieza es colocada como ánodo o como cátodo dependiendo del tipo de proceso, conectada a un rectificador o generador de corriente y sumergida en el electrolito que contiene en solución los iones metálicos que se han de depositar sobre su superficie. La temperatura del electrolito, la densidad de corriente, la agitación, la concentración de los iones metálicos, el tipo y concentración de los aniones y/o aditivos, el pH, el tipo y la concentración de aditivos específicos para conseguir las propiedades del recubrimiento deseadas etc. son condiciones de operación dependen del metal base y del metal a depositar. Previo a este proceso electrolítico se efectúa el enganche de las piezas en bastidores diseñados para tal efecto. La preparación de la ganchera merece alguna consideración por cuanto se realiza manualmente fundiendo el aislante plástico previamente calentado sobre la ganchera. La mayoría de operaciones de trasiego de gancheras entre los diferentes tanques se realiza manualmente, lo que ocasiona altos goteos sobre pisos.

- Secado: Puede permitirse el secado al ambiente o realizarse utilizando aire caliente

Tabla 20. Proceso en talleres de servicio de acabado

ACTIVIDAD	MATERIAS PRIMAS	RESIDUOS GENERADOS
1. Desengrase	Solventes: soda, carbonato de sodio, fosfato sódico, agente humectante.	Goteo al piso, aceites emulsificados, partículas en suspensión.
2. Enjuague	Agua	Aguas alcalina
3. Decapado	Ácido sulfúrico, nítrico o clorhídrico, inhibidores	Hidrógeno al ambiente, lodos de compuestos metálicos, niebla ácida.
4. Neutralización	Soluciones alcalinas	Formación de lodos de sales, goteo al piso.
5. Enjuague	Agua	Aguas residuales
6. Metalización	Sales metálicos (sulfatos, cloruros, cianuros) de zinc, cobre, níquel, ácidos inorgánicos	Neblinas ácidas o básicas
7. Enjuague	Agua	Aguas residuales, sales metálicas disueltas
8. Secado		Vapores

2.1.3. Proceso de aluminio anodizado:

Entre los procesos galvánicos, la producción de aluminio anodizado ocupa un renglón destacado por sus volúmenes. El número de plantas oscila entre diez y quince en la ciudad de Bogotá. El material que se trabaja se destina a usos arquitectónicos (ventanería, divisiones para baño, cortinería, entre otras) son tubos o perfiles de 6 m de longitud y se requieren en promedio de 20 a 22 tanques de 7.0x1.0x1.0 m y se generan altos volúmenes de aguas residuales (entre 0.1 y 0.25 m^3/hora).

La reacción básica en cualquier proceso de anodizado es la conversión de la superficie de aluminio en óxido de aluminio. Las ventajas del anodizado son:

- Aumenta la resistencia a la corrosión y a la abrasión
- Aumenta la adherencia a la pintura
- Permite recubrimientos subsecuentes
- Proporciona aislamiento térmico

Los procesos de anodizado se dividen de acuerdo con el electrolito empleado así:

- Anodizado con ácido sulfúrico. Es el proceso más utilizado por su costo y facilidad técnica, se usa una solución de ácido sulfúrico de 100-150 g/L.

- Anodizado con ácido crómico: Es usado para anodizar piezas de estructuras utilizadas en aeronáutica. Su costo es elevado.

- Anodizado con ácido oxálico. La película formada es delgada pero con mayor dureza. Permite anodizar a mayores temperaturas, pero es más costoso que el anodizado con sulfúrico.

Otra clasificación de los tipos de anodizado es:

- Anodizado decorativo: Con ácido sulfúrico y crómico a temperaturas de 20 a 30 °C
- Anodizado duro: Con ácido sulfúrico a temperatura de 0 a 10° C

Otros procesos utilizados en acabados especiales utilizan ácido fosfórico y ácido sulfoftálico.

Las operaciones típicas de un taller de aluminio anodizado son:

- Limpieza: Se utiliza para remover grasa y suciedad de la superficie. Puede realizarse manualmente frotando la pieza con solvente o por inmersión en una solución alcalina caliente.

- Decapado: Se realiza para eliminar los óxidos que puedan existir en la superficie. Se realiza con soluciones diluidas de soda cáustica.

- Abrillantado químico: Mediante inmersión en ácido fosfórico concentrado y el concurso de ácido nítrico y sulfúrico.

- Anodizado: Haciendo circular una corriente equivalente a una densidad de 1.1-1.5 A/dm2 por la pieza que se encuentra sumergida en una solución de 100-150 g/L de ácido sulfúrico a una temperatura de 18 a 20° C se logra la formación de una capa altamente porosa de óxido de aluminio sobre la superficie de la pieza. Al final de este paso se hace un enjuague.

- Coloreado: Se lleva a cabo mediante inmersión en colorantes orgánicos o pigmentos inorgánicos mediante precipitación o con coloración inorgánica por medios electroquímicos, haciendo circular una corriente alterna en el circuito que tiene como electrolito una

solución de sales metálicas y un electrodo opuesto adecuado. Al finalizar este paso se efectúa un enjuague.

- Sellado del coloreado: Se sella con agua caliente o vapor de agua, aunque también puede utilizarse una solución de 5 g/L de acetato de níquel. Consiste en la hidratación de la alúmina producida sobre la superficie metálica.

Tabla 21. Proceso de aluminio anodizado

ACTIVIDAD	MATERIAS PRIMAS	RESIDUOS GENERADOS
1. Limpieza	Fosfato trisódico, silicato sódico, humectantes, solventes.	Goteo al piso, aceites emulsionados, vapores de solventes.
2. Enjuague	Agua	Aguas contaminadas
3. Decapado	Soluciones diluidas de hidróxido de sodio	Hidrógeno, lodos, aluminato sódico, niebla alcalina.
4. Enjuague	Agua	Aguas alcalinas.
5. Abrillantado químico	Ácido fosfórico	Niebla ácida
6. Enjuague	Agua	Aguas ácidas
7. Anodizado	Ácido sulfúrico, oxálico o crómico	Hidrógeno, vapores ácidos, lodos
8. Enjuague	Agua	Aguas ácidas
9. Coloreado	Sales metálicas, pigmentos inorgánicos, colorantes orgánicos.	Lodos, restos de colorantes
10. Enjuague	Agua	Aguas con sustancias disueltas o en suspensión
11. Sellado del coloreado	Agua caliente o vapor	Agua

2.1.4. Proceso de galvanización en caliente:

En un proceso que se realiza en talleres de servicio de acabado y que consiste en el recubrimiento de la pieza de hierro o acero con una película de zinc, pero a diferencia del zincado electrolitito, no se utiliza corriente eléctrica sino que la pieza se sumerge en una cuba llena de zinc fundido.

Los recubrimientos de zinc o galvanizado, tienen propiedades anticorrosivas y a veces decorativas. Tradicionalmente los electrolitos de zinc más utilizados son los cianurados de media y alta concentración de cianuro, estos electrolitos poseen una gran tolerancia a la contaminación orgánica y permiten trabajar con pretratamientos no optimizados.

Por otro lado se imponen los galvanizados ácidos que se caracterizan por ser muy brillantes y tener un alto rendimiento; el uso de estos electrolitos ácidos reduce de manera considerable el costo de tratamiento de las aguas residuales.

Por último existen galvanizados alcalinos exentos de cianuro que combinan una gran parte de las cualidades de los electrolitos cianurados con un tratamiento de bajo costo para las aguas residuales.

Las operaciones sin embargo son las mismas de cualquier proceso de galvanotécnia.

- Desengrase: Se hace por inmersión en baños alcalinos que contiene soda, metasilicato de sodio y un agente humectante. La soda se usa para remover la grasa, el metasilicato remueve restos de pintura y el humectante mejora la disolución de suciedades en el baño.

- Enjuague: Por inmersión en cubas con agua que se remueve cada cierto tiempo y que se va contaminando con restos de solución alcalina, partículas en suspensión y aceites y grasa emulsionados.

- Decapado: Se utilizan soluciones diluidas y calientes de ácido sulfúrico, o soluciones de ácido clorhídrico de 5 a 20% de concentración. Existe desprendimiento de hidrógeno, vapores ácidos y gran formación de lodos de cloruro o sulfato de hierro.

- Enjuague: Por inmersión en aguas que van ganando acidez y partículas sedimentables y suspendidas.

- Flux: Es un baño de sales que evita la oxidación del metal antes de la inmersión en el zinc y acondiciona la superficie para una mejor adherencia. Contiene cloruro de zinc y cloruro de amonio.

- Secado: Se realiza en hornos, preferiblemente a gas.

- Inmersión en el zinc fundido: la cuba que contiene zinc y una pequeña cantidad de aluminio que se usa como abrillantador, se mantiene con plomo en el fondo para protegerla. Opera a una temperatura alrededor de 453 °C para garantizar que todo el metal se encuentre en estado líquido y tenga una viscosidad conveniente, a temperaturas mayores de 500 °C se produce la sublimación del zinc. Al sumergir la pieza, se queman las sales produciéndose cenizas y algunas partículas de hierro se alean con el zinc y el plomo formando un material conocido como mate. Los anteriores son los residuos que presenta esta operación.

- Enfriamiento: Se hace por inmersión en agua fría.

Tabla 22. Proceso de Galvanización en Caliente

ACTIVIDAD	MATERIAS PRIMAS	RESIDUOS GENERADOS
1. Desengrase	Soda, metasilicato sódico humectante.	Partículas en suspensión, aceites emulsionados
2. Enjuague	Agua	Aguas alcalinas, partículas en suspensión.
3. Decapado	Ácido sulfúrico o clorhídrico	Lodos de cloruro de hierro, vapores ácidos, hidrógeno
4. Enjuague	Agua	Aguas ácidas.
5. Inmersión en el flux	Cloruro de amonio, cloruro de zinc	Vapores de amoniaco, goteo al piso
6. Secado		Vapores de amoniaco
7. Inmersión en zinc	Zinc aluminio	Vapores de zinc, salpicaduras, mate, cenizas
8. Enfriamiento	Agua	

2.1.5. Tecnología empleada

La tecnología empleada por la pequeña y mediana industria de la galvanotécnia en Colombia, no presenta mayores desarrollos y los procesos se efectúan de una forma prácticamente artesanal. Los desarrollos se concentran en la utilización de mecanismos automáticos para el traslado de piezas en polipastos y puentegrúas, de rectificadores y equipos de suministro de corriente, de los materiales de construcción de las cubas, así como también, en el uso de aditivos químicos para los baños.

Casi todos los talleres que realizan proceso galvánicos son de operación por lotes.

Los procesos galvanotécnicos no involucran el uso de una tecnología sofisticada: los tanques o cubas que utilizan para realizar cada una de las etapas del proceso no han cambiado substancialmente en su diseño pero si en los materiales de construcción, ya que con el desarrollo de resinas y plásticos de alta resistencia química, se han reemplazando las viejas cubas de concreto, madera o enchapadas en plomo por cubas en hierro recubiertas con resina reforzada con fibra de vidrio: en algunas instalaciones los tanques son de concreto recubierto de una resina para protegerlos del ataque químico. Los baños de metales preciosos son de poco volumen y para este efecto se utilizan cubas plásticas. Algunas cubas poseen canales para recoger el goteo y los derrames. El fondo

puede ser plano o con un pequeño desnivel para facilitar la limpieza y el retiro de los lodos que se acumulen.

Muchos baños requieren de temperaturas de operación específicas, por lo que es necesario disponer de sistemas de calentamiento y de enfriamiento. El calentamiento puede hacerse con vapor, agua caliente, electricidad o gas; el enfriamiento, con agua fría, salmueras refrigeradas y aceites térmicos. El intercambio de calor se realiza con serpentines sumergidos en los baños, en intercambiadores externos y con sistemas de bombeo a las cubas o tanques encamisados.

Las gancheras, elementos que sostienen las piezas y conducen la corriente, se diseñan para que puedan procesar la mayor cantidad de material posible y tengan suficiente área de contacto con el electrodo; usualmente, se fabrican en cobre. Las gancheras casi siempre se aíslan con recubrimientos plásticos con el fin de dirigir la corriente hacia la pieza.

De otro lado, los equipos generadores de corriente, tales como, rectificadores alternadores para electrocolor entre otros, han evolucionado bastante en los últimos años, contándose ahora con máquinas de mayor eficiencia energética y más seguros en su operación; estos equipos garantizan un alto grado aprovechamiento del insumo que más pesa en los costos de producción en los procesos electrolíticos: la energía.

En cuanto a los equipos mecánicos para transporte de materiales, tales como puentegrúas y polipastos, estos se han automatizado, logrando operaciones más rápidas y menos riesgosas.

Algunas de las pequeñas y medianas industrias galvanotécnicas formales existentes en Bogotá tienen un aceptable nivel de tecnología comparadas con las existentes a nivel internacional comparadas con las existentes a nivel internacional, particularmente las dedicadas al anodizado, no obstante, existe una gran cantidad de talleres de cromado, niquelado y zincado que opera de una forma verdaderamente artesanal, sin ningún tipo de control en el proceso. La dispersión y la relativa facilidad con la que se establece un negocio informal en este ramo, configuran uno de los grandes problemas de la manufactura en el distrito capital.