



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS
CROMADAS EN UNA EMPRESA MANUFACTURA
DE PARTES Y ACCESORIOS PARA
AUTOMÓVILES**

Prof. Víctor Guanipa

Tutor Académico

Ing. José Joaquín Rivas

Tutor Industrial

Autor:

María Gabriela Guada

C.I.: 16448970

Valencia, Enero de 2007.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS
CROMADAS EN UNA EMPRESA MANUFACTURA
DE PARTES Y ACCESORIOS PARA
AUTOMÓVILES**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE CARABOBO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

Autor:

María Gabriela Guada

C.I.: 16448970

Valencia, Enero de 2007.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal el mejorar la línea de producción de cromado de una empresa que se dedica a la fabricación e importación de piezas para automóviles, a través de la obtención de posibles causas, que puedan afectar negativamente el desempeño del proceso, así como la de brindar alternativas que ayuden a mejorar su funcionamiento, para obtener las características deseadas en el producto final.

El sistema de electrodeposición, es un proceso el cual se encarga de recubrir piezas con metales de forma electrolítica; en este caso las piezas se recubren con níquel y cromo, para así evitar que estas cuando se encuentren en contacto con el ambiente externo presenten signos de corrosión, que afectan tanto su apariencia como la estructura de la pieza. La correcta forma de recubrimiento de la pieza va a depender de una serie de factores y de variables, entre las cuales se destaca el pH y la temperatura de los baños electrolíticos, y un correcto sistema de enjuague de las piezas.

A través, de visitas al área de cromado de la empresa Súper Ruedas y Accesorios, se tomarán datos acerca del funcionamiento de dicho proceso, las variables involucradas, así como la descripción de las distintas etapas presentes, para realizar el diagnóstico del sistema actual, y así determinar la presencia de puntos críticos en el proceso, para plantear posibles alternativas que puedan ayudar a solucionar o mejorar las posibles fallas que pueda ocurrir en la actualidad luego proceder a la selección de las mismas, a partir de criterios establecidos, y plantear propuestas factibles. Por último, realizar un estudio de los indicadores económicos, para determinar la rentabilidad de la propuesta seleccionada.

La estructura de este trabajo especial de grado viene dada por capítulos: en el primero, se muestra el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, así como la situación actual y deseada, las limitaciones y justificación de la investigación. En el capítulo II aparece el marco referencial, donde se encuentran los antecedentes de

la investigación así como los fundamentos teóricos. Luego se presenta el capítulo III, el marco metodológico de la investigación. En el capítulo IV aparece el diagnóstico del proceso actual y el análisis de los puntos críticos. El capítulo V muestra la generación y selección de alternativas, donde se describen los aspectos técnicos de cada una, se presentan las propuestas y el fundamento de la selección de la propuesta final. En el capítulo V se presenta la rentabilidad de la propuesta seleccionada, donde se presenta los valores de los indicadores económicos. También se muestran las conclusiones y recomendaciones de la investigación. En los apéndices se encuentran las tablas y gráficos bibliográficos empleados, los modelos matemáticos empleados así como los cálculos típicos, así como los anexos.

La importancia de la realización de este trabajo es plantear una propuesta factible, que ayude a la disminución de los residuos tóxicos generados durante el proceso de cromado, que afectan principalmente las aguas, además de plantear mejoras que ayuden al aprovechamiento de los recursos y materias primas, y ayudar a disminuir los costos operacionales del sistema de cromado actual. También sirve como base en el desarrollo de experiencia y habilidades en el ámbito industrial, mediante la obtención y ampliación de conocimientos en el área de procesos.

SUMARIO

Este trabajo de investigación se enfocó en el diagnóstico del proceso de cromado de la empresa Súper ruedas y Accesorios (SAMESA), para la detección de fallas presentes durante la ejecución del proceso en la actualidad, que afectan negativamente el producto final del mismo, para el desarrollo de la investigación se basó en la observación del proceso de producción de las piezas previo al cromado, así como su proceso de recubrimiento, tomando en cuenta la estructura del mismo, sus distintas etapas, la función de cada una, el tiempo de residencia, las temperaturas empleadas en cada uno de ellas, las diversas composiciones empleadas, los tipos de reactivos presentes, las reacciones involucradas, los efectos sobre la salud, el tipo de procedimiento empleado para la reducción de las aguas residuales así como el destino final de las mismas.

Para el cumplimiento de los objetivos, se procedió a la toma de datos y búsqueda de información con las personas encargadas del proceso que se desarrolla dentro de la empresa, y comparando con información obtenida externamente acerca del funcionamiento de los sistema de cromado en general, se detectaron los puntos críticos presentes en el proceso con relación a otros procesos similares, mediante el empleo del diagrama de Ishikawa, donde se desglosaron por categorías las fallas presentes, para luego determinar sus causas, que permitieron el planteamiento de las alternativas adecuadas para cada una de ellas.

Para llevar a cabo la investigación, se realizó un diagnóstico del tipo de proceso desarrollado así como de las instalaciones destinadas dentro de la empresa para el mismo, a partir de entrevistas con los operarios del proceso y de la toma de datos del proceso de las variables mas importantes y otros datos influyentes, como registro de piezas defectuosas, para posteriormente desarrollar una tormenta de ideas para detectar las causas de las fallas existentes y realizar un análisis de los puntos críticos, para proceder al planteamiento de alternativas adecuadas para cada uno, por medio de la bibliografía especializada. Por medio de las alternativas seleccionadas y por medio de criterios establecidos, se plantearon propuestas, y se determinó la rentabilidad de la propuesta seleccionada, por medio del empleo de indicadores de rentabilidad.

Entre los resultados obtenidos se destaca la generación de tres propuestas, cada una de ellas está conformada por una serie de alternativas, la primera propuesta contempla las alternativas que no requieren de la adquisición de materia prima o equipos adicionales, son una serie de recomendaciones como el aumento de los tiempos de arrastres en los baños de desengrasante (20 a 25 seg) y baños electrolíticos (10 a 15 seg.), que ayudará a la disminución del consumo de agua en los enjuagues posteriores a los desengrasantes y una disminución en la evaporación de los baños electrolíticos, así como indicaciones para la disminución de fugas y consumo adicional de energía. La segunda propuesta contiene las mismas alternativa de la primera con la adición de un chequeo periódico de los baños de níquel y cromo, para llevar control de las variaciones de concentraciones de los mismos y el empleo de indicadores de pH y temperatura, la introducción de un baño de desmetalizado con una solución concentrada de ácido sulfúrico (1000 g/L), para la remoción de las capas de níquel y cromo en las piezas con recubrimiento defectuosos y volver a recubrirlas, además de la de implantación de un sistema de reducción de cromo hexavalente en las aguas residuales con etapas con el empleo de una solución saturada de metabisulfito de sodio de concentración de 650 g/L y la neutralización con una solución de hidróxido de sodio de concentración igual a 250 g/L. La tercera propuesta emplea lo indicado en la primera propuesta con la adición de la inclusión de separadores de grasas para los baños de desengrasantes empleados, para aumentar su período de vida y

favorecer la disminución de residuos en los baños siguientes. La propuesta seleccionada fue la segunda propuesta por que permitirá ingresos por parte de la recuperación de las piezas.

Con aplicación de la propuesta seleccionada, se requiere de la adquisición de nuevos equipos y compra de materia prima para el sistema de desmetalizado, el sistema Lancy y el mantenimiento de los baños electrolíticos, se requerirá una inversión inicial de 9958 \$. Dicha propuesta tendrá unos costos operacionales en el año 1 de aprox. 7473 \$, con un incremento a medida que transcurre el período de vida del proyecto. Los ingresos a obtener por la recuperación de piezas en el año 1 serán alrededor de 48027 \$, en los años siguientes será un poco menor, alrededor de 10000 \$, debido a que se espera la disminución de las piezas defectuosas. Los indicadores de rentabilidad empleados fueron el valor actual, equivalente anual y tasa interna de retorno, obteniéndose valores positivos de valor actual de 21170 \$ para una tasa de 15 % y un equivalente anual igual a 4059 \$, con un tiempo de pago de 4 meses una vez implantado el proyecto, la tasa interna de retorno posee un valor superior a 100 %, por lo cual indica que el proyecto es rentable, ya que es superior a la tasa del 15 %. Se considera que el proyecto es rentable, ya que generará ingresos para la empresa, que permitirán recuperar la inversión inicial.

Se recomienda la elaboración de un historial, donde se reflejen los resultados obtenidos del chequeo periódico de las concentraciones de los baños así como de las adiciones realizadas, para información de los operarios encargados. Se propone la continuación del historial para las piezas defectuosas, con datos más específicos, donde se especifique el tipo de pieza, la incidencia del defecto, etc. Se plantea la posibilidad de impartir charlas especializadas a los operarios, acerca de los riesgos y peligros de accidentes tanto a nivel laboral como desde el punto de vista ambiental.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Diagrama de bloques del proceso de cromado en la empresa SAME S.A.....	5
Figura 3.1 Esquema del diagrama causa-efecto.....	34
Figura 4.1. Pasos previos al proceso de cromado.....	43
Figura 4.2. Colocación de piezas en el desengrasante químico.....	46
Figura 4.3. Primera etapa de tratamiento de piezas en el desengrasante electrolítico.....	47
Figura 4.4. Diversos tipos de enjuague posteriores al desengrasante electrolítico.....	47
Figura 4.5. Etapa de niquelado electrolítico de piezas.....	48
Figura 4.6. Etapa de cromado electrolítico de piezas.....	50
Figura 4.7 Diagrama de ishikawa del proceso de recubrimiento electrolítico en la empresa SAME S.A.....	52
Figura 4.8 Piezas con defectos de tonalidades de color y superficie.....	56
Figura 4.9. Piezas con defectos de coloración en la superficie.....	57
Figura 4.10. Diferencias de niveles de brillo entre piezas.....	57
Figura 4.11. Piezas con procesos de descamación en la superficie.....	58
Figura 4.12 Apariencia externa de los tanques.....	64
Figura 5.1 Diagrama de flujo del sistema de filtración del baño de cromo.....	73
Figura 5.2 Diagrama del funcionamiento de los separadores de grasas.....	75
Figura 5.3 Tanque imhoff para remoción de grasas y aceites.....	77
Figura 5.4 Diagrama del sistema por cargas de aguas cromadas.....	86
Figura 5.5 Dimensiones de los tanques de igualación, detoxificación y neutralización del sistema de tratamiento de aguas residuales por carga.....	88
Figura 5.6 Etapas del sistema lancy para reducción de cromo.....	90
Figura 5.7 Diagrama de la ubicación de los tanques en el sistema de cromado con la aplicación de la propuesta seleccionada.....	104
Figura 5.8 Vista de planta del sistema de cromado con la aplicación de la propuesta seleccionada.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Principales campos de aplicación de los recubrimientos electrolíticos y químicos en función del tipo de revestimiento.....	16
Tabla 2.2 Rendimiento, densidad de corriente empleada y el voltaje usado para los diversos recubrimientos electrolíticos mas empleados en Súper Ruedas y Accesorios M.E S.A.....	17
Tabla 2.3 Efectos de los contaminantes procedentes de la industria.....	28
Tabla 2.4 Principales compuestos reductores de cromo.....	29
Tabla 3.1 Modelo de matriz de selección para las alternativas de reducción de materias primas y recursos.....	36
Tabla 3.2 Modelo de matriz de selección para las alternativas de reducción de residuos tóxicos.....	38
Tabla 4.1 Características de los tanques empleados en el proceso de electrodeposición.....	41
Tabla 4.2 Datos del proceso de electrodeposición.....	42
Tabla 4.3 Características de las etapas del proceso de recubrimiento electrolítico.....	44
Tabla 4.4 Registro mensual de piezas defectuosas y revisión de la concentración de los baños electrolíticos en la empresa Súper Ruedas y Accesorios M.E. S.A.....	60
Tabla 4.5 Cantidad de los reactivos empleados en el procedimiento de reducción de cromo hexavalente.....	66
Tabla 5.1 Ventajas y desventajas de las opciones para prolongar la vida útil de los baños electrolíticos.....	73
Tabla 5.2 Ventajas y desventajas de las opciones para prolongar la vida útil de los baños desengrasantes.....	77
Tabla 5.3 Ventajas y desventajas de las soluciones empleadas para la recuperación de piezas con defectos de recubrimiento.....	81
Tabla 5.4 Ventajas y desventajas de las alternativas planteadas para la disminución de residuos tóxicos.....	91
Tabla 5.6 Alternativas pre-seleccionadas para reducción de materias primas y recursos.....	92
Tabla 5.6 Matriz de jerarquización para las alternativas de reducción de materias primas y recursos.....	92
Tabla 5.7 Matriz de selección para las alternativas de reducción de residuos tóxicos.....	96
Tabla 5.8 Especificaciones del extractor.....	102
Tabla 5.9 Especificaciones del controlador de pH y temperatura.....	102
Tabla 6.1 Costo de los equipos a instalar para la prolongación de los baños electrolíticos.....	111
Tabla 6.2 Flujos monetarios durante el período de vida de la propuesta o proyecto.....	114

INDICE GENERAL

	Pág
Introducción.....	1
1. Planteamiento del problema.....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Situación Actual.....	7
1.2.2 Situación Deseada.....	7
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Justificación.....	8
1.5 Limitaciones.....	9
2. Marco Referencial.....	10
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Fundamentos Teóricos.....	13
2.2.1 Recubrimiento electrolítico.....	14
2.2.1.1 Tratamientos previos.....	17
2.2.1.2 Tratamiento principal.....	19
2.2.1.3 Tratamientos posteriores.....	23
2.2.2. Propiedades físicas de los recubrimientos metálicos.....	24
2.2.3 Problemática Ambiental.....	24
2.2.3.1 Principales fuentes de contaminación.....	24
2.2.3.2 Normas que regulan los residuos tóxicos.....	28
2.2.3.3 Reducción de cromo en aguas residuales en plantas de	28
3. Marco Metodológico.....	32
3.1 Tipo de investigación.....	32
3.2 Desarrollo sistemático de la investigación.....	32
4. Diagnóstico del proceso actual.....	40
4.1 Descripción del proceso actual.....	40
4.2 Análisis del diagrama causa-efecto del proceso de cromado.....	50
4.3 Análisis de los factores afectados dentro del proceso de cromado.....	53
4.3.1 Sistema de control de variables.....	53
4.3.2 Composición de los baños electrolíticos.....	54
4.3.3 Piezas con defecto de recubrimiento.....	54
4.3.4 Apariencia de los tanques empleados.....	63
4.3.5 Período de vida de los desengrasantes.....	64
4.3.6 Fallas en el uso de energía.....	65

4.3.7 Procedimiento de reducción de residuos de efluentes empleado en la actualidad.....	65
5. Generación y selección de alternativas.....	69
5.1 Generación de alternativas para reducción de materias primas y recursos.....	69
5.1.1 Mantenimiento de las concentraciones de los baños electrolíticos.....	69
5.1.2 Prolongación del período de vida de los desengrasantes.....	73
5.1.3 Alternativas para la disminución de pérdidas de energía.....	77
5.1.4 Recuperación de piezas con recubrimiento con defectos.....	78
5.1.5 Reducción de perdidas por derrames y fugas.....	81
5.1.6 Aumento del tiempo de arrastre.....	82
5.2 Generación de alternativas para reducción de residuos tóxicos.....	83
5.2.1 Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	84
5.2.1.1 Tratamiento por cargas de aguas provenientes de baños electrolítico.....	85
5.2.1.2 Sistema de reducción de residuos tóxicos (sistema Lancy).....	88
5.3 Selección de alternativas.....	91
5.3.1 Análisis de las matrices de selección.....	91
5.3.2 Selección de la alternativa para la reducción de residuos tóxicos.....	95
5.3.3 Planteamiento de propuestas.....	97
5.3.3.1 Propuesta 1	97
5.3.3.2 Propuesta 2.....	99
5.3.3.3 Propuesta 3.....	100
5.3.4 Propuesta Seleccionada.....	101
6. Rentabilidad de la propuesta seleccionada.....	106
6.1 Análisis de la propuesta seleccionada.....	106
6.2 Determinación de la rentabilidad de la propuesta seleccionada.....	110
6.2.1 Determinación de los indicadores de rentabilidad.....	114
Conclusiones y Recomendaciones.....	117
Bibliografía.....	119
Apéndice A. Tablas y gráficos bibliográficos.....	121
Apéndice B. Modelos Matemáticos.....	133
Apéndice C. Cálculos típicos.....	146
Apéndice D. Anexos.....	171

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presentará el problema en estudio, objetivo general y específicos, el propósito, la situación actual y deseada, al igual que la justificación, limitaciones y alcance de la investigación.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Súper Ruedas y Accesorios M.E. S.A. (SAME S.A.), es una empresa ubicada en la Urb. Terrazas de Castillito, vía San Diego, Edo. Carabobo. Esta empresa manufacturera está enfocada específicamente en el diseño, fabricación, compra, venta, reparación, comercialización, distribución, exportación, importación al mayor y detal de repuestos, accesorios y piezas para todo tipo de máquinas y equipos de vehículos livianos y pesados.

Entre los procesos que se desarrollan dentro de la planta son la producción de tuercas de seguridad para rines, plomo para el balanceo, varios tipos de tuercas, por lo que se emplean métodos como el estampado o forja en frío, el mecanizado. Luego, de la producción de dichos accesorios, estos son sometidos al proceso de cromado.

Con la protección de los metales contra la corrosión, se busca interferir con el mecanismo de reacción, de tal manera que se pueda hacer que éste sea lo más ineficiente posible, esto puede ser posible gracias al aislamiento del material, por medio de depósitos metálicos de espesor suficiente o por aplicación de recubrimientos diversos.

De esta forma, se puede lograr aislar el metal del contacto directo con el medio agresivo (agua, suelo y atmósfera por lo general). Pueden lograrse recubrimientos metálicos mediante la electrodeposición de metales como el níquel, cinc, cobre, cadmio, estaño, cromo, etc. Después de una cuidadosa preparación superficial, las piezas se sumergen en soluciones que contienen sales de los metales a depositar. Las piezas se colocan en posición catódica, conectadas al polo negativo de un generador.

Bajo la acción de la corriente eléctrica proporcionada por el generador, el acero se recubre del metal contenido en el baño o bien puede ser suministrado por un ánodo soluble del metal en cuestión. Los metales depositados por vía electroquímica en la empresa SAME S.A. son el cromo y el níquel, los depósitos obtenidos son por lo general de espesor pequeño (2 a 30 micrones).

El proceso de recubrimiento de las piezas posee varias etapas o baños sucesivos, cuyo tiempo de residencia en cada uno de ellos por parte de la pieza, va a depender de varios factores, entre los cuales se destaca la función que cumple cada una de las etapas, la primera de ellas es el pre-tratamiento (previo a que se deposite la capa metálica), la superficie a cubrir debe estar libre de impurezas, tales como grasas, óxidos, imperfecciones provenientes de la fabricación etc. Para ello, se aplican procedimientos mecánicos sobre las superficies como es el esmerilado, para que luego las piezas sean lavadas con un solvente, empleando kerosén, para retirar de ellas los restos de viruta proveniente del proceso del esmerilado.

Posteriormente viene el desengrase, donde se emplean dos tipos de desengrasantes especiales, los cuales son aplicados a las piezas a una temperatura superior a la temperatura ambiente. A continuación las piezas pasan a una etapa de enjuague con agua solamente y luego a una etapa de decapado suave utilizando ácido; este enjuague se emplea para eliminar restos de los desengrasantes o partículas adheridas a la pieza, entre otros. Las soluciones empleadas para el decapado son, por lo general, ácidos muy diluidos, utilizando con ácido sulfúrico.

Las últimas etapas corresponden a los recubrimientos electrolíticos, los cuales consisten en un ánodo y un cátodo en un electrolito, que en el baño de níquel consta de una solución hídrica de la sal del metal, en cambio en el baño de cromo se emplea una solución que contiene en gran proporción ácido crómico. La etapa de niquelado es un procedimiento de metalización que se lleva a cabo con fines de protección superficial en las piezas, así como decorativo y de recubrimiento previo antes del cromado. En el galvanizado con níquel se utilizan baños de sulfamatos o baños Watts con sulfatos de níquel.

Por último, se encuentra la fase de cromado, en la empresa se emplea el cromado brillante o cromado decorativo, donde finas capas de cromo se depositan sobre la capa de níquel para mejorar el aspecto de las piezas. El color del cromo es más azulado y reflectante que el níquel y es mucho más resistente a la corrosión, ya que inmediatamente se forma una fina e imperceptible capa de óxido que protege al metal.

El cromo tiene poco poder cubriente, y es menor si las capas que se depositan son tan finas como una micra. Es por ello que las superficies a cubrir deben estar bien pulidas, brillantes y desengrasadas, ya que el cromo no va a disimular ninguna imperfección, debido a esto es por lo que frecuentemente las piezas que se croman con objeto decorativo se recubren con cobre o níquel antes de ser cromadas. El cromo se aplica bien sobre el cobre, el níquel y el acero, pero no sobre el zinc o hierro de fundición. Después del cromado, las piezas se lavan, simplemente en baños sucesivos de agua. En la Figura 1.1 se encuentra un diagrama de las fases del proceso de cromado en la empresa SAME S.A.

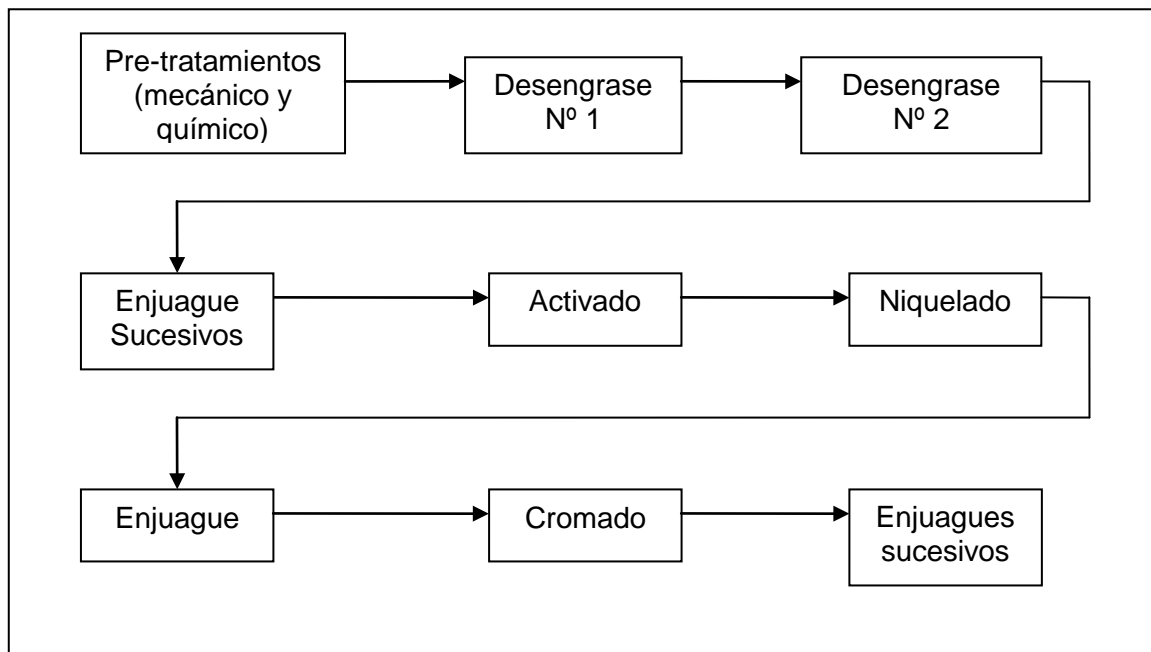


Figura 1.1 Diagrama de bloques del proceso de cromado en la empresa SAME S.A.

La empresa en estudio, está dedicada a la importación, distribución y fabricación de piezas para automóviles como se mencionó anteriormente, por lo que no está enfocada principalmente al cromado de piezas metálicas, debido a esto, su área de cromado es

un proceso complementario, que posee ciertas características que no le permite ser un proceso totalmente eficiente. No se lleva un registro de las piezas que salen en mal estado, los baños de níquel y cromo no son revisados para constatar sus especificaciones periódicamente; esto solo se realiza cuando se observan problemas en las piezas; no poseen indicadores de temperatura ni de pH en el proceso, además de no poseer un método rápido y eficiente para la disminución de los residuos tóxicos disueltos en las aguas residuales ni la medición de las concentraciones de tales residuos en sus efluentes.

Se debe tener en cuenta que el proceso de electrodeposición en sí no es efectivo, debido a que sólo una pequeña cantidad del metal es depositado sobre la pieza. Por lo que, gran cantidad de estos metales y otros compuestos pueden ser descargados al ambiente, a través de los desagües. Al no contar con un sistema eficiente de tratamiento de las aguas residuales generadas durante dicho proceso, la potencialidad contaminante de los residuos puede afectar seriamente el ambiente, en especial el externo a la planta debido a la contaminación de los efluentes y del ambiente interno (operarios en planta) en aspectos relacionados con la salud ocupacional, por la exposición a agentes tóxicos como el cromo principalmente.

El propósito de esta investigación se basa en la mejora de la ejecución del sistema de cromado, detectando dentro del proceso donde se encuentran las fallas más importantes, para así generar alternativas factibles que ayuden corregir tales problemas y obtener la forma más sencilla y práctica de disminuir los desechos tóxicos (como el cromo hexavalente, principalmente) para hacerlo más eficiente y que genere menos contaminación.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, la empresa en estudio presenta un proceso de cromado con algunas deficiencias y debido a que no es su principal fuente de ingreso, esta no se había interesado lo suficiente por mejorarlo, pero hoy en día su enfoque es al área ambiental, buscando mejoras para ayudar a la disminución del impacto ambiental que causan los desechos generados, además de otros aspectos que también afectan el proceso.

1.2.1 SITUACIÓN ACTUAL

La empresa no posee un proceso de cromado adaptado a nuevas tecnologías, debidamente supervisado o con un sistema de control efectivo, generando en muchos casos piezas defectuosas o de acabado no deseado, no cuentan con indicadores de pH y temperatura en los baños electrolíticos. No se hace una revisión periódica de los baños de níquel y cromo así como no se contabilizan las pérdidas de cantidad de electrolitos por arrastre, los baños de desengrase no poseen un mantenimiento periódico para alargar su vida útil. El empleo de un sistema de disminución de residuos poco convencional e ineficiente y la inexistencia de un control de las concentraciones en los vertidos de los efluentes, además de un área de trabajo en condiciones críticas de ventilación, seguridad, etc.

1.2.2 SITUACIÓN DESEADA

Se requiere contar con un proceso de cromado que posea un sistema de supervisión constante a lo largo de todas sus etapas, que ayude a disminuir la posibilidad de obtener piezas cromadas defectuosas, por medio de un sistema económico y favorable para la empresa. La posibilidad de prolongar el período de vida útil de los baños dentro del proceso, así como la reducción de materias primas y recursos, como consecuencia de la implementación de las alternativas factibles que ayuden a mejorar el proceso. Además de la posible inclusión de una etapa más en el proceso, destinado a la reducción de la generación de tóxicos, permitiendo que el efluente de aguas residuales al ambiente este dentro de los límites permitidos de vertido, y también crear un ambiente laboral más seguro para todos y para el ambiente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar la línea de producción de cromado de una empresa manufacturera de accesorios y partes de automóviles livianos y pesados.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.2.1 Diagnosticar el proceso de cromado actual de la empresa SAME S.A. con la finalidad de detectar los puntos críticos dentro del proceso.

1.3.2.2 Analizar los factores más importantes que puedan intervenir sobre el proceso de cromado a fin de determinar las causas más influyentes sobre el caso en estudio.

1.3.2.3 Generar alternativas con el fin de buscar las mejores propuestas para la reducción de residuos y un mejor aprovechamiento de los recursos y materias primas.

1.3.2.4 Seleccionar las alternativas que se ajusten mejor a los requerimientos de la empresa para establecer un marco de referencia para la toma de decisiones por parte de la misma.

1.3.2.5 Estimar los indicadores económicos de las alternativas seleccionadas con la finalidad de determinar la rentabilidad.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Esta investigación posee trascendencia a nivel de la empresa en el plano ambiental y económico, ya que la misma se empleará para mejorar el proceso de cromado que se realiza actualmente dentro de la empresa, logrando una posible disminución en la emisión al ambiente de residuos tóxicos generados durante el desarrollo del proceso de cromado y la posibilidad de hacer un mejor uso de los recursos y materias primas empleadas.

Con la realización de dicho proyecto, se espera lograr una propuesta factible que ayude a la disminución de los residuos tóxicos generados durante el proceso de cromado que afectan principalmente las aguas, y además de detectar posibles fallas que afectan al proceso y plantear mejoras que ayuden al aprovechamiento máximo de los recursos y materias primas, que pueden ayudar a disminuir los costos. La realización de esta investigación será de gran importancia ya que servirá como base en el desarrollo de experiencia y habilidades en el ámbito industrial, mediante la obtención y ampliación de conocimientos en el área de procesos de manufactura de piezas

metálicas y de recubrimientos electrolíticos, al mismo tiempo brindar a la universidad un aporte en el ámbito ambiental acerca de la disminución de residuos tóxicos en la actualidad.

Entre las implicaciones prácticas se encuentra la de proporcionar una solución práctica y factible, que permita que el proceso de cromado sea menos tóxico y en lo posible con una reducción de costos en el consumo de materias primas y recursos. Por último, esta investigación presenta un aporte metodológico, ya que se sugerirá una propuesta con el objeto de mejorar la ejecución del proceso de cromado en la actualidad desde el punto de vista ambiental y económico.

1.5 LIMITACIONES

Entre las limitaciones que podrían presentarse durante el desarrollo de la investigación podría ser más que todo un factor económico, ya que no se cuenta con un laboratorio dentro de la empresa, que permita analizar las composiciones de los baños o etapas presentes en el proceso, ni de los niveles de toxicidad de los efluentes, por lo que se debe recurrir a empresas externas para dicha tarea, lo que genera un gasto adicional, y esto forma parte fundamental en el desempeño del proceso. Falta de información acerca de las composiciones de ciertos baños, ya que son preparados con productos especiales de otras empresas, otro factor limitante serán las horas laborales de las empresas, las posibles paradas de planta imprevistas, que podrían afectar la recolección de datos durante la investigación. Falta de personal especializado en el área de cromado que ofrezca una información de calidad, la persona encargada de realizar los cambios en los baños es un agente externo, que cada cierto tiempo verifica las condiciones de los baños, dependiendo de su agenda de trabajo.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

En el siguiente capítulo se presentan los antecedentes de la investigación y los fundamentos teóricos.

2.1 ANTECEDENTES

A continuación se presentan los antecedentes consultados previamente al desarrollo de la investigación.

2.1.1. Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales. (2001) **“Producción más limpia en una empresa productora de rines de aluminio”**. Medellín. Colombia. El objetivo principal de dicho proyecto es la disminución de los gastos de dicha empresa en el consumo de: energía, materia prima, agua, cromo, además de la disminución de los residuos de cromo en las aguas residuales.

Como resultados o avances de la implantación de dicho proyecto se obtuvo: a través de la eliminación del lavado de viruta se produjo una reducción en el consumo de agua: 20 m³ /mes, también hubo una disminución de vertimiento de 96 GAL/mes de aceite además de una baja en el consumo de aire comprimido. Hubo un incremento en la vida del baño de cromo se redujo en 4 veces del consumo de cromo y al tratar las aguas se obtuvo una eliminación de 14,6 Kg. /mes de cromo. Se disminuyó el consumo de agua: 301m /mes y reducción de vertimientos de aceite y detergente. Eliminación de fugas de compresores y control en cascada, y por último hubo una disminución en el consumo de electricidad de 15,2 Kw.-h/Rin a 12,4 Kw.-h/Rin.

La similitud de este proyecto con el de estudio, es la búsqueda del mejoramiento de un proceso de producción de rines que contempla la parte del cromado, que es muy similar al proyecto en cuestión, ya que se trata de una empresa que fabrica partes de vehículos, la cual requiere un mejoramiento en su proceso como tal y a la vez disminuir la contaminación existente como resultado del mismo. Las diferencias radican en el

enfoque de la investigación, ya que allí se enfocaron a la disminución de gastos de consumo de todo tipo y en el caso en desarrollo se enfoca a disminuir los residuos en las aguas principalmente pero en el diagnóstico de la situación actual del proceso se obtendrán alternativas que tendrán consecuencias positivas como la disminución en los gastos de la empresa.

2.1.2 Calderón, C., y Superlano F. (2000) **“Diseño de una unidad de banco para la remoción y recuperación de cromo en agua residuales de Tenerías.”** Universidad de Carabobo. El objetivo principal de este trabajo es el diseño e instalación de una unidad de banco para la remoción y recuperación del cromo trivalente presente en las aguas residuales de Tenerías.

Entre los avances obtenidos con la aplicación de dicha investigación están: la concentración de cromo en el efluente en función del tiempo varía de forma inversamente proporcional a las variaciones de pH, el porcentaje de cromo removido fue de aproximadamente 80%, demostrando así el buen desempeño de la unidad en el proceso, además se plantea la posibilidad de regenerar el APG, un absorbente de sílica gel modificada (aminopropilgel), utilizado en procesos de absorción y desorción química, y ser utilizado más de una vez, y así aumentar la factibilidad económica del proceso.

Las semejanzas de este proyecto con el de estudio, es el diseño y la posible implantación de una unidad de remoción o detoxificación de cromo, solo que ahora la unidad de tratamiento de aguas tratará de ser acoplada como etapa en el proceso de cromado, y en este proyecto es como una unidad fuera del proceso principal.

2.1.3 Martínez A., A., Bolta A., Marmaneu P., Pintor E., Martín J. (1999). **“Ecoeficiencia y benchmarking aplicado al sector metalúrgico.”** Ciudad de México. México. Entre los objetivos de dicho proyecto se encuentra el del aplicar un Benchmarking a dos empresas metalmeccánica en la Ciudad de México, para hacerle mejoras a sus procesos y a las empresas en general, además de proporcionar a los propios trabajadores motivación para mejorar su rendimiento, conforme aumenta su

conciencia e interés en el mejoramiento del proceso, y encontrar nuevas tecnologías y practicas en dicha industria.

Como avances obtenidos luego de la aplicación Benchmarking, fue la obtención de una reducción del consumo de aguas y la contaminación de la misma, del consumo de materias del consumo de la energía necesaria para el proceso y una minimización en la generación de residuos. Todas estas mejoras fueron introducidas a un coste bajo consiguiendo un ahorro económico considerable. Estas industrias contaban antes de aplicar el Benchmarking contaban con procesos de producción que generaban una gran cantidad de residuos, utilizaban grandes cantidades de recursos energéticos y/o contaminaban con restos peligrosos del proceso el agua empleada en la producción.

La analogía con la investigación a desarrollar es la búsqueda de una mejora para la empresa, que comenzará con el mejoramiento del proceso, para hacerlo mas eficiente y menos tóxico, que hoy en día estas mejoras son fundamentales para la subsistencia de dichas empresas, ya que cada día son mas exigentes en materia de ambiental, por lo que la reducción de costos y de residuos son esenciales, las diferencias será que esto se aplicó a dos empresas metalúrgicas y la investigación se desarrollará solo en una empresa.

2.1.4 Muñoz, Arnaldo. (1997). **“Implementación de prácticas limpias y recuperación de cromo contaminante residual”**. Santa Fe de Bogotá, Colombia. El proyecto tuvo como objetivo principal la reutilización de los residuos sólidos, líquidos o gaseosos dentro de la misma planta sin que sufra transformación alguna; únicamente se realizará tratamiento a aquellos que se sufran degradación de cualquier tipo; utilizando como materia prima desechos industriales provenientes del cromado electrolítico.

Entre los avances obtenidos durante la aplicación del proyecto son las siguientes: reducción: consumos de agua, energía, de materias primas, de disposición de residuos y mejoramiento de la imagen pública. El consumo promedio es 30 metros cúbicos de agua y se espera que en mediano plazo instalar unas columnas con resinas de

intercambio iónico para poder reutilizar todas las aguas utilizadas en el proceso y sólo reemplazar las pérdidas por evaporación, además de la utilización de recuperadores para la recuperación de ácido crómico y remoción de residuos tóxicos en las aguas.

Las semejanzas con el trabajo en desarrollo, es la búsqueda de el mejoramiento del proceso de cromado en una empresa pequeña, de apenas 10 operarios, para la reducción de costos, lo cual es algo similar a lo que se desea hacer en la empresa en cuestión, además de la remoción de residuos tóxicos en las aguas procedentes de tal proceso, las diferencias están reflejadas en el uso de de resinas de intercambio iónicos para la reutilización de las aguas empleadas durante el proceso.

2.1.5 Oviedo, E., Sánchez, M. (1997). **“Evaluación de alternativas para la recuperación de cromo a partir de los efluentes de una empresa manufacturera de pigmentos orgánicos.”** Universidad de Carabobo. El objetivo principal de este proyecto es la de la evaluación de las alternativas para la recuperación del cromo a partir de los efluentes que se obtienen en la manufactura de pigmentos orgánicos.

Entre las principales conclusiones se encuentran que la precipitación del cromato utilizando acetato de plomo permite reutilizar el cromo en el proceso de fabricación del pigmento amarillo cromo medio, aumentando la producción en un 5%, obteniéndose un efluente con niveles de cromo por debajo de la máximo permitido por las leyes ambientales venezolanas.

La analogía de este proyecto de grado con la investigación, es que se desea disminuir la cantidad de cromo presente en los efluentes, solo que en el presente trabajo se tratará de eliminar es el que es procedente de un proceso de cromado y este provenía es de un manufactura de pigmentos.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación se presentan las secciones de la bibliografía consultada durante el desarrollo del estudio.

2.2.1 RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO

Elgorriaga (2000), los procesos de recubrimientos electrolíticos o químicos, consisten en depositar por vía electroquímica finas capas de metal sobre la superficie de una pieza sumergida en una solución de iones metálicos o electrolíticos. Se emplean productos químicos relativamente puros, sales y metales, en el cual solo se emplea una pequeña cantidad de metal para incrementar el valor añadido de las piezas y una utilidad para múltiples fines.

El principio básico de los procesos de recubrimientos electrolíticos consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Estos iones se depositan en el cátodo (pieza que será recubierta) formando una capa metálica en la superficie.

Este proceso consiste en una serie de reacciones de oxidación-reducción. En primer lugar, y salvo excepciones (cromo) se oxida (o disuelven con carga positiva) el metal del ánodo. Los iones metálicos en solución se reducen o metalizan sobre las piezas a recubrir, ayudados por una fuente externa de corriente continua, actúa como cátodos.

En este tipo de revestimiento, la capa depositada forma cristales metálicos. En función del tipo de estructura cristalina se derivan las diferentes propiedades del recubrimiento. La estructura cristalina y las propiedades del recubrimiento depende de muchos factores: como los físicos (densidad de corriente, temperatura del baño, etc.), que frecuentemente son los parámetros a controlar dentro del proceso.

Según Ortega Maiquez (1990), al disolver una sal metálica en agua, se produce una disociación instantánea, quedando la molécula electrolíticamente disociada en iones portadores de cargas eléctricas denominados cationes y aniones, siendo los primeros los que se encuentran cargados positivamente y los otros negativamente. Una vez disociada la sal, si se tiene una fuente de electrones (ne^-) se pueden reducir los cationes (M^{n+}) a metal (M):



Esta reacción se produce en el cátodo, los átomos formados van configurando una estructura que varía en función del metal y del electrolito. Al mismo tiempo que la reducción se produce una reacción de oxidación en el ánodo, que varía en función del tipo de anión que forme la sal metálica. Ambas reacciones de reducción y oxidación se efectúan debido al aporte de la corriente eléctrica que suministra un rectificador de corriente continua.

Elgorriaga (2000), destaca que los rendimientos catódicos en una deposición electrolítica están en función de que se cumplan los parámetros de funcionamiento de los distintos electrolitos, como son:

- ✓ la concentración de los iones metálicos y especificación química.
- ✓ el tipo concentración de los aniones y/o complejantes.
- ✓ el pH.
- ✓ El tipo y concentración de tensoactivos.
- ✓ El tipo y concentración de aditivos específicos para conseguir las propiedades deseadas durante el proceso de recubrimiento.

Las propiedades deseadas dependen del campo de aplicación, desde una distribución homogénea del recubrimiento hasta una resistencia a la fricción y a la corrosión, entre otras.

Los campos de aplicación de los recubrimientos metálicos se dividen en tres grupos:

- Recubrimientos decorativos.
- Recubrimientos anticorrosivos.
- Recubrimientos funcionales.

El área de recubrimientos funcionales se subdivide en tres grupos:

- Recubrimiento para la protección contra el desgaste y la fricción.
- Recubrimientos con propiedades eléctricas especiales.
- Recubrimiento que posibilitan la realización de soldaduras.

Los electrolitos se clasifican en función de los componentes, los componentes principales de un electrolito son:

- Sales, que contienen en disolución el metal cuya deposición se pretende.
- Aditivos para influir sobre las propiedades del electrolito.
- Aditivos para influir sobre las propiedades del recubrimiento.

El recubrimiento electrolítico de las piezas se produce fundamentalmente por inmersión en un baño. Para ello se introducen las piezas en los baños donde se encuentra el electrolito, se les aplica corriente como cátodo, se recubren y se secan. Al extraer las piezas del baño, arrastran una cantidad del electrolito sobre la superficie de las piezas. Esa película superficial arrastrada se elimina en un proceso de lavado posterior para que no interfiriera en las siguientes operaciones o presente las condiciones de acabado exigidas. En función de la producción, la diversidad de recubrimientos y el grado de tecnificación, los procesos de recubrimientos pueden ser manuales o automáticos.

TABLA 2.1 PRINCIPALES CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS Y QUÍMICOS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE REVESTIMIENTO

Tipos de Recubrimientos	Campos de aplicación de los recubrimientos				
	Decorativos	Protección Anticorrosiva	Recubrimientos Funcionales		
			Antifricción	Electrotecnia	Soldadura
Plomo					+
Aleaciones de plomo-estaño		+	+	+	+
Cromo	+	+	+		
Oro y aleaciones de oro	+	+		+	+
Cobre	+			+	+
Aleaciones de Cobre	+				+
Níquel (electrolítico)	+	+	+	+	+
Níquel (químico)	+	+	+		+
Plata	+			+	+
Cinc		+			
Estaño		+		+	+

Fuente: Elgorriaga. 2000. **Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. España.2000**

En la Tabla 2.1 se puntualizan las diversas funciones de cada uno de los metales empleados en la electrodeposición, donde se puede destacar las múltiples funciones que presenta el níquel electrolítico tanto como recubrimiento así como su función de antifricción, importante para el tipo de piezas recubiertas como es el caso de tuercas y seguros y su empleo como agente anticorrosivo para dichas piezas de igual forma que se emplea el recubrimiento de cromo y su efecto decorativo (apariencia lustrosa).

TABLA 2.2 RENDIMIENTO, DENSIDAD DE CORRIENTE EMPLEADA Y EL VOLTAJE USADO PARA LOS DIVERSOS RECUBRIMIENTOS ELECTROLÍTICOS

BAÑO ELECTROLÍTICO	VOLTAJE (V)	DENSIDAD DE CORRIENTE (Amp /dm ²)	RENDIMIENTO CATÓDICO (%)
Desengrase	6-8	6	----
Niquelado	4-6	6	96
Cromado	8-15	12	15

Fuente: Elgorriaga. 2000. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. España.2000

En la Tabla 2.2 se observa los diversos voltajes y densidades de corriente empleadas en las piezas en cada una de las etapas del sistema de cromado que se emplea en la empresa, destacándose el rendimiento catódico de cada uno de los recubrimientos, siendo el del baño de níquel mucho mayor que el del cromo, esto se debe principalmente a la cantidad que se deposita de níquel en las piezas y el tiempo de residencia es mucho mayor que en el baño de cromo.

2.2.1.1. Tratamientos previos

Una línea de recubrimientos electrolíticos esta compuesta por numerosas operaciones que, en función de las exigencias de calidad y el campo de aplicación seleccionado pueden agruparse del siguiente modo:

- Pre-tratamiento mecánico de las superficies.
- Desengrase.
- Decapado (no empleado dentro de la empresa)
- Activado o neutralizado.

A) Pre-tratamiento mecánico: este se emplea para eliminar residuos, defectos o asperezas que quedan remanentes en las piezas luego del proceso de fabricación, con procesos como: cepillado, pulido y rectificado. También se emplean tambores giratorios, donde se emplea soda cáustica como abrasivo, siendo el paso final al proceso de pre-tratamiento, para luego someter a las piezas a un proceso de lavado, ya que durante este proceso se deposita dentro de la pieza, cierta cantidad de la grasa y del abrasivo empleado, así como el polvo metálico o viruta.

B) Desengrasantes: en el proceso de fabricación de las piezas se emplean una serie de compuestos entre los cuales destacan: grasas, aceites, taladrinas y sustancias similares como refrigerantes y lubricantes. Algunas veces también se engrasan las piezas como protección anticorrosivo temporal. En el desengrase se emplean dos tipos: el desengrasante químico, que sirve para remover grasas y aceites, es como una especie de enjuague y el desengrasante electrolítico, donde se hace pasar corriente a través de las piezas mientras se encuentran sumergidas en el desengrasante.

El desengrasante electrolítico es una limpieza que se realiza por inmersión con agitación provista por el movimiento ascendente de burbujas de hidrógeno u oxígeno formadas por la descomposición del agua en la solución. Este desengrase es un medio efectivo para la eliminación de residuos de pulido. La operación puede ser anódica o catódica. Los productos de limpieza utilizados son mezclas alcalinas para uso con corrientes y deben poseer las siguientes características:

- Alta conductividad eléctrica, dada por el hidróxido de sodio.
- Acción humectante y emulsificante, suministrada por tensoactivos no iónico, algunos iónicos surfactantes, requeridos para aumentar la solubilidad de los no iónicos. La concentración de tensoactivos debe ser suficiente para humectar y, emulsificar residuos de grasas y aceites, y para producir un manto de espuma que evite salpicaduras, pero no tan alta como para que se formen grandes burbujas de hidrógeno y oxígeno, ya que en tal caso, cualquier chispa a partir de contactos deficientes puede producir explosiones.

- Acción defloculante, para suspender las partículas sólidas removidas de las piezas. los agentes no deben depositarse en el electrodo.
- Acción ablandadora de agua.
- Acción buffer.
- Acción de inhibición de la corrosión.

C) Activado: este proceso es también llamado neutralizado o decapado suave, se emplea para asegurar que no se forme una capa de óxido sobre la superficie del metal o de eliminarla, luego que ha sido tratada y lavada en sucesivas etapas, antes de pasar a los baños de recubrimiento electrolítico. Esta capa de óxido que se forma hace que la superficie se pasive (se forma una capa protectora sobre la pieza), formando imperfecciones sobre la pieza, produciendo que el flujo de electrones sea menor, por lo tanto no ocurre una conducción efectiva. Se emplean soluciones con ácidos muy diluidos, que además de eliminar las capas de óxido, permiten eliminar las manchas generadas por compuestos orgánico e inorgánicos adheridos a las piezas.

2.2.1.2. TRATAMIENTO PRINCIPAL

En esta etapa, la pieza es sometida al proceso de recubrimiento de metales, para mejorar su apariencia física, al igual que incrementar su propiedad anticorrosiva y de protección.

A) Deposición de un recubrimiento metálico: se debe destacar que existen una serie de operaciones iniciales que podrían denominarse la fabricación de piezas, que puede tener incidencia sobre la calidad del acabado metálico y las operaciones integradas de la línea de recubrimientos.

A.1 Niquelado electrolítico: el níquel es un elemento dúctil y maleable, suficientemente duro, y mas resistente a la corrosión que el acero inoxidable pero en menor proporción que el cromo. Es de color parecido al hierro pero un poco más amarillento y menos gris. Cuando se aplica cromo con objeto decorativo se suele hacer siempre sobre una capa de níquel más gruesa.

Existen tres tipos diferentes de baños de níquel: níquel mate, níquel brillante y el tercero en baño de níquel con baja concentración y ánodo inactivo. El baño de níquel mate sirve para dar capas gruesas de níquel sobre hierro, cobre, latón y otros metales, es un baño muy concentrado que permite trabajar con corrientes de 8 - 20 amperios por decímetro cuadrado, con el cual se consiguen gruesos capas de níquel en tiempos razonables. Debido a que dentro de la empresa se emplea acero inoxidable este tipo de baño no se emplea, sino que utilizan el baño de níquel brillante.

El niquelado brillante se realiza con un baño de composición idéntica al baño de níquel mate que se le añade un abrillantador. Presenta la siguiente composición: sulfato de níquel 200 g/L, cloruro de níquel 60 g/L, ácido bórico 10 g/L, abrillantadores como: sacarina 1,5 g/L y humectante 0,5 g/L. El electrolito de níquel es el denominado Watts. Se debe tener en cuenta para que el acabado sea de calidad espejo, la pieza debe estar pulida con esa calidad, una capa de níquel brillante es brillante y lisa si es muy fina, si se pretende dar una capa gruesa no quedara brillante ya que empezaran a surgir imperfecciones conforme aumenta el grueso de la capa. Por lo que es conveniente agitar para evitar las burbujas y para que la capa de níquel sea uniforme. La temperatura optima de trabajo esta entre 40 y 50 °C, pero se puede trabajar bien a la temperatura ambiente.

Los recubrimientos de níquel son una base muy apropiada para la mayoría de recubrimientos como el cromo. A partir de ciertos espesores presenta buenas propiedades anticorrosivas. Por ello se emplea en aplicaciones anticorrosivas y funcionales como son los componentes del automóvil y las herramientas.

A.2 Cromado electrolítico: el cromo es un metal muy difícil de trabajar en frío porque es muy duro y quebradizo, pero cuando se trabaja en caliente es igual de difícil porque se oxida con una capa de óxido de cromo dura e infusible. Por estas razones el cromo no se suele emplear como metal puro salvo en ocasiones.

Debido a las dificultades de la metalurgia de cromo cuando es necesario aplicarlo se emplean básicamente dos procedimientos: sputtering y recubrimiento electrolítico. El recubrimiento electrolítico con cromo es extensivamente usado en la industria para

proteger metales de la corrosión y mejorar su aspecto (cromo decorativo). También se emplea para restaurar piezas metálicas o conseguir superficies muy duraderas y con bajo coeficiente de rozamiento (cromo duro).

El llamado cromo duro son depósitos electrolíticos de espesores relativamente grandes (0,1 mm) que se depositan en piezas que deben soportar grandes esfuerzos de desgaste. Generalmente la capa de cromo depositada no es totalmente uniforme por lo cual se da espesor mayor del necesario y después se rectifican las piezas para conseguir las dimensiones y acabado adecuados.

El cromo brillante o decorativo son finas capas de cromo que se depositan sobre cobre o níquel para mejorar el aspecto de algunos objetos. El color del cromo es más azulado y reflectante que el níquel y es mucho más resistente a la corrosión ya que inmediatamente se forma una fina e imperceptible capa de óxido que protege al metal. El cromo tiene poco poder cubriente, menos aun si las capas que se depositan son tan finas como una micra. Por ello, las superficies a cubrir deben estar bien pulidas, brillantes y desengrasadas ya que el cromo no va a tapar ninguna imperfección. Es debido a esto, por lo que frecuentemente las piezas que se croman con objeto decorativo se recubren con cobre y níquel antes de ser cromadas. El cromo se aplica bien sobre el cobre el níquel y el acero, pero no sobre el zinc o la fundición.

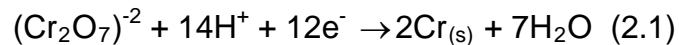
Para conseguir un baño electrolítico de cromo se disuelve ácido crómico en agua en una proporción de 300 g/L y se añade 2 g/L de ácido sulfúrico, se emplean temperaturas de 36 a 45 °C. Se emplea como ánodo un electrodo de plomo o grafito. El plomo sirve como ánodo porque se forma una placa de óxido de plomo que es conductor pero que impide que se siga corroyendo por oxidación anódica. Al contrario que en otros baños como los del níquel, el cromo que se deposita en el cátodo procede del ácido crómico disuelto y no del ánodo, por lo que poco a poco se va empobreciendo en cromo la solución. Con el uso el cromo se va agotando y hay que reponerlo añadiendo más ácido crómico.

El ácido crómico se descompone por la corriente eléctrica en cromo metálico que se deposita en el cátodo y oxígeno que se desprende en el ánodo. El ácido crómico (en

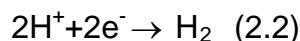
realidad es un anhídrido soluble en agua) contiene aproximadamente un 50 % en cromo metálico, esto significa que para que un litro de baño pierda solo un 10 % de concentración tienen que haberse depositado 15 gramos de cromo. Lo cual equivale a recubrir una superficie de aproximadamente dos metros cuadrado con una capa de cromo de 1 micras, más que suficiente para efectos decorativos.

A.2.1 Reacciones involucradas en el baño de cromo

○ **Reacciones catódicas:** la reducción a cromo metálico se lleva a cabo desde los aniones complejos a través de intermediarios como compuestos de cromo III y se puede expresar a través de la siguiente reacción global:

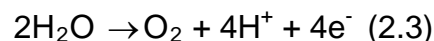


La eficiencia de la electrodeposición de cromo es muy baja, entre 10 y 25 % dependiendo del proceso y como excepción 40 %. El potencial de electrodeposición de cromo desde electrolitos de cromado cae en la zona de formación de hidrógeno. Esto significa que se pueden producir ambas reacciones. Al menos, la mitad de la energía se utiliza en la formación de hidrógeno, según la reacción:

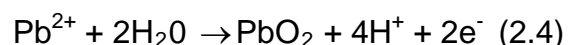


Es por ello que la eficiencia de la reacción es tan baja.

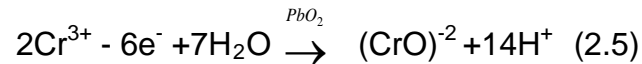
○ **Reacciones anódicas:** la reacción principal es la formación de oxígeno:



Pero en la práctica, es muy importante la formación de una capa marrón negruzca de dióxido de plomo sobre la superficie del ánodo, la cual proviene de los compuestos de plomo (II) que se encuentran en el baño.



Esta capa tiene un efecto catalítico sobre los iones Cr (III) formados en el cátodo, ya que provoca su oxidación a compuestos de Cr (VI), como ácido crómico:



A través de estas reacciones se establece en el electrolito de cromado un equilibrio para la concentración de iones Cr (III), en las condiciones de trabajo apropiadas.

2.2.1.3 TRATAMIENTOS POSTERIORES

Posterior a los tratamientos de recubrimiento, la pieza pasa por la etapa de acabado final, donde se le retira la cantidad de líquido que pueda poseer en su interior, de la etapa de recubrimiento y se le hace un baño adicional para evitar que la pieza se oxide por dentro. Es necesario realizar estos tratamientos para lograr el acabado deseado de la pieza, las estas etapas son las que se describen a continuación:

- Recuperador (enjuague estanque): después de los baños de recubrimiento, las piezas se enjuagan en un tanque con agua para limpiarlas de residuos del baño anterior. El enjuague almacenado en este tanque se puede emplear para reponer las perdidas por nivel de los baños de recubrimiento.
- Enjuagues: después de pasar por el enjuague en estanque, las piezas aun presentan residuos de las sales de recubrimiento, lo que hace necesario un nuevo enjuague.
- Taladrina: luego que las piezas de la serie de lavados, estas son enjuagadas con taladrina, la cual pertenece a una serie de productos con un alto poder lubricante y refrigerante, empleados mayoritariamente en la industria del mecanizado metálico. Concretamente, la taladrina optimiza las condiciones físico-químicas de la zona de contacto entre metales prolongando la vida de las herramientas y reduciendo la energía de fricción. Además refrigera para evitar un sobrecalentamiento de piezas y herramientas, evacua limaduras, evita óxidos, elimina gérmenes y bacterias, etc.

2.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS METÁLICOS

En el caso del acero como el material empleado en la fabricación de las piezas dentro de la empresa, la selección de un determinado recubrimiento metálico se puede efectuar y justificar sobre la base de una de las siguientes propiedades físicas, cuando se trata de proteger de una manera eficaz y económica la superficie del acero en condiciones determinadas:

- Impermeabilidad, esto es, que el recubrimiento sea continuo y de espesor suficiente, lo cual permitirá aislar la superficie del acero de los agentes agresivos.
- Resistencia mecánica de los metales utilizados en los recubrimientos, para garantizar una buena resistencia a los choques, rozamientos ligeros o accidentales, etc.
- Buena adherencia al acero.
- Posibilidad de proporcionar superficies pulidas o mates, capaces de conferir a los objetos un acabado con fines decorativos.

Para obtener buenos resultados con los recubrimientos metálicos, hay que tener en cuenta una serie de operaciones que deben llevarse a cabo con anterioridad a la aplicación del recubrimiento.

2.2.3. PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL

2.2.3.1. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Los residuos generados en este sector industrial se consideran potencialmente contaminantes debido a sus características, donde se encuentran principalmente metales pesados como: zinc, níquel, cromo hexavalente, cobre, cadmio, los cuales son considerados, inhibidores de tratamientos biológicos de residuos líquidos y dañinos para la salud. Debido a esto se deben considerar los volúmenes de agua utilizados en el proceso, sobre todo los de lavado y enjuague que presentan contaminantes en descargas continuas.

A) Fuente y caracterización de los residuos líquidos: la industria galvánica tiene un alto consumo de agua en los baños del proceso, en las etapas de lavado y enjuague. Las descargas de esta agua residuales están compuestas por efluentes que se caracterizan por su carga contaminante tóxica en términos de cianuro, metales pesados como cromo hexavalente, ácidos, álcalis. 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. 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

B) 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 dadas su naturaleza tóxica. La composición de estos lodos es variada, pueden contener

metales como níquel, cobre, cromo, zinc y otros metales pesados. 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 las abrazaderas 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.

C) 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. Constituye una 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.

Las cantidades de emisiones atmosféricas producidas por la galvanotécnica 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.

D) 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.

E) Contaminación del agua: en el rubro de la galvanotécnica 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.

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 2.3 se destacan los principales efectos producidos en la salud a partir de la exposición prolongada de los principales componentes que conforman los baños electrolíticos empleados en la empresa SAME S.A.

TABLA 2.3 EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA

Parámetro	Efecto de su inhalación	Efecto de su ingestión
Cromo	Cáncer pulmonar Cáncer gastrointestinal Enfermedades de la piel	Cáncer pulmonar Úlceras Perforaciones en tabique nasal Complicaciones respiratorias.
Níquel	Enfermedad respiratoria Defectos y malformaciones en el nacimiento Cáncer pulmonar Cáncer nasal	

Fuente: Guía para las buenas prácticas en el sector de galvanocopia. Fundes. Colombia. 2001

2.2.3.2. NORMAS QUE REGULAN LOS RESIDUOS TÓXICOS

En Venezuela existen regulaciones para los límites de vertido a los cuerpos de agua de residuos peligrosos, en el año 1998, el ministerio de recursos renovables publicó en gaceta oficial decretos que regulaban los límites de concentración de residuos o elementos peligrosos descargados al lago de Valencia, en el decreto N° 5212. En el N° 2289 del decreto 5212. Se consideran peligrosos o tóxicos todos aquellos desechos con concentraciones de cromo total superiores a 50 ppm. Para el año 1999, también se publicó en gaceta oficial, el decreto N° 5305, donde se establecían los límites de cargas máxicas establecidas para los parámetros críticos (como cromo). Este parámetro tiene un límite máximo de 2 ppm. Para ser descargado en vertidos líquidos en forma directa o indirecta al lago de Valencia.

2.2.3.3. REDUCCIÓN DE CROMO EN AGUAS RESIDUALES EN PLANTAS DE TRATAMIENTO

El cromo hexavalente (Cr^{+6}) no forma hidróxidos, en cambio, el cromo trivalente (Cr^{+3}) sí lo forma. Por ende, si existe cromo (VI) en el efluente, este debe ser llevado a cromo trivalente (+3) previo a la formación del hidróxido. Se suele hablar de reacciones de óxido/reducción (para reducir el cromo, se debe agregar un reactivo que se oxide). Dado que la reducción de cromo se ve favorecida en ambiente ácido, se suele utilizar agentes reductores ácidos, como se observan en la Tabla 2.4.

TABLA 2.4 PRINCIPALES COMPUESTOS REDUCTORES DE CROMO

Reactivo	Fórmula	Presentación
Sulfato ferroso	Fe(SO ₄)	Polvo, Solución
Metabisulfito de sodio	Na ₂ S ₂ O ₅	Polvo, Solución
Dióxido de azufre (anhídrido sulfuroso)	SO ₂	Burbujeo de gas

Fuente: Pagina Web: <http://www.cec.uchile.cl/~leherrer/iq651/Apunte1/Fisicoqapu01.htm>

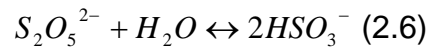
a) Reacciones que ocurren de la planta de tratamiento de aguas residuales con cromo

En el caso del cromo, se observa que el cromo hexavalente (Cr⁺⁶) no forma hidróxido insoluble pero el trivalente (Cr⁺³) si lo forma. Para remover el cromo hexavalente se debe recurrir a una primera etapa de reducción, seguida de una segunda etapa de formación del hidróxido de Cr⁺³ y, finalmente, una sedimentación o filtración (o ambas, según sea el objetivo de concentración final).

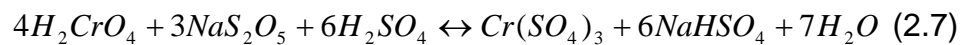
A.1 Primera etapa (Reacción de detoxificación o reducción): para la primera etapa de reacción, se emplea un primer reactor, cuya entrada tendrá un caudal (que determina el tamaño del equipo) determinado por los procesos aguas arriba, y una concentración variable de Cr⁺³ y Cr⁺⁶. Esta etapa tiene como objetivo de diseño producir el mismo caudal, pero garantizando que todo el cromo esté en el estado +3. Esta reacción es rápida si se garantiza un ambiente ácido (pH 2 a 3) dentro del reactor. Para asegurar la reacción se deberá agregar un agente reductor (Tabla 2.3). Como es habitual, los potenciales de óxido reducción (POR), cambian bruscamente al agotarse la especie oxidante o la especie reductora. Por lo tanto, la dosificación del agente reductor se podrá realizar manteniendo el POR que refleje una casi total conversión de Cr⁺⁶ a Cr⁺³.

Los agentes reductores son clásicos en la industria química y se suele recurrir a anhídrido sulfuroso, SO₂, si bien el uso de gases podría ser incómodo así que se recurre a ácido sulfuroso (H₂SO₃), bisulfito de sodio (NaHSO₃) o metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅). La reducción del cromo se debe a que el ion Ferroso se oxida a ion Férrico, mientras que el metabisulfito y el dióxido de azufre se oxidan a sulfato. La oxidación del

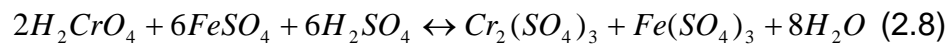
reactivo produce la reducción del cromo. El proceso de reducción es muy rápido y permite detoxificarlo, y además precipitar el poco soluble cromo III. La reacción dura aproximadamente 15 minutos a un pH entre 2 y 3 con metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), esta reacción produce emanaciones de gases de SO_2 que son tóxicos y corrosivos. El metabisulfito de sodio en solución acuosa forma un equilibrio con el ion bisulfito:



Produciéndose la siguiente reacción:

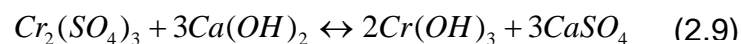


Si se emplea sulfato ferroso, la desventaja principal es que el ion férrico formará hidróxido de hierro (jarositas) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que es también insoluble, así que se agregará al lodo en las condiciones alcalinas subsecuentes que buscan precipitar el cromo, una ventaja es que esta reacción no produce gases como en la reacción de metabisulfito donde se genera SO_2 . La reacción global debe usar ferroso en 2,5 veces la molaridad de cromo (IV).



A.2 Segunda etapa (Reacción de neutralización y precipitación): luego de la primera etapa, se obtiene una línea de proceso con pH entre 2 y 3 y todo el cromo en su estado más reducido, Cr^{+3} . La precipitación de metales se basa en el grado de solubilidad de metales a diversos rangos de pH de una solución. Mientras que la mayoría de metales pesados son solubles en medios ácidos y precipitan en medios alcalinos, el cromo III puede disolverse nuevamente a pH muy elevado dependiendo del álcali empleado.

En este caso, se adoptará la reacción de la línea de proceso con cal apagada o $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La estequiometría será:



Las aguas resultantes pueden ser dispuestas o recicladas a proceso, la segunda alternativa es la preferida para minimizar la contaminación. Por otra parte, el hidróxido de cromo +3 es considerado inocuo por las reglas ambientales. Con el metabisulfito de sodio o con el dióxido de azufre, la reacción se produce a partir del H_2SO_3 (ácido sulfuroso) producido en solución acuosa. La ionización del ácido (ley de acción de masas) es:

$$\frac{[H^+] * [HSO_3^-]}{[H_2SO_3]} = 1,72 * 10^{-2}$$

Sobre pH 4, sólo un 1% estará ionizado, de modo que la reacción sería muy lenta. A pH bajo 2, la reacción es prácticamente instantánea. Los requerimientos teóricos por ppm de cromo son: 2,81 ppm de $Na_2S_2O_5$ al 97,5 %, 1,52 ppm de H_2SO_4 , 2,38 ppm cal al 90% y 1,85 ppm de SO_2 .

La cantidad de cal requerida para la alcalinización, en la segunda ecuación, se reduce ligeramente por la naturaleza alcalina del sulfato de cromo 3, que se forma a pH 3. Cuando el pH llega a 8,9 el hidróxido de cromo es prácticamente insoluble; la experiencia muestra que se pueden retirar lodos de este hidróxido en el orden 1 a 2% en peso. Si se usa SO_2 , se debe agregar exceso de este reactivo para compensar el consumo por el oxígeno que está usualmente disuelto en las aguas (agregar unas 35 ppm). El consumo de ácido no se puede calcular y al igual que la neutralización, se debe titular experimentalmente una muestra representativa (el cálculo requeriría de un conocimiento exhaustivo de la composición de la solución, asunto poco común en la práctica industrial).

El lodo se puede despachar a secado en lechos de arena, techados. En la época de sequía debido a la temperatura ambiente alrededor de 26 y 27 °C, se obtiene un lodo después de unas 48 horas en lecho de arena. El proceso en continuo requiere un tanque de acidificación y reducción, seguido de un tanque de mezclado y reacción donde se dosifica álcali y luego un sedimentador. Los tiempos de retención en cada tanque deben estimarse entre dos y cuatro veces los tiempos teóricos. En teoría se emplean 20 minutos para floculación, reducción a 4 veces el tiempo teórico, sedimentación a una tasa no superior a 20 ($m^3/día$)/ m^2 .

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presentara una descripción detallada de la metodología empleada para el desarrollo de la investigación.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según los objetivos planteados, la presente investigación se encuentra entre los trabajos de proyecto factible, la cual consiste en la investigación, elaboración y planteamiento de propuestas destinadas a la disminución de residuos tóxicos de las aguas residuales y el aprovechamiento de las materias primas. El proyecto esta sustentado en una investigación tanto documental como de campo, debido a la recolección de datos acerca de la ejecución del proceso de cromado en la actualidad y por medio del empleo de información suministrada por bibliografía especializada, proponer alternativas que ayuden a mejorar la calidad del proceso y a disminuir la cantidad de residuos tóxicos que se generan en el mismo.

3.2 DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN

Para llevar a cabo el logro de los objetivos plantados de la investigación se empleo la siguiente metodología, la cual se describe a continuación:

3.2.1. Diagnóstico del proceso de cromado actual de la empresa SAME S.A. con la finalidad de generar las mejores propuestas para la reducción de residuos y un mejor aprovechamiento de los recursos y materias primas.

3.2.1.1. Mediante visitas a la planta con regularidad, entrevistas a los operarios tanto del proceso de cromado como los ubicados en otras áreas de fabricación de las piezas, realizar tomas de datos del proceso por medio del uso de tablas de información.

3.2.1.2. Luego de obtener toda la información necesaria acerca de la ejecución del proceso de cromado, determinar los puntos críticos dentro del proceso por medio del uso de matrices de selección, en base a criterios de ponderación acerca del nivel de influencia de dichos puntos en la ejecución del proceso en la actualidad.

3.2.2. Análisis los factores más importantes que puedan intervenir sobre el proceso de cromado a fin de determinar las causas más influyentes sobre el caso en estudio.

3.2.2.1. Posterior a identificar los factores o puntos críticos más influyentes dentro del proceso de cromado, a través del empleo de bibliografía especializada y conocimiento técnico de los operarios, se determinan las posibles causas que hayan producido tal comportamiento de estos factores en la actualidad.

3.2.2.2. Para la construcción del diagrama causa-efecto se emplean los siguientes pasos:

1. Ejecutar una selección del formato causa-efecto. Colocar las causas principales: materiales, método, mano de obra, medio ambiente y maquinaria.
2. Se realizan preguntas para cada causa individualmente, para conocer las sub-causas de cada una de ellas, se repiten las preguntas hasta que se agoten las causas.
3. Se coloca el planteamiento del problema en el lado derecho del diagrama.
4. Se colocan las categorías de las causas principales conectadas a la espina dorsal del diagrama.
5. Se escriben las causas analizadas en su categoría correspondiente. Tomando en cuenta que cada causa se coloca en una sola categoría.
6. Se interpreta las raíces de cada causa siguiendo los siguientes patrones:
 - ❖ Búsqueda de causas que aparezcan repetidamente a lo largo de las categorías de causas principales.

- ❖ Selección de las mismas a través de un consenso estructurado, como la técnica de grupo nominal o multivotación.
- ❖ Recolección de datos a través de hojas de comprobación u otros formatos para determinar las frecuencias relativas de las diferentes causas.

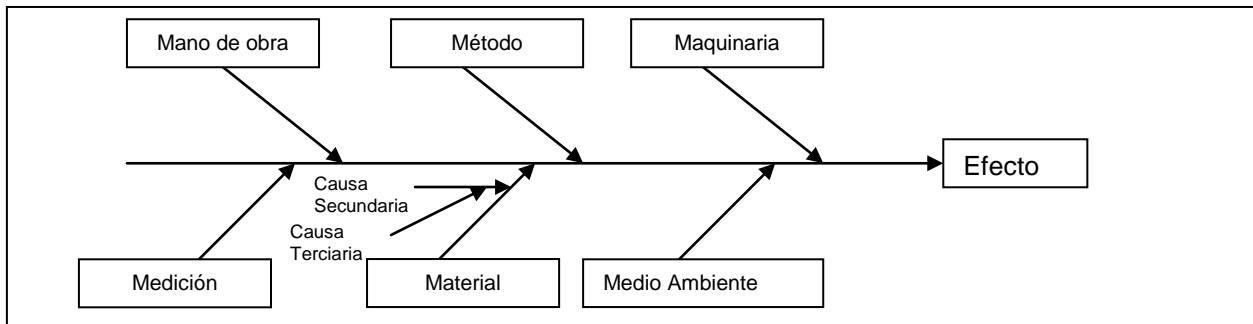


Figura 3.1 Esquema del diagrama causa-efecto. Fuente: **Torres de Forzanti, Liana**. Análisis y resolución de problemas en la industria. Universidad de Carabobo.1992.

3.2.2.3. Luego de jerarquizar los factores, se seleccionan los de mayor importancia en la actualidad, que requieren de atención urgente para así mejorar el proceso de cromado.

3.2.3. Generación de alternativas con el fin de buscar soluciones a los posibles factores que pueden estar afectando el proceso de cromado.

3.2.3.1. Mediante la herramienta de tormenta de ideas, se plantean distintas formas de utilizar al máximo los recursos con los que se cuentan y detectar los que requieren de mayor atención en la actualidad.

3.2.3.2. Posterior al planteamiento de las alternativas más factibles que se ajustan a los requerimientos de la empresa, por medio de revisión de bibliografía especializada y asesoramiento con especialistas en la materia, se hace una especie de selección previa de alternativas para cada uno de los sectores estudiados, para luego proceder al proceso de selección.

3.2.3.3. Mediante la herramienta de tormenta de ideas, se plantean distintas formas de reducción de la cantidad de residuos en los efluentes proveniente del baño de cromo.

3.2.3.4. Por medio de revisión de bibliografía especializada y conocimiento de lo que desea la empresa, se plantearon alternativas factibles que se ajustaran a los requerimientos de la empresa, tanto desde el punto de vista económico como de espacio destinado para dicha actividad, para darle solución al sistema de tratamiento de las aguas residuales prácticamente inexistente dentro de la empresa.

3.2.4. Selección de la(s) alternativa(s) que se ajusten mejor a los requerimientos de la empresa que ayude a mejorar la ejecución del proceso de cromado.

3.2.4.1. Análisis de las alternativas para la minimización de recursos y materias primas:

○ Establecimiento de criterios y ponderación: se establecen los criterios para la determinación de las alternativas más adecuadas en cada sector, tanto a nivel económico, práctico y técnico, en busca de la obtención de beneficios relevantes en la ejecución del proceso de cromado. En la matriz de selección siguiente, se le asignan una ponderación a los criterios, dicha puntuación corresponde a criterio del que realiza la matriz de selección, basándose en el estudio previo realizado a la situación actual y sus posibles causas. Los criterios a emplear son los siguientes:

- Espacio requerido: la alternativa planteada debe ocupar el menor espacio físico posible, para así evitar destinar el espacio disponible para otros usos más indispensables. La ponderación es de 10.
- Cantidad de equipos a emplear: se desea que la alternativa seleccionada posea la menor cantidad de equipos a instalar, para que así la implantación sea rápido y con un menor costo. La ponderación es de 9.
- Costo de materia prima: al igual que la cantidad de equipos, el sistema que necesite la menor cantidad de materia prima para realizar su operación es la mejor y más sencillo de realizar. La ponderación es de 8.

- Costo de energía: el sistema que requiera de una menor cantidad de energía para ser ejecutado es el que tendrá la menor puntuación. La ponderación es de 6.
- Cantidad de residuos generados: se pretende que el sistema a implementar genere la menor cantidad de desechos tóxicos al realizar el tratamiento a las aguas residuales. La ponderación es de 7.

3.2.4.2. Se realiza un cuadro comparativo con las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas seleccionadas, para así conocer los beneficios al proceso de la implantación de las mismas.

3.2.4.3. Se aplica una matriz de selección como se observa en la Tabla 3.1, para escoger las alternativas con mayor importancia de aplicación para cada uno de los sectores escogidos para realizarle mejoras, empleando el siguiente formato:

TABLA 3.1 MODELO DE MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y RECURSOS

Factores	Pond.	VB	D	A	DM	FD	E
Alternativas							
Espacio requerido	10						
Cant. De equipos a emplear	9						
Costo de Materia prima	5						
Costo de energía	6						
Cant. De Residuos generados	8						
Total							

VB: vida de los baños, D: desengrasante, A: arrastre, DM: desmetalizado. FD: fugas y derrames, E: energía.

3.2.4.4 Luego de generar las alternativas de tratamiento de efluentes se procede a la descripción de cada una de ellas.

- Realización de la descripción de cada una de las alternativas planteadas, de acuerdo a los equipos a emplear, el espacio donde se colocan, la materia prima a utilizar, etc.
- Establecimiento de los criterios para la determinar las alternativas más adecuadas, tanto a nivel económico, práctico y técnico, en busca de obtener el mejor método de tratamiento de aguas residuales para la empresa en estudio.

Para todos estos factores, la alternativa más factible será aquella cuya puntuación sea la menor en todos los aspectos. En la matriz de selección se le asigna una ponderación a los criterios de selección, dependiendo de la importancia del criterio en la selección de la alternativa más adecuada. Los factores son los mismos que para la reducción de materias primas y recursos, solo que las ponderaciones varían, adaptados a las alternativas de los sistemas de tratamientos de agua. Son los siguientes:

- Se requiere que el sistema de tratamiento que ocupe el menor espacio físico posible, pero que resulte eficiente para disminuir la cantidad de residuos en las aguas residuales. La ponderación es de 10.
 - Se desea que la alternativa seleccionada posea la menor cantidad de equipos a instalar, para que así la implantación sea más rápido y con un menor costo. La ponderación es de 9.
 - El sistema que necesite la menor cantidad de materia prima para realizar su operación es la mejor y sea sencillo de realizar. La ponderación es de 8.
 - El sistema que requiera de una menor cantidad de energía para ser ejecutado es el que tendrá la menor puntuación. La ponderación es de 6.
 - Se requiere que el sistema a implementar genere la menor cantidad de desechos tóxicos al realizar el tratamiento a las aguas residuales. La ponderación es de 7.
- Análisis técnico de cada alternativa: posterior a la descripción de cada una de las alternativas, y basándose en los criterios establecidos, describir las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas en un cuadro comparativo.

o Selección de las mejores alternativas de minimización de recursos y materias primas: por medio del uso de la matriz de selección, escoger las alternativas con mayor puntuación de acuerdo a los criterios establecidos, para luego realizar el diseño técnico y estudio económico.

4.3.4.4 Selección de la alternativa de disminución de residuos tóxicos: mediante el uso de la matriz de selección que se observa en la Tabla 3.2, se elige la alternativa con menor puntuación de acuerdo a los criterios establecidos, para realizarle luego el diseño técnico y estudio económico. Se empleó la siguiente matriz de selección:

TABLA 3.2 MODELO DE MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS

Factores Alternativas	Pond.	Sistemas por carga	Sistema Lancy
Espacio requerido	10		
Cant. De equipos a emplear	9		
Costo de Materia prima	7		
Costo de energía	6		
Cant. De Residuos generados	8		
total			

3.2.5. Estimación de los indicadores económicos de las alternativas seleccionadas con la finalidad de determinar la rentabilidad.

3.2.5.1. A través de información especializada, determinar las consecuencias de seguir utilizando el método de tratamiento de aguas realizado dentro de la empresa, por medio de análisis en las aguas residuales y establecer la importancia de cambiar este tipo de tratamiento.

3.2.5.2. Debido a que la empresa no se encuentra registrada en el ministerio del ambiente u otra organización, por lo tanto no le realizan visitas para revisar a los niveles de residuos tóxicos desechados al ambiente. Una vez que se realicen los ajustes correspondientes, se debería buscar una inspección por parte del ministerio del ambiente para que la empresa este dentro de la normativa establecida.

3.2.5.3. Luego de realizar el diseño técnico de las propuestas seleccionadas, indicar los equipos adecuados y de requerimiento mínimo para cada una de ellas, a partir de la revisión bibliográfica, buscar cotizaciones de los equipos, seleccionar los que produzcan un rendimiento adecuado para cada una de las alternativas, para posteriormente determinar:

- Se consideró el consumo anual requerido de las materias primas a utilizar en la alternativa seleccionada de tratamiento de aguas residuales y desmetalizado de las piezas.
- Mediante el establecimiento de los equipos a emplear se determinó al costo de la adquisición de equipos por parte de la empresa.
- Se determinó todo lo referente al costo de operación de la instalación de equipos nuevos, mantenimiento, energía a utilizar, etc.
- Estimación de la rentabilidad de implementar la propuesta seleccionada: una vez determinado los costos de los equipos y materia prima se realiza el estudio económico que contempla lo siguiente:

- Inversión inicial: capital fijo y capital de trabajo.
- Costos operacionales: materia prima, energía, mantenimiento, personal, etc.
- Depreciación de los equipos.
- Ingresos brutos
- Impuesto sobre la renta.
- Flujo monetario neto y los indicadores económicos (Rentabilidad del proyecto): valor actual, tasa interna de retorno y tiempo de pago.

TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO

Nombre de la etapa	Temperatura (°C)	Tiempo de residencia	Capacidad (L)	Composición (% o concentración) pH	Tiempo de uso	Observaciones
Desengrasante nº 1	40	5 min.	1000	pH: 5 Es comprado en una distribuidora, que no revelan el contenido de dicho desengrasante, que esta disuelto en agua.	Aprox. 1 año	<ul style="list-style-type: none"> Se emplea para remover grasas y aceites presentes en las piezas. Se emplea como enjuague previo al desengrasante electrolítico.
Desengrasante nº 2	60	5 min.	1000	pH: 5 Es comprado en una distribuidora, que no revelan el contenido de dicho desengrasante, que esta disuelto en agua.	Aprox. 1 año	<ul style="list-style-type: none"> Se emplea para remover restos de grasas y aceites de las piezas. Se aplica corriente eléctrica a las piezas cuando se introducen en el baño.
Enjuague 1-2	Temp. Amb.	15 seg.	1000	pH: 6 - 7	Cuando se observe mucha turbidez en el agua	<ul style="list-style-type: none"> Período de enjuague corto. Remoción de restos de desengrasantes en las piezas.
Enjuague 3	Temp. Amb.	5 seg.	1000	pH: 3, ya que se encuentra ácido sulfúrico diluido en pequeñas proporciones	Cuando se observe mucha turbidez en el agua	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo corto de residencia. Se emplea como ultimo paso para la remoción de partículas e impurezas.

TABLA 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO (CONTINUACIÓN)

Niquelado	58	30 min.	2700	pH :4,4 Compuestos: Níquel metal 93g/L Sulfato de níquel 248 g/L Cloruro de níquel 70g/L Ácido bórico 50g/L Además se le añaden unos abrillantadores	Cada 3-4 meses, se coloca cierta cantidad de níquel sólido, para reponer el consumido	<ul style="list-style-type: none"> El período de adición de níquel metálico depende de la cantidad de piezas procesadas. Se realiza un chequeo cada tres meses para verificar el nivel del mismo.
Enjuague 4- 5	Temp. Amb.	5 seg.	1300	Ácido diluido, ya que presenta residuos de la solución anterior	Se emplea como restaurador del nivel del baño de níquel, cuando desciende el nivel se añade agua.	<ul style="list-style-type: none"> Se emplean como enjuague en estanque. Ayuda a regular el nivel del baño de níquel, cuando su nivel desciende por evaporación.
Cromado	40	1 min. y 15 segundos	1300	pH : 1 350 kilos ácido crómico Ácido sulfúrico: aprox. 50 litros (donde incluye un catalizador) Plomo y estaño 70 cm (ánodos) (varillas delgadas)	Se reemplaza cuando el baño se contamina	<ul style="list-style-type: none"> El período de uso del baño de cromo es superior al de níquel. Se reemplaza cuando se contamina, ya que no puede ser recuperado.
Enjuague 6-7-8	Temp. Amb.	10 seg.	1300	Ácido, ya que presentan residuos de las solución anterior	No se reemplaza, sino que se le añade agua para reestablecer el nivel.	<ul style="list-style-type: none"> Se emplean como enjuague en estanque. Ayuda a regular el nivel del baño de níquel, cuando su nivel desciende por evaporación.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DEL PROCESO ACTUAL

En el siguiente capítulo se describe en forma detallada el proceso de cromado desarrollado dentro de la empresa, además de la presentación del diagrama de Ishikawa que representa los puntos claves donde se pueden presentar ciertas fallas que pudieran afectar el proceso.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

El proceso de electrodeposición o cromado desarrollado dentro de la empresa en estudio no es un proceso continuo, cuando se produce un volumen grande de piezas para ser recubiertas por los baños electrolíticos, se programan los días que se emplearán en la semana para el cromado de dichas piezas, la cantidad de días dependerá de la cantidad de piezas, generalmente se destinan de tres y cuatro días a la semana. Cuando se croman las piezas, no todas son del mismo tipo pero presentan medidas similares, con respecto a su longitud principalmente, es por ello que en ocasiones, las piezas en las gancheras son de distintos tipos de acero, pero debido a su volumen, requiere la misma cantidad de metal para ser depositadas en ellas.

Se produce un estimado de 20 mil a 30 mil piezas al mes, pero se podría producir mucho más, ya que los tornos (estampado o mecanizado) pueden producir alrededor de 10000 piezas al día, pero debido a imprevistos que ocasionan paradas de dichas máquinas y la suspensión del proceso de producción, esto puede alterar en ocasiones la capacidad de la empresa.

El área destinada dentro de la empresa para el proceso de cromado es pequeña en relación al espacio correspondiente a la maquinaria empleada para la producción de piezas, por lo tanto el espacio destinado para la ubicación de los baños es reducido, haciendo que la cantidad de piezas procesadas por cada batch sea pequeña, los tanques que existen en su mayoría son de volúmenes pequeños (1000 L a 2700 L), las dimensiones son similares como se observa en la Tabla 4.1, ya que si existiera un mayor espacio para colocar tanques más grandes, mayor sería la cantidad de piezas que pudieran cromarse por cada proceso que las que se producen en la actualidad,

aunque se debe tomar en cuenta, que no todas las piezas producidas dentro de la empresa son sometidas al proceso de recubrimiento con cromo, por lo que en la actualidad solo se emplea un operario para la realización de este proceso.

TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN

Dimensiones (m)	Material empleado	Tiempo de uso	Nº de tanques empleados actualmente
1,2 alto 1,2 largo 1 ancho	Hierro galvanizado recubierto con pintura	Aprox. 15 años	12

Fuente: Súper Ruedas y accesorios M.E. S.A. 2005

Por lo tanto, la supervisión es realizada por el mismo operario al igual que el sistema de control manual, como por ejemplo: la instalación de las piezas en las gancheras, contabilizar el tiempo de residencia de las piezas en cada baño al igual que el tiempo de lavado de las mismas antes y después de cada baño electrolítico, además de estar alerta para observar, ya que sólo se emplea el chequeo visual por parte del operario, que se enfoca principalmente en la apariencia de las piezas a la salida de cada baño, y dependiendo de su apreciación, aprueba o rechaza las piezas, es decir no se emplea un patrón estándar de nivel de brillo en las piezas para comparar las piezas producidas.

También el operario, debe estar atento de cualquier cambio que se produzca en el proceso, tanto de nivel de líquido de los baños, como de la concentración, esencialmente de la cantidad de níquel en el baño de níquel electrolítico, o cualquier otro cambio; como contaminación del baño por piezas retenidas en el baño, que se caen de las gancheras cuando son introducidas al baño, además de cualquier alteración que puedan variar los compuestos presentes en los baños, afectando la apariencia de las piezas, disminuyendo la vida útil de los baños o etapas del cromado, produciendo una mayor inversión de la empresa para la reposición o descontaminación de los baños.

En la Tabla 4.2 que presenta a continuación, se describen datos del proceso que diferencian los baños electrolíticos empleados así como datos del proceso en general:

TABLA 4.2 DATOS DEL PROCESO DE ELECTRODEPOSICIÓN

Características del proceso			Observaciones
Corriente eléctrica empleada en las piezas, para cada tipo de baño (A/dm ²)	Baño Níquel	Baño Cromo	Los baños poseen 2 amperímetros distintos, debido a la diferencia de las corrientes empleadas, ya que se requiere una mayor intensidad de corriente para el baño de cromo para la transformación de ácido crómico en cromo metálico.
	5	15	
Voltaje empleado para cada tipo de baño (V)	Baño Níquel	Baño Cromo	Se emplean dos generadores de voltaje diferentes cada uno de ellos conectados a cada baño electrolítico.
	3	6	
Nº de días de trabajo a la semana		3 - 4	Siendo 4 días la máxima cantidad de días para el cromado de piezas, pero esto depende de la cantidad de piezas producidas, si la cantidad no es suficiente, los días de cromado por semana son menores.
Cantidad de piezas cromadas por proceso		384	Se emplea dos grupos, cada uno posee 12 hileras de gancheras y en cada una se pueden introducir 16 piezas (figura 4.1.b)
Tiempo total del proceso		45 min.	Tiempo real de todo el proceso, sin incluir periodos de escurrido y la colocación de las piezas y el baño de taladrina posterior
Cantidad de procesos al día (Nº de batch)		6	Se emplean solo 4 horas y media de la jornada diaria, debido al proceso previo que se le realiza a las piezas, y el calentamiento previo de los baños electrolíticos antes de comenzar el proceso, por lo tanto se realizan aproximadamente 3 batch en la mañana y tres 3 batch se realizan en la tarde
Tipo de control de calidad		Tipo visual	No se emplean estándares de color, simplemente la inspección visual del operador es el que determina la aceptación o desaprueba la pieza.

Fuente: Súper Ruedas y accesorios M.E. S.A. 2005

Previo del cromado de las piezas, éstas son sometidas a un proceso de pulitura, pasando luego a una serie de tambores giratorios (Figura 4.1(a)), el primero de ellos contiene una solución diluida de NaOH, que sirve para mejorar el contacto entre las piezas dentro de los tambores giratorios, este es el proceso final de la etapa de pulitura de las piezas, mediante el choque entre las piezas, este movimiento produce que se elimine cualquier imperfección que pueda aun presentar las piezas, el contacto entre las piezas, hace que las piezas actúen como una especie de lima entre sí, suavizando las zonas de la superficie de la piezas donde aun puedan presentar rugosidades.

Luego pasan a un segundo tambor giratorio, que servirá de enjuague (solo contiene agua), para retirar los restos de la solución de NaOH, es una especie de enjuague previo; después que salen de los tambores, estas son enjuagadas con kerosén, para eliminar la viruta que permanece como residuo dentro de las piezas, después de pulirlas. Las piezas son colocadas en hileras en las gancheras (Figura 4.1(b)), que poseen terminales eléctricos, a través del cual se le suministra la corriente eléctrica necesaria para llevar a cabo el proceso de electrodeposición y durante el baño de desangrase electrolítico.



Figura 4.1 Pasos previos al proceso de cromado.

En la Tabla 4.3 que se presenta a continuación, se encuentra descrita las características así como la temperatura empleada, el tiempo de residencia, composición además de observaciones de cada una de las etapas presentes en el proceso de cromo desarrollado en la empresa en estudio

Posterior a la colocación de las piezas en las gancheras, sin encender el generador de voltaje, son introducidas en el desengrasante químico en caliente (Figura 4.2(a) y 4.2(b)), este presenta una capa de grasa que recubre la superficie del tanque, es una solución de coloración verde claro, su temperatura se regula por medio de un termostato, que es calentado a través de electricidad. Este desengrasante sirve como un enjuague previo al desengrasante electrolítico. En la Tabla 4.3 se especifica la temperatura empleada en cada uno de los desengrasantes, al igual que el tiempo de residencia necesario para remover la mayor cantidad de compuestos añadidos a las piezas antes del proceso de electrodeposición, y el pH de cada uno de ellos, aquí se emplean desengrasante ligeramente ácidos.

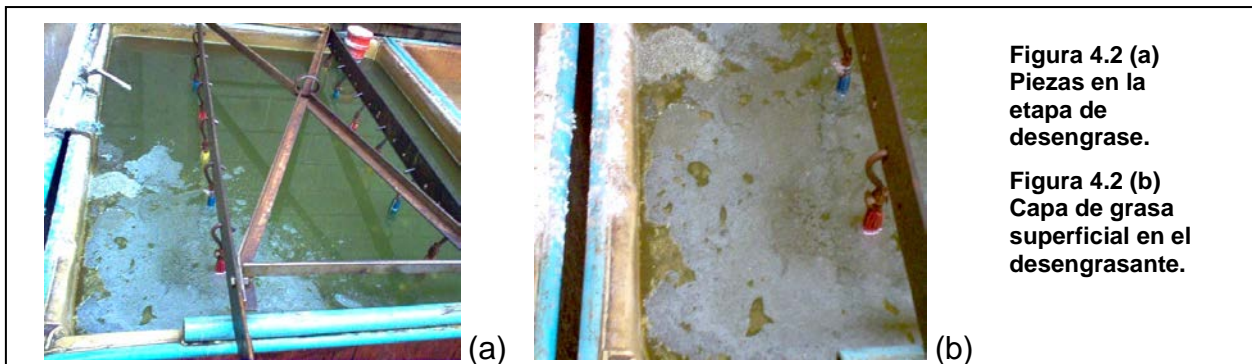


Figura 4.2: Colocación de piezas en el desengrasante químico

Después pasan a un segundo desengrasante en caliente (Figura 4.3(a)), una solución de color blanco amarillento, donde se observa un gran desprendimiento de vapor, debido a que su temperatura es superior a la del desengrasante anterior (Ver Tabla 4.3), este baño a diferencia del anterior, es calentado por medio de tubos de gas que recubren el tanque, en el cual, cuando se introducen las piezas, se les aplica corriente eléctrica a las mismas, ya que es un desengrasante electrolítico, en la superficie se observa las grasas y aceites, formando una capa superficial, se genera una gran cantidad de espuma durante la estancia de las piezas (Figura 4.3(b)), luego de cada desengrasante, las piezas pasan a un período de escurrido no mayor a 20 segundos.

Estos desengrasantes son empleados para retirar las grasas y aceites presentes en las piezas luego del proceso de producción y pulitura. El período de uso (ver Tabla 4.3) de ambos desengrasantes dependerá de su capacidad de remoción de grasa en las piezas, cuyo efecto puede ser observado luego de pasar por los enjuagues

subsiguientes, si en la pieza aun se observa la presencia de grasa, esto indicará el vencimiento del periodo de vida de los desengrasantes.

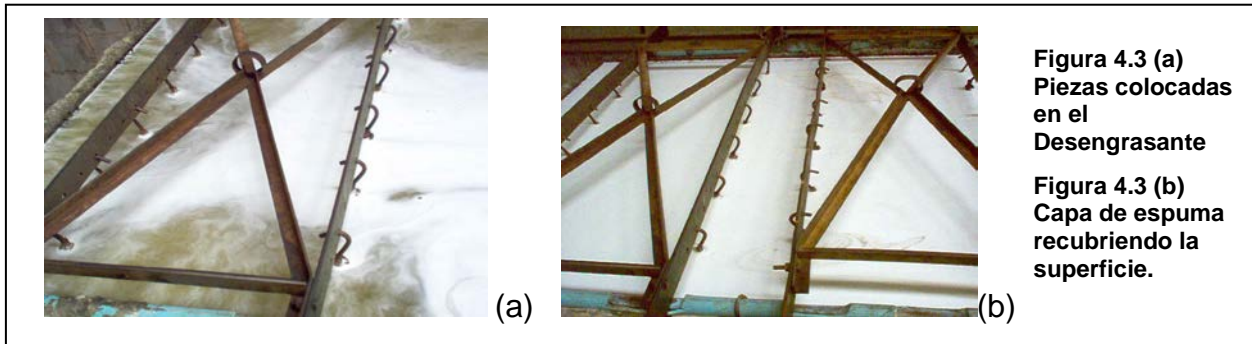


Figura 4.3: Primera etapa de tratamiento de piezas en el desengrasante electrolítico

Rápidamente pasan a una serie de lavados en estanco con agua (Figura 4.4(a) y 4.4 (b)), que debido a que no se cambian con mucha regularidad, puede contener residuos de desengrasantes, por lo que poseen un pH ligeramente ácido. Pasan a otro enjuague o activado (Figura 4.4(c)), que posee ácido sulfúrico diluido por lo tanto su pH es muy ácido en comparación con los enjuagues previos (ver Tabla 4.3), con un tiempo de residencia no mayor a 10 segundos, ya que puede afectar la superficie de la pieza, su coloración es verde claro, este baño de emplea para la remoción de partículas que aun pueden estar adheridas a las piezas, que puedan afectar el recubrimiento de níquel.

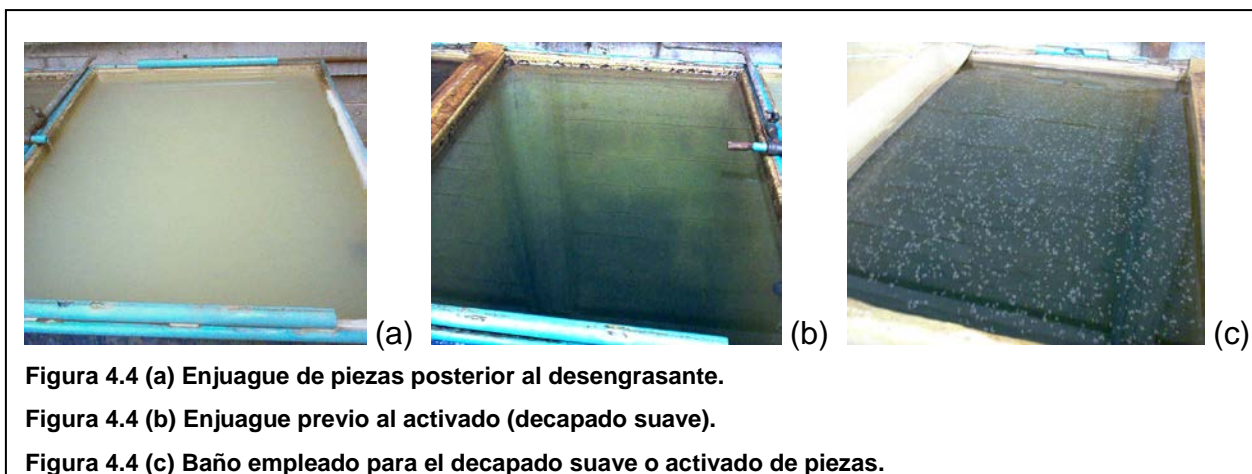


Figura 4.4: Diversos tipos de enjuagues posteriores al desengrasante electrolítico.

Inmediatamente pasan al baño de níquel (Figura 4.5(b)), la solución posee una coloración verde oscuro, se encuentra a una temperatura cercana a los 60 °C, la piezas tienen un período de residencia mayor en este baño que en las etapas anteriores, debido a que allí es donde se deposita la capa de metal previa al cromado, el tiempo de residencia depende del tamaño de las piezas, dependiendo de la correcta electrodeposición de esta capa níquel, determinará la apariencia de la pieza en su estado final, este baño es donde existe un mayor consumo de materia prima, es el tanque que posee el mayor tamaño de toda la línea de proceso, tiene pH ácido, debido a los componentes que conforman el baño de níquel (ver Tabla 4.3).

Dentro de la solución se encuentran cestas de titanio, similar a la que se observan en la Figura 4.5(a), contienen el níquel sólido dentro del baño, son 16 cestas con una capacidad de 30 Kg. de níquel por cesta, siendo en total 480 Kg. de níquel sólido, pero debido a ajuste de presupuesto, la cantidad de níquel se redujo a 300 Kg., colocando materiales inertes para ocupar el espacio restante, estas cestas están recubiertas de una fibra de polietileno, el baño además de contener níquel en solución, también se colocan soluciones abrillantadores de varios tipos: nivelante, para mantener el color que se observa en las piezas; de mantenimiento, para regular la cantidad de níquel en solución medida que se desgasta el níquel sólido; de corrector, el cual se le añade para estabilizar la solución cuando esta se contamine.

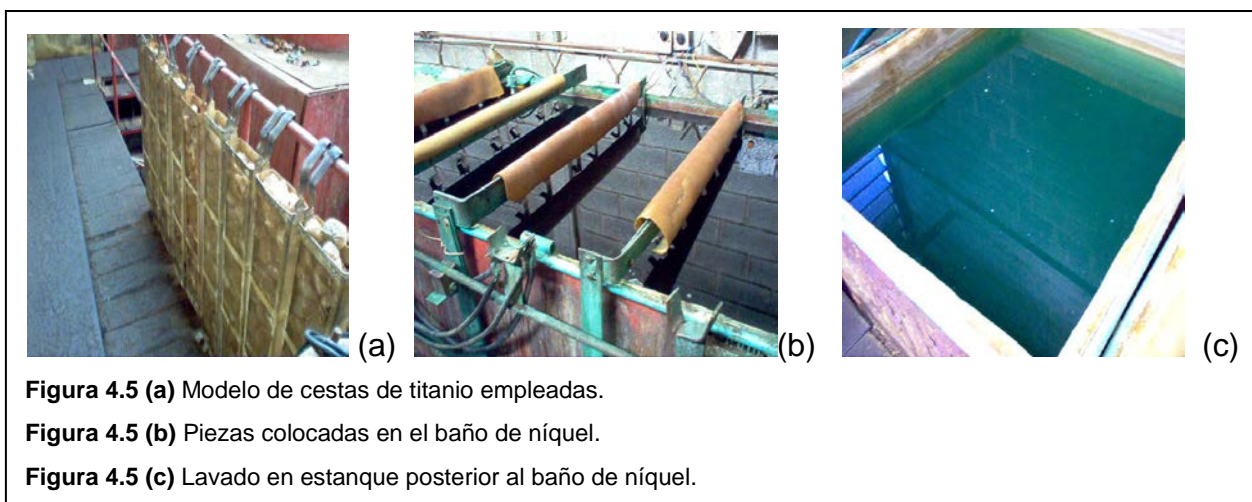


Figura 4.5 Etapa del niquelado electrolítico de las piezas

Se estima que el consumo de 1Kg de níquel corresponde al recubrimiento de 7000 piezas, en un estudio realizado por la empresa se estimó que se depositan 22 g de níquel por pie cuadrado de superficie de las piezas, tomando en cuenta la cantidad de piezas niqueladas y su área superficial.

En seguida que salen del niquelado las piezas, estas se escurren y pasan a un tanque de lavado en estanco (Figura 4.5(c)), el contenido de dicho lavado es empleado para reestablecer el nivel del baño de níquel, ya que el baño de níquel desciende su nivel después de cada jornada laboral, debido a los efectos de evaporación, ya que se debe mantener a una temperatura constante, por medio de calentamiento, y es necesario mantener su nivel para que una vez que son introducidas las piezas, para que estas sean recubiertas totalmente por el baño. Debido a esto, todos los días antes de comenzar el proceso, se le añade aproximadamente 60 L de la solución de este lavado en estanco al tanque de baño de níquel, 60 L al terminar en la tarde, para mantener el nivel constante. También al baño de níquel se le añade una solución abrillantadora, la cual se emplea para evitar que la calidad de brillo de las piezas disminuya y afecte su apariencia final. En estos enjuagues, el tiempo de escurrido de las piezas es pequeño en comparación con los enjuagues anteriores (ver Tabla 4.3).

Por último se encuentra el baño de cromo (Figura 4.6(a)), de color vinotinto, pero al introducir las piezas y aplicarle corriente eléctrica, se observa un desprendimiento de vapores verdes, que son absorbidos por el extractor (Figura 4.6(c)), el período de retención las piezas es mucho menor al del baño de níquel, ya que el proceso de electrodeposición es mucho mas rápido que el que ocurre en el baño de níquel, por la presencia de catalizadores (ver Tabla 4.3). Luego pasan a una serie de lavados en estanco (Figura 4.6(b)), donde en la primera etapa de lavado, también se utiliza como en el baño de níquel, para mantener el nivel del baño, debido a la evaporación, ya que la temperatura es de 40 °C, aunque el grado de evaporación es menor que la del baño de níquel. Estos baños electrolíticos actúan como evaporadores, debido a las temperaturas a las que trabaja, por lo tanto al descender su nivel de agua, la concentración es mayor. Por lo tanto el agua de enjuague que se emplea para reestablecer su nivel, si esta contiene cualquier clase sólido disuelto, estos no se evaporan y se van acumulando en el baño.

Al final del proceso, todas las piezas son lavadas con taladrina y agua, para así evitar que las piezas se oxiden por dentro, ya que el recubrimiento se realiza para realzar la apariencia exterior de la pieza por lo que el interior no es recubierto, y queda expuesto a la corrosión.



Figura 4.6: Etapa de cromado electrolítico de las piezas

4.2. ANÁLISIS DEL DIAGRAMA CAUSA-EFECTO DE LA EMPRESA

Se empleó como una herramienta de ayuda para el diagnóstico del proceso, el diagrama de Ishikawa o diagrama causa-efecto (ver Figura 4.7), donde se encuentran desglosadas las diferentes áreas tomadas en cuenta por esta herramienta para el análisis del proceso estudiado, donde se resaltan los puntos mas importantes de cada área con sus respectivas causas principales que pueden estar afectando el desempeño del proceso de cromado, dichas áreas son las siguientes: mano de obra, medio ambiente, materiales, medición, maquinaria, método.

Una de las causas mas importantes se destaca la medición, por la ausencia de indicadores de temperatura y pH, por lo que no se tiene un control en el rango de estas variables, además del tipo de inspección de las piezas finales, donde no se posee un Standard, y también influye el nivel de rugosidad que presentan las piezas previo al proceso de cromado, que puede influir directamente en la apariencia final de las piezas. En cuanto al método empleado en el proceso se destaca el chequeo de los baños electrolíticos, el cual no se hace con frecuencia, la influencia del pre-tratamiento de las

piezas antes de los recubrimientos que se ve influido por la calidad en los enjuagues y la efectividad de los desengrasantes empleados. Los niveles de brillo de las piezas sujetos a un método de inspección visual, sujeto a la apreciación del operario, además de la carga de las gancheras, donde la intensidad de corriente influye directamente en la correcta forma de recubrimiento de las piezas en los diferentes baños.

Respectivamente a la maquinaria, el proceso tiene un tiempo de uso de 20 años, entre los cuales se le han realizado algunas mejoras, por lo tanto en algunos tanques con un período de uso de más de 15 años, presentan algunas fisuras. En algunos casos las gancheras requieren del reemplazo, ya que por su uso presentan desgaste, por lo cual a través de ella no fluye correctamente la corriente necesaria para las piezas. Se requiere de la revisión de los rectificadores de corriente, para constatar que se suministra el voltaje correcto para cada etapa, así como la limpieza de los ánodos tanto en el baño de cromo como en el de níquel. En cuanto a los materiales empleados, en este tipo de proceso no se requiere de una gran variedad de compuestos, pero debido a los volúmenes empleados, especialmente en el baño de níquel, se hace necesaria la información continua de los niveles de níquel y de abrillantadores en el baño de níquel electrolítico, así como del chequeo de los niveles de grasas y aceites en los desengrasantes y de que las piezas que son recubiertas posean las especificaciones necesarias para que las piezas finales sean aprobadas.

Con respecto a la mano obra, juegan un papel fundamental la habilidad de los operarios, reflejada directamente en la información de la composición de los baños presentes, para así conocer las medidas necesarias cuando ocurren imprevistos, además del conocimiento de los compuestos presentes para evitar accidentes laborales. En cuanto al medio ambiente, el conocimiento de la toxicidad de los compuestos empleados así como de los niveles de tóxicos presentasen las aguas desechadas, son de suma importancia en este tipo de proceso, por lo cual los operarios son parte fundamental para el cumplimiento de las normas ambientales. A partir de la serie de sub-causas presentadas de estas áreas, se realizará un proceso de selección para la identificación de las que poseen una mayor influencia negativa sobre la situación actual de proceso.

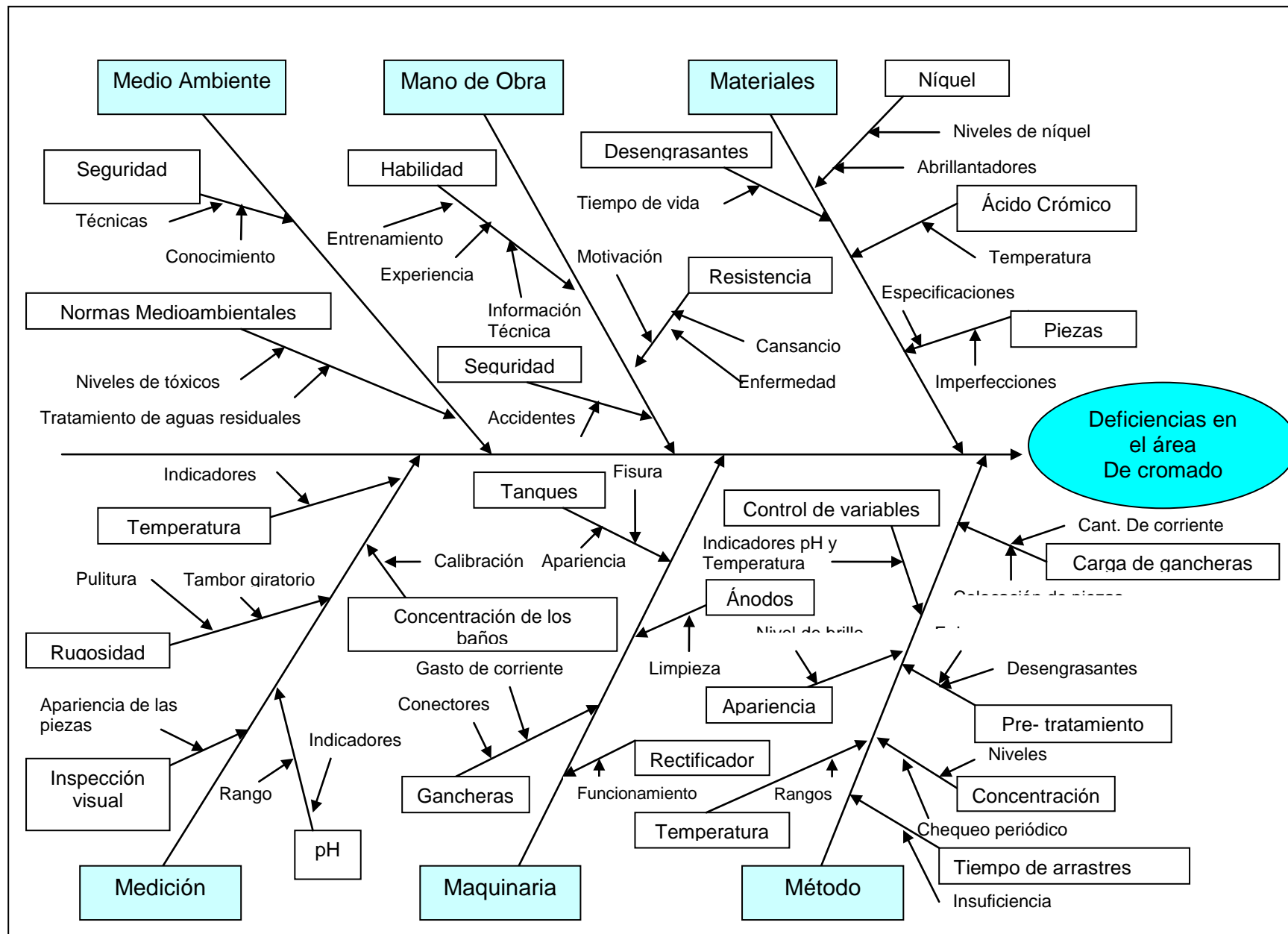


Figura 4.7 DIAGRAMA DE ISHIKAWA DEL PROCESO DE RECUBRIMIENTO ELECTROLÍTICO EN LA EMPRESA SAME S.A.

TABLA 4.4 REGISTRO MENSUAL DE PIEZAS DEFECTUOSAS Y REVISIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS EN LA EMPRESA SÚPER RUEDAS Y ACCESORIOS M.E. S.A

Observaciones	Sep. 2005			Oct 2005				Nov 2005			
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4
Número de Semana del mes (Nº)	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Cantidad de días empleados en cada semana para el cromado de piezas (días)	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
Cantidad de piezas que presentan defectos (nº de piezas)	80	75	100	95	80	85	70	50	60	70	75
Cantidad de piezas cromadas durante el mes (piezas)	23040			29952				27648			
Relación entre la cantidad de piezas defectuosas y producidas al mes (%)	1,10			1,10				0.922			
Porcentaje por cada tipo de pieza que presentan defectos (tuercas belga, seguros espárragos, tuercas túnel, tuerca de camión)	50% tuercas belga 35% seguros espárragos 15% demás piezas			45% tuercas belga 35% seguros espárragos 10% demás piezas				40% tuercas belga 40% seguros espárragos 20% demás piezas			
Porcentaje de cada tipo de defecto presentado en las piezas rechazadas	40% apariencia amarillenta 35% Falta de brillo 15% Apariencia áspera			25% Apariencia amarillenta 50% Falta de brillo 25% Descamación				40% Falta de brillo 30% Apariencia áspera 20% Apariencia grisácea			
Realización de Revisión de las concentraciones de los baños (Níquel o cromo)	<ul style="list-style-type: none"> No se efectuó una revisión del baño de cromo. Revisión de las gancheras, cambio de algunas de ellas. 			<ul style="list-style-type: none"> No se realizó una revisión del baño de cromo. Revisión de baño de níquel 				<ul style="list-style-type: none"> No se realizó una revisión del baño de cromo. Revisión niveles de níquel en las cestas de titanio. Revisión de contactos de gancheras 			
Realización de adiciones de reactivos a los baños	<ul style="list-style-type: none"> Adición de abrillantadores. Se le añadió al baño de níquel una solución descontaminante, que se emplea para eliminar posibles contaminaciones en la solución 			<ul style="list-style-type: none"> Adición de abrillantadores 				<ul style="list-style-type: none"> Adición de abrillantadores (1 litro aproximadamente adicional al medio litro que se añade antes de empezar el proceso). Se añadió níquel metálico para nivelar la concentración (incrementar de la cantidad de níquel en las cestas, 100kg). Cambio de gancheras con deficiencias 			

TABLA 4.4 (REGISTRO MENSUAL DE PIEZAS DEFECTUOSAS Y REVISIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS EN LA EMPRESA SÚPER RUEDAS Y ACCESORIOS M.E. S.A (CONTINUACIÓN))

Observaciones	Dic 2005		Ene 2006			Feb 2006			
	1	2	2	3	4	1	2	3	4
Número de semana del mes (Nº)	1	2	2	3	4	1	2	3	4
Cantidad de días empleados en cada semana para el cromado de piezas (días)	4	4	3	3	4	4	4	4	4
Cantidad de piezas defectuosas (nº de piezas)	110	120	75	80	65	85	70	65	40
Cantidad de piezas cromadas durante el mes (piezas)	18432		23040			36864			
Relación entre la cantidad de piezas defectuosas y producidas al mes (%)	1,24		0,95			0,70			
Porcentaje de piezas defectuosas por tipo de pieza (tuercas belga, seguros espárragos, tuercas túnel, tuerca de camión)	35% tuercas belga 50% seguros espárragos 15% demás piezas		80% tuercas belga 15% seguros espárragos 5% demás piezas			60% tuercas belga 20% seguros espárragos 10% demás piezas			
Porcentaje de cada tipo de defecto presentado en las piezas rechazadas durante el mes	70% apariencia áspera 30% apariencia grisácea		60% Apariencia amarillenta 40% Apariencia grisácea			50% Apariencia áspera 35% Apariencia amarillenta 15% Descamación			
Realización de Revisión de las concentraciones de los baños (Níquel o cromo)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se realizo revisión del baño de cromo. ▪ Revisión del baño de níquel. ▪ Revisión de las gancheras. 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se realizo revisión del baño de cromo. ▪ Revisión de las gancheras 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ No se realizó revisión del baño de cromo. ▪ Revisión del baño de níquel 			
Realización de adiciones de reactivos a los baños	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adición de descontaminante en el baño de níquel (dilución de un litro en la solución de níquel). ▪ Cambio de gancheras con deficiencias 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cambio en gancheras con deficiencias y ajuste de las conexiones. 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Adición de abrillantadores (1 litro adicional de cada uno de los abrillantadores). ▪ Se añadió níquel electrolítico para nivelar la concentración (100 kg). ▪ Adición de descontaminante en el baño de níquel 			

4.3 ANÁLISIS DE LOS FACTORES AFECTADOS DENTRO DEL PROCESO DE CROMADO

A continuación se presentará el análisis de las posibles causas que han originado la existencia de puntos críticos en las distintas etapas del proceso así como las consecuencias que han ocasionado, que están afectando de forma negativa el desempeño del proceso actual de electrodeposición realizado en la empresa Súper Ruedas y Accesorios.

4.3.1 SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES

El sistema de control empleado durante el proceso es de tipo manual, realizada por el operario, el cual mide la temperatura con un termómetro portátil y el pH de los baños mediante cintas colorimétricas, para detectar cualquier alteración de estas variables, no se observa la presencia de controladores ni medidores de temperatura y pH permanentes en ninguno de los baños ni siquiera en los más críticos (baños de cromo y níquel), cuya presencia puede ser de gran ayuda para obtener información constantemente de los valores de dichas variables, esenciales durante el proceso. Debido a esta situación, no se puede prevenir cambios bruscos en dichas variables que podrían ocasionar daños a las piezas, produciéndose pérdidas, ya que estas salen en mal estado y para recuperarlas hay que recurrir a otros métodos, que generan gastos adicionales a la empresa.

4.3.2. COMPOSICIONES DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS

Los operarios poseen poca información técnica acerca de las composiciones de los baños en el área de cromado, y basan su conocimiento a través de la experiencia adquirida en el aspecto de los baños y su comportamiento que se observa en la apariencia final de las piezas, la persona encargada u operario designado solo poseen conocimientos muy básicos, además que dentro de la empresa no se encuentran los instrumentos necesarios para realizar los análisis de los baños, por lo que la empresa emplea un agente externo para determinar las características de los baños, y así revisar que se encuentre en los rangos establecidos, y a partir de allí se le sugieren cambios o adiciones a los baños, por lo tanto depende de la disponibilidad del agente externo para

mejorar su proceso, produciendo ciertas deficiencias que afectan el desempeño del mismo.

El baño de cromo tiene un período largo de vida útil, el baño de cromo actual está siendo empleado desde principios del año 2005 (Enero). Por conocimiento previo de la empresa, que a través de un buen mantenimiento, este tipo de baño puede tener un periodo de vida útil hasta de 10 años, (período de vida del baño de cromo anterior), ya que las piezas cromadas son muy pequeñas, por lo que el depósito de dicho metal sobre ellas es una capa muy fina, donde no se produce un gran consumo de cromo, este baño solo se reemplaza, cuando por diversos factores este se contamina, tal como el desprendimiento de piezas de las gancheras, las cuales quedan retenidas dentro del baño, produciendo posibles alteraciones en la composición de la solución de cromo, originándose que el cromado de las piezas no sea efectivo, y debido a esto, cuando ocurre ciertas anomalías, se lleva a analizar la composición de este baño y el de níquel, para saber si sus composiciones están acordes o si necesitan la adición de reactivos o su reemplazo total.

En los baños de níquel emplean un sistema de filtración, con una bomba centrífuga y la incorporación de un filtro, donde cada cierto tiempo, el baño de níquel se procesa a través de este sistema, para eliminarle los contaminantes, que puedan afectar su composición y a su vez la apariencia de las piezas. En los baños de níquel principalmente, la cantidad de níquel presente se consume rápidamente, y si no se realiza un chequeo continuo, una disminución puede afectar las piezas, produciéndose pérdidas de materia prima (deposiciones de níquel y cromo) y de rechazos de las piezas.

4.3.3 PIEZAS CON DEFECTOS DE RECUBRIMIENTO

La empresa ha destinado unos depósitos especiales para las piezas con defectos de recubrimiento, se encuentran alrededor de 8000 piezas, producidas en un lapso de dos años y medios (a partir de mediados del 2002 hasta finales de 2005), por parte de la empresa, en períodos anteriores al desarrollo de la investigación, no se había

realizado un registro o control de la cantidad de piezas dañadas. Por lo tanto antes no se contabilizan los daños producidos en el producto final, las piezas solo eran retiradas y colocadas en un sitio donde se fueron acumulando con el paso del tiempo, a la espera de una solución que les permita que estas puedan ser recuperadas, en donde algunas presentan signos de corrosión, debido a que no poseen el recubrimiento necesario para su protección, para poder reprocesar estas piezas, se les debe retirar las capas depositadas de níquel en su superficie, para volver a ser recubiertas con níquel y cromo; pero en la actualidad dentro del proceso no existe una etapa destinada para retirar las capas de recubrimiento en mal estado de las piezas.

Entre las piezas afectadas se encuentra en mayor proporción es la tuerca belga, debido a la que se procesa en mayor cantidad, esto produce que el volumen de piezas sea mayor con referencia a otras piezas cromadas, este tipo de piezas conforma el 60% de la proporción de las piezas que se encuentran con defectos, y en segundo lugar los seguros espárragos con mayor cantidad de piezas defectuosas que se encuentran en los depósitos, alrededor del 33%, las demás piezas cromadas representan el 7%, pero como son de varios tipos su proporción, es mucho menor con respecto a las otras mencionadas. De forma general, se pueden producir hasta 20 piezas defectuosas por día, pero esta proporción depende generalmente de los cambios realizados a los baños y del nivel de inspección del operario, estas medidas influirán a que disminuya este valor. Entre las causas de rechazos más recurrentes encontradas en las piezas, se describen a continuación:

- **Apariencia amarillenta:** esto es producido por deficiencia o insuficiente contacto de las piezas con los terminales de las gancheras, produciendo que en las piezas no fluyan de manera correcta la corriente por toda su superficie, por lo que no ocurre la electrodeposición del metal, haciendo que la pieza no adquiera el color requerido. En la Figura 4.8(a) se observa la diferencia de color entre ambas piezas, la de la derecha color gris brillante (color esperado), y la izquierda un color amarillo brillante.

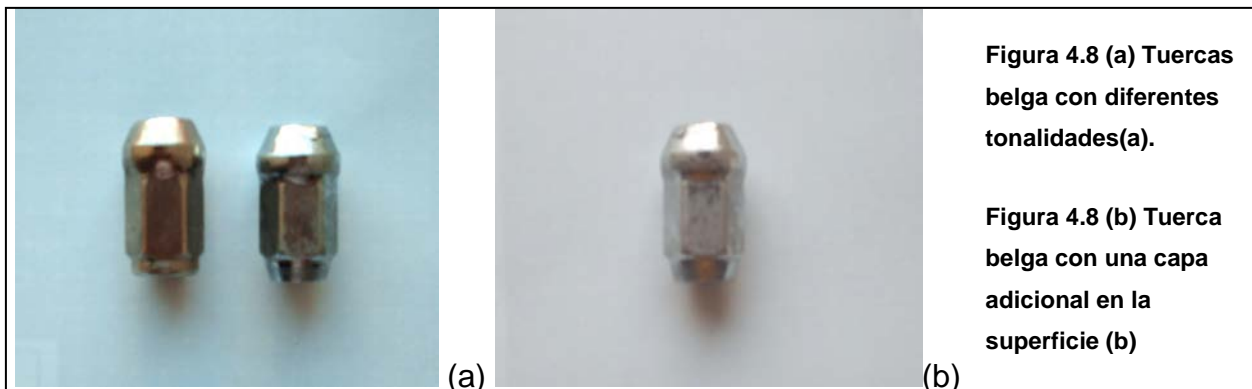


Figura 4.8: Piezas con defectos de tonalidades de color y superficie

- **Apariencia áspera:** otra de las causas del rechazo de las piezas, es cuando estas poseen una apariencia rugosa o áspera, estas presenta una capa adicional sobre la superficie de la pieza, de forma superpuesta, esto sucede cuando ocurre una contaminación en el baño de níquel, posiblemente por la caída de piezas o por filamentos de cobre pertenecientes a las gancheras donde se encuentran sujetas las piezas, alterándose la composición del baño, por lo que se requiere de la adición de un compuesto para disminuir la contaminación en el baño. Como se observa en la Figura 4.8(b).
- **Apariencia grisácea:** otra característica que puede aparecer en las piezas, es la de una capa grisácea u opaca que recubre la pieza, como se observa en las Figuras 4.9(a) y 4.9(b), esto ocurre cuando las piezas pasan un tiempo de residencia mayor del establecido en el baño de cromo, produciendo quemaduras en las piezas. Esto se debe en cierta forma al contenido de cromo trivalente en el baño de cromo, ya que si el contenido alcanza los 12 g/L, el depósito de cromo no será adecuado, produciendo que las piezas luzcan quemadas o de apariencia grisácea al igual que presenten rugosidades (apariciencia áspera). Esto depende principalmente de la cantidad de ánodos presentes en la solución. Mientras más ánodos presentes en la solución menor será el proceso de reducción a cromo trivalente.

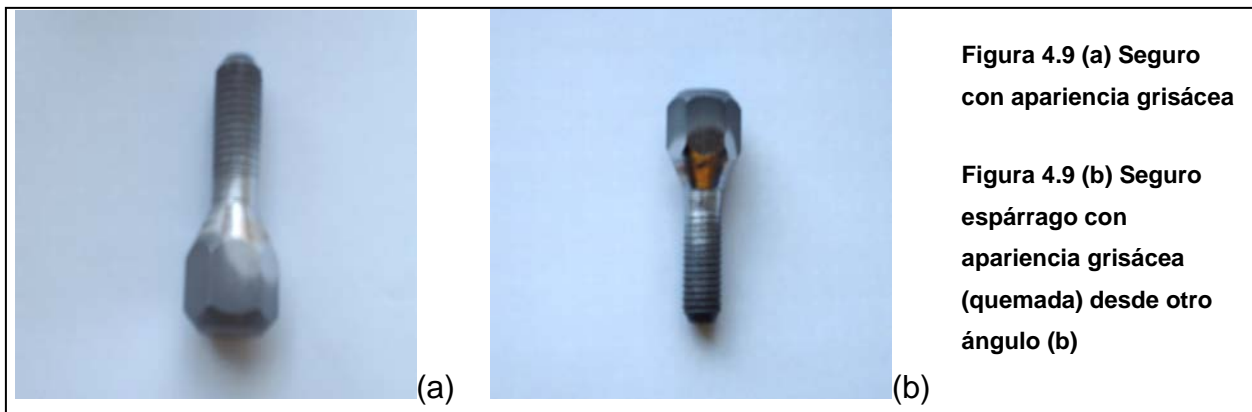


Figura 4.9. Piezas con defecto de coloración en la superficie

- **Falta de brillo:** esta es otra de las características más comunes que se observan en las piezas defectuosas por recubrimiento, es la falta de brillo, esta característica esta sujeta al criterio del operario quien decide, si la pieza posee el suficiente brillo para ser aceptada, esto se presenta por una disminución en la cantidad de abrillantadores presentes en el baño de níquel, cuya concentración tiende a disminuir por la cantidad de enjuague en estaco que se añade al baño antes de comenzar el proceso. En la Figura 4.10(a), se observa la diferencia de reflejo entre una pieza con el recubrimiento deseado y la otra con falta de brillo, al igual que la pieza en la Figura 4.10(b), donde se observa la pieza en su totalidad, donde su color es uniforme en toda la pieza.

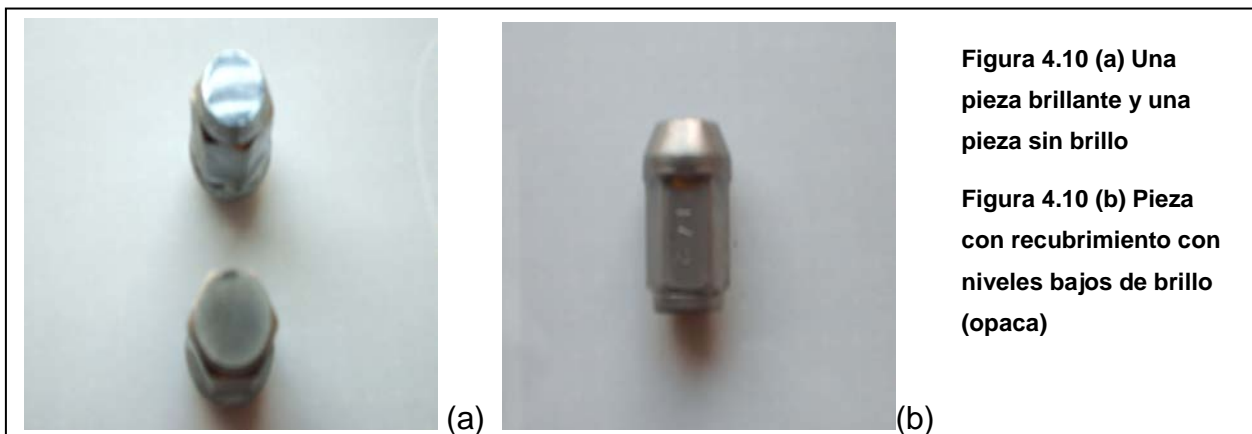


Figura 4.10 Diferencias de niveles de brillo entre piezas

- **Descamación:** se observa que el recubrimiento no se adhiere a la pieza, por lo tanto no la protege de los agentes corrosivos externos, esto ocurre por problemas en el baño de níquel, por lo que no permite la adherencia de la capa de cromo, también puede ser

debido a que la superficie de la piezas no está lo suficientemente limpia, por lo tanto no se adhiere la capa de níquel. La película del recubrimiento queda adherida a la superficie metálica por atracción molecular entre ambas, si esto no ocurre, la película se desprende fácilmente, como se observan en las Figuras 4.11(a) y 4.11(b), donde se observa el levantamiento de la capa que las recubre. Para evitar esta falla, es necesario que los recubrimientos primarios tengan una buena adherencia sobre la superficie metálica y que esta se prepare convenientemente, para eliminar cualquier material extraño que impida el contacto entre ambos recubrimientos.

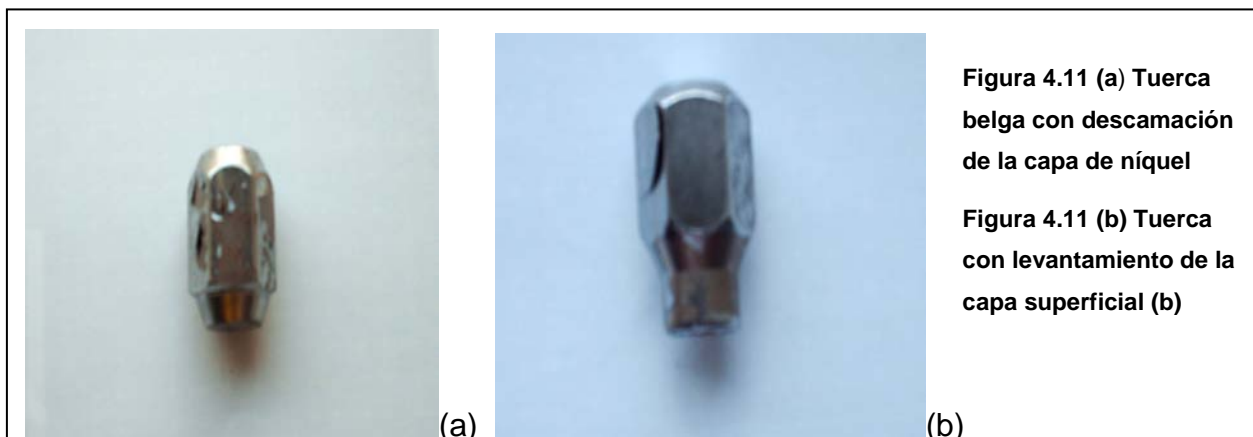


Figura 4.11. Piezas con procesos de descamación en la superficie

A partir de los datos suministrados por los operarios y el personal que labora en el área de cromado correspondiente a los meses de septiembre 2005 hasta febrero del presente año, y realizando un chequeo de las piezas defectuosas que se encuentran en la empresa Súper Ruedas y accesorios, se procedió a realizar un registro o historial de toda la información recolectada que se observa en la Tabla 4.4, con respecto a la cantidad de piezas defectuosas producidas durante estos meses; además del porcentaje aproximado de piezas por cada defecto descrito anteriormente, así como las medidas correctivas desarrolladas para cada uno, evitando la aparición de este defecto en las próximas piezas a procesar, entre los cuales se destaca los cambios ocurridos en los baños electrolíticos como el caso del baño de níquel, con la adición de abrillantadores, para mejorar el brillo de las piezas así como la nivelación del níquel metálico, para así evitar un desbalance en las concentraciones.

También se destaca los cambios realizados en las gancheras, como sustitución o revisión de los contactos de las mismas con la fuente de corriente. Igualmente, se registra la cantidad de piezas producidas mensuales y así establecer una relación entre las piezas defectuosas y producidas, además de la cantidad de días a la semana por mes empleados para el cromado.

Entre los datos observados en el registro se destaca las piezas que presentan una mayor cantidad de piezas defectuosas son aquellas que se producen en mayor cantidad, el mayor porcentaje con respecto al defecto presentado es la falta de brillo, por lo que la mayoría de las acciones tomadas es la adición de abrillantadores al baño de níquel electrolítico. Aquellas que presentan quemaduras, se atribuye este efecto al tiempo que dura en el baño de cromo que es superior al que regularmente se emplea, esto sucede por la falta de regulación de temperatura, y ese período había problemas con la estabilidad de la temperatura del baño de cromo (la temperatura era menor a 40°C), por lo que colocaban las piezas un mayor tiempo de retención en el baño, ocurriendo estos efectos en las mismas.

Se debe tomar en cuenta que este efecto (quemaduras en las piezas), es producido además por la concentración de cromo trivalente, el cual se debe mantener un control de la concentración menor a 3 g/L, ya que si la concentración del cromo trivalente alcanza los 12 g/L, los depósitos de cromo no serán los esperados, además se debe mantener la superficie de los ánodos plomo y estaño limpia y activa y si se mantiene las concentraciones adecuadas del baño, se evita la formación de cromo trivalente y la disminución de ácido crómico. Con respecto a la apariencia amarillenta, se tomaron medidas correctivas en las gancheras empleadas, procediendo a la realización de una revisión del nivel de corriente de cada una de las hileras, para detectar las defectuosas y efectuar el reemplazo.

Para evitar la incidencia de piezas con apariencia áspera, la medida tomada fue la adición de descontaminante al baño de níquel, ya que este tipo de características se presenta cuando existe contaminación del baño de níquel. Al igual que la característica anterior, la descamación de las piezas, ocurre cuando hay problemas en el baño de níquel, por lo que se toma la misma medida correctiva. Se observa que la cantidad de piezas rechazadas no es una cifra significativa en cuanto la cantidad de piezas producidas, pero se observa una tendencia de que a medida que hay una mayor producción, hay una mayor cantidad de batch, y por lo tanto, se presenta una mayor cantidad piezas con defectos, debido que al haber un mayor uso de los baños, estos presentan un mayor desgaste y presenten un mayor grado de contaminación y fallas en el proceso.

En cuanto a la relación entre las piezas producidas y las piezas rechazadas, se observa que el porcentaje de rechazo es bastante pequeño, alrededor de 1%, pero esto se debe a que en algunos casos, muchas veces las piezas son retiradas sin haberlas contabilizado, por lo tanto es posible que el porcentaje sea aun mayor, pero a pesar de este hecho, el nivel de rechazo se considerable aceptable, solo que el destino de las piezas rechazadas es aglomerarse en un sitio destinado para ello o ser desechadas como chatarra.

Solo en algunos meses se realiza la revisión de los niveles de níquel en el baño electrolítico, esto depende en algunos casos de la apariencia de las piezas y también de la cantidad de piezas procesadas desde la última revisión realizada, es fundamental esta revisión, para evitar deficiencias mayores en el futuro. Con respecto al baño de cromo no se realiza ninguna revisión en el período de estudio, ya que no se presentaron defectos en las piezas que se haya debido a problemas en la composición de los compuestos de dicho baño.

Se debe destacar la importancia de la realización de un registro por parte de los operarios, para tener información tanto de las piezas defectuosas producidas, así como de las causas y acciones tomadas para cada uno de los casos presentados, ya que esto representa un beneficio para la empresa, porque le permite a cualquier persona

que labora allí, tener información actualizada acerca de la cantidad de piezas cromadas con respecto el volumen final de piezas aprobadas, lo que le permitirá tener un control de las inversiones realizadas en las mejoras de los baños electrolíticos así como de las características que presentan las piezas rechazadas, tomar medidas correctivas en la brevedad posible, para así disminuir en el futuro la cantidad de piezas con defecto que deban pasar por un tratamiento adicional para poder ser utilizadas, generando costos adicionales, que podrían ser evitados con la intervención acertada de los operarios encargados de esta área, mejorando su forma de acción es correctiva en vez de preventiva, que produciría un mejor efecto en las ganancias de la empresa. Y así evitar la pérdida de tiempo para los procesos siguientes debido a la realización de las medidas correctivas y así como una disminución en la cantidad de piezas cromadas.

4.3.4 APARIENCIA DE LOS TANQUES EMPLEADOS

Los tanques que se observa en la Figura 4.12, es donde se encuentran depositados los distintos baños del proceso, se encuentran construidos con hierro galvanizado y revestidos en su exterior por pintura, estos debido a su período de uso, presentan algunos signos de corrosión, principalmente los tanques en los cuales han ocurrido fugas del líquido contenido en los mismos, a pesar que dichos depósitos se encuentran recubiertos en su interior, con una especie de goma diseñada para recubrimiento de los tanques empleados para procesos galvánicos, en dicha figura se puede apreciar el recubrimiento en la parte superior del tanque de coloración amarilla, este permite que se puedan colocar los baños electrolíticos, para así evitar el contacto de la solución con el material de los tanques, que por estar construido de aleaciones metálicas, esto puede alterar la composición de las mismas y deteriorar a los tanques.

Las fugas que pueden presentar el recubrimiento interior de los tanques, pueden ser debidas a que la solución del baño se pasa a través de las soldaduras hechas en la goma, ya que la forma de presentación y dimensiones de este revestimiento, no vienen adaptadas a la forma de los tanques, por lo que se recurre a soldaduras especiales, para que pueda abarcar todo el espacio ocupado por el líquido, presentando fisuras después de cierto período de uso, ocasionando ciertos inconvenientes, como pérdida

de líquido de los baños, contaminación del área de trabajo, mayor deterioro a los tanques y lo que acarrea atraso en algunas ocasiones en el proceso.

El empleo de materiales no metálicos para revestimientos y recubrimientos en combinación con el acero u otros materiales se emplean para combatir la corrosión, se utilizan muchos revestimientos para recubrir los tanques, ya que es un medio económico de control de la corrosión, sobre todo cuando el principal objetivo es liberar de contaminación al metal del que esta construido el tanque. Dicho recubrimiento es de grosor cercano a 1 cm. a 2 cm., esto influye en el mantenimiento de la temperatura de las soluciones que se encuentran depositadas dentro de los tanques, actuando como un aislante térmico.



Figura 4.12 Apariencia externa de los tanques

4.3.5 PERÍODO DE VIDA DE LOS DESENGRASANTES

Los desengrasantes empleados, producen la retención de la grasa proveniente de los métodos previos, fabricación y pulitura, el período de vida de los desengrasantes es alrededor de 8 meses a un año, debido a la presencia de capas de grasa superficiales que se van acumulando con el tiempo, tienden a perjudican el desempeño del desengrasante, además que estas capas de grasa constituyen un contaminante para las soluciones siguientes, estas capas se producen debido a la cantidad de diversos aceites o lubricantes empleados durante la fabricación de las piezas, y a medida que la cantidad de grasa aumente en la superficie del desengrasante, menos será la capacidad de que las piezas salgan limpias del desengrasante y por lo tanto, afectará su recubrimiento posterior.

En el desengrasante electrolítico no existe un control de la temperatura, ya que para elevar su temperatura, el exterior del tanque donde se deposita el desengrasante se encuentra enchaquetado, este se calienta a través de vapor expedido por tubos alrededor del tanque y recubierto de una manera no muy adecuada para mantener

aislados los tubos del ambiente exterior, ya que presenta orificios por donde la temperatura de los tubos libera calor y no se mantiene constante.

4.3.6 FALLAS EN EL USO DE ENERGÍA

Existen gran cantidad de piezas defectuosas en los depósitos, en algunos de los casos, esto se debe a la contaminación del baño de níquel, baja concentración de níquel, pero para algunas de las piezas, los defectos pueden ser causados por mala conexión en las gancheras, este problema se observa que ocurrió en varias ocasiones de los meses en estudio, como se encuentra en el registro (ver Tabla 4.4), este defecto se detecta cuando se observan piezas presentan coloración amarillenta, se chequean los terminales de donde se encuentran dichas piezas, si están desconectados o simplemente ya no fluye correctamente la corriente y se sustituye por otro. También existen otras fallas, que hace que se influya en el nivel de temperatura en los baños, el cual debe estar en el rango permitido para que ocurra la electrodeposición de los metales, este tipo de falla se ha presentado en el baño de cromo, donde la temperatura en algunos casos, se ha encontrado por debajo de los 40 °C que se emplean, lo cual hace que las piezas duren un mayor tiempo de residencia, ocasionando otros defectos en la apariencia, y éstas sean rechazadas.

4.3.7 PROCEDIMIENTO DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS DE EFLUENTES EMPLEADO EN LA ACTUALIDAD

En cuanto a la parte ambiental, es muy importante en cualquier tipo de proceso productivo y en especial cuando se trabaja con desechos químicos tan contaminantes como el cromo hexavalente, en la empresa existe ausencia de una planta de tratamiento de aguas residuales, y una de las causas es el reducido espacio destinado para esta área de cromado, además de poseer un procedimiento de disminución de residuos tóxicos como el cromo hexavalente proveniente de los baños de cromo no muy adecuado para el nivel de contaminante que se está tratando, debido a que el operario que realiza dicha actividad, no posee un conocimiento preciso de las concentraciones presentes en la solución a tratar, por lo tanto no sabe las cantidades exactas a añadir para determinadas concentraciones.

Dicho procedimiento consiste en la adición del metabisulfito de sodio para la transformación de cromo hexavalente a trivalente, la solución pasa de un color vinotinto oscuro a una de un color verde-amarillento oscuro, con un fuerte desprendimiento de calor y vapores fuertes, se le mide el pH a dicha solución mediante un indicador de pH (cintas de pH), y debido al color tan intenso que presenta la solución, no se puede apreciar mucho la variación del color en el indicador, pero es un pH ácido cercano a 2, el cambio de color de la solución indica que se esta produciendo la reducción del cromo, esta reacción ocurre en medio ácido, por lo que se debe emplear un medidor de pH electrónico para conocer el pH más preciso que el valor que pueda reportar las cintas de pH, pero este no lo posee la empresa.

La solución de ácido crómico se encuentra disuelta en agua, se emplea que por cada galón de solución por se disuelve en 4 galones de agua, para disminuir su concentración y también debido a que al añadirle el hidróxido de sodio sólido (ver Tabla 4.5), la solución se torna muy espesa y cambia nuevamente de color a un verdoso más intenso que el observado cuando se añade el metabisulfito, impidiendo que esta sea agitada, la cual se debe agitar para ayudar a la disolución, se comienzan a observar los lodos producidos por la precipitación del cromo trivalente, depositándose en el fondo del tanque, la solución es desechada por las cañerías y los lodos son colocados en una especie de lecho secado en tanques al aire libre, quedando al final de proceso compactados, esperando que sean recogidos para su disposición final.

TABLA 4.5 CARACTERÍSTICAS DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO EN LA REDUCCION DE CROMO HEXAVALENTE

DESCRIPCIÓN	VALOR
Cantidad de agua para la dilución de 1Gal de ácido crómico (GAL)	4
Cantidad de metabisulfito para el cambio de Cr ⁺⁶ a Cr ⁺³ (g)	670
pH de la solución luego de añadir de metabisulfito (adim)	2
Cantidad de NaOH para la neutralización y precipitación del Cr ⁺³ (g)	740
pH después de la adición de NaOH (adim)	10
Tiempo de agitación manual (min.)	15

El personal de la empresa destinado a realizar el tratamiento con metabisulfito de sodio, no posee información acerca de la concentración del cromo presente en esta solución de desecho, por lo que puede ocasionar que no se añada en la proporción indicada para dicha conversión completa, agregándose mas de lo debido, ocasionando pérdidas de materia prima o en el peor de los casos, se añade en menor proporción, produciéndose que la reacción no se realice en su totalidad, originando que las aguas residuales presenten un alto contenido de cromo superior a lo permitido por las normas ambientales, produciéndose un daño al ambiente, que sin el control adecuado puede producir consecuencias legales en un futuro que pueden afectar el desempeño de la empresa, es por ello que parte de los datos recolectados durante el proceso, se tomaran muestras de las aguas residuales para determinar si están cumpliendo con las normas de vertido de cromo a las aguas.

Para conocer los niveles de cromo total desechados mediante la aplicación del método empleado en la actualidad en la empresa, se realizaron dos análisis de muestras tomadas luego de realizar el procedimiento de reducción de cromo, obteniéndose que ambas muestras el nivel de cromo total fue por encima de los valores establecidos. También se le realizó una medición de la cantidad de cromo presente en los enjuagues posteriores del baño de cromo, para así tener un estimado de de los niveles de cromo presente en los mismos, los cuales son empleados en la reposición del nivel del baño de cromo luego de la evaporación que sufre el mismo, por el calentamiento del baño para mantener su temperatura indicada. Estos valores son para conocimiento de la empresa en estudio, para tomar en cuenta al momento de desechar dichas aguas, se les debe realizar el tratamiento correspondiente, ya que ambas poseen niveles de cromo por encima de los valores establecidos por el ministerio del ambiente.

En la primera de ellas se obtuvo valores muy altos, alrededor de 5730 ppm, debido a la alta concentración se procedió a tomar otra muestra, dicho valor se obtuvo por que no se añadió la cantidad indicada de los reactivos, por lo que al final no se obtuvo la coloración final característica del término de la reacción, la muestra no presentó una tonalidad verde amarillento sino una más oscura. A la segunda muestra tomada, se le

realizaron una serie de diluciones, para que esta pudiera ser analizada por el equipo de absorción atómica del laboratorio. En esta muestra se obtuvo una coloración verde característica de la culminación del período de la reacción, obteniéndose un valor inferior a la muestra anterior, $3,49 \cdot 10^4 \mu\text{g/g}$, y transformado este valor en la unidades correspondientes, las aguas residuales presentan un valor de 34,9 mg/L de cromo totales, un valor superior a los límites establecidos por las normas ambientales de 0,05 mg/L. Dichos valores de los resultados de los análisis se encuentran en la sección de anexos, los análisis fueron realizados en el Laboratorio Tecnológico del Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo (Ver anexos). En los anexos también se encuentran ejemplos de revisiones de los baños electrolíticos realizadas por las empresas correspondientes, donde se aprecia las mediciones de los componentes involucrados y las medidas requeridas para los casos donde se requiere ajustes en los baños.

En ciertas ocasiones, cuando hay que desechar baños de cromo contaminados, estos son confinados tanques sellados de polietileno recubiertos con resina, que pueden durar gran cantidad de tiempo sin tratamiento alguno, ya que el compuesto con el que son tratados no llega a tiempo, ocupando espacio y generando un ambiente hostil e inseguro para los trabajadores, por lo que no es una forma adecuada de deshacerse de una fuente de contaminación. Con respecto a las aguas residuales provenientes del baño de níquel, no emplean ningún método para disminuirle la cantidad de tóxicos presentes, representando un foco de contaminación para los operarios, ya que cuando se reemplaza los baños de níquel, el baño contaminado se confina a un tanque que no se utiliza, pasando largos períodos de tiempo sin tratar dichas aguas, ya que no poseen información de métodos para el tratamiento de aguas niqueladas.

CAPÍTULO V

GENERACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se presenta las posibles alternativas a implementar, con una descripción y sus respectivos diagramas de flujo, ventajas y desventajas de las alternativas que se plantean para cada uno de los factores seleccionados, además de propuestas que incluyan las mejores alternativas y la selección de la mejor propuesta a implementar.

5.1 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA REDUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y RECURSOS

A partir del análisis de los factores mas influyentes dentro del proceso, que afectan el consumo de materias primas y recursos, a través del conocimiento adquirido a partir del diagnostico de la situación actual, se plantean mejoras que sean productivas y adaptadas a los requerimientos actuales del proceso para su selección posterior.

5.1.1 MANTENIMIENTO DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS

Es de gran interés en los procesos de recubrimiento, el regular las concentraciones de los recubrimientos electrolíticos, ya que son lo que representa un mayor costo para su reposición, debido a las grandes cantidades de materia prima que se emplea, por la diversidad de componentes que los conforman, es por ello que es de vital importancia tratar de mantener su concentración en los niveles indicados, realizar la detección oportuna de piezas sueltas dentro del baño, o de la presencia de contaminantes, como restos de cobre provenientes de las gancheras, etc., y así evitar profundizar el deterioro de los baños.

Esta alternativa ayuda a la disminución de instalaciones de tratamientos de aguas residuales, ya que si no se desechan los baños electrolíticos no es necesario el tratamiento para su detoxificación, puede haber una disminución en los costos de

reposición de los baños, por medio de medidas de prevención antes que medidas correctivas, que en su gran mayoría generan mayores gastos que podrían ser evitados.

Para alargar la vida de los baños como el de cromado y niquelado, se recomienda hacer análisis periódico de las concentraciones de sus electrolitos, enviando muestras de dichos baños a las empresas destinadas para tal servicio, con el fin de poseer una información actualizada del estado de los mismos, para de esta forma evitar que un posible agotamiento o contaminación, cause la pérdida de los mismos o afecte la apariencia de las piezas cuando se le depositan dichos electrolitos. Esto no genera un costo adicional, ya que las pruebas pueden ser realizadas de forma gratuita, solo si se observa alguna alteración en las concentraciones de los componentes, la misma empresa donde se realizan los análisis, realiza un presupuesto para la compra de materias primas para nivelar la concentración de los baños, ya que es la misma que provee dicha materias primas.

El chequeo para los baños de cromo deben ser cada cuatro meses, ya que el cromo se consume en poca cantidad por que la cantidad que se deposita de cromo en las piezas es muy pequeña, en cambio para el baño de níquel este debe hacerse aproximadamente cada dos meses, ya que el níquel sólido presente en el baño, se consume rápidamente en comparación con el consumo de cromo, debido al tiempo de residencia de las piezas, se requiere conocer la cantidad de níquel presente, ya que cuando este se encuentra por debajo de su nivel, comienza a afectar la apariencia de las piezas, podrían lucir opacas y ser rechazadas, teniendo que recurrir a tratamientos posteriores para recuperar las piezas.

También se debe establecerse un registro en un área cercana al proceso, habilitada para ello, donde se coloquen las variaciones de las concentraciones a través del tiempo, para así conocer acerca de la disminución de la concentración en función de las piezas procesadas en ese período, evitando así que ocurran imprevistos en esta área. La colocación de indicadores de pH y de temperatura en dichos baños, para visualizar constantemente dichas variables, evitando así que se presenten cambios bruscos en el rango de las mismas sin que los operarios puedan tener conocimiento,

afectando el recubrimiento, ya que el control de estas variables es fundamental en este tipo de proceso. En la sección de anexos se muestra la información contenida en algunos de los chequeos hechos a los baños de cromo y níquel en períodos anteriores, por diferentes empresas que suministran la materia prima.

También se plantea la introducción de indicadores de temperatura y pH en los baños (cromo y níquel), con el fin de evitar que estos valores a lo largo de todo el proceso se vean afectados sin el conocimiento de los operarios, evitando así que hayan cambios bruscos en el rango de las mismas sin que ellos puedan tener conocimiento, afectando el recubrimiento, produciéndose efectos negativos en las piezas, siendo estas variables de las más importantes dentro del proceso, esto ayudaría al mejoramiento del sistema de control de dichas variables, que es fundamental en este tipo de proceso.

Existe otra alternativa que puede ayudar a evitar la presencia de alteraciones en las concentraciones dentro del baño de cromo, como la de instalar un sistema de filtración (Figura 5.1), en la empresa se emplea para el baño de níquel este procedimiento de filtración la realizan cada mes, por medio de filtro para los baños electrolíticos. Esto emplea principalmente para la eliminación de impurezas o partículas que pueden permanecer dentro de los baños, luego del paso de las piezas, que puedan afectar la apariencia de las piezas, mediante la adherencia de estas partículas.

Para este sistema se emplea una bomba, la cual debe ser preferiblemente construida de polipropileno o PVDF, aptas para el manejo de fluidos corrosivos, la cual lleva el líquido contenido del baño electrolítico de cromo, para luego ser llevado al sistema de filtración continua, para luego volver a ser recirculado para el baño electrolítico, en el caso del cromo en particular, debido a que posee un alto poder oxidante, hace que los sistemas de filtración sean muy costosos, ya que deben ser de un material muy resistente, debido a su alto poder anticorrosivo. Este sistema de filtrado ayuda a que los depósitos en las piezas sea lo más uniforme posible, además del incremento de la densidad de la corriente, ya que la presencia de partículas dificulta la transmisión de corriente a través de las piezas, y hace que no se deposite la capa de metal.

Los filtros del tipo bobina, son capaces de retener partículas de 1 a 150 μm . Estos son los más versátiles, debido a que se puede seleccionar el tamaño de partículas a retener variando la porosidad del cartucho. Este tipo de filtro, emplean cartuchos filtrante, con un bobinado de hilo trenzado de poliamida sobre un tubo, formando con las distintas hiladas aberturas con forma de rombos. Las fibras, junto con el tamaño de los rombos, funcionan como malla filtrante, reteniendo las partículas de tamaño mayor al de las aberturas. Al retener las partículas de mayor tamaño, también se obtiene un filtrado más eficiente, ya que se reducen las dimensiones de las aberturas, pudiendo captar así, partículas pequeñas o de menor tamaño. Todos los residuos retenidos externamente, pueden ser eliminados lavando el cartucho con agua a presión y cepillo de cerdas. En la Figura 5.1 se observa el diagrama del sistema de filtración de un baño de cromo.

La capacidad de retención de este tipo de cartucho filtrante se mide en m^2 de superficie de filtrado. Para el baño de cromo contiene 1300 L de solución, el caudal a filtrar se obtiene a partir de la Ecuación B.1, será de 12 gpm en un período de 30 min., para filtrar todo su contenido, el filtro poseerá una superficie, que se calculó a partir de la Ecuación B.11, en el apéndice B, dando un valor de $0,9 \text{ m}^2$, debido a que por cada $3 \text{ m}^3/\text{h}$ de solución se debe emplear una superficie de 1 m^2 para la mayor retención de partículas, y el caudal establecido es de $2,6 \text{ m}^3/\text{h}$, de allí que la superficie del filtro es inferior a 1 m^2 . Trabajando con bajo caudal de líquido, se ve favorecida la retención de partículas de menor tamaño.

La bomba a emplear en este sistema tendrá una potencia requerida de 0,6 Hp, para un cabezal requerido de 4m, obtenido a través de la Ecuación B.4, en el apéndice B. Cuando el sistema de filtrado no recupera el caudal habitual, aun después de haber limpiado el cartucho, el mismo debe ser reemplazado. La pérdida de presión será igual a cero, ya que ambos puntos tomados para la determinación del sistema de bombeo es a presión ambiente. El cabezal de altura es igual a 2,5 m, que es altura de separación del nivel superior del tanque con respecto al nivel donde se colocará la bomba. En la Figura 5.1 se observa el diagrama esquemático del sistema de filtración, donde se observa la ubicación de los equipos a emplear.

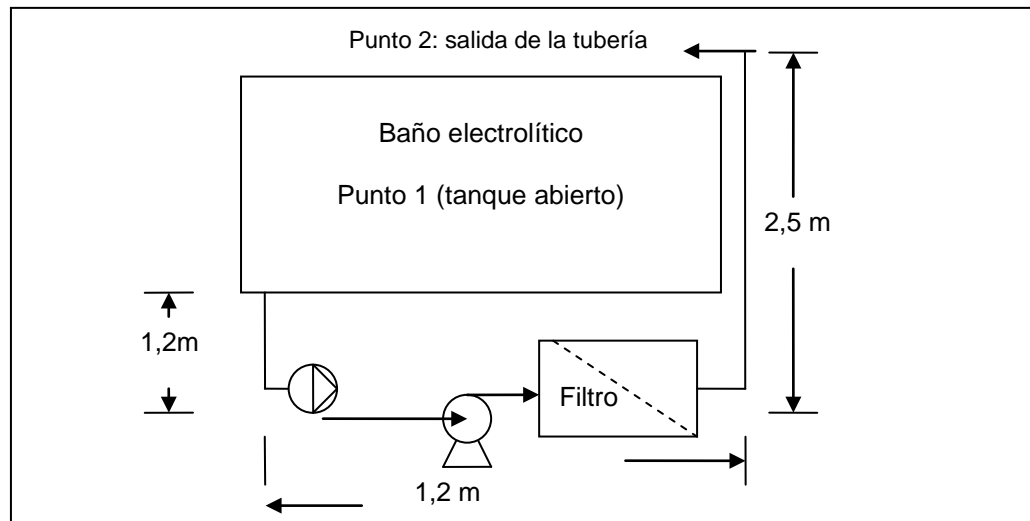


Figura 5.1 Diagrama de flujo del sistema de filtración del baño de cromo

TABLA 5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS OPCIONES PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DE LOS BAÑOS ELECTROLÍTICOS

Posibles Alternativas	Ventajas	Desventajas
Análisis Periódico de los baños	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conocimiento actualizado de las concentraciones. ✓ Incrementar el conocimiento de los operarios con respecto al mantenimiento de los baños e indicadores de variables. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se realizan las pruebas dentro de la empresa. • Tiempo de respuesta del análisis de los baños.
Filtración	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reducción de las partículas retenidas dentro de los baños. ✓ Alargamiento del período de vida útil de los baños. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de un sistema de tuberías. • Costo de inversión alto. • Costo de mantenimiento. • Mayor consumo de energía eléctrica.
Indicadores de pH y temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conocimiento del valor de dichas variables durante todo el proceso. ✓ Chequeo continuo, para detectar alteraciones de las mismas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión. • Mantenimiento de los conectores.

5.1.2 PROLONGACIÓN DEL PERÍODO DE VIDA DE LOS DESENGRASANTES

En los desengrasantes se acumulan tanto partículas como grasas y aceites. Para alargar la vida útil de los desengrasantes empleados, se debe tratar de eliminar estos

agentes externos que pueden influir en su desempeño. Las partículas pueden ser eliminadas mediante filtración mientras que las grasas y aceites que se encuentran en forma de emulsión de gotitas, en tamaños muy variables, mientras más grande sea su tamaño, es más fácil separarlas de la solución, porque ascienden y se acumulan en la superficie, se deben emplear otros métodos o buscar alternativas viables tanto del punto vista práctico y económico. El objetivo principal de la búsqueda de alternativas, es para alargar el tiempo de reemplazo además de disminuir la cantidad de agua empleada en los enjuagues que están a continuación de los desengrasantes, produciéndose un ahorro económico tanto de contenido de desengrasante y de agua.

Una forma accesible para retirar aceites y grasas, es mediante los separadores de grasas y aceites o cámaras de grasas, son tanques de volúmenes pequeños, los cuales, por su diseño son empleados para la remoción de grasas y aceites, debido a las cavidades que contienen dispuestas para la retención de las mismas, la separación de ocurre por simple diferencia de densidades, la circulación del agua ocurre en sentido vertical y horizontal, y es interceptada por una pantalla, para disminuir la turbulencia, y hacer que la materia que flote en la superficie, si las grasas son pesadas, estas serán retenidas en una especie de decantador presente en el equipo, los residuos retenidos deben ser retirados periódicamente, los cuales deben ser depositados en lugares destinados para ello.

Los separadores de grasas pueden ser circulares o rectangulares, generalmente presentan una profundidad de 0,6 m y un volumen de 350 L, con un período de retención no menor de dos horas. Como los desengrasantes empleados poseen temperaturas superiores a la temperatura ambiente, el equipo debe tener la dimensión adecuada, para disminuir la temperatura que permita la separación de las grasas y aceites, al disminuir la temperatura se favorece la solidificación de las mismas y así evitar que el proceso de solidificación se lleve a cabo en los conductos de agua, ocasionando obstrucciones. Reducir al máximo las turbulencia y ayudar al flotamiento del aceite, ya que este se acumula y se puede retirar fácilmente, tanto manual como automáticamente, esto se emplea fundamentalmente para desengrasantes alcalinos, donde las emulsiones formadas no son estables, en la empresa en estudio se emplean desengrasantes ácidos, con un pH entre de 4 y 5.

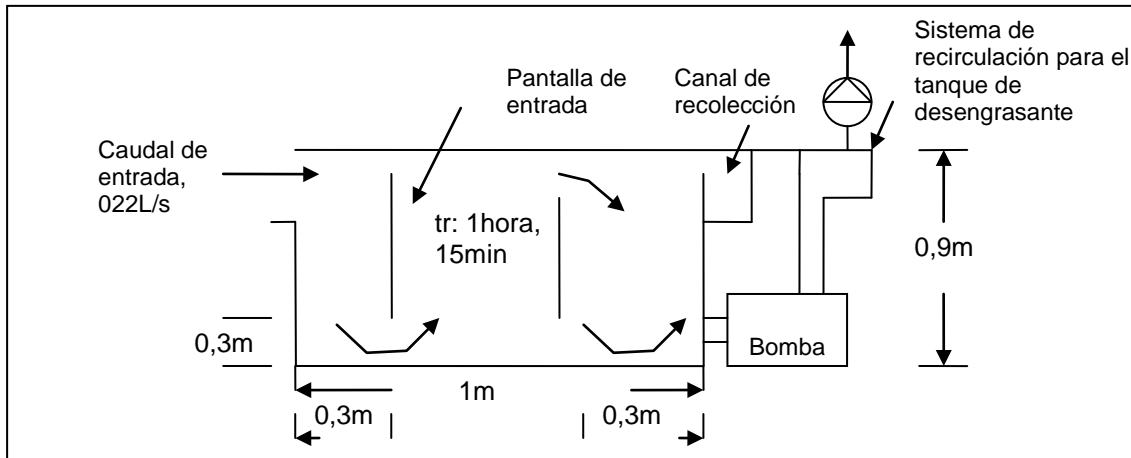


Figura 5.2 Diagrama del Funcionamiento de los Separadores de Grasas

En la Figura 5.2, se observa un separador de grasas, el caudal de entrada del separador debe ser pequeño, y mediante las pantallas, disminuir lo más posible la turbulencia, para un tiempo de retención establecido de 1 hora y 15 min., se determinó que el caudal de desengrasante a la entrada del separador de grasa será de 0,22 L/s por medio de la Ecuación B.1. El volumen del separador de grasas será cercano a 1000 L, similar al volumen de desengrasante, pero para que el separador pueda estar cerca del baño de desengrasante, este ser colocado debajo de el mismo, por lo que no debe tener una altura superior a 1,2 m, por lo tanto se estableció que la altura del separador será de 0,9 m, podría tener un ancho cercano a 1,2 m, dimensión similar al ancho del tanque de desengrasante, por lo tanto a partir de estos datos establecidos, se obtiene a partir de la Ecuación B.13 en el apéndice B, la longitud del separador, que tendrá un valor cercano a 1 m (0,92 m aprox.).

Con estas medidas, el separador será un tanque que pueda colocarse en la parte inferior de los tanques de desengrase, las pantallas deberán estar situadas la primera de ellas a 33 cm. de la entrada del afluente, la segunda a 33 cm. de la entrada del efluente, estas ayudaran a disminuir la turbulencia, estas son colocadas de tal forma, que el líquido pasa solo por una separación que poseen en la zona inferior del tanque, por donde el fluido ascenderá, favoreciendo que las grasas y aceites ascienda a la superficie y sean retenidas allí, esta separación depende del criterio del diseño, aunque la primera pantalla debe estar lo más cercana a la entrada del caudal y disminuir lo más

posible la turbulencia, este espacio podría ser hasta de 20 cm. de la entrada. En cuanto a la separación con respecto al fondo del tanque, se estableció que sea la tercera parte de la altura del tanque, por lo será de 30 cm., el espacio por donde fluya el desengrasante, como se observa en la Figura 5.2.

Para el retorno del líquido al tanque de desengrase, se puede emplear el canal de salida, cercano al fondo del separador, como el sistema funciona de manera que las grasas se queden en la superficie, el orificio de salida de la solución una vez separada de las grasas, consta de una especie de bomba de recirculación, como la empleada para el sistema de filtración, la cual se enciende una vez que ha culminado el período de retención, con una potencia menor, ya que el recorrido del líquido es menor que el sistema de filtración. Los separadores de grasas empleados en la actualidad se encuentran fabricados de plásticos, principalmente, de un material resistente como el polietileno.

También existe otro tipo de tanques como los estanques imhoff (Figura 5.3), que también se emplean para la eliminación de los aceites y grasas de las aguas residuales, también puede ser una alternativa para los desengrasantes, este tipo de tanques mediante la acción antiemulsiva de la aireación del aceite y la acción física de las burbujas, se produce el arrastre de las grasas, estos tanques son similares a los separadores de grasas con la diferencia que se inyecta aire a la mezcla en la parte inferior del estanque, produciendo que las burbujas de grasas obtengan velocidades de 3-4 mm/s, mediante el ascenso de a la superficie de las grasas estas pueden ser removidas, o en su posterior paso a un tanque de decantación que puede ser removidas por medio de raquetas superficiales. Por poseer la misma estructura ambos tanques pueden poseer las mismas medidas, por lo tanto se ajustarían al espacio destinado para ellos.

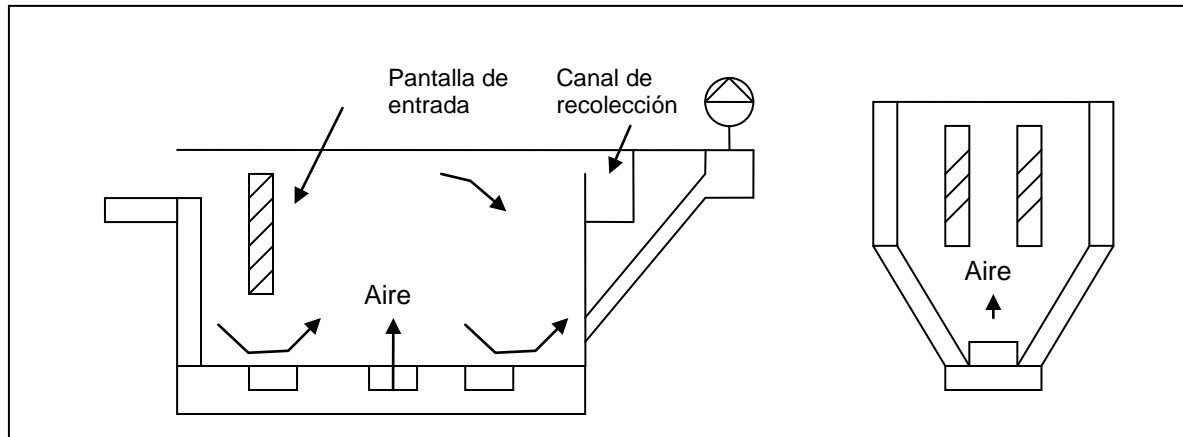


Figura 5.3. Tanque imhoff para remoción de grasas y aceites

TABLA 5.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS OPCIONES PARA PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DE LOS BAÑOS DESENGRASANTES

Posibles Alternativas	Ventajas	Desventajas
Separadores de grasas y aceites.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Permite disminuir la cantidad de residuos en la superficie del desengrasante. ✓ De fácil manejo. ✓ No requiere electricidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea para desengrasantes alcalinos, la empresa emplea desengrasantes ácidos. • Costo de inversión. • Requiere de mantenimiento. • El período de retención es alto. • Requiere de un sistema de recirculación.
Estanque imhoff	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Posee la misma estructura que el separador de grasas. ✓ Por la acción del aire la remoción de grasa se puede hacer en un periodo menor que el separador, 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de ventilación para la entrada del aire para la aireación del tanque, por lo que se requiere espacios abiertos. • Requiere de mantenimiento.

5.1.3 ALTERNATIVAS PARA LA DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA

En este aspecto del proceso de cromado, se efectuaron algunas inspecciones para comprobar el buen estado de los equipos y funcionamiento, a partir de lo observado, se procedió a realizar una serie de indicaciones, para ser tomadas en cuenta por parte de los operarios y así mejorar su ejecución, que pueden contribuir con la posible disminución de pérdidas de energía en la actualidad, las indicaciones se presentan a continuación:

- ❖ Chequeo del voltaje, ya que al emplear un voltaje demasiado alto puede provocar pérdidas económicas importantes, actualmente no se realiza un chequeo del buen funcionamiento del generador de voltaje.
- ❖ Chequeo de la colocación de ánodos y cátodos dentro de los baños.
- ❖ Revisión de ánodos dentro del baño de ácido crómico y bolsas anódicas en el baño de níquel, ya que el mal estado o falta de limpieza, hace que se incremente la resistencia, por lo que es recomendable realizar una limpieza o inspección periódica para verificar el estado de las mismas.
- ❖ Las gancheras o bastidores deben estar aislados, excepto en los puntos de contacto, con el fin de minimizar las pérdidas de energía y materiales, que resulta de la precipitación de metales en las partes no aisladas, si esto no se realiza, estos depósitos deben ser retirados en un baño ácido, generando una mayor cantidad de residuos.
- ❖ Chequeo de la temperatura de trabajo, siendo una de las variables más importantes dentro del proceso, si ocurre un incremento en la temperatura requerida implica un gasto de energía innecesario si sucede un descenso, produciría que las condiciones no sean las adecuadas, por lo que no se obtendrían los resultados esperados.
- ❖ Control del arrastre, una cantidad considerable de arrastre de los baños con temperaturas superiores a la del ambiente, producen la reposición de los niveles de agua, aumentando el costo de energía necesaria para aumentar su temperatura hasta la de trabajo.
- ❖ Recubrimiento de los baños calientes con bolsas de plástico cuando estos no se hayan en funcionamiento, ya que así se reduce el enfriamiento y es un ahorro de energía.

5.1.4 RECUPERACIÓN DE PIEZAS CON RECUBRIMIENTO CON DEFECTOS

Para recuperar piezas posterior a su proceso de recubrimiento, se emplean un método llamado desmetalizado, que ayuda a remover de las piezas restos de electrolito, cuando este no haya podido recubrir totalmente la pieza o el acabado no haya sido el esperado. Las soluciones de desmetalizados pueden ser electrolíticos (anódicos) o químicos. El primero de ellos tiene una composición similar a la de un electrolito, en

cambio los segundos por lo general poseen complejantes fuertes, que pueden ser un problema al momento de tratar las aguas residuales.

Una de las soluciones que se emplean como desmetalizado es aquella para las piezas recubiertas por níquel, debido a que la mayoría de las piezas desechadas o rechazadas se debe a la poca adhesión del níquel a la pieza, y al hacer pasar las piezas niqueladas al baño de cromo, este no se adhiere bien correctamente a la superficie, observándose que la pieza comienza a descascararse, por lo tanto para que esta pueda ser recuperada se debe removerle la capa de níquel.

Se plantean el uso de dos tipos de baños, el primero de ellos emplea una solución altamente corrosiva, para remover toda la superficie de níquel que se encuentra adherida a la pieza, se empleará una concentración de 1000 g/L de ácido sulfúrico, se emplearan tanques de 1300 L, con una cantidad de 1170 L de agua, para no rebosar el nivel del tanque y que ocurra derrames que puedan afectar a los tanques y a los operarios, debido a la alta concentración, el aditivo para retirar las capas de cromo y níquel son 1170 Kg. de ácido sulfúrico, esta solución se emplea en frío a temperatura de alrededor de 20 °C, por lo que sugiere emplear un sistema de enfriamiento, pero puede colocarse en la línea de enjuagues posteriores a los desengrasantes, y así el calor liberado del tanque ayudara a que sea absorbido por los enjuagues de agua, y así tratar de mantener a temperatura ambiente (alrededor de 24 °C).

De implementarse esta alternativa, se pueden realizar pruebas para ver la efectividad en la remoción de recubrimiento a esta temperatura, y si no se obtienen los resultados deseados, se planteará la posibilidad de la introducción de un sistema de enfriamiento, en el cual es necesario emplear una bomba de recirculación y con un tanque o depósito. Las serpentinas alrededor del tanque de desmetalizado deberán ser de un material inatacable y resistente a la temperatura, como ser nylon, teflón, etc. Las piezas deben ser sujetadas por gancheras por medio de alambres de cobre o latón y se introducen en la solución y por medio de la corriente eléctrica suministrada a las piezas, al cabo de unos instante se observa la superficie de las piezas, si se ha disuelto la capa de níquel, se retiran las piezas inmediatamente y se introducen en un enjuague con agua fría.

También se puede emplear una solución, en la cual las piezas se introducen en un baño de bicromato de potasio al 5 % v/v, ácido sulfúrico al 5 % v/v, diluidos en la cantidad de agua que contiene el tanque donde se colocará la solución, dando como resultado la adición de 96,64 Kg. de bicromato de potasio y de ácido sulfúrico en un tanque que contiene 1100 L de agua, las piezas deben ser retiradas en cuanto desaparece la capa de níquel que estas poseen. Cualquiera de las dos alternativas presentadas podría ser una solución factible, pero se debería determinar previamente a cualquier selección, las formas de disminución de los residuos tóxicos que estas generan luego de su período de vida y de su posterior sistema de enjuague.

Se requiere un enjuague siguiente al baño de desmetalizado para lavar las piezas, y retirar restos de la solución de ácido concentrado sobre la superficie de la pieza. Se debe tomar en cuenta que con la introducción del desmetalizado, este se debería de colocar dentro de la línea de proceso, el cual reduciría los espacios para un sistema de enjuague efectivo, lo que afectaría la apariencia de piezas. Además requerirá de un enjuague siguiente para evitar que el ácido concentrado se seque sobre la superficie de las piezas y produzca cambios que afecten la superficie para el recubrimiento posterior.

La solución del desmetalizado a seleccionar requiere del uso de tanques adicionales de material anticorrosivo, como acero inoxidable, que son resistentes a soluciones altamente concentradas de ácido sulfúrico, o se sugiere que para evitar un gasto adicional, se podrían emplear los tanques de hierro galvanizado que no están siendo empleados en la actualidad. Existen varios tanques sin uso dentro de la línea de cromado, con capacidades de 1300 L, un espacio similar al empleado para los baños de enjuague, en los cuales se puede colocar la solución escogida, así como su respectivo tanque para el enjuague posterior del baño de desmetalizado. Estos tanques están contruidos de hierro galvanizado pero se encuentra recubiertos con un material especial para evitar que las soluciones entren en contacto con el tanque, y pueda ocurrir un accidente o fuga.

TABLA 5.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS SOLUCIONES EMPLEADAS PARA LA RECUPERACIÓN DE PIEZAS CON DEFECTOS DE RECUBRIMIENTO

Posibles Alternativas	Ventajas	Desventajas
Solución con ácido sulfúrico concentrado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eliminación de las capas de níquel y cromo de las piezas. ✓ Método de reutilización de piezas. ✓ No requiere de la compra de reactivos adicionales, ya que el ácido sulfúrico se emplea como reactivo en la empresa 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere sistema de enfriamiento. • Requiere de electricidad en las piezas. • Requiere de un sistema de enfriamiento (opcional). • Solución altamente corrosiva. • Empleo de gran cantidad de ácido sulfúrico.
Solución de bicromato de potasio	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eliminación de las capas de níquel y cromo de las piezas. ✓ Método de reutilización de piezas. ✓ No requiere de electricidad. ✓ Requiere de poca cantidad de materia prima. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de materia prima adicional a la empleada en la empresa. • Sistema de eliminación de bicromato de potasio en las aguas residuales.

5.1.5 REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS POR DERRAMES Y FUGAS

Es muy importante evitar posibles inconvenientes que puedan ocurrir a causa de fugas o derrames, provenientes de cualquiera de los tanques, que puedan afectar tanto a los operarios como al sitio de trabajo, por lo cual se deben realizar charlas para brindar el conocimiento básico de las normas y manejo de material empleado, así como de medidas a tomar durante el desarrollo del proceso. Para prevenir situaciones graves, se debe llevar a cabo un mantenimiento preventivo de las instalaciones de la planta, una revisión del estado de los tanques, realizando reparaciones a los que se encuentren en mal estado o aquellos donde la resina de recubrimiento posea fisuras.

Una de las alternativas que se recomienda es que en la parte bajas de los tanques de los baños este protegida con un cubeto o una separación con recubrimiento epoxi, que pueda contener la mayor cantidad posible de volumen, además que deberá existir

un dispositivo mediante el cual se pueda trasegar el líquido derramado según su utilización posterior.

Se podrían tomar en cuenta las siguientes indicaciones para evitar en lo posible que los derrames puedan ocasionar problemas en el sitio de trabajo:

- ❖ Capacitación de los operarios acerca de la forma correcta de adicionar los aditivos, para así evitar los derrames, que trae consigo la contaminación del ambiente de trabajo y de los mismos operarios, poniendo en riesgo la seguridad.
- ❖ Control de los niveles de los baños en los tanques, para evitar que disminuyan en su nivel más de lo que disminuye regularmente y tener un estimado la cantidad que se añade para restaurar su nivel, evitando que se agregue una cantidad mayor de lo necesario y ocurran derrames.
- ❖ Prestar mayor atención a los tanques donde se produce espuma en la superficie (desengrasante), ya que esta se puede rebosar fácilmente.

5.1.6 AUMENTO DEL TIEMPO DE ARRASTRE

Esta práctica consigue la disminución de los arrastres que se producen desde un baño de tratamiento a otro de enjuague. La reducción de los arrastres implica una menor necesidad de consumo de agua para diluir la contaminación, lo que traduce en un menor volumen de residuo generado. Los arrastres en las piezas corresponden a la cantidad de líquido adherido a ellas, procedente de los baños o lavados anteriores, se debe minimizar los arrastres para garantizar el mantenimiento o alargamiento de la vida de los baños, ya que este líquido retenido, produce disminución de la concentración, a la vez que son posibles fuentes de contaminación de los baños siguientes.

Una de las forma de disminuir los arrastres, es mediante los tiempos de escurrido, los cuales depende de la geometría de las piezas, en la Figura A.10, en el apéndice A, se ilustra la variación que puede incidir en los tiempos de escurrido en función de la forma de la piezas. A partir de las figuras presentadas en la sección de piezas con defectos en la superficie, se observa que la mayoría de las piezas cromadas en empresas, son cilindros huecos, exceptuando los seguros espárragos, que son tornillos

de tamaño similar a las tuercas hexagonales, por lo tanto esto correspondería a la forma de pieza identificada con el número uno en dicha Figura A.10, se observa que para un período de escurrimiento menor a 30 segundos, la cantidad de arrastre de líquido dentro de este tipo de pieza es superior a la cantidad de arrastre de las demás piezas, debido a que presentan cavidades internas, estas producen que haya una mayor retención de líquido en su interior, pero también se puede apreciar que a partir de un tiempo mayor a 30 segundos, la cantidad de arrastre de líquido se mantiene constante, por lo tanto se podría implementar que haya un tiempo de escurrido en los baños como desengrasantes a los 30 seg.

En los baños electrolíticos se puede elevar a 10 ó 15 seg., siempre y cuando se evite que exista riesgo de afectar la apariencia de las piezas, esto ayudará a la disminución del descenso de nivel de los baños electrolíticos y así disminuirá la cantidad de adición de los lavados de estanque, que hacen que la concentración disminuya por la dilución de sus componentes y haya un mayor gasto en la adición de abrillantadores en el baño de níquel. Tomando esta medida y en conjunto con la prolongación del período de vida de desengrasantes, esto ayudara a la disminución del cambio de los enjuagues posteriores a los baños de desengrasantes, es la alternativa mas sencilla de implementar, en ella no se necesita de la introducción de nuevos equipos, además que al realizarla no se producirá un incremento considerable en el tiempo total de proceso, que pueda afectar la realización de los procesos siguientes, y además favorecerá a la disminución de concentración en los baños de enjuague, ya que a medida que el tiempo de escurrimiento es mayor, es menor la cantidad de líquido proveniente de los desengrasantes, y por lo tanto disminuye la probabilidad de contaminación de los baños siguientes.

5.2 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA REDUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS

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.

Esta es la parte esencial de este estudio, ya que se enfoca principalmente en obtener una alternativa factible para la empresa, donde puede disminuir la cantidad de residuos tóxicos que esta genera durante el desarrollo del proceso de cromado, siendo la principal preocupación los niveles de cromo hexavalente en los efluentes, proveniente de la oxidación del cromo trivalente del baño electrolítico de cromo. Para la reducción de cromo hexavalente se emplean ciertos métodos de eliminación, que involucra reacciones de detoxificación, neutralización y precipitación, para posteriormente emplear sistemas de decantación y filtración, también se debe tomar en cuenta la caracterización de dichos efluentes así como el destino final de las aguas provenientes de los baños de níquel, a las cuales no se le realiza ningún tratamiento.

Debido a la cantidad de residuos que se maneja en la planta, se deben buscar métodos que estén enfocados en la eliminación de pocas cantidades y volúmenes de agua, adaptados a un sistema no automatizado además que la cantidad de materia prima a emplear sea mínima, asimismo que el espacio a utilizar sea accesible a la cantidad de equipos empleados y que el sistema de control sea manejable para los operarios que ejecuten tal proceso.

5.2.1 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La empresa en estudio, no posee una planta de tratamiento para las aguas provenientes de los baños de cromo y níquel, su sistema de recubrimiento electrolítico no posee controles o indicadores, mediante los cuales le permita al operador realizar un manejo automatizado de las variables del sistema, todos sus tanques están diseñados de una forma y dispuestos de una forma, que durante la ejecución del proceso, no hay flujo de agua, por lo tanto el proceso de eliminación de residuos no se realiza de manera continua sino se hace cada cierto periodo de tiempo, lo que constituye una fuente de contaminación. Debido a que los residuos se colocan en

depósitos tanto abiertos como en el caso de los restos del baño de níquel o en depósitos cerrados para los provenientes del baño de cromo, resulta con efectos negativos para la salud para los operadores que realizan dicha labor, tanto de trasiego, como por las inadecuadas formas de manejo de los reactivos empleados y las técnicas del sistema de reducción de residuos que se emplea. A continuación se presentan dos posibles alternativas, para luego seleccionar la más recomendable.

5.2.1.1 Tratamiento por cargas de aguas provenientes de baños electrolíticos

El tratamiento por cargas se emplea para cualquiera de los baños de recubrimiento presentes durante el proceso, ya que se emplean tanques fuera del proceso destinados a recolectar por separado, todas las aguas de los enjuagues, baños agotados o contaminados, para luego ser tratadas según los reactivos adecuados para cada tipo de agua, en tanques subsiguientes, mediante el empleo de sistemas de tuberías, que permitan el trasiego a cada uno de los tanques, para las aguas cromadas (Figura 5.5). Mediante este sistema, es posible vigilar mas de cerca y controlar las reacciones de detoxificación, neutralización, ya que es controlado por los operarios el tiempo que las aguas duran dentro de cada tanque, verificando que ocurra la reacción completa este método ayuda a corregir ciertas irregularidades, dentro de las operaciones que pueden llevar al incumplimiento de la normativa ambiental.

Este tipo de tratamiento controlado, asegura que el tiempo de residencia empleado sea homogéneo para todo el volumen de aguas residuales, estableciendo el tiempo de reacción, permitiendo el desarrollo de la reacción de forma eficiente. Por su forma de ejecución, permite controlar la acidez y alcalinidad de los diferentes depósitos, se pueden emplear mayores tiempos de decantación, lo que permite que no se emplee el uso de floculantes, haciendo que se generen una mayor cantidad de lodos.

Con esta alternativa se exige al operario la toma de muestra al finalizar cada reacción, lo que permite llevar un control, pero a la vez la necesidad de contar con ciertos equipos que le ayuden a determinar que la reacción haya sido completa, como equipos de medición de pH, observación de color, dependiendo de los valores obtenidos, se podrá llevar las aguas al siguiente tanque para continuar su tratamiento,

hasta que esta sea inocua. Para la instalación de este tipo de sistema, se debe poseer una serie de tanques similares a los empleados en el proceso de cromado, con un volumen similar o superior, dependiendo de la cantidad de volumen que se maneje de residuos, además de un sistema de tuberías que comuniquen a cada uno de los tanques del baño de cromo con el tanque de depósito, el cual se encargará de distribuir la solución recolectada que se procederá a detoxificar hasta llegar a la etapa final donde se empleará un tanque de decantación, cuyas dimensiones al igual que los tanques empleados dependerá del volumen que se maneje de residuos, como se observa en la Figura 5.4.

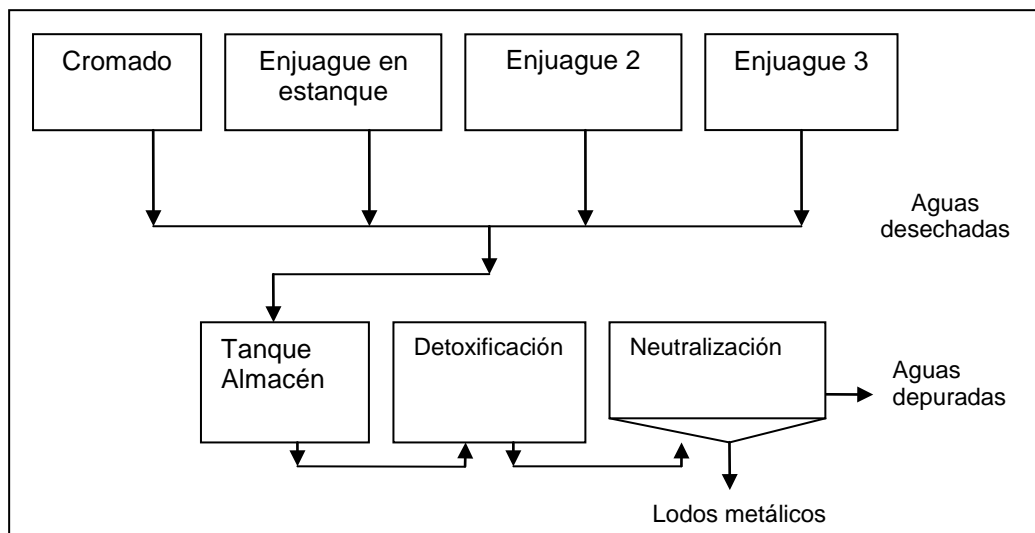


Figura 5.4: Diagrama del sistema por cargas para aguas cromadas

El tanque de almacenamiento debe poseer un tamaño en el cual puedan ser descargados las aguas provenientes de los tanques de enjuague, y en ocasiones los provenientes del tanque de estanco, pero mayormente serán para los volúmenes provenientes de los enjuagues 2 y 3. Ambos enjuagues tienen un volumen de 1300L similar al tanque de ácido crómico (baño de cromo), por lo tanto el tanque debe tener un volumen superior a 2600 L, para garantizar la homogenización de las cargas, deben emplearse el uso de un agitador dentro del tanque de 32 rpm, determinada a partir de la Ecuación B.18, en el apéndice B, debe poseer un medidor de pH, ya que las aguas cromadas previo al paso de detoxificarla deben poseer un pH menor a 4, esto se puede

lograr a través de la adición de ácido sulfúrico en el tanque de igualación, una vez alcanzado el pH deseado, estas pasan al tanque de detoxificación.

Todos los tanques requeridos adicionalmente para el tratamiento por cargas tendrán la misma estructura como se indica en la Figura 5.5, el cálculo de sus dimensiones fue a partir de la Ecuación B.17 para determinar su diámetro, partiendo el volumen deseado y el establecimiento de la altura. Las demás dimensiones se determinaron por medio de relaciones de diseño donde se contempla la distancia del agitador con respecto al nivel del líquido, el diámetro del agitador, entre otras, que aparecen en el Apéndice B, en la sección tratamiento por cargas.

En el tanque de detoxificación, se produce la adición del metabisulfito de sodio que corresponde a su detoxificación, hasta que el indicador de pH indique un valor de pH igual a 2,5, allí se detiene la adición de metabisulfito, la solución permanece por un período de tiempo de 20 a 30 minutos, con agitación continua. Luego dicha solución se descarga en el tanque de neutralización, que a diferencia de los tanques anteriores tendrá un período de retención mayor, tendrá funciones de decantador primario, en este tanque se produce la adición de hidróxido de sodio, para elevar el pH hasta que esté en un rango de 8 a 9, hay que mantenerlo en este rango, ya que el hidróxido de cromo a pH igual a 10 es ligeramente soluble, para así trabajar con una solubilidad mínima del hidróxido de cromo, se requiere que la velocidad de agitación sea superior a la de los de los agitadores anteriores, por lo tanto, se estableció que sea el doble que el determinado para los tanques de igualación y detoxificación.

Una vez terminada la reacción de neutralización, esta tiene un período menor que el tanque anterior, alrededor de 10 minutos, se detiene el agitador y se deja en reposo, hasta que los lodos sedimenten y se extrae la solución, se sugiere que el período de retención sea de dos días, aunque el tiempo puede ser menor, dependiendo de la cantidad de lodos presentes. Los lodos deben ser removidos una vez por semana, para luego ser colocaran en lechos de secado, para ser llevados a su destino final por los organismos competentes. Este tipo de sistema también se emplea para las aguas niqueladas, con la diferencia que solo se requiere de hidróxido de calcio para la

neutralización y el empleo de filtros para la desecación de los lodos producidos en el proceso.

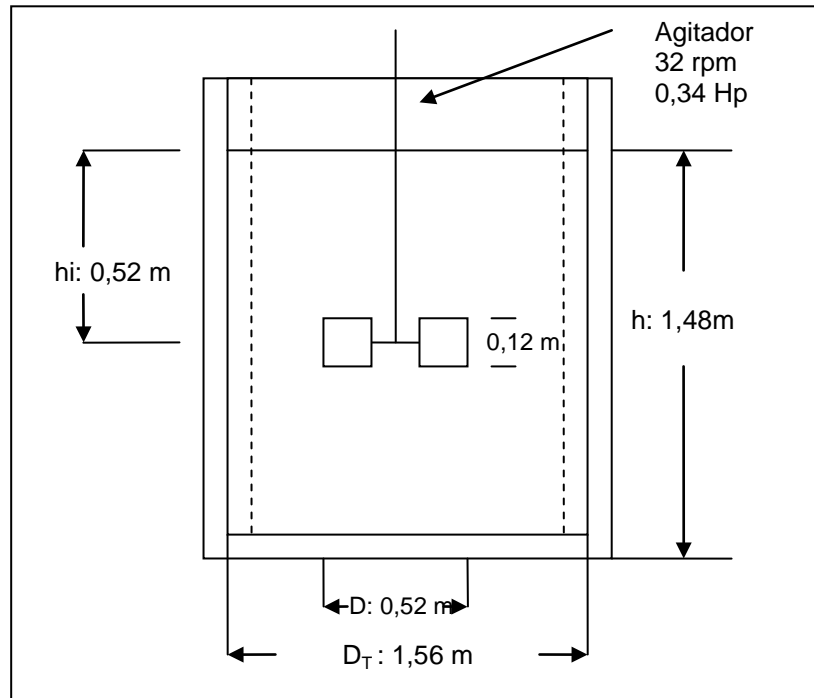


Figura 5.5: Dimensiones de los tanques empleados en el sistema de tratamiento de aguas residuales por carga

5.2.1.2 Sistema de disminución de residuos tóxicos (Sistema Lancy)

Este proceso se basa en introducir las piezas, tras un baño electrolítico, en una serie de lavado en estanque, que contiene reactivos de detoxificación, de neutralización de la carga contaminada que es arrastrada por las piezas, se emplea este tipo de sistema de lavado posterior a los baños de cromado de piezas con ranuras y geometría compleja, ya que se dificulta la eliminación de ácido crómico adherido a la pieza. Este sistema ofrece muchas ventajas: como la sencillez de a operación, mejoras en el sistema de lavado y la disminución de residuos peligrosos, muy importante tanto para el ambiente y para los que laboran en la empresa. Es ideal para las operaciones de cromado decorativo, ya que solo se emplea para detoxificar el ácido crómico precedente de este baño. Algunas de las desventajas que presenta es la incorporación de un lavado químico, que hace que se reduzca el número de posiciones para enjuagar óptimamente, por lo que la concentración de los enjuagues y por lo tanto en las aguas residuales será más elevada.

En este sistema (Figura 5.6), las piezas salen del baño de proceso electrolítico de cromado y luego ingresan a un baño de recuperación (estanque). Enseguida ingresan a un estanque de tratamiento o baño Lancy, que consiste en una solución saturada de metabisulfito de sodio que produce la reducción de cromo hexavalente a trivalente a un pH inferior a 3; esta solución debe contener los productos químicos detoxificantes en una dosificación en exceso, que cause una reacción completa y rápida con la película de arrastre sobre las piezas. Luego la pieza es sumergida en un estanque con soda cáustica al 20 % v/v para precipitar el cromo trivalente. La pieza se sumerge en un baño de enjuague en cascada y continúa su trayectoria de proceso.

Los tanques deben disponerse de tal forma que el espacio de separación entre ellos sea muy pequeño, para evitar que cuando las piezas pasen de un tanque a otro, no derramen líquido fuera de los tanques, además que se tendrá en cuenta el tiempo de escurrido y la mejor técnica de escurrir las piezas. Ayudara a la disminución de los residuos tóxicos en las aguas de lavado, ya que al pasar las piezas por las etapas de detoxificación y neutralización, el residuo remanente dentro de las piezas provenientes del baño de cromo disminuye, haciendo que las etapas de lavado posean una menor cantidad de tóxicos, debido a que la cantidad de líquido retenido en la piezas sea mínimo.

Las concentraciones de los tanques de dicho sistema altamente concentradas, y debido a la cantidad de cromo a detoxificar son pequeñas, el período de reemplazo o de vida de dicho baños podrá ser largo, así que el consumo de materia prima anual será relativamente bajo, todo dependerá de la cantidad de piezas procesadas. La empresa contara con un espacio destinado dentro del proceso donde colocar el baño de cromo, cuando este se contamine en el futuro y así dextoxificarlo, y este deba ser reemplazado, ya que las reacciones que ocurren en estos tanques de detoxificación y neutralización dependen del pH para que la reacción sea completa, se colocaran indicadores de pH en ambos tanques. Los tanques a emplear poseerán las medidas similares a los tanques existentes en la línea de cromado como del baño de níquel (1,2 m altura, 1,2 m largo, 1,6 m ancho), estos tanques se sugiere que sean de polietileno de alta densidad, del mismo material que se emplea para contener los baños agotados de cromo, con lo cual

se garantiza que son resistente a tales condiciones de solución corrosiva, estarán colocados los tanques de la forma como se observa en la Figura 5.7.

En el tanque donde ocurre la detoxificación, el pH debe estar entre 2 y 2,5, una vez alcanzada este pH, indica que ya ha ocurrido la detoxificación, se debe tomar en cuenta que la velocidad de la reacción tiene a disminuir rápidamente cuando el pH aumenta, por encima de 3,5 (pH crítico), por lo tanto para asegurar la completa reacción, se requiere del empleo de indicadores de pH. También se requiere del empleo de un extractor para la eliminación de los gases tóxicos, que se puedan producir durante el desarrollo del tratamiento.

Por el espacio habilitado en la línea de proceso, los tanques deberán contener una cantidad de 2185 L de solución saturada de metabisulfito de sodio, por lo que se le añadirán 1420 Kg., para que la solución posea una concentración de 650 g/L. En el tanque de la neutralización se colocaran 2185 L de agua en una solución al 20% v/v de NaOH, por lo que se le debe agregar 437 L de soda cáustica, pero en la empresa se adquiere el hidróxido de sodio de forma sólida (por sacos), por lo tanto se emplearan 546 Kg. y así obtener una solución de 250 g/L. Del mismo, tomando en cuenta que las soluciones presentan reactivos en excesos para que la reacción sea completa. La secuencia de las etapas del sistema Lancy se observan en la Figura 5.6.

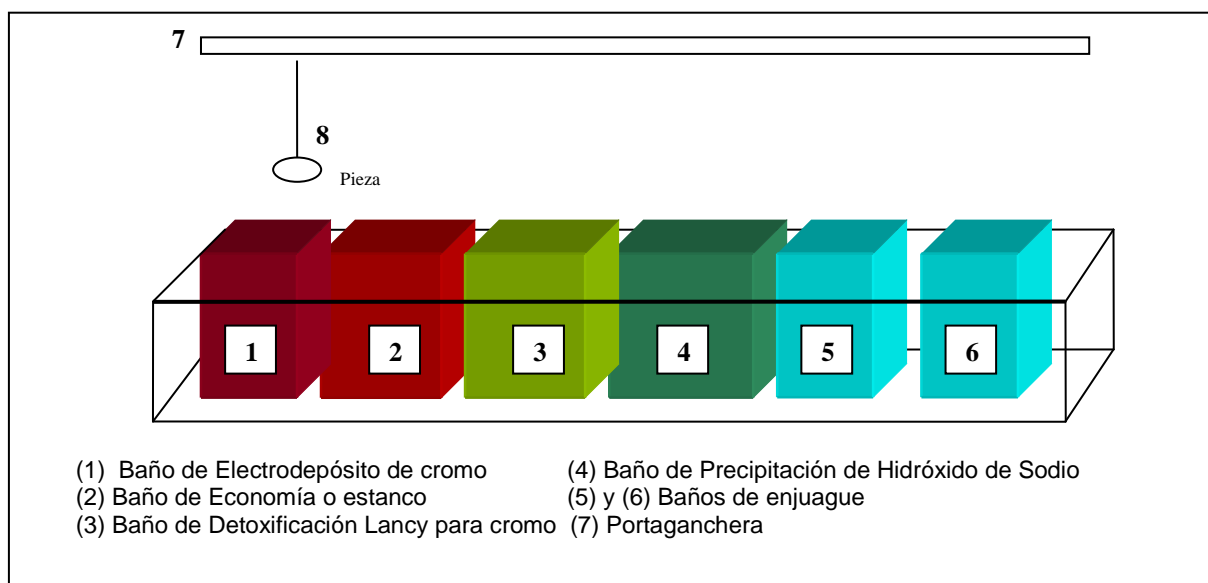


Figura 5.6: Etapas del Sistema Lancy para reducción de cromo

TABLA 5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ALTERNATIVAS PLANTEADAS PARA LA DISMINUCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS

Posible alternativa	Ventajas	Desventajas
Tratamiento de aguas residuales por carga	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Seguridad medioambiental (control para evitar incumplimientos de normas, por fugas, accidentes o reacciones incompletas). ✓ Bajos costos en reactivos. ✓ Se puede emplear para volúmenes reducidos de aguas residuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de la reacción, ya que depende de las concentraciones de las aguas. • Debe establecerse el número de cargas. • Sistema de transferencia de un depósito a otro, con equipos de trasiego. • Costo de inversión. • Cantidad de espacio disponible. • Empleo de medidores de pH y agitadores en cada uno de los tanques.
Tratamiento de aguas residuales por el sistema Lancy	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La sencillez del proceso. ✓ Mejoras en el sistema de lavado ✓ Sistema de tratamiento en línea ✓ Tiempo de reacción corto ✓ Bajas concentraciones de las aguas ✓ Bajos costos de reactivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible mayor consumo de agua al reducir el número de posiciones disponibles para etapas de lavado. • Introducción de 2 tanques adicionales. • Indicadores de pH

5.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación se presenta las matrices de selección y jerarquización empleadas para la selección de las alternativas propuestas, los criterios empleados, así como los beneficios de implementar cada propuesta.

5.3.1 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y RECURSOS

Antes del planteamiento de las propuestas, se realizó una selección previa de alternativas para cada una de los factores descritos en la sección anterior, ya que para cada uno de ellos se plantearon varias alternativas, y a través de las ventajas y desventajas planteadas, del dimensionamiento de los equipos necesarios a emplear y del tipo de material a emplear, se determinaron las alternativas más factibles que puedan ser implementadas y a través de la matriz de jerarquización, ponderarlas con respecto a los costos, espacio, residuos generados etc.

TABLA 5.5 ALTERNATIVAS PRE-SELECCIONADAS PARA REDUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y RECURSOS

Sectores de las alternativas seleccionadas	Alternativas pre-seleccionadas de cada una de las sectores estudiados
Baños electrolíticos	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de indicadores de temperatura y pH • Chequeo de las concentraciones periódicamente.
Arrastre	<ul style="list-style-type: none"> • Incrementar los tiempos de escurrido en algunos baños.
Fugas y derrames	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar recomendaciones a la empresa para eventos futuros
Desengrasantes	<ul style="list-style-type: none"> • Separadores de grasas
Desmetalizado	<ul style="list-style-type: none"> • Baño de ácido sulfúrico.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar recomendaciones a la empresa para reducir gastos en energía

TABLA 5.6 MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE MATERIAS PRIMAS Y RECURSOS

Factores / Alternativas	Pond.	VB		D		A		DM		FD		E	
Espacio requerido	10	0	0	6	600	0	0	5	500	0	0	0	0
Cant. De equipos a emplear	9	4	360	8	720	0	0	6	540	0	0	2	180
Costo de Materia prima	5	3	150	0	0	3	150	7	350	5	250	0	0
Costo de energía	6	6	360	4	240	0	0	2	120	0	0	5	300
Cant. De Residuos generados	8	0	0	8	640	0	0	6	480	5	400	0	0
total			870		2200		150		1990		650		480

VB: vida de los baños, D: desengrasante, A: arrastre, DM: desmetalizado. FD: fugas y derrames, E: energía

La matriz de jerarquización (Tabla 5.6), se empleó para tener una referencia en cuanto a nivel económico de cada una de las alternativas pre-seleccionadas o propuestas para ser tomadas en cuenta en el planteamiento de la propuesta final, en la Tabla 5.5 se refleja esta selección previa.

Para la previa selección de alternativas, se estableció especialmente respecto al costo de inversión, es por ello que no se tomará en cuenta la adquisición de filtros y bombas diseñadas para baños electrolíticos, debido a los costos de los materiales empleados, ni la introducción de tres tanques para un sistema de tratamiento por carga por el espacio no disponible actualmente o para la introducción de tanques imhoff para los baños de desengrasantes, ya que requiere de espacios abiertos y este se debe colocar en un espacio cerrado, debido a estos criterios se presenta en la Tabla 5.5, las alternativas más factibles de cada uno de los puntos críticos planteados. Cada una de las alternativas es independiente entre sí, es decir se puede implementar por separado, pero la actuación de ellas en conjunto, ayudarán a mejorar el desempeño del sistema de cromado de la actualidad, ya que actúan en puntos específicos que presentan ciertas fallas en la actualidad.

La ponderación correspondiente a cada uno de los factores planteados en la Tabla 5.6, corresponde al nivel crítico de cada una de las alternativas, es decir que mientras se le asigne el menor valor por cada factor, esto corresponderá a la mejor alternativa para ese criterio, por lo tanto las alternativas que al final posea el menor valor será la más aceptable, además que serán las que posean más probabilidad de ser incluidas en la propuesta final en conjunto con la alternativa seleccionada para la reducción de residuos. Aquellos factores donde se coloca el valor cero (0), son aquellos en los cuales dicho factor no se aplica a la alternativa, como en el caso de los tiempos de arrastre, en el cual no se requiere de la compra de equipos, por lo tanto el valor asignado para ese factor será de cero. Se escogió una ponderación de 5 -10, para que la diferencia entre los valores finales obtenidos tenga una mejor apreciación, en cuanto a su diferencia.

La ponderación dada a cada uno de los factores escogidos para la valoración de cada una de las alternativas para cada sector corresponde al siguiente criterio: el espacio le corresponde la mayor puntuación, ya que es el factor más restringido, el

espacio a emplear para la colocación de nuevos equipos es pequeño, por lo tanto se debe tomar en cuenta para la implantación de la alternativa, también influye la cantidad de equipos a emplear, ya que dependiendo el número de equipos y su tamaño, mayor será el espacio a utilizar para su colocación, el tercer factor corresponde a la compra de materia prima, teniendo una ponderación menor en relación a los otros factores, esto corresponde tanto a la cantidad como a la regularidad de compra de la misma, que dependiendo de las acciones preventivas, el valor correspondiente a cada alternativa podría disminuir.

El costo de energía corresponde a la cantidad de energía a emplear por parte de los equipos a instalar por cada alternativa, lo cual corresponde un consumo adicional a los que ya cuenta la empresa, por último se encuentra el producción de residuos por parte de cada alternativa, ya que a medida que los desechos por cada alternativa sean mayores, mayor será el gasto por parte de la empresa para deshacerse de los mismos, y eso incrementaría los costos de igual forma que el factor anterior.

A partir de la ponderación de cada uno de los factores y su importancia, se determinó el valor correspondiente de cada factor para cada una de las alternativas planteadas por cada sector del proceso, y a partir de allí, el valor total correspondiente para cada una de las alternativas, mientras mayor sea el valor obtenido por las alternativas, menor será la factibilidad de la alternativa.

Al observar la Tabla 5.6, existen alternativas, para las cuales no se requiera de un espacio adicional para la introducción de nuevos equipos ya que su ponderación es igual a 0, esta característica es fundamental, ya que el área destinada para el proceso de cromado es muy reducida y no permite la introducción de equipos de gran tamaño, ni tanques fuera del área o línea de proceso de gran tamaño. La cantidad de residuos también es un factor de importancia, ya que si la alternativa a implementar va a generar muchos residuos luego de su utilización, estos desechos deberán ser tratados posteriormente, lo que implica costos adicionales, como es el caso del aumento del período de vida de los desengrasantes por la remoción de grasas y el desmetalizado, por el tratamiento posterior de el baño de ácido sulfúrico agotado.

Con respecto al costo de energía, estará relacionado con la adquisición de nuevos equipos que requiera del empleo de energía eléctrica, como el caso de período de vida de los baños, el alargamiento del tiempo de vida de los desengrasantes y el desmetalizado, si se emplea un sistema de enfriamiento para la solución, las indicaciones para los ahorros de energía para evitar que haya un consumo mayor de energía del necesario por el proceso, donde se observa la influencia en torno a lo que corresponde a la aplicación de alternativas.

En el caso de las pérdidas por fuga y derrames, el costo de materia prima se tomó en cuenta en el caso del deterioro de los equipos a causa de incidentes producidos por estas fallas, que puede producir desechos no controlados y pérdidas de materia prima.

La cantidad de equipos a emplear se toma en cuenta como factor económico, ya que mientras mas equipos se emplee, mayor será el valor agregado, que traerá como consecuencias también costo de mantenimiento a futuro.

5.3.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS

Con respecto a la reducción de residuos, se presentan dos opciones: el tratamiento por cargas y el sistema Lancy para las aguas cromadas. Estos sistemas presentan diferencias en cuanto a su utilización, en el caso de tratamiento por cargas, se encarga de la reducción de cargas toxicas de efluentes, además que debe realizarse periódicamente, ya que las aguas se almacenan en tanques y mientras mayor sea el tiempo o período entre cada tratamiento, estos deben almacenar una mayor cantidad, ocasionando que se requieran de tanques de mayor tamaño al establecido. Mientras que el sistema Lancy, lo que hace es ayudar a disminuir la cantidad de tóxico presentes en los enjuagues siguientes al baño de cromo y así reducir la cantidad de materia prima empleada un tratamiento posterior adicional para las aguas residuales, es decir es un tratamiento preventivo.

En cuanto a la cantidad de equipos a emplear, la primera opción requiere de una mayor cantidad de espacio, además de un sistema de tuberías y equipos de gran tamaño, en cambio el Sistema Lancy, solo requiere de dos tanques adicionales y de

indicadores de pH, colocados dentro del mismo proceso, permitiendo que se reduzca el costo de los reactivos empleados, en relación a los reactivos necesarios para el tratamiento por carga, a pesar que el tratamiento por cargas también puede emplearse para las aguas niqueladas con otros reactivos para su neutralización.

TABLA 5.7 MATRIZ DE SELECCIÓN PARA LAS ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE RESIDUOS TÓXICOS

Factores Alternativas	Pond.	Sistemas por carga		Sistema Lancy	
Espacio requerido	10	9	900	6	600
Cant. De equipos a emplear	9	9	810	5	450
Costo de Materia prima	7	8	560	4	280
Costo de energía	6	6	360	3	180
Cant. De Residuos generados	8		560	4	320
total			3190		1830

Es por ello que la alternativa seleccionada fue el sistema Lancy, aunque solo se empleará para las aguas cromadas, en la actualidad solo puede realizarse un arreglo con los tanques requeridos e introducir estos tanques en línea de cromado en el espacio que se destine para ellos. Es una opción adecuada para empresa pequeñas y no automatizadas, que no cuentan con un tratamiento de efluentes al final del proceso, además que debido a la forma de operación, es la que mejor se adapta a la situación de la empresa, tanto en presupuesto y espacio, con solo dos tanques a emplear, colocarán las soluciones de detoxificación y neutralización, son soluciones son altamente corrosivas, por su alta concentración. Se requiere de un extractor adicional, cercano al tanque donde se produzca la detoxificación, ya allí se generan ciertos gases tóxicos perjudiciales como SO₂, que pueden afectar a los operarios.

Debido a que el tratamiento de los baños de enjuague es más costoso, ya que en estos baños, los residuos tóxicos están diluidos en 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 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 adicionales para optimizar la precipitación de hidróxidos de metales. Hay que tomar en cuenta que con el sistema Lancy, se está disminuyendo la incidencia de cromo hexavalente en las aguas de los enjuagues siguiente al baño de cromo, con lo cual se previene que esta agua residual llegue a las cañerías con un alto nivel de concentración de cromo tanto trivalente como hexavalente, debido a las altas concentraciones de ambos baños adicionales, permitirá que una gran cantidad de cromo hexavalente sea removido antes que el baño sea reemplazado, se estima que cada 1,5 Kg. de metabisulfito detoxifica 1 Kg. de cromo hexavalente.

5.3.3 PLANTEAMIENTO DE PROPUESTAS

A partir de las alternativas presentadas tanto para reducción de materias primas y recursos como disminución de residuos tóxicos, se plantean tres propuestas, donde se tomarán en cuenta las alternativas que pueden aplicarse si la adición de equipos, las que requieren de la compra de equipos, las que requieren de construcción de instalaciones fuera de la línea de proceso, a estas propuestas se les evaluarán en cuanto a los beneficios a largo y mediano plazo y seleccionar la propuesta más adecuada y realizarle el estudio de rentabilidad.

A continuación se presentan los beneficios de la implementación de cada una de las propuestas que pueden ser implementadas por la empresa Súper Ruedas y Accesorios:

5.3.3.1 PROPUESTA 1

Para esta propuesta, se plantean las alternativas que cuentan con el menor valor asignado por los factores contemplados de la Tabla 5.6, que corresponden a aquellas

que no requieren de la construcción de nuevas instalaciones en el proceso de cromado, ni de la adquisición de equipos para el control de variables de temperatura y pH o compra de materia prima, por lo tanto su implementación es inmediata adoptando estas medidas y podrá permitir mejoras para la empresa. Por la tanto para la propuesta 1 se presentaran el aumento de los tiempos de arrastre o escurrimiento a la salida de los desengrasantes y baños electrolíticos, las prevenciones para evitar las fugas y derrames de los tanques, las indicaciones para el ahorro de energía.

Por medio de las indicaciones para el ahorro de energía, se ayudará a la forma de supervisar el contacto de las gancheras con las piezas, y así evitar que las piezas posean una coloración no deseada, por medio del cubrimiento de los baños ayudará a evitar la evaporación de los mismos y el descenso del nivel de los baños. Mediante las señalizaciones hechas para evitar los derrames y fugas, se contribuirá al manejo correcto de las soluciones contenidas dentro de los tanques y así evitar pérdidas de materia primas por fugas en los tanques, así como evitar el deterioro de los tanques por el contacto de las soluciones corrosivas, y por lo tanto el reemplazo por averías en los tanques. Por medio del incremento del tiempo de arrastre en los desengrasantes, se disminuirá la contaminación de los baños subsiguientes, así como también disminuir el consumo de agua de los enjuagues, por el aumento de residuos provenientes de los desengrasantes.

El tiempo de escurrido para los baños de desengrasantes y los baños electrolíticos puede incrementarse de 15 segundos (baños electrolíticos) y 20 a 25 segundos (baños de desengrasantes), sin riesgo de que se pueda afectar la superficie de la pieza, esto favorecerá el ahorro de cantidad de electrolito arrastrado por las piezas, representa una medida de ahorro de materia prima, principalmente del baño de níquel y la disminución en el consumo de agua para los enjuagues, debido a que la cantidad de líquido proveniente de los desengrasantes, que arrastran las piezas luego de salir de allí, que puede producir un incremento en el consumo de agua de los baños siguientes al enjuague, en el caso de los baños electrolíticos a disminuir la cantidad de electrolito arrastrado y disminución del descenso del nivel de los baños.

5.3.3.2 PROPUESTA 2

En la siguiente propuesta a las alternativas presentadas en la propuesta anterior pero se le añade la introducción de un procedimiento para la recuperación de piezas defectuosas, obtenidas durante el proceso de cromado de las piezas, ya que de esta forma las piezas para que puedan ser recuperadas para así poder salvar parte del capital perdido en la producción de piezas con defectos en su recubrimiento. Mediante la aplicación de este procedimiento, las piezas le serán removidas las capas de níquel que las recubren, y así volver a ser sometidas al proceso de cromado para que obtengan la apariencia deseada para su venta.

La solución a emplear es la solución de ácido sulfúrico concentrado, ya que la otra solución donde se emplea bicromato de potasio, se tendría que eliminar el cromo presente en el baño luego de su agotamiento y el sistema de eliminación de las aguas residuales sería más complicado que el empleado para la solución escogida, que sería la neutralización. Dependiendo del nivel de defecto en la pieza y del modelo de la pieza será mayor o menor el período de estancia en la solución de desmetalizado, pero por ser una solución extremadamente concentrada, el cual será muy pequeño debido al tamaño de las piezas, cuyo altura no es superior a 5 cm., y su ancho y profundidad no supera los 2,5 cm.

Debido la alta concentración del baño de desmetalizado, se sugiere realizar un estudio previo, empleando un volumen pequeño de solución entre 200 L a 300 L, empezando con una concentración inicial de 300 g/L y observar la efectividad de remoción en las piezas, dependiendo del nivel de remoción que se observe en las piezas y el tiempo de residencia, se continuaría incrementando la concentración para observar los resultados, hasta obtener un efecto favorable en las piezas con una menor concentración a la establecida (1000 g/L). Si se obtienen resultados satisfactorios con la concentración de 300 g/L, se puede realizar el mismo estudio pero con concentraciones menores a la inicial. A partir de este estudio, se determinará la concentración real a emplear en el baño de desmetalizado y dependiendo de los resultados que se obtengan, puede disminuirse la concentración inicial (1000 g/L) y así evitar usar una solución tan concentrada.

A esta propuesta se le añade la instalación de indicadores de pH y temperatura y chequeo periódico de los baños electrolíticos, para favorecer el mantenimiento de la concentración de los baños electrolíticos, además de la alternativa seleccionada para la disminución de residuos tóxicos. Mediante la alternativa para el mantenimiento de los baños, se mejorará el control de las concentraciones de los baños electrolíticos, para así evitar cambios inesperados puedan acarrear trastornos y paradas imprevistas por problemas ocasionados en las piezas, ya que mediante la información actualizada del estado de las variables temperatura y pH de forma constante que influyen directamente en el desempeño de los baños electrolíticos, es una vía de alerta del funcionamiento del mismo, es una medida preventiva. Además mediante el chequeo continuo de las temperaturas de los baños calentados, se evidenciará el funcionamiento de los medios de calentamiento, para evitar descensos en las temperaturas correspondientes, afectando el desempeño de los baños, al igual que el mantenimiento de las temperaturas

Para la parte ambiental se empleará la aplicación de un sistema no automatizado, el cual ayudará a evitar la acumulación de cromo hexavalente en la aguas residuales provenientes de los baños de cromo electrolítico, mediante la detoxificación se retira de las piezas los restos de cromo hexavalente en la superficie producto de la electrodeposición de cromo en las piezas en forma de cromo hexavalente, y por medio de la neutralización los restos de cromo trivalente formado se precipitan en el tanque de neutralización, para que cuando salgan las piezas a los enjuagues no haya peligro de la presencia de estos dos agentes contaminantes en las aguas de los enjuagues y estos tanques también pueden ser empleados para la detoxificación de los baños de cromo contaminados.

5.3.3.3 PROPUESTA 3

Se presentan las mismas alternativas de la propuesta 1, con sus beneficios, pero con la implementación de los separadores de grasa para los desengrasantes empleados. Los baños desengrasantes deben ser renovados periódicamente, debido a la acumulación de las grasas y aceites presentes en las piezas al comienzo del proceso de cromado y a medida que se incrementa la concentración de aceites en el baño de

desengrasante, este va perdiendo su eficacia para la eliminación de impurezas de la superficie de las piezas, para la aplicación de esta propuesta se debe realizar la inversión de dos separadores de aceite, que a partir de del separador diseñado, este requiere recibir mantenimiento para la extracción de las grasas acumuladas, aunque posee las medidas accesibles para el espacio destinado para ellos, se debe tomar en cuenta que se le debe realizar un proceso de separación de residuos, y realizarse servicio para los residuos eliminados, su disposición y destino final.

A partir de la aplicación esta alternativa se permitirá alargar el período de vida de los desengrasantes indefinidamente, ya que mediante el proceso continuo de separación, ya no existirá capas de grasas en su superficie, que impidan la correcta eficiencia del trabajo de ellos. Es una opción adecuada si se tiene un espacio destinado para la colocación del separador, de las tuberías de recirculación así como también el equipo necesario para la remoción de sólidos y grasas en el equipo. Ya que a pesar que el equipo tenga las medidas que cumplan con las restricciones de diseño establecido, se debe tomar en cuenta que a este tanque se le debe realizar mantenimiento periódicamente, por lo cual debe permitir el fácil acceso del operario para realizar tal operación.

5.3.4. PROPUESTA SELECCIONADA

A partir de los beneficios propuestos de cada una de las propuestas, se tiene que la mejor propuesta es la propuesta numero dos, la que incluye la solución de desmetalizado, ya que es una solución para la recuperación de las piezas defectuosas que existen en la actualidad y así no habrá que necesidad de desechar las piezas como chatarra, sino que habrá la oportunidad que sean recuperadas, eliminando los depósitos de la misma que se encuentra en el área de cromado, ocupando espacio que puede ser empleado para otros fines, como puede ser la introducción en un futuro de separadores de grasas para el mantenimiento de los desengrasantes, donde hay que destinar un espacio fuera de la línea del proceso de cromado, el espacio ideal sería debajo de los tanques de desengrasantes, pero requieren de un espacio mayor, para poder ser colocados y realizarle el mantenimiento adecuado, para retirar los residuos que allí se generen, por lo que se sugiere que haya un chequeo en la cantidad de grasas en los

desengrasantes, y si es posible la remoción manual, una vez que los niveles de grasas y aceites superen la cantidad permitida.

Con la alternativa de desmetalizado y la de disminución de residuos tóxicos en las aguas residuales, la serie de indicaciones para el ahorro materia prima y recursos seleccionadas, se espera que haya una disminución en el número de piezas defectuosas, además del consumo de aditivos innecesarios y el mantenimiento de los baños de electrolítico, que es lo que genera mayor inversión por parte de la empresa.

En las Tablas 5.8 y 5.9 se presenta las especificaciones del extractor y de los controladores de pH-temperatura a partir de los cuales se toma en cuenta los precios de equipo en la sección de rentabilidad, que se podrían adquirir al implantar la propuesta seleccionada. Los tanques a adquirir son de capacidad de 2300 L de polietileno de alta densidad para el Sistema Lancy y para el sistema de desmetalizado se emplearan los tanques que se encuentran en desuso en la empresa de capacidad de 1300 L.

TABLA 5.8 ESPECIFICACIONES DEL EXTRACTOR

RPM del rotopropulsor	Hélice con rotopropulsor de aluminio, 650 RPM
Nº Aspas	tres aspas de aluminio laminado
Motor	trifásico (220V, 50Hz)
Caudal (m³/min)	40
Diámetro de la hélice (mm)	350
Diámetro del extractor (mm)	400

Fuente: busnellihnos- La ventilación. Argentina. 2006

**TABLA 5.9 ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR-INDICADOR
DE TEMPERATURA Y PH**

Características	pH	mV	Temperatura °C
Rango de la variable	0,00 a 14,00	± 1000	-9,9 a 125
Resolución	0,01	1	0,1
Precisión	± 0,01	± 1	± 0,1

Fuente : [http:// www. O4kton .com](http://www.O4kton.com)

En las Figuras 5.7 y 5.8 se muestra la ubicación en el sistema de cromado de los tanques adicionales a adquirir y la vista de planta del mismo. En la Figura 5.7 se encuentra la distribución de cada uno de los tanques de las etapas del proceso de cromado, luego de la implementación de la propuesta seleccionada. En el Capítulo 4, se describe cada una de las etapas del proceso así como su disposición en la línea de cromado. Los tanques de desengrasantes y los enjuagues posteriores a él, seguirán en la misma posición que poseen la actualidad en la línea de cromado. La etapa de desmetalizado con su respectivo enjuague se colocará a continuación del enjuague 3 ó activado, ya que allí, al igual que al comienzo de la línea de cromado (los dos tanques previos al desengrasante químico que se observa en la Figura 5.7) se encuentran tanques en desuso, se seleccionó esta ubicación, ya que las piezas que requieren que se les remueva su capa de níquel, no requieren del enjuague en desengrasantes, ya que ellas no se encuentran recubiertas de grasas y aceites provenientes de las etapas previas, debido a que estas piezas ya fueron tratadas por todas las etapas de cromado, por lo tanto ya le fueron removidas los aditivos y lubricantes.

Por lo tanto el proceso de cromado para estas piezas, comenzará a partir del desmetalizado, al terminar esta etapa con su respectivo enjuague, continuarán con el níquelado y posterior el cromado, para obtener su apariencia final. Con esta ubicación de desmetalizado, se evitará que los restos de recubrimiento entren en contacto con los baños anteriores al desmetalizado, ocasionando problemas de recubrimiento en las piezas siguientes, por la presencia de particular en los baños. En cuanto al baño de níquel, seguirán ocupando la misma posición que en la actualidad, en el caso del baño de cromo, habrá una nueva distribución posterior al enjuague en estanque, se colocarán las dos etapas de detoxificación y neutralización, para así evitar que los enjuagues del baño de cromo posean restos de cromo hexavalente, proveniente de los restos que permanecen en las piezas una vez depositado el cromo en su superficie. En la Figura 5.8 se observa la vista de planta de la línea de cromado luego de la implementación de las alternativas de desmetalizado y Sistema Lancy, en las cuales se encuentra las dimensiones de los tanques así como la separación entre los mismos, con el cual se puede apreciar otra vista de la misma Figura 5.7.

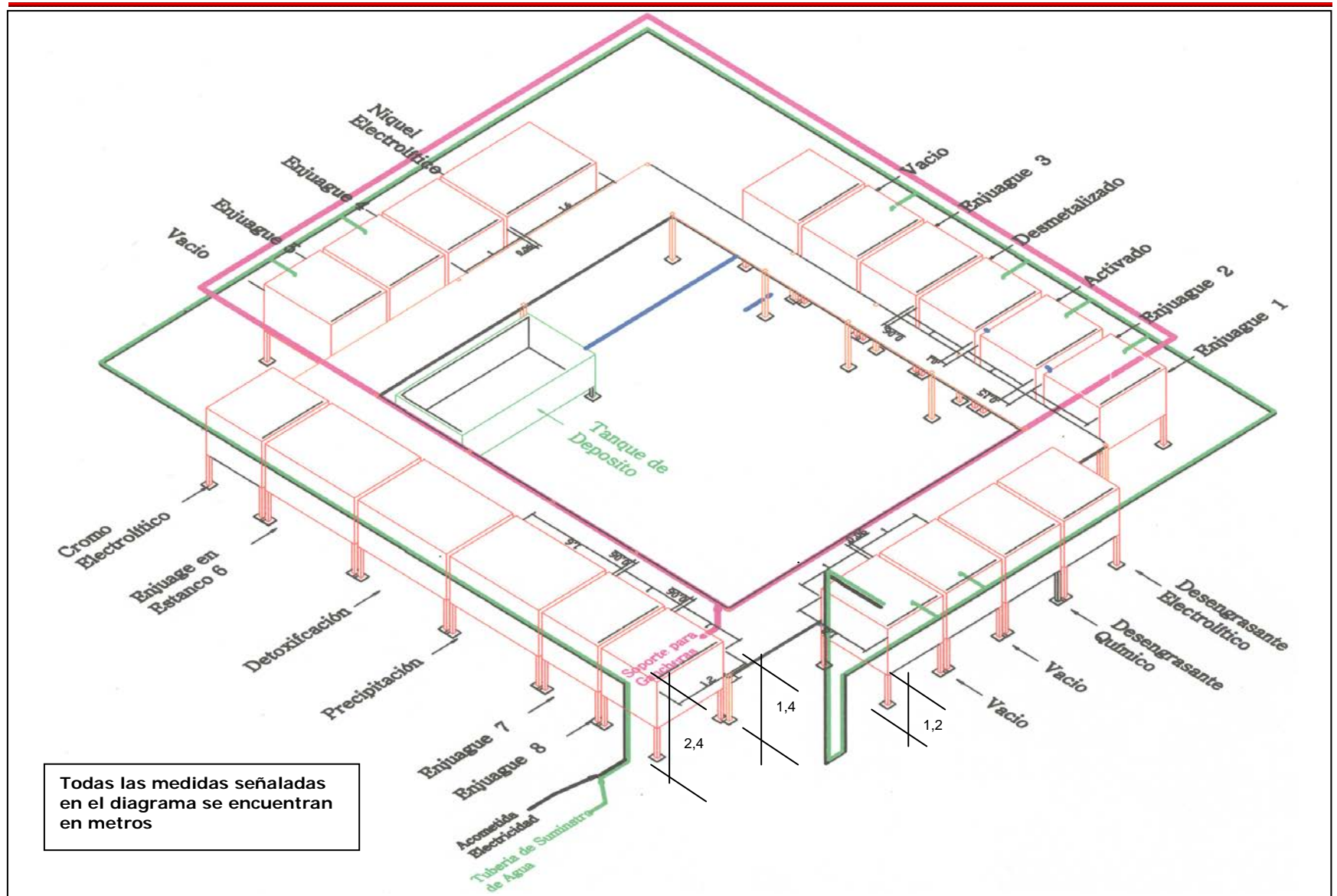


Figura 5.7 : Esquema del sistema de cromado de la empresa con la introducción del baño de desmetalizado y el Sistema Lancy

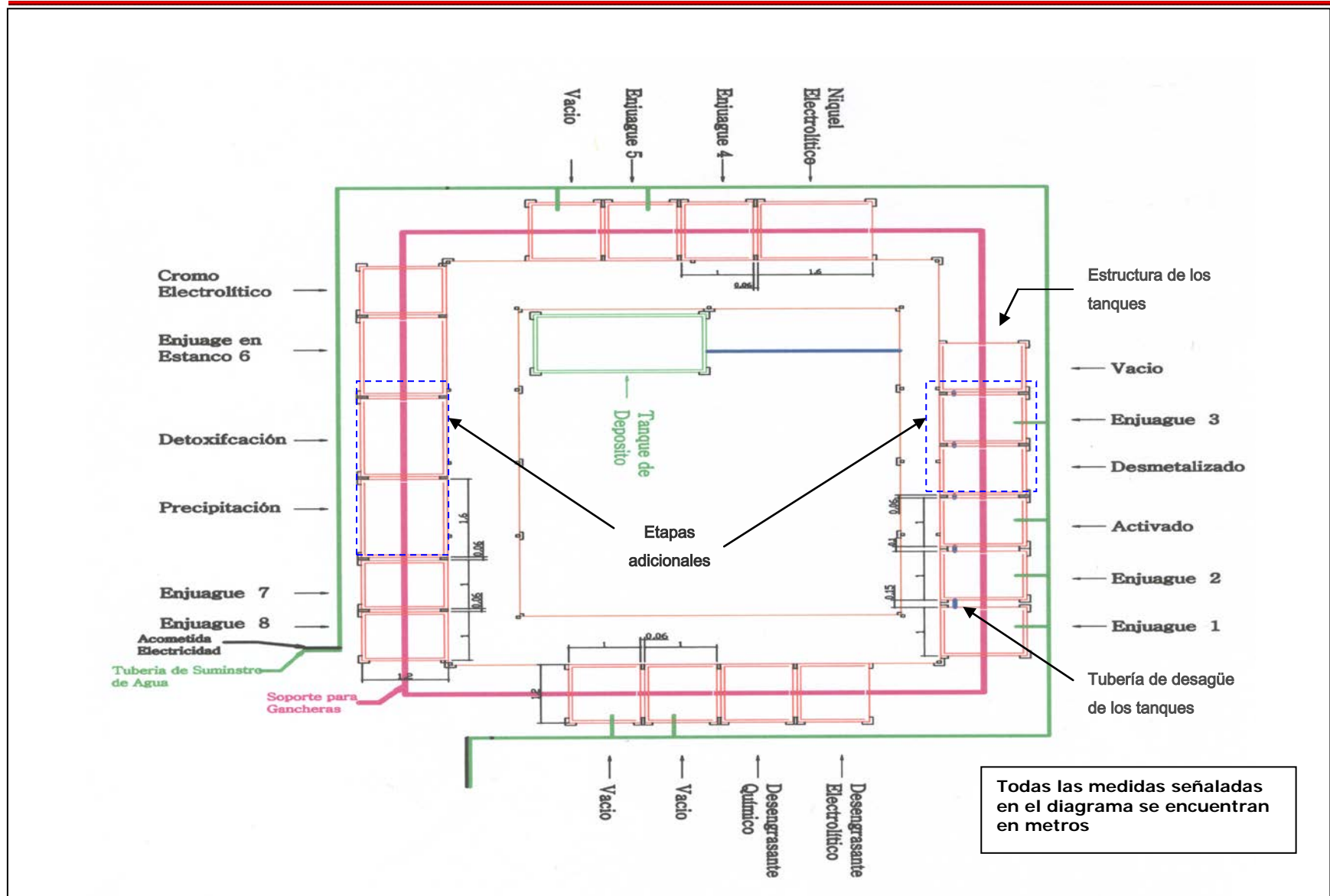


Figura 5.8 : Vista de planta del Sistema de cromado en la empresa Súper Ruedas y Accesorios con la aplicación de la propuesta N° 2

CAPÍTULO VI

RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA SELECCIONADA

En el siguiente capítulo se presenta el estudio de la rentabilidad de la propuesta seleccionada, especialmente de las alternativas en las cuales se que requieren de la compra de equipos, a la cual se le aplicara los indicadores económicos para determinar su rentabilidad así como también indicaciones para el cumplimiento de lo establecido en la ley con respecto al manejo de desechos peligrosos.

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA SELECCIONADA

En el capítulo anterior se seleccionó una propuesta, tanto para la reducción de materias primas y recursos como para la disminución de residuos tóxicos en los efluentes, es por ello que en vez de realizar el estudio de rentabilidad a cada una de ellas, se presentaran las alternativas en conjunto como una propuesta factible, para así tener un estimado de los consumos e ingresos en conjunto de implementar las mismas.

La empresa Súper Ruedas y Accesorios, además de cromar piezas fabricadas por ellos mismos, importan partes de automóviles para su distribución y fabrican otras piezas que no requieren de cromado, sino que son recubiertas en otro tipos de procesos como el galvanizado, pavonado, etc. Es por ello que las ganancias de la empresa no se basa solamente en la venta de las piezas cromadas, a través de información suministrada, se tiene estimado que aproximadamente un 40% de las ganancias obtenidas, provienen de la venta de las piezas cromadas, por lo tanto, debido a que las piezas que son cromadas, representa un porcentaje importante de las ganancias, de allí la necesidad de corregir ciertos defectos y aprovechar la oportunidad de recuperar las piezas para su venta.

Dichas alternativas están descritas, como indicaciones a tomar en cuenta por parte de la empresa para mejorar las fallas presentes en estas áreas y así evitar incidentes que puedan causar consecuencias graves, afectando la salud de los operarios, del sitio de trabajo y hasta efectos negativos en el producto final, por lo tanto, generarán un efecto positivo en cuanto a los costos operacionales. Con el conocimiento actualizado

de las concentraciones de los baños electrolíticos, se evita la adición innecesaria de aditivos pero existirá un control de los contaminantes presentes. Con el control de las piezas defectuosas así como de las piezas cromadas en función del consumo de los baños, se podría establecer acciones preventivas, que permitan evitar que alguna alteración en los baños perjudique el resultado final de las piezas, y la realización de inversiones adicionales para su arreglo.

Las alternativas seleccionadas están enfocadas en la maximización del consumo de la materia prima de los baños electrolíticos, como el mantenimiento de la concentración de los baños, donde se estableció el período de chequeo de los baños además la adición de indicadores de pH y temperatura, que serán incluidos en el costo de los equipos de las alternativas a implementar. El aumento del tiempo de arrastre que influirá en la disminución de la cantidad de concentración de electrolito en los enjuagues. Con respecto a la prevención de derrames y fugas, es para evitar o disminuir la posibilidad que se produzcan imprevistos tanto para los equipos a instalar así como el resto de las etapas del sistema de cromado. En cuanto a las recomendaciones para disminuir las pérdidas de energía contribuye a la disminución del consumo de energía innecesario.

El desmetalizado genera costos de inversión, por la compra de materia prima para este baño adicional, pero de este procedimiento se pueden generar ingresos, debido a la recuperación de piezas. El sistema de reducción de residuos, solo generará costos adicionales, mediante la instalación de equipos, tanques adicionales y también compra de materia prima, por lo tanto no aportará ingresos a la empresa, pero le permitirá que las aguas residuales posean los límites permitidos, regulados por el ministerio del ambiente y cumplir con las normas ambientales, para brindar seguridad al entorno de la empresa y al ambiente, además de un sistema de disminución de residuos más adecuado que el usado en la actualidad. Con este tipo de sistema se busca disminuir la cantidad de cromo hexavalente que es arrastrado por las piezas a los enjuagues siguientes al baño de cromo, y cuando sean descargados a las aguas residuales, estos contengan un valor mínimo de los máximos permitidos por la ley del ambiente.

A pesar de que estas dos alternativas representan un costo adicional a la empresa, los ingresos que se pueden obtener a partir del desmetalizado de las piezas, pueden ayudar a cubrir los gastos operacionales que el sistema de reducción de residuos genere y el desmetalizado. Para conocer los ingresos que se puede obtener mediante el desmetalizado de las piezas, se estimó que las piezas que presentan defectos en su recubrimiento, que se encuentran en depósitos de capacidad 18,9 L y el volumen aproximado de cada una de ellas es alrededor de 19,6 cm³, realizando los cálculos respectivos, que se observan el apéndice C, se obtuvo alrededor de 8000 piezas, que fueron producidas en un período de dos años y medio años.

Las piezas presentan diversas formas, por lo tanto poseen diferentes costos de producción, debido al tipo de acero empleado y el método de fabricación, por lo tanto hay variación en la cantidad de ingresos obtenido por la venta de las mismas. Algunas piezas poseen un precio de venta de 0,69 \$ (las piezas mas pequeñas), mientras que las que poseen un precio mayor, pueden tener un valor de 9,3 \$ (piezas grandes como los seguros espárragos), para obtener un valor promedio de las ganancias a obtener de estas piezas recuperadas, se emplean las proporciones de las piezas defectuosas actuales, la forma de las piezas y su costo.

A partir del registro realizado de las piezas defectuosas, se estableció una relación de piezas defectuosas mensuales promedio y dio un valor de 260 piezas mensuales, y en la actualidad es alrededor de 200, por lo tanto ha disminuido la cantidad de piezas defectuosas, se espera que con la implementación de las alternativas, este número de piezas descienda aun mas y así no consumir tanto el baño de desmetalizado. A partir de la recuperación de estas piezas, se establecerán los ingresos y costos necesarios para la determinación de los flujos monetarios. La cantidad de piezas defectuosas por mes debido a su cantidad, representan un batch, por lo tanto no se tomara en cuenta la cantidad de materia prima empleada para recubrirla, ya que el estimado por mes de consumo de materia prima de los baños por piezas recuperadas es muy pequeña.

La empresa desde que fue adquirida por los dueños actuales, no se le ha realizado ninguna evaluación por parte del ministerio del ambiente, donde se verifique la correcta disposición de los desechos, además de la correcta aplicación de métodos enfocados

en la disminución de los tóxicos en las aguas que son desechadas en las cañerías. Por lo tanto con la aplicación de la alternativa de disminución de desechos tóxicos en el caso del cromo, se estaría cumpliendo con parte de lo designado por la ley y así evitar problemas mas serios como el cierre de la planta o el pago de multas debido al no cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 55, sobre sustancias, materiales y desechos peligrosos.

Entre las recomendaciones a seguir para el cumplimiento se destaca: la información necesaria para el uso de forma correcta y segura de los materiales peligrosos para evitar daños a la salud y el ambiente, el contemplar el uso de adecuados equipos de seguridad, principalmente de mascarar contra gases y así evitar ocasionar daños a las vías respiratorias durante la realización de la actividad. La implementación y uso de tecnologías limpias o ambientalmente seguras, para la prevención y disminución de la generación de desechos. Contar con planes de emergencia y de contingencia, diseñados e implementados de acuerdo con la reglamentación técnica sobre la materia.

El manejo de los desechos peligrosos deben ser realizarlos en las condiciones sanitarias y de seguridad establecidas en la reglamentación técnica para garantizar la prevención y control de los riesgos al igual que en las operaciones de almacenamiento, eliminación y disposición final de desechos peligrosos, así como los sitios destinados para tales fines deben reunir las condiciones de seguridad y control de la contaminación. Deben tener un control con respecto al tiempo de permanencia de los desechos peligrosos cerca del área del proceso, el cual no debe exceder un tiempo mayor del establecido en la reglamentación, la ubicación de los centros de almacenamiento, tratamiento y disposición final de los desechos estará sujeta a las disposiciones legales sobre evaluaciones ambientales de actividades susceptibles de degradar el ambiente.

Deben registrarse en el Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente llevado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, y requieren de la presentación de un cronograma de adecuación el cual deberá contener la información establecida en la reglamentación técnica e indicará el plazo máximo de

adecuación del área. Una vez presentado el cronograma, dependiendo de los cambios a realizar, se autorizará la continuación temporal de la actividad y fijará las condiciones, limitaciones y restricciones bajo las cuales dicha actividad se desarrollará mientras cumple con el plazo de adecuación. Si no se le considera adecuado habrá que realizar modificaciones. El incumplimiento de los plazos del cronograma de adecuación y de las condiciones, limitaciones y restricciones fijadas para el desarrollo de la actividad mientras dure el proceso, por causas de la empresa, puede ocasionar sanciones administrativas y penales establecidas en la ley.

La empresa por estar inscrita en el registro competente del ministerio del ambiente deberá pagar entre 800 a 1600 \$ (entre 50 U.T. hasta 100 U.T.), además de un pago adicional una vez realizada la evaluación por parte de los organismos competentes y estos detectan fallas con respecto al cumplimiento de la ley, en este caso deberá pagar multas entre 3125 \$ y 31255 \$ (entre 200 U.T. hasta 2000 U.T.), según sea la gravedad de los daños que el proceso pueda estar ocasionando al ambiente.

Además del no cumplimiento existe la posibilidad del cierre temporal de la planta o sistema de cromado, donde se producirían pérdidas, que serán superiores a lo que sería la implementación de un pequeño sistema de tratamiento para comenzar a regular los niveles de tóxicos que son desechados al ambiente, por un costo de cercano a 7000\$, como inversión por parte de la empresa. Esto representa un paso para que la empresa puedan cumplir con parte de las indicaciones propuestas en la ley, lo cual en la actualidad es tan importante para el cuidado del ambiente y de las personas en general, para evitar inconvenientes mayores como el cierre de planta.

6.2 DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA SELECCIONADA

La estimación económica se realizará a partir de las alternativas que requieran inversión de la empresa, las cuales son el desmetalizado, el sistema de reducción de residuos y el empleo de indicadores de temperatura y pH.

Para la determinación de la rentabilidad de la implementación de las alternativas, se planteó un proyecto de 10 años de duración, para el cual se requiere de la compra de 2 tanques de polietileno, cuatro indicadores de pH – temperatura, un extractor, cuyos costos son los siguientes: 2232 \$, 1500 \$, 2450 \$, respectivamente. El valor del tanque de polietileno proviene de la conversión de un tanque de polietileno de 5800 L, que producen en la empresa Gaveplast, y partir de su precio se obtuvo un estimado del valor del tanque requerido de 2300 L. Además se estimó los costos de la instalación de los equipos, imprevisto y entrenamiento de los operarios encargados del sistema de tratamiento, como se indica en el apéndice C, en la sección de inversión inicial. En la Tabla 6.1 se observa las cantidades y los precios correspondientes a los equipos a adquirir para la aplicación de la propuesta seleccionada.

TABLA 6.1 COSTO DE EQUIPOS A EMPLEAR EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA SELECCIONADA

Equipo o materia prima	Cantidad	Costo por unidad (\$)	Sub- total (\$)
Tanque de polietileno del sistema Lancy	2	1116	2232
Extractor para el sistema Lancy	1	2450	2450
pHmetro- temperatura para Sistema Lancy y Baños electrolítico	4	375	1500
		Total	6182

Debido a que se no se tiene conocimiento de el período de vida útil de los equipos a instalar, se estableció que sea igual a la duración al tiempo establecido para la duración del proyecto, ya que a medida que pasa el tiempo, estos equipos sufren deterioros por el ambiente corrosivo al que están expuestos constantemente y van perdiendo su valor económico. En el año IO, los equipos adquiridos pueden ser vendidos, este precio de venta se determinó a partir de la estimación de la depreciación de los tanques, los indicadores y el extractor, estos valores se muestran en el apéndice C, en la sección de

depreciación de equipos, dicho valor es de 1618 \$. Este valor indica que para la finalización del proyecto podrá recuperarse solo el 26 % de la inversión hecha por la compra de equipos adquiridos, cuyo costo de adquisición de los equipos es de 6184 \$, determinado a partir de la Ecuación B.25, en el apéndice B.

Para la implementación de las alternativas, se requiere de una inversión inicial de 9958 \$, donde se contempla tanto el capital fijo de 8659 \$, donde se incluye la compra de los equipos, el costo de la instalación de los equipos 1859 \$ (30 % del costo de los equipos instalados), y un porcentaje de los imprevistos que puedan presentarse durante la instalación de los equipos y en conjunto con el entrenamiento de los operarios con respecto a los equipos a instalar, esto representa el 10 % del costo de los equipos, dando un valor de 618 \$, empleando la Ecuación B.29, en el apéndice B. Además del costo del capital fijo se toma en cuenta el capital de trabajo, que representa el 15 % del capital fijo, dando un valor de 1299 \$, por medio de la Ecuación B.30, en el apéndice B.

Para la determinación de los costos operacionales, se tomó en cuenta el costo de adquisición de materia prima para los sistemas a implementar, posee un valor de 2173 \$, pero se determinó que en el período de un año, puede ocurrir que haya reemplazo de los baños de desmetalizado y del tratamiento de aguas residuales, por lo tanto el costo de la materia prima será duplicado, dando un valor de 4444 \$. Se le agrega un porcentaje del mantenimiento de los equipos, que representa el 2 % del capital fijo, dando un valor de 173 \$, tal como se muestra en el apéndice C, en la sección de costos operacionales, y por último el salario de los operarios que laboran en este sector, siendo un valor de 2856 \$, determinado a partir de la Ecuación B.33, en el apéndice B. Los costos operacionales para el año 1 son iguales a 7473 \$, obtenidos a partir de la Ecuación B.34, en el apéndice B. El valor de los costos operacionales podría disminuir si se emplea una menor concentración del baño de desmetalizado, que se establecerá luego del estudio a realizar con concentraciones inferiores a 1000 g/L.

Se tomó en cuenta que para los años siguientes haya un aumento en el valor de los costos operacionales, ya sea debido a la inflación o al incremento de los salarios de los operarios, este se verá afectado generalmente con un incremento, por lo cual se

estableció que este incremento puede estar ubicado entre 3-5 % para tener noción del comportamiento de los flujos monetarios en el futuro. Se estableció que haya un incremento anual de 3 % en los costos operacionales, para determinar los costos operacionales, como se observa en el apéndice C, en la sección de costos operacionales. En la Tabla 6.2, se encuentran reflejados los valores de los costos operacionales.

Para la determinación de los ingresos a obtener, se tomó en cuenta las proporciones actuales de las piezas defectuosas con respecto a sus precios de venta, obteniéndose que el monto de venta de las piezas defectuosas que existen en la actualidad, con un valor alrededor de 36939 \$, a partir de la Ecuación B.35 en el apéndice B, pero a este valor se le debe añadir las piezas defectuosas que puedan obtenerse en el período de un año, con el que se obtiene un valor de 48027 \$, después de la aplicación de la propuesta, en el cual se espera que haya un descenso en la cantidad de piezas defectuosas, este efecto dependerá de la influencia de las demás alternativas en el proceso de cromado. Se fijó como meta que haya un descenso del 10% de las piezas defectuosas anualmente, y a partir de allí se determinaron los ingresos a obtener de la recuperación de las piezas. Por medio del empleo de la Ecuación B.36, en el apéndice B, se obtuvo las ganancias a obtener por la venta de las piezas recuperadas, como se observa en la Tabla 6.2.

Debido a que se obtienen ganancias del proyecto, se debe tomar en cuenta los impuestos sobre la renta, que se derivan de las ganancias obtenidas por la empresa, por lo tanto se le determina el impuesto a pagar por la empresa anualmente, dependiendo de las ganancias obtenidas. Para el año 1, se obtendrán un ingreso neto gravable de 40066 \$, mediante la Ecuación B.44, en el apéndice B, este valor por ser superior a cero, indica que se debe pagar un impuesto por haber obtenido ganancias, pero a partir del año 4, este valor es negativo (no se obtienen ingresos brutos), por lo tanto no se toma en cuenta para el pago de impuestos.

El flujo monetario para el año 0 es igual al valor de la inversión inicial negativa, para el año 1 se tomaran en cuentan los ingresos por la recuperación de las piezas

existentes, además que se toman en cuenta los costos operacionales, la depreciación y el impuesto sobre la renta, y mediante la Ecuación B.41, en el apéndice B, dando un valor de 40115 \$, los flujos de los años 2 al 9, se emplea la misma ecuación, dando los valores que se observan en la Tabla 6.2. Para el año 10, donde se estableció el término de la vida del proyecto, se recupera el capital de trabajo y por la venta de los equipos (valor en libro) y además de los demás valores contemplados en los años anteriores, obteniéndose un valor de -2830 \$, por medio de la Ecuación B.42, en el apéndice B. Hay una disminución en los flujos monetarios debido a las consideraciones tomadas con el incremento de los costos operacionales en el tiempo, y el descenso de los ingresos a obtener por las piezas recuperadas, ya que se espera un descenso de la producción de piezas defectuosas.

TABLA 6.2 FLUJOS MONETARIOS DURANTE EL PERÍODO DE VIDA DEL PROYECTO O PROPUESTA

Año	Capital fijo (\$)	Capital de trabajo (\$)	Ingresos (\$)	Costos Operacionales (\$)	ISR (\$)	Valor en Libro (\$)	Flujos monetarios (\$)
2006	-8659	-1299					-9958
2007			48027	-7473	-439		40994
2008			9979	-7928	17		2068
2009			8981	-8166	3		819
2010			8083	-8411			-328
2011			7275	-8663			-1388
2012			6547	-8923			-2376
2013			5893	-9191			-3298
2014			5303	-9467			-4164
2015			4773	-9751			-4978
2016		1299	4296	-10043		1618	-2830

6.2.1 DETERMINACION DE LOS INDICADORES DE RENTABILIDAD

Para determinar si el proyecto planteado es rentable, se determina a través de los indicadores económicos: el valor actual, el equivalente anual y la tasa interna de retorno, además de determinar el tiempo de pago del proyecto. En el apéndice C, se calculó el valor actual, a partir de los flujos monetarios determinados y los valores de los

factores de actualización, los valores de los productos de dichos factores, se presenta en la Tabla C.4, mediante la cual se obtiene el valor actual, este valor ilustra el valor de la inversión realizada en el presente cuando culmina el período del proyecto, dicho valor es igual a 21170 \$, para una tasa de interés de 15 %.

Al determinar los impuestos a pagar por las ganancias a obtener de la implementación de la propuesta o proyecto, a partir de la Ecuación B.44, en el apéndice B, se observó que solo en los tres primeros años de implementación es donde se obtiene un saldo positivo para la obtención de ingresos brutos, por lo cual se debe pagar un impuesto debido a los ingresos, pero luego al calcular los años siguientes, se obtuvo un saldo negativo en los ingresos brutos, como se observa en el apéndice C, en la sección de ingresos brutos, lo que representa que los años siguientes, no se tomará en cuenta el pago de impuestos por los ingresos a obtener de la propuesta.

Por lo que el valor obtenido de Valor actual mediante la Ecuación B.47, representaría el ingreso total de la implementación del proyecto en un período de diez años a una tasa de 15 % de interés al comienzo del proyecto, debido a los factores involucrados para calcular el valor actual, este da un valor positivo, lo que indicaría que la propuesta es rentable, por lo que se espera obtener un ingreso de 21170 \$ en la culminación del proyecto, pero se debe tomar en cuenta los resultados de los demás indicadores para concluir que el proyecto es rentable. El valor del equivalente anual, representa los ingresos que traerá la implantación de la propuesta en el futuro, dividido en la cantidad de años de duración del proyecto. Para la determinación del equivalente anual, se empleó el valor del valor actual y el factor de recuperación de capital, de la Figura A.10 del apéndice A, para una tasa de interés de 15 %, dando un valor correspondiente de equivalente anual de 4059 \$, mediante la Ecuación B.48, lo cual da un valor positivo, debido a que proviene del valor de VA obtenido, lo cual indica que se obtendrá un ingreso de 4059 \$ anualmente durante la implantación de la propuesta seleccionada.

Para la determinación de la tasa interna de retorno, se debe tomar en cuenta la variación del valor actual en función de i , la cual se comporta de forma decreciente al

incrementarse el valor de la tasa de interés, al realizar el tanteo para la obtención de la tasa interna de retorno, esta no posee valores inferiores de 100 %, por lo tanto este valor de tasa interna de retorno presenta una tasa muy alta. La tasa interna de retorno representa el valor de la tasa en la cual el valor actual se vuelve cero, es decir, cuando la inversión inicial es cancelada a través de los ingresos obtenidos, es por ello que da un valor alto, ya que el tiempo de pago de la inversión inicial del proyecto ocurre en el año 1, por lo cual se considera más que rentable el proyecto. Es por ello que si la tasa interna de retorno es superior a la tasa establecida para la determinación del valor actual, esto se considera rentable, ya que se recupera la inversión realizada a una tasa mayor a la esperada (15 %).

El tiempo de pago representa el período de tiempo que tardara el proyecto en recuperar el capital invertido, en este caso el tiempo de pago es menor año, en un período aproximado de 4 meses de la implementación de la propuesta, obtenido a través de la Ecuación B.50, en el apéndice B, ya que en el año uno de implantación de la propuesta se obtendrán grandes beneficios, esto permitirá que se recupere la cantidad de dinero invertida, este indicador solo sirve para determinar el período de recuperación y no en los beneficios que se puede obtener de la inversión.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

1. A través del diagnóstico del proceso, se detectaron los puntos críticos que presenta el proceso de cromado de la empresa en la actualidad. Los puntos críticos del sistema de cromado actual son los siguientes: período de vida de los baños electrolíticos, tiempo de vida de los desengrasantes, pérdidas de energía, recuperación de piezas, derrames y fugas, tiempo de arrastre, y la reducción de residuos tóxicos.
2. Para ayudar a la prolongación del tiempo de vida de los baños, se plantea que se realice el chequeo bimensual de las concentraciones del baño de níquel electrolítico y cada cuatro meses para el baño de cromo electrolítico así como el empleo de indicadores de temperatura y pH en dichos baños para controlar las variables.
3. Para la disminución de pérdidas de energía y fugas, se presentaron medidas para la prevención de fallas y consumo innecesario de la energía así como el chequeo del área de trabajo, para evitar accidentes.
4. Se destaca el aumento en los tiempos de arrastres en los baños de desengrasantes a 20-25 seg. y los baños electrolíticos a 10-15 seg., para incrementar el período de vida de los mismos y disminuir la cantidad de agua empleada en los enjuagues.
5. Para la recuperación de las piezas, se planteó la implementación de un baño de desmetalizado, de una solución de H_2SO_4 con 1000 g/L, que permita retirar las capas de níquel defectuoso, con su respectivo baño de enjuague, dentro de la línea de cromado, empleando tanques en desuso en la línea de cromado de capacidad de 1300 L.
6. Para la reducción de residuos tóxicos de cromo se propone la implementación del sistema Lancy mediante la adquisición de dos tanques adicionales de polietileno de alta densidad de capacidad de 2300 L y el empleo de indicadores de pH para las etapas de detoxificación con metabisulfito de sodio de concentración de 650 g/L y de neutralización con hidróxido de sodio de concentración 250 g/L.

7. Los indicadores de rentabilidad determinados: valor actual, equivalente anual, y tiempo de pago. Los valores obtenidos son los siguientes: valor actual igual a 21170 \$ para una tasa de 15 %, un equivalente anual igual a 4059 \$, el tiempo de pago del proyecto es de 4 meses luego de la implantación de la propuesta. Por lo tanto se considera un proyecto o propuesta rentable

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la creación de un historial, donde se lleve un registro acerca de los resultados del chequeo periódico de las composiciones de los baños, para así tener información relevante que permita tomar acciones preventivas con respecto a variaciones que puedan afectar negativamente el proceso.
2. Se sugiere la colocación de una cartelera informativa, donde se indique las variables a controlar en el proceso, así como los rangos permitidos para dichas variables, para que los operarios puedan llevar un seguimiento de su comportamiento y estar alertas a cualquier variación significativa. Así como también información acerca de la prevención de accidentes que puedan ocurrir durante el desarrollo del proceso.
3. Se propone la continuación del historial para las piezas defectuosas, pero de forma más detallada (diaria / batch), para conocer la cantidad de piezas dañadas y su tipo, la incidencia del defecto que estas presenta y la posible causa de dicho defecto, para así poseer información que pueda ser efectiva en el futuro.
4. Se sugiere el entrenamiento de los operarios en la toma de muestras de los baños, que vayan a ser analizadas, para el chequeo continuo, ya que esto influirá en la toma de decisiones que puedan afectar la economía de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, L, Betancourt, C. (2005). Evaluación de proyectos de inversión. Universidad de Carabobo. Bárbula.
2. Alzate, A. (2001) Guía de producción mas limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia. Universidad pontificia bolivariana. Colombia. (documento en línea). Disponible: <http://www.cnpml.org/html/archivos/guías/documentos-ID6.pdf>
3. Bordones, L., Delmoral, N. (2001) Evaluación y diseño de un proceso para disminuir la cantidad de cromo hexavalente contenido en el efluente proveniente del proceso de pasivado de una empresa productora de acero galvanizado. Universidad de Carabobo. Bárbula.
4. Calderón, C., y Superlano F. (2000). Diseño de una unidad de banco para la remoción recuperación de cromo en agua residuales de tenerías. Universidad de Carabobo, Bárbula.
5. Camus, E.; Hernández, M.(2003). Determinación de los parámetros de operación de los daños en la línea de transporte del área de pintura y empaque de la empresa Ruedas de Aluminio. Universidad de Carabobo. Bárbula.
6. Comisión ambiental metropolitana-México DF. (2001) Manejo Integral de Residuos Peligrosos CAM-GTZ” “Gestión Ambiental y Competitividad Industrial CANACINTRA-GTZ”. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.gtz.org.mex-canacintra-ga-pdf>.
7. División de tecnologías ambientales de la corporación de investigación tecnológica INTEC-CHILE. (2000). Generación de capacidades nacionales en tecnologías aplicables a residuos industriales líquidos. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.p2pays.org.ref-20-19317.pdf>
8. Degarnno, E. Paúl. (1975). Materiales y procesos de fabricación. Segunda Edición. Editorial Reverté. Barcelona. España.
9. Fundes, Ministerio del Ambiente. (2001) Guía de buenas practicas para el sector de galvanotecnia. Bogota. Colombia. [Documento en línea]. Disponible http://www.minambiente.gov.co/prensa/publicaciones/guias_ambientales4_sector_industrial_manufacturero30_guia_buenas_practicas_para_el_sector_galvanotecnia.pdf
10. Guanipa Víctor. Herramientas para fenómenos de transporte.
11. Laborem, H., Ladera, E. (2005). Estudio técnico-económico del rediseño de adición automática de bentonita de la planta Mavesa S.A- Unidad de Limpieza. Universidad de Carabobo. Bárbula.

12. López, M, Quintera, M. (2005) Evaluación de la capacidad de la cáscara de la semilla del árbol de Neem como absorbente de iones de cromo trivalente en solución acuosa. Universidad de Carabobo. Bárbula.
13. Martínez., A. (1999). Ecoeficiencia y benchmarking aplicado al sector Metalúrgico. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.aepro.com-congreso-2000.pdf>.
14. Mikell P. Groover. Fundamentos De Manufactura Moderna Material, Procesos Y Sistemas. Prentice Hall. México.
15. Ortega Maiquez (1990). Corrosión industrial. Editorial Marcombo boixareu editores.
16. Oviedo, E., Sánchez, M. (1997). Evaluación de alternativas para la recuperación de cromo a partir de los efluentes de una empresa manufacturera de pigmentos orgánicos. Universidad de Carabobo, Bárbula.
17. Perry, R. (2001).Manual del ingeniero químico. Séptima edición. Editorial McGraw Hill. España.
18. Proyecto FDI-CORFO / INTEC-CHILE (2000). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial Galvanoplastia. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.Galvanoplastia-cjile-importancia-de-manejo-de-residuos.pdf>
19. Manches, P., Tomas, E. (2005). Propuesta para un sistema de recuperación de las aguas residuales generadas en los procesos de producción de cerraduras en la empresa Joficru de Venezuela C.A. Universidad de Carabobo. Bárbula.
20. (Elgorriaga, Ander IHOBÉ), Sociedad Pública Gestión Ambiental. (2000) Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. Gobierno Vasco. España. [Documento en línea]. Disponible; <http://www.ihobe.net/publicaciones/descarga/LB%20recubrimientos.pdf>
21. Rivas Mijares G. (1978). Tratamiento de aguas residuales. Segunda edición. Ediciones Vega. Caracas. Venezuela.



R-0058-03/06

Facultad de Ingeniería



Laboratorio Tecnológico del Ambiente

Inscrito M.A. N° 02-051

Valencia, 26 de abril de 2006

REPORTE

SOLICITANTE:

Super Ruedas y Accesorios M.E.S.A

ALCANCE:

Evaluación de cromo total en tres (3) muestras, dos provenientes de los enjuagues y una de agua residual.

METODOLOGÍA:

Las muestras de enjuague se diluyeron en agua destilada y se leen directamente en el equipo. La muestra de agua residual se sometió a digestión ácida, con agua regia, se calentó durante varias horas y se diluyó con agua destilada, para luego analizarla.

RESULTADOS:

Muestra	CONCENTRACIÓN	CONCENTRACIÓN
	mg/l	µg/g
Enjuague 1	97.8	-
Enjuague 2	8.6	-
Agua residual	-	3.49 x 10 ⁴

Sin otro particular al cual hacer referencia, se suscribe de usted

Leyda Escalona
M. Sc. Leyda Escalona
Coordinadora General



Laboratorio Tecnológico
del Ambiente

.....La Universidad Efectiva.....

Av. Universidad, Facultad de Ingeniería, Bárbula, Valencia - Edo. Carabobo
Telefax (0241) 867.66.07-6198346 Ext: 205 E-mail labtauc@uc.edu.ve

En busca de un mejor ambiente



03/06

Facultad de Ingeniería

Valencia, 22 de marzo de 2006
LabTA
Laboratorio Tecnológico
del Ambiente
Inscrito M.A. N° 02-051

REPORTE

SOLICITANTE:

Super Ruedas y Accesorios M.E.S.A

ALCANCE:

Evaluación de cromo total en tres (3) muestras, dos provenientes de los enjuagues y una de agua residual.

METODOLOGÍA:

Se determinó por espectrofotometría de absorción atómica con llama

RESULTADOS:

METAL	CONCENTRACIÓN
Cr	(ppm)
Enjuague 1	97.8
Enjuague 2	8.6
Agua residual	5730

.....La Universidad Efectiva.....
Laboratorio Tecnológico
del Ambiente
M. Sc. Leyda Escalona
Coordinadora General

CENTRO GALVANOTÉCNICO 2005, C.A.

BAÑO DE NIQUEL

Niquel Sulfato	248 Gr/Lt
Niquel Cloruro	75 Gr/Lt
Acido Borico	50 Gr/Lt
PH	5.2
Abrillantador 403	7,5 cc/Lt
Abrillantador 402	33 cc/Lt

ESPECIFICACIONES:

Niquel Sulfato	300 Gr/Lt
Niquel Cloruro	55 Gr/Lt
Acido Borico	45 Gr/Lt
PH	4.2 a 4.8
Abrillantador 403	5 cc/Lt
Abrillantador 402	30 cc/Lt

NOTA: Exceso de Antipuntinante, Filtrar el Baño ~~de~~ Carbón y agregar 1 cc/Lt de Abrillantador 401(Mantenimiento)

Comprar cada peso } PH.
 } phevamo
 } Yange wapel.
METALQUIMICA

DEPARTAMENTO DE SERVICIO AL CLIENTE
 REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

CLIENTE: Super Rurbar y Accesorios H.E.S.A

FECHA: 14/07/2003

NUESTRAS DE NIQUEL: MAGNUM S MAGNUM CR
 FURBO N TOP M

CARACTERISTICAS	ESPEC.	NI 1	NI 2	NI 3	ADICIONES GRAMOS E LITRO
NIQUEL DE METAL	93				
SULFATO DE NIQUEL	320				
CLORURO DE NIQUEL	65				
ACIDO BORICO	45				
PH	4,2 - 4,5				
REVELANTE	1% 4	0,24			2020 minus 1/1 litro
ABRILLANTADOR	30	0,08			229

OBSERVACIONES: Para Sr. Jose J. Rivas aqui se le describe o presencia de las adiciones q' le debe realizar al baño para q' las piezas mejoren el brillo por los resultados obtenidos. Si puede observar q' el baño REALIZADO *[Signature]*

APROBADO: *[Signature]*
 tiene una baja concentración baja de Abillantador B63. Cuando realice la adición del abillantador procure diluir el mismo en una pequeña porción del baño y agite para posteriormente agregar directamente al baño esto permitira una mejor distribución del abillantador. Dependiendo de las condiciones del proceso a veces resulta necesario realizar *[Signature]*

59.4

DEPARTAMENTO DE SERVICIO AL CLIENTE
 REPORTE DE ANALISIS DE LABORATORIO

CLIENTE: *Super Auedas*

FECHA: *28/02/03*

MUESTRAS DE CROMO : CONVENCIONAL

250 gr/Lt
 CROMYLITE K-50
2.5 H₂SO₄

CARACTERISTICAS	ESPEC.	Ct 1	Ct 2	Ct 3	ADICIONES	GRAMOS x LITRO
ACIDO CROMICO	320	308				
SULFATOS GR/LT	3.2	3,0				
CROMO TRIVALENTE	0.5	0,3				
RELACION CRO3/SO4	100	103				
DENSIDAD Gr / MI		1,25				
GRADO Bg		30				
OBSERVACIONES :						

REALIZADO : *Daymar Sangronis*

APROBADO:

Con brota de baño → *BASE ACIDO SULFURICO* 5:2 *pregunte*

Problemas/sintomas: Es el cromado aparece una mancha blanca a pesar de que las piezas cuando salen del anilado se veian bien.

Accion: Se encuentra que la temperatura del cromado estaba muy alta y se agrego tres partes de agua del tanque en esto se soluciono el problema

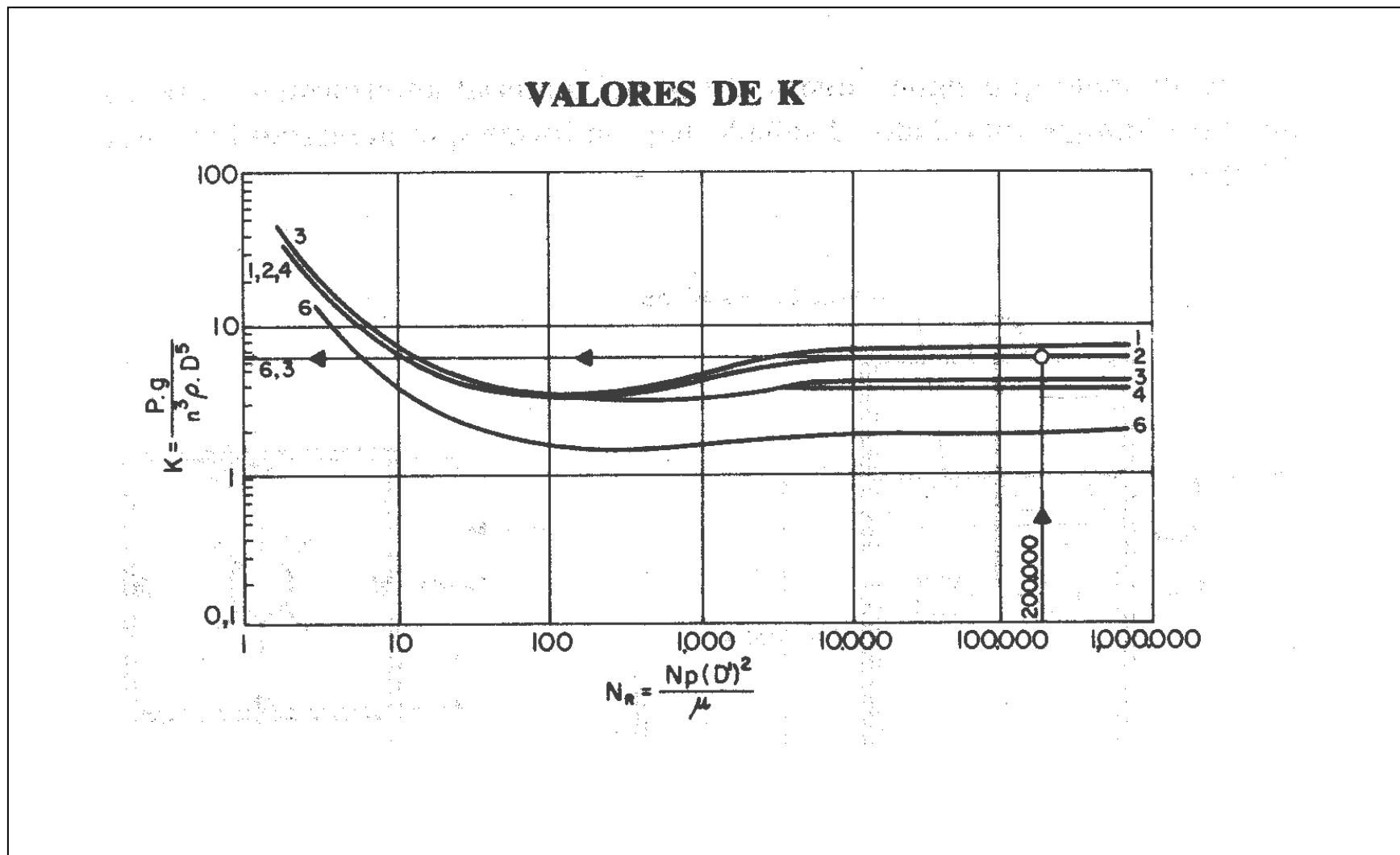


Figura A.7 Valores de K a partir de la relación del número de Reynolds para diferentes tipos de agitadores mecánicos para tanques.

Fuente: Rivas, Mijares, Tratamiento de Aguas Residuales. Segunda Edición. Ediciones Vega. Caracas. Venezuela. (1978)

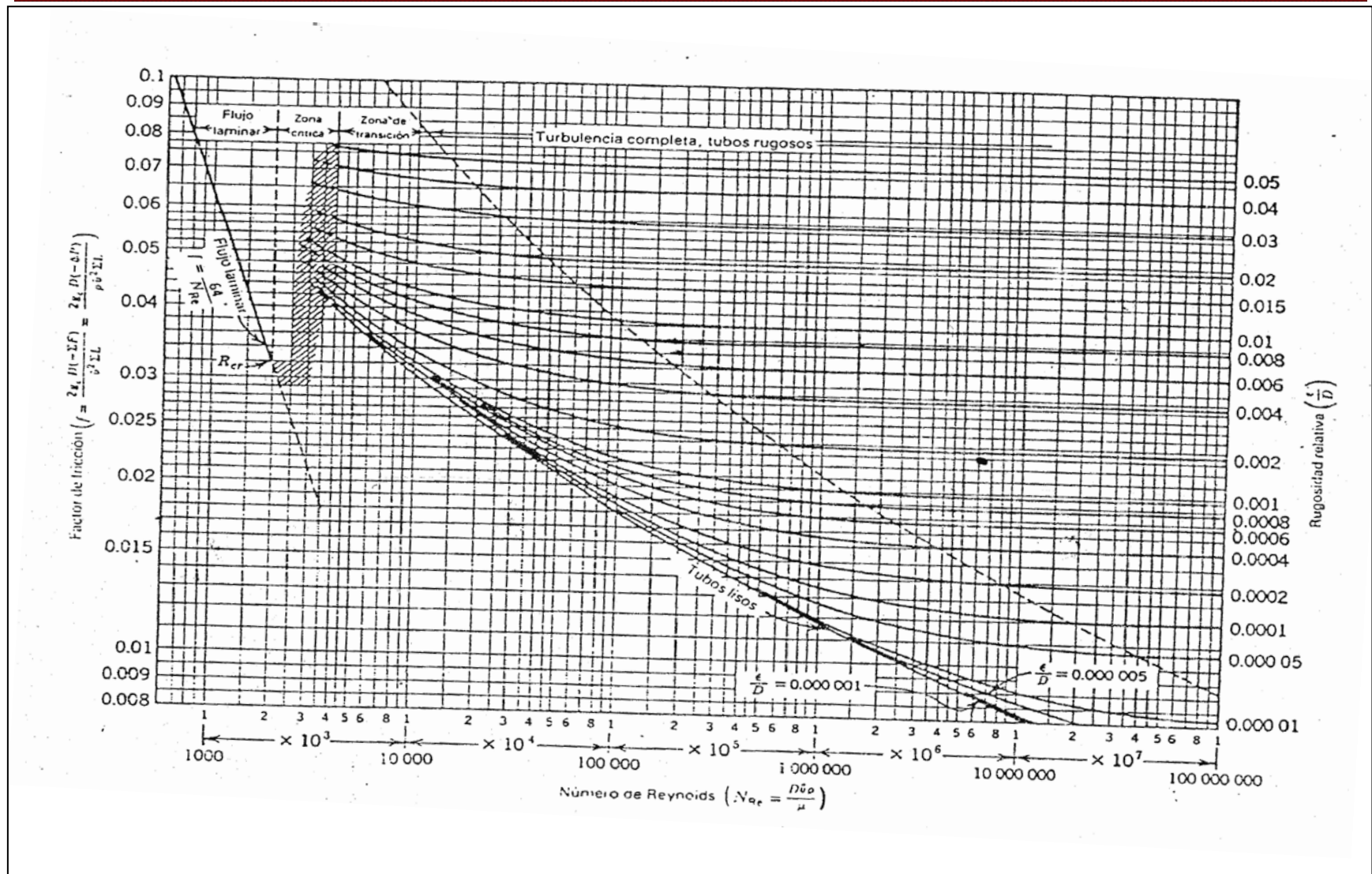


Figura A. 3 Comportamiento del factor de fricción como una función del número del Reynolds y la rugosidad relativa
Fuente: Crane, "Flujo de fluidos", Volumen I. Primera edición. McGraw-Hill. México.1992.

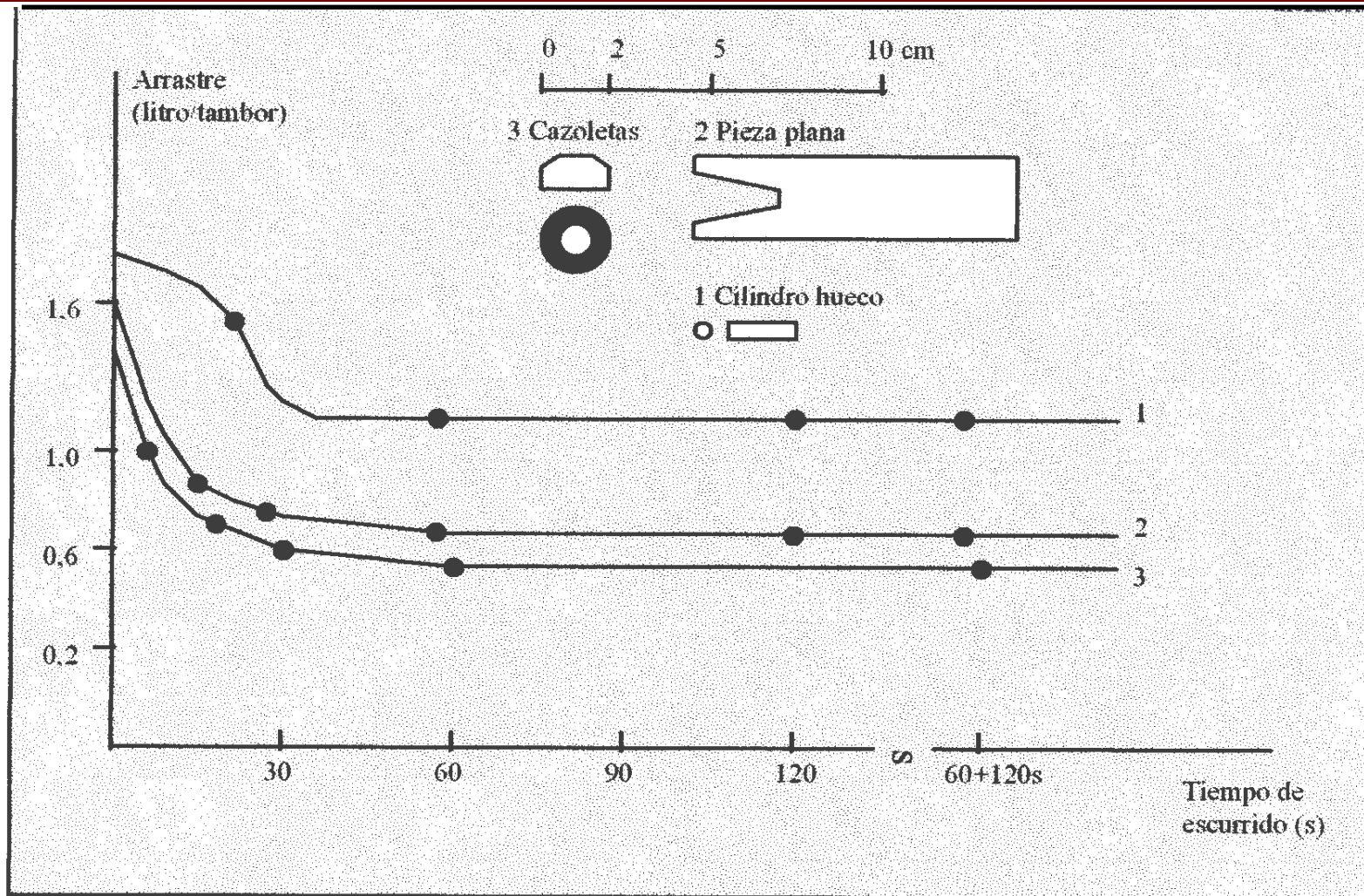


Figura A.10 Minimización De Arrastres Por Incrementos del Tiempo de Ecurrido en función de diferentes Piezas

Fuente. Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones. **Sociedad Pública de Gestión Ambiental**. España. 2000

Diámetro D		Codo 90° Radio largo	Codo 90° Radio medio	Codo 90° Radio corto	Codo 45°	Curva 90° R/D - 1	Curva 90° 1/2 R/D - 1	Curva 45°	Entrada normal	Entrada de Borde	Válvula de compuerta abierta	Válvula tipo globo abierta	Válvula de ángulo abierta	Ti. pase directo	Ti. salida lateral	Ti. salida bilateral	Válvula de pie	Salida de tubería	Válvula de retención tipo liviana	Válvula de retención tipo pesado
mm	pulg.																			
13	1/2	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1	4.9	2.6	0.3	1.0	1.0	3.6	0.4	1.1	1.6
19	3/4	0.4	0.6	0.7	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.5	0.1	6.7	3.6	0.4	1.4	1.4	5.6	0.5	1.6	2.4
25	1	0.5	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.7	0.2	8.2	4.6	0.5	1.7	1.7	7.3	0.7	2.1	3.2
32	1 1/4	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	0.9	0.2	11.3	5.6	0.7	2.3	2.3	10.0	0.9	2.7	4.0
38	1 1/2	0.9	1.1	1.3	0.6	0.5	0.7	0.3	0.5	1.0	0.3	13.4	6.7	0.9	2.8	2.8	11.6	1.0	3.2	4.8
50	2	1.1	1.4	1.7	0.8	0.6	0.9	0.4	0.7	1.5	0.4	17.4	8.5	1.1	3.5	3.5	14.0	1.5	4.2	6.4
63	2 1/2	1.3	1.7	2.0	0.9	0.8	1.0	0.5	0.9	1.9	0.4	21.0	10.0	1.3	4.3	4.3	17.0	1.9	5.2	8.1
75	3	1.6	2.1	2.5	1.2	1.0	1.3	0.6	1.1	2.2	0.5	26.0	13.0	1.6	5.2	5.2	20.0	2.2	6.3	9.7
100	4	2.1	2.8	3.4	1.5	1.3	1.6	0.7	1.6	3.2	0.7	34.0	17.0	2.1	6.7	6.7	23.0	3.2	6.4	12.9
125	5	2.7	3.7	4.2	1.9	1.6	2.1	0.9	2.0	4.0	0.9	43.0	21.0	2.7	8.4	8.4	30.0	4.0	10.4	16.1
150	6	3.4	4.3	4.9	2.3	1.9	2.5	1.1	2.5	5.0	1.1	51.0	26.0	3.4	10.0	10.0	39.0	5.0	12.5	19.3
200	8	4.3	5.5	6.4	3.0	2.4	3.3	1.5	3.5	6.0	1.4	67.0	34.0	4.3	13.0	13.0	52.0	6.0	16.0	25.0
250	10	5.5	6.7	7.9	3.8	3.0	4.1	1.8	4.5	7.5	1.7	85.0	43.0	5.5	16.0	16.0	65.0	7.5	20.0	32.0
300	12	6.1	7.9	9.5	4.6	3.6	4.8	2.2	5.5	9.0	2.1	102.0	51.0	6.1	19.0	19.0	78.0	9.0	24.0	38.0
350	14	7.3	9.5	10.5	5.3	4.4	5.4	2.5	6.2	11.0	2.4	120.0	60.0	7.3	22.0	22.0	90.0	11.0	28.0	45.0

Longitudes equivalentes (expresadas en metros de tubería rectilínea)

* Los valores indicados para válvulas tipo globo se aplican también a llaves para regaderas y válvulas o llaves de descarga.

Figura A.4 Longitudes equivalentes de varios accesorios

Fuente: Banderas, A, "Problemas de flujo de fluidos". Primera edición. Editorial Limusa, México.1990

Tabla K.13 RESISTENCIA A LA CORROSION DE LOS PLASTICOS*

Material	Acidos		Alcalis		Solventes orgánicos	Absorción de agua, %/24 hr	Oxigeno y ozono	Alto vacío	Radiación ionizante	Resistencia a la temperatura, °F	
	Débil	Fuerte	Débil	Fuerte						Alta	Baja
Termoplásticos											
Fluorocarburos	Inerte	Inerte	Inerte	Inerte	Inerte	0.0	Inerte		M	550	B 275
Polimetilmetanitato	R	A-O	R	A	A	0.2	R	Se descompone	M	180	
Nylon	B	A	R	R	R	1.5	LA		X	300	B 70
Poliéster (clorinado)	R	A-O	R	R	B	0.01	R			280	B
Poliétileno (baja densidad)	R	A-O	R	R	B	0.15	A	X	X	140	B 80
Poliétileno (alta densidad)	R	A-O	R	R	B	0.1	A	X	B	160	B 100
Polipropileno	R	A-O	R	R	R	<0.01	A	X	B	300	M
Poliestireno	R	A-O	R	R	A	0.04	LA	M	B	160	M
Cloruro de polivinilo rígido	R	R	R	R	A	0.10	R		M	150	M
Acrílicos (cloruro)	R	R	R	R	A	0.45	R	M	M	160	
Plásticos termoestables											
Epóxido (fundido)	R	LA	R	R	B	0.1	LA		B	400	P
Fenólicos	LA	A	LA	A	LA	0.6			B	400	P
Poliésteres	LA	A	A	A	LA	0.2	A		B	350	P
Siliconas	LA	LA	LA	LA	A	0.15	R		X	550	P
Resinas	A	A	A	A	R	0.6	A		M	170	P

Abreviaturas: R = resistente, A = atacado, LA = ligeramente atacado, A-O = atacado por ácidos oxidantes, B = Bueno, X = regular, M = malo, P = poco cambio. Desc = se descompone.

Fuente: M.B. Fontana y N. D. Green, *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill Book company, Nueva York, 1967. Con permiso.

Figura A.12 Resistencia a la corrosión de los plásticos

Fuente: Selección y aplicación de materiales para ingenieros químicos. Valencia 2003

i = 15%

Factores de interés al 15% correspondientes a periodos compuestos discretos

n	PAGO SIMPLE		SERIE UNIFORME				Factor de serie aritmética (R/g _{i,n})	n
	Factor de capitalización	Factor de actualización	Factor de recuperación de capital	Factor de actualización	Factor del fondo de amortización	Factor de capitalización		
	(S/P _{i,n})	(P/S _{i,n})	(R/P _{i,n})	(P/R _{i,n})	(R/S _{i,n})	(S/R _{i,n})		
1	1.1500	.86957	1.1500	.8696	1.0000	1.000	.0000	1
2	1.3225	.75614	.61512	1.6257	.46512	2.1499	.4651	2
3	1.5208	.65752	.43798	2.2832	.28798	3.4724	.9071	3
4	1.7490	.57175	.35027	2.8549	.20027	4.9933	1.3262	4
5	2.0113	.49718	.29832	3.3521	.14832	6.7423	1.7227	5
6	2.3130	.43233	.26424	3.7844	.11424	8.7536	2.0971	6
7	2.6600	.37594	.24036	4.1604	.09036	11.066	2.4498	7
8	3.0590	.32690	.22285	4.4873	.07285	13.726	2.7813	8
9	3.5178	.28426	.20957	4.7715	.05957	16.785	3.0922	9
10	4.0455	.24719	.19925	5.0187	.04925	20.303	3.3831	10
11	4.6523	.21494	.19107	5.2337	.04107	24.349	3.6549	11
12	5.3502	.18691	.18448	5.4206	.03448	29.001	3.9081	12
13	6.1527	.16253	.17911	5.5831	.02911	34.351	4.1437	13
14	7.0756	.14133	.17469	5.7244	.02469	40.504	4.3623	14
15	8.1369	.12290	.17102	5.8473	.02102	47.579	4.5649	15
16	9.3575	.10687	.16795	5.9542	.01795	55.716	4.7522	16
17	10.761	.09293	.16537	6.0471	.01537	65.074	4.9250	17
18	12.375	.08081	.16319	6.1279	.01319	75.835	5.0842	18
19	14.231	.07027	.16134	6.1982	.01134	88.210	5.2307	19
20	16.366	.06110	.15976	6.2593	.00976	102.44	5.3651	20
21	18.821	.05313	.15842	6.3124	.00842	118.80	5.4883	21
22	21.644	.04620	.15727	6.3586	.00727	137.62	5.6010	22
23	24.891	.04018	.15628	6.3988	.00628	159.27	5.7039	23
24	28.624	.03493	.15543	6.4337	.00543	184.16	5.7978	24
25	32.918	.03038	.15470	6.4641	.00470	212.78	5.8834	25
26	37.856	.02642	.15407	6.4905	.00407	245.70	5.9612	26
27	43.534	.02297	.15353	6.5135	.00353	283.56	6.0318	27
28	50.064	.01997	.15306	6.5335	.00306	327.09	6.0959	28
29	57.574	.01737	.15265	6.5508	.00265	377.16	6.1540	29
30	66.210	.01510	.15230	6.5659	.00230	434.73	6.2066	30
31	76.141	.01313	.15200	6.5791	.00200	500.94	6.2541	31
32	87.563	.01142	.15173	6.5905	.00173	577.08	6.2970	32
33	100.69	.00993	.15150	6.6004	.00150	664.65	6.3356	33
34	115.80	.00864	.15131	6.6091	.00131	765.34	6.3705	34
35	133.17	.00751	.15113	6.6166	.00113	881.14	6.4018	35
40	267.85	.00373	.15056	6.6417	.00056	1779.0	6.5167	40
45	538.75	.00186	.15028	6.6543	.00028	3585.0	6.5829	45
50	1083.6	.00092	.15014	6.6605	.00014	7217.4	6.6204	50

Figura A.11 Tabla Financieras para la determinación del factor de actualización y recuperación de capital

Fuente: Alvarado, Betancourt. Proyectos de evaluación económica. (2005)

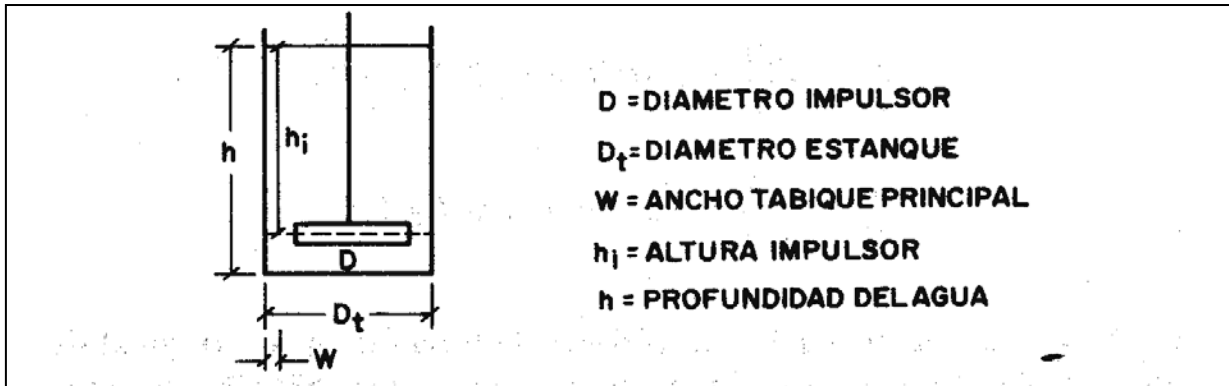


Figura A.8 Diagrama de las partes del agitador mecánico y el tanque
 Fuente: Rivas, Mijares, Tratamiento de Aguas Residuales. Segunda Edición. Ediciones Vega. Caracas. Venezuela. (1978)

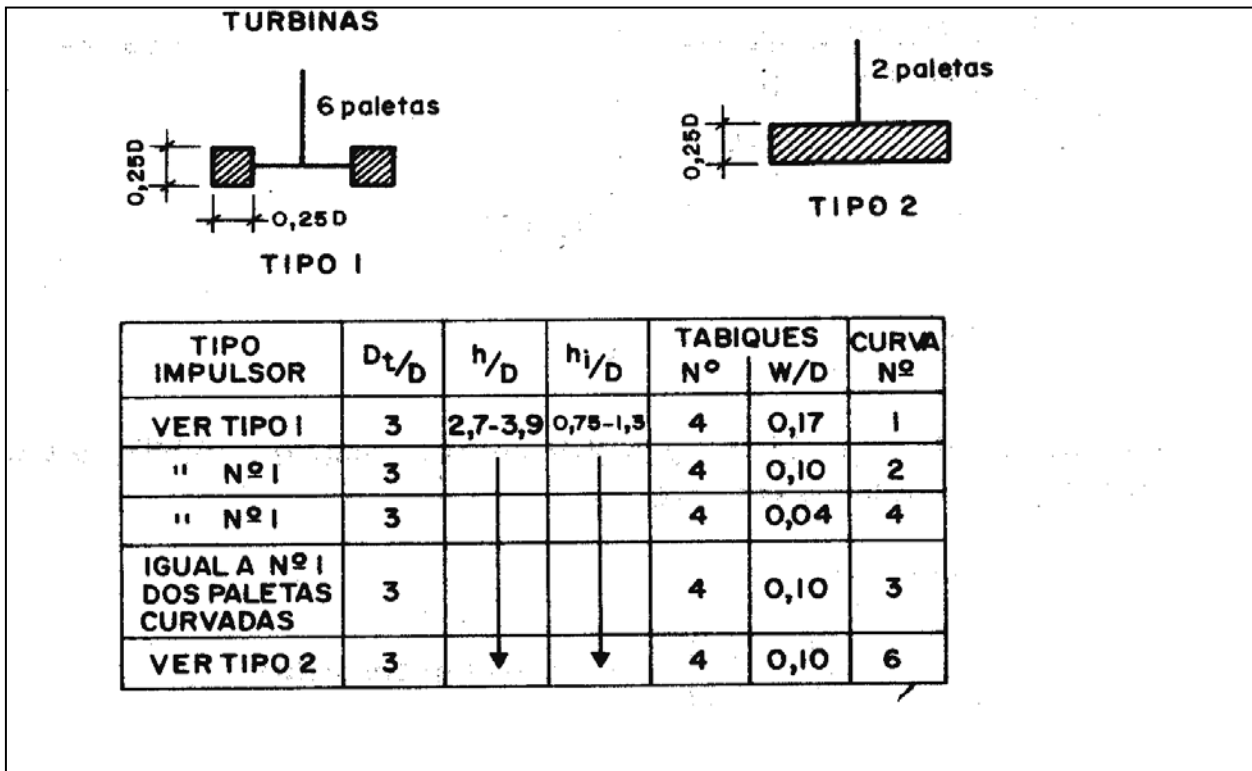


Figura A.9 Tabla de las relaciones de dimensiones del tanque en relación con cada uno de los tipos de agitadores mecánicos.

Fuente: Rivas, Mijares, Tratamiento de Aguas Residuales. Segunda Edición. Ediciones Vega. Caracas. Venezuela. (1978)

Temperatura T °C	Viscosidad † μ', centipoises	Conductividad calorífica * k, kcal/m-h-°C	Densidad ** ρ, kg/m ³	$\psi_f = \left(\frac{k^3 \rho^2 g}{\mu^2} \right)^{1/2}$
0	1,794	0,476	999,87	6 900
5	1,519	0,485	999,99	7 860
10	1,310	0,496	999,73	8 870
15	1,140	0,505	999,13	9 900
20	1,005	0,513	998,23	10 930
25	0,894	0,522	997,07	12 150
30	0,801	0,529	995,67	13 090
35	0,723	0,535	994,06	14 160
40	0,656	0,541	992,24	15 260
45	0,599	0,547	990,25	16 370
50	0,549	0,553	988,07	17 510
60	0,470	0,562	983,24	19 680
70	0,406	0,570	977,81	21 920
80	0,357	0,577	971,83	24 080
90	0,317	0,582	965,34	26 170
100	0,284	0,586	958,38	28 220
110	0,256	0,588	951,0	30 190
120	0,232	0,589	943,4	32 120
130	0,212	0,589	935,2	33 910
140	0,196	0,589	926,4	36 340
150	0,184	0,589	917,3	36 090

Figura A.5 Tabla de propiedades del agua

Fuente: McCabe. Operaciones unitarias en ingeniería Química. Cuarta Edición. McGraw Hill. España. 1991

Tamaño nominal de tubería pulg	Diámetro exterior cm	Núm. de catálogos	Espesor de pared cm	Diámetro interior cm	Área de la sección transversal de metal cm ²	Área de la sección interior dm ²	Circunferencia m, o superficie m ² /m de longitud		Capacidad para la velocidad de 1 m/seg litros/mio	Peso de tubería kg/m
							Exterior	Interior		
1/8	1,029	40	0,173	0,683	0,465	0,00372	0,0323	0,0215	2,198	0,36
							0,0323	0,0172	1,403	0,46
1/4	1,372	40	0,224	0,925	0,806	0,00669	0,0430	0,0290	4,032	0,63
							0,0430	0,0241	2,772	0,80
3/8	1,715	40	0,231	1,252	1,077	0,01236	0,0540	0,0393	7,387	0,85
							0,0540	0,0338	5,436	1,10
1/2	2,134	40	0,277	1,580	1,613	0,01960	0,0671	0,0497	11,76	1,27
							0,0671	0,0436	9,066	1,62
3/4	2,667	40	0,373	1,387	2,065	0,03447	0,0838	0,0658	20,64	1,68
							0,0838	0,0391	16,74	2,19
1	3,340	40	0,391	1,885	2,794	0,02787	0,1049	0,0838	33,44	2,50
							0,1049	0,0762	27,83	3,23
1 1/4	4,216	40	0,455	2,431	4,123	0,04636	0,1326	0,1100	57,89	3,38
							0,1326	0,1021	49,65	4,47
1 1/2	4,826	40	0,485	3,246	5,684	0,08277	0,1515	0,1283	78,79	4,05
							0,1515	0,1198	68,41	5,40
2	6,033	40	0,508	3,810	6,897	0,1380	0,1896	0,1649	129,9	5,43
							0,1896	0,1548	114,3	7,47
2 1/4	7,303	40	0,554	4,925	9,529	0,19045	0,2295	0,2054	185,3	8,62
							0,2295	0,1853	164,0	11,40
3	8,890	40	0,701	5,900	14,54	0,27331	0,2792	0,2448	286,2	11,28
							0,2792	0,2313	255,7	15,25
3 1/2	10,16	40	0,762	7,366	19,46	0,42613	0,3191	0,2832	382,7	13,56
							0,3191	0,2685	344,1	18,62
4	11,43	40	0,808	8,545	23,73	0,57319	0,3591	0,3213	492,8	16,06
							0,3591	0,3054	445,0	22,29
5	14,13	40	0,856	9,718	28,45	0,74190	0,4438	0,4026	774,4	21,76
							0,4438	0,3841	704,3	30,92
6	16,83	40	0,655	12,819	39,42	1,1733	0,5285	0,4840	1118	28,23
							0,5285	0,4596	1009	42,52
8	21,91	40	0,953	12,225	39,42	1,6815	0,6882	0,6367	1937	42,49
							0,6882	0,6084	1768	64,57
10	27,31	40	0,711	15,405	36,00	1,8636	0,8577	0,7986	3053	60,24
							0,8577	0,7629	2780	95,84
12	32,39	40	1,270	19,368	82,32	2,9459	1,0174	0,9540	4333	79,71
							1,0174	0,9083	3933	131,8

† Basadas en ANSI B36.10-1959, con autorización de ASME.

Figura A. 6 Dimensiones, capacidades y pesos de tuberías normalizadas de acero.

Fuente: McCabe, W. "Operaciones Unitarias en Ingeniería química". Cuarta edición. McGraw-Hill. España. 1991.

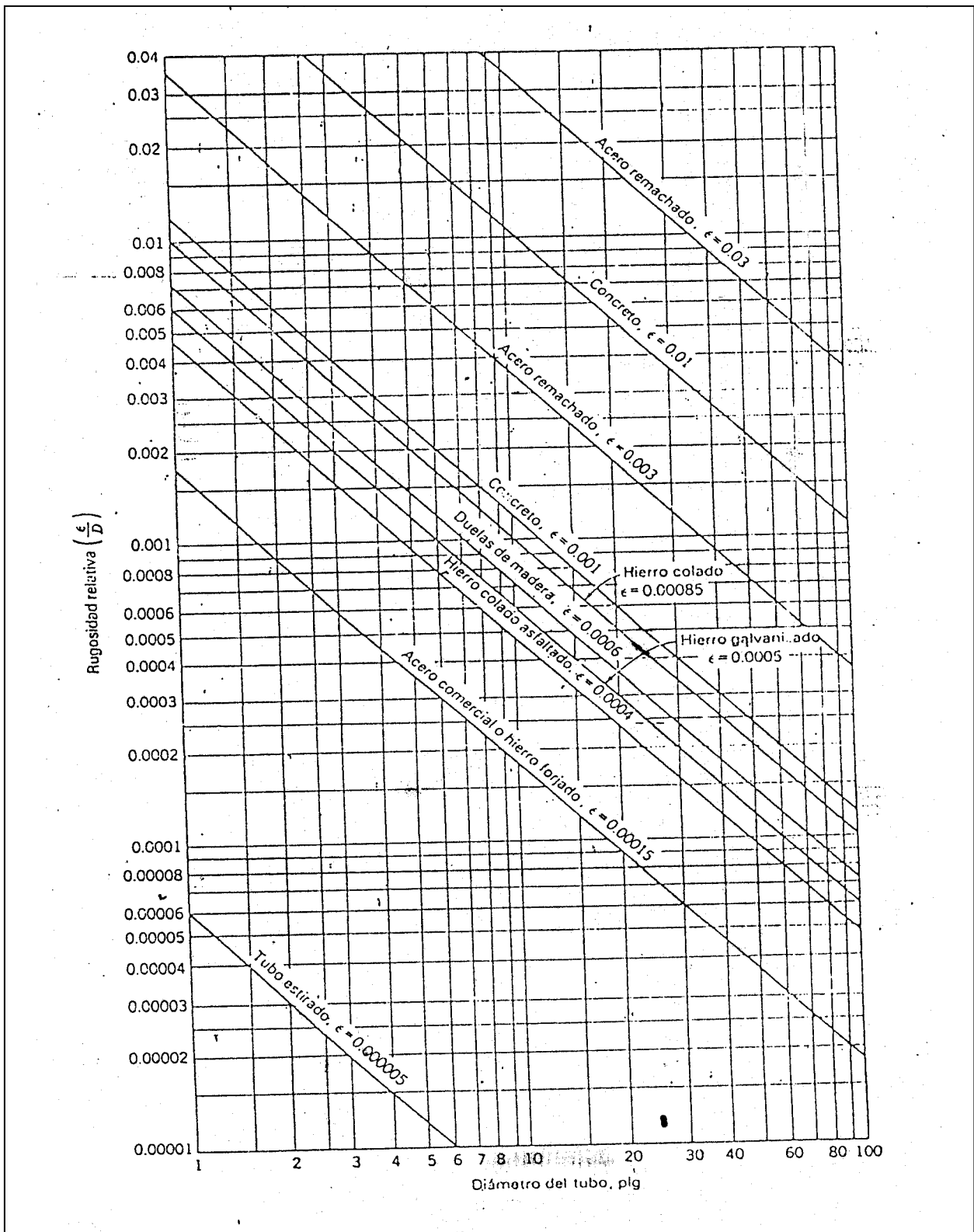


Figura A. 2 Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de varios materiales
 Fuente: Crane, "Flujo de Fluidos". Volumen I. Primera Edición. McGraw-Hill. México.1992.

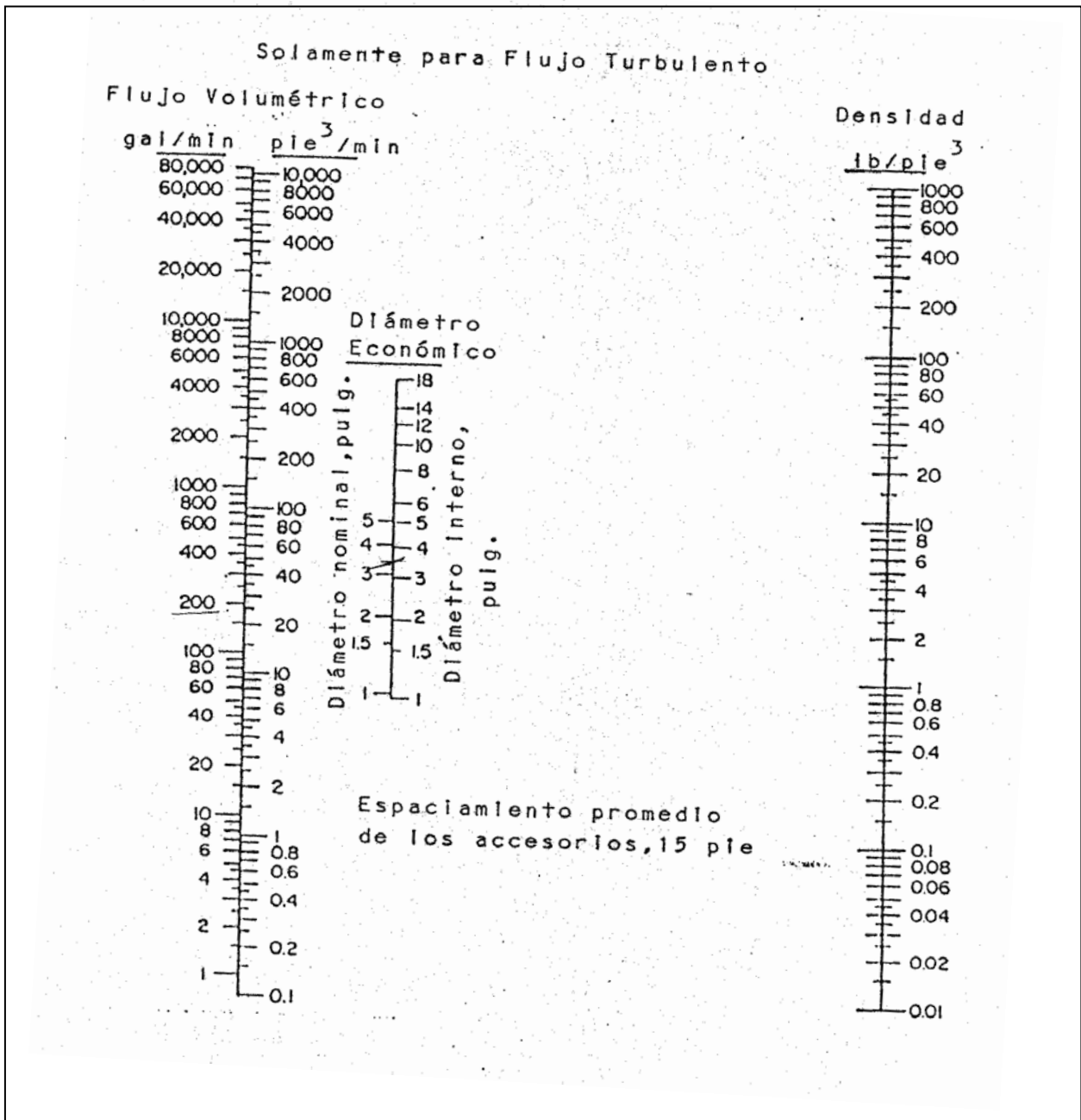


Figura A. 1 Diámetro económico para tuberías de acero comercial catalogo 40.
 Fuente: Robert Perry. Manual del ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. México. 2001.

MODELOS MATEMÁTICOS

A continuación se presentan los modelos matemáticos empleados para el planteamiento de las alternativas seleccionadas

B.1. MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS EN EL DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DEL BAÑO DE CROMO

B.1.1 Caudal de bombeo

$$Q_b = \frac{V_b}{t_b} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.1})$$

donde:

Q_b = caudal de bombeo, m^3/s

V_b = Volumen del fluido que se requiere bombear, m^3

T_b = tiempo de bombeo del fluido, s

B.1.2 Velocidad de salida del fluido

$$v = \frac{Q_b}{A_{ST}} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.2})$$

donde:

v: velocidad del fluido en la tubería, m/s.

A_{st} : Área de la superficie interna de la tubería, (m^2)

1. Superficie interna de la tubería

$$A_{ST} = \frac{\pi * (D_{int})^2}{4} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.3})$$

D_{int} : diámetro interno de la tubería, m

B.1.3 Selección de la bomba

1. Cabezal total de la bomba.

$$H_{req} = (\Delta V + \Delta P + \Delta Z + h_L) \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.4})$$

donde:

Hreq: Cabezal total de la bomba, m.

ΔV : Cabezal de velocidad, m.

ΔP : Cabezal de presión, m.

ΔZ : Cabezal de Altura, m.

H_L : cabezal de pérdidas de energía, m

2. Cabezal de velocidad

$$\Delta V = \left(\frac{(V_2)^2 - (V_1)^2}{2 * g} \right) \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.5})$$

donde:

V_2 : velocidad en el punto 2 del sistema, m/s

V_1 : velocidad en el punto 1 del sistema, m/s

G: aceleración de la gravedad, m/s²

3. Cabezal de presión

$$\Delta P = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.6})$$

donde:

P_2 : Presión en el punto 2 del sistema, Kgf/m²

P_1 : Presión en el punto 1 del sistema, Kgf/m²

γ : Peso específico, Kgf/m³

4. Cabezal de altura

$$\Delta Z = (Z_2 - Z_1) \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.7})$$

donde:

Z_2 : altura del fluido en el punto 2 del sistema, m

Z_1 : altura del fluido en el punto 1 del sistema, m

5. Cabezal de pérdidas de energía

$$h_L = \left\{ f d * \left[\frac{L_T}{D_{int}} + \sum \left(\frac{L_e}{D_{int}} \right) + \sum K \right] \right\} * \frac{V_f^2}{2 * g} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.8})$$

donde:

f_d : factor de darcy, adim

L_T : longitud de la tubería, m

D_{int} : diámetro interno de la tubería, m

L_e : longitud equivalente, m

K: coeficiente de fricción de los accesorios, adim

V_f = velocidad final del fluido, m/s

B.1.4 Energía Requerida por la bomba

1. Potencia de la bomba

$$P_B = W * m_f * f_{conv} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.9})$$

donde:

P_B : potencia de la bomba, HP

W: trabajo a través del eje de la bomba igual (H_{req} / η_b), Kgf*m/Kg

m_f : flujo másico del fluido de trabajo, kg/s

$$F_{conv}: \text{factor de conversión, } \frac{1}{76} * \frac{HP}{kgf * m/s}$$

2. Flujo másico

$$m_f = \rho_f * V_f * A_{st} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.10})$$

donde:

m_f : flujo másico, Kg/s

B.2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL FILTRO EMPLEADO EN EL SISTEMA DE FILTRACIÓN

B.2.1 Relación entre las superficies filtrantes.

$$\frac{Q}{S_f} = \frac{Q_F}{S_F} \quad (\text{B.11})$$

donde:

Q: caudal patrón, m³/s

S_f : superficie filtrante patrón, m²

S_F : superficie del filtro, m²

Q_F : caudal que pasa a través del filtro, m³/s

B.3 MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SEPARADOR DE GRASAS PARA EL BAÑO DE DESENGRASANTE

1. Volumen del separador

$$V_s = \frac{Q_s}{t_r} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.12})$$

donde:

V_s : volumen del separador, m^3

T_r : tiempo de retención del fluido en el separador, s

Q_s : caudal que entra al separador, m^3/s

2. Longitud del separador: Debido a que el separador tiene forma rectangular, se emplea la ecuación de volumen de un paralelepípedo

$$V_s = A_s * h_s * L_s \quad (\text{Baldor, 1994}) \quad (\text{B.13})$$

donde:

A_s : ancho del separador, m

h_s : altura del separador, m

L_s : longitud del separador, m

3. Longitud de las pantallas o barreras : Se estableció que la separación de las pantallas con la zona inferior del separador sea de 1/3 de la altura del mismo, por lo tanto $S_p = 1/3 h$

$$L_p = (h - S_p) \quad (\text{Guada, 2006}) \quad (\text{B.14})$$

donde:

L_p : Longitud de las pantallas, m

S_p : separación de las pantallas con la zona inferior del separador, m

4. Separación entre las dos pantallas: Se estableció que la separación entre las pantallas sea igual a 1/3 de la longitud del separador.

$$E_p = \frac{L_s}{3} \quad (\text{Guada, 2006}) \quad (\text{B.15})$$

donde:

E_p : separación entre las pantallas del separador

B.4 MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE IGUALACIÓN, DETOXIFICACIÓN Y NEUTRALIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS POR CARGAS.

B.4.1 Dimensiones del tanque de igualación, neutralización y detoxificación: se asume un volumen del tanque, además del límite de altura que el tanque debe poseer

1. Área superficial del tanque

$$A_T = \frac{V_T}{h} \quad (\text{Rivas Mijares, 1978}) \quad (\text{B.16})$$

donde:

V_T : volumen del tanque, m

H: altura del tanque, m

A_T : área superficial del tanque, m²

2. Diámetro del tanque

$$A_T = \frac{\pi * D_T^2}{4} \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (\text{B.17})$$

Despejando de la ecuación el diámetro del tanque,

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * A_T}{\pi}}$$

A partir de la figura A.2 del Apéndice A, se sugiere que el diseño del tanque debe cumplir con ciertas restricciones, a partir de las cuales se determinarán las dimensiones de los tanques:

$\frac{D_T}{D} = 3$	$2,7 \leq \frac{h}{D} \leq 3,9$	$0,7 \leq \frac{hi}{D} \leq 1,3$	$\frac{W}{D} = 0,1$
D: diámetro del agitador, m	h: altura del líquido en el tanque, m	hi: Longitud del agitador sumergido en el líquido, m	W: Espesor del tanque, m

B.4.2 Dimensionamiento del agitador

1. Número de revoluciones del agitador

$$N_R = \frac{D^2 * n * \rho}{\mu} \quad (\text{Rivas Mijares, 1978}) \quad (\text{B.18}), \text{ despejando } n$$

$$n = \frac{N_R * \mu}{D^2 * \rho}$$

donde:

N_R : número de Reynolds, adim

μ : viscosidad del fluido, g / cm*s

ρ : densidad del fluido, g/ cm³

n : número de revoluciones, rev /s

D : diámetro del agitador, m

2. Potencia del agitador:

$$P = \frac{K}{g} * \rho * n^3 * D^5 \quad (\text{Rivas Mijares, 1978}) \quad (\text{B.19})$$

donde:

K : constante que depende del número de reynolds y el tipo de agitador seleccionado, adim

B.5 MODELOS MATEMÁTICOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES EMPLEADAS EN LOS TANQUES DE DESMETALIZADO, Y DETOXIFICACIÓN Y NEUTRALIZACIÓN DEL SISTEMA LANCY.

A.5.1 Volumen de la solución del tanque de desmetalizado

$$V_s = E * V_T \quad (\text{Guada, 2006}) \quad (\text{B.20})$$

donde:

V_T = volumen del tanque, L

E = % del espacio del tanque a utilizar, adim

V_s = volumen de la solución, L

Volumen del tanque de desmetalizado, es 1300L, ya que es el mismo volumen de los tanques de enjuague de la línea de cromado, y para los tanques de neutralización y detoxificación, estos son de 2300L

1. Masa de ácido sulfúrico del tanque de desmetalizado:

$$M_A = C_A * V_s \quad (\text{Chang, 2003}) \quad (\text{B.21})$$

donde:

M_A = masa de ácido a emplear, Kg

C_A = concentración de ácido empleada, Kg

2. Determinación de la cantidad de metabisulfito de sodio en el tanque de detoxificación:

$$M_{MB2} = \frac{(V_{SOL2} * M_{MB1})}{V_{SOL1}} \quad (\text{Chang, 2003}) \quad (\text{B.22})$$

donde:

M_{MB2} = masa de compuesto de la solución saturada, Kg

M_{MB1} = masa de compuesto soluble en 1 litro de solución, Kg

V_{sol1} = volumen de solución saturada del compuesto, L

V_{sol2} = volumen de solución saturada de metabisulfito de sodio, L

3. Determinación de la cantidad de hidróxido de sodio en el tanque de neutralización:

$$V_{NaOH2} = \frac{(V_{NaOH1} * V_{sol2})}{V_{SOL1}} \quad (\text{Chang, 2003}) \quad (\text{B.23})$$

donde:

V_{NaOH1} = volumen de NaOH en base a una solución de 100ml al 20%, L

V_{NaOH2} = volumen de NaOH de la solución a preparar, L

V_{sol1} = volumen de solución base (100ml), L

V_{sol2} = volumen de la solución a preparar, L

B.6 MODELOS MATEMÁTICOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

B.6.1 Determinación de los factores para la inversión inicial

1. Costos de equipos: cantidad de dinero a invertir para la compra de los equipos nuevos

Para el tanque de polietileno se emplea la siguiente relación para determinar su costo:

$$\text{Costo B} = \text{Costos A} * \left(\frac{\text{CapacidadB}}{\text{CapacidadA}} \right)^n \quad (\text{Alvarado, Betancourt, 2005}) \quad (\text{B.24})$$

2. Costos de equipos empleados:

Costos de los equipos= Cant. equipo1. * Costo + Cant. equipo2 * Costo ++ Cant. Equipo N* Costo (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.25)

donde:

Cant. Equipo N^o= cantidad de equipos empleados de un mismo tipo (unidades)

Costo: costo unitario del equipo, \$

3. Costo de Instalación de los equipos: se emplea la relación donde es el 30% del costo de los equipos principales, para obtener el valor de la instalación de los mismos.

Inst. de equipos = 0,30 * Costo de equipos (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.26)

donde:

Inst. de equipos : costo de la instalación de los equipos, \$

4. Inversión inicial: es la cantidad de dinero a invertir por parte de la empresa para la implementación de la propuesta o proyecto. Representa el valor total de dinero que debe aportar la empresa para la implantación de las alternativas, consta de dos partes: el capital fijo CF y el capital de trabajo CT.

$II = CF + CT$ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.27)

donde:

CT: capital de trabajo (15% del CF), \$

CF: capital fijo, \$

Capital Fijo: representa el costo de los equipos, además del costo de instalación así como el costo del entrenamiento de los operarios y los imprevistos que puedan ocurrir durante su instalación, tanto el entrenamiento como los imprevistos representan el 5% del costo de los equipos adquiridos.

$CF = AFT + AFI$ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.28)

donde:

AFT: activo fijo tangible, \$

AFI: activo fijo intangible, \$

$$CF = \text{adquisición de maquinaria} + \text{instalación} + \text{imprevistos} + \text{entrenamiento}$$

(Alvarado, Betancourt, 2005) (B.29)

donde:

Adquisición de materiales: costo de los equipos, \$

Instalación: costo de instalación de los equipos principales, \$

Imprevistos: (5% del costo de los equipos), \$

Entrenamiento: (5% del costo de los equipos), \$

El capital de trabajo representa el 15% del capital fijo

$$CT = 0,15 * CF \quad (\text{Alvarado, Betancourt, 2005}) \quad (B.30)$$

B.6.2 Costos operacionales: representa los gastos que genera poner en marcha las alternativas seleccionadas, costo de materia prima, salario de empleados, mantenimiento de los equipos.

$$Cop = MP + S + \text{Mant. (XII)} \quad (\text{Oviedo, Sánchez, 2003}) \quad (B.31)$$

donde:

MP: costo de la materia prima empleada anualmente, \$

S: salarios de los operarios que operan en el proceso. (2 operarios sueldo mínimo), \$

Mant.: 2% del capital fijo, \$

1. Costos de Materia Prima: costo asociados a la compra de materia prima

$$MP = \sum (\text{Cant. MP} * \text{Costo MP}) \quad (\text{Alvarado, Betancourt, 2005}) \quad (B.32)$$

donde:

Cant. Mp: cantidad en Kg de materia prima empleada, Kg.

Costo MP: costo de la materia prima, \$/ Kg

2. Salario de los operarios: costo asociado a los pagos de los salarios de los operarios

$$S = \sum S_{op} \quad (\text{Alvarado, Betancourt, 2005}) \quad (B.33)$$

donde:

Sop: salario anual de los operarios, \$

3. Mantenimiento de los equipos: costo asociado al mantenimiento de los equipos adquiridos

$$\text{Mant} = 0,02 * CF \text{ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.34)}$$

B.6.3 Flujos Monetarios

1. Ingresos por piezas recuperadas (I_{RPD}): existen muchas piezas defectuosas producidas en la empresa: Tuercas de seguridad para rines, seguros espárragos, tuercas de menor tamaño, son las piezas que presentan en mayor cantidad de defectos, cada una de ellas representa un porcentaje en las piezas defectuosas, a partir de allí se determinaran las ganancias por recuperación de piezas.

Ganancias a obtener:

$$VP = \sum \text{Cant. Pieza} * \text{Precio} \text{ (B.35)}$$

donde:

Cant. Pieza: número de unidades recuperadas, N°

Precio: precio de las piezas recuperadas, \$

VP: ganancias obtenidas de la venta de la piezas recuperadas, \$

A partir de la cantidad de piezas que se presentan con defecto y el porcentaje actual de cada tipo de piezas, se determinó una relación del ingreso por recuperar piezas mensualmente, y así determinar el ingreso mensual.

$$I_{RPD} = VP * 12 \text{ meses} \text{ (B.36)}$$

donde:

I_{RPD} : ingresos anuales de la recuperación de piezas, \$

2. Depreciación de los equipos: Representa el valor de pérdida de costo de los equipos adquiridos, a consecuencia del periodo de uso.

$$D_{(t)} = \frac{(CF_i - V_R)}{n} \text{ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.37)}$$

donde:

CFi : costo del equipo (\$

Vr : valor residual (10% del valor del equipo), \$

n : vida útil del equipo, años

3. Valor en libro: representa el costo de la venta de los equipos adquiridos en el año de culminación del proyecto.

$$VL_{C/E} = \text{Costo del equipo} - t_P * \text{Depreciación (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.38)}$$

donde:

$VL_{C/E}$: valor en libro de cada equipo, \$

T_P : tiempo de duración del proyecto, años

$$VL = \sum VL_{C/E (1-n)} \text{ (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.39)}$$

VL= valor en libro de todos los equipos (\$)

4. Flujo del año 0: Representa los Ingresos o egresos del año inicial del proyecto

$$F_0 = -CF-CT \text{ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.40)}$$

5. Flujo años (1 al 9): Representa los ingresos o egresos de los años siguientes a la implantación de la propuesta

$$F_{(t)} = (I_{RPD}) - Cop - D_{(t)} - ISR \text{ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.41)}$$

donde:

$F_{(t)}$: flujos monetarios de los años 2 al 9, \$

I_{RPD} : ingresos por piezas recuperadas, \$

ISR: impuestos sobre la renta, \$

5. Flujo del año 10: Representa los Ingresos o egresos en el año de culminación de la implantación de la propuesta

$$F_{10} = I_{RPD} + CT - Cop_{(t)} + VL - D_{(t)} - ISR \text{ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.42)}$$

6. Amortización de intangibles A_i : es el valor de los imprevistos dividido entre la cantidad de años de vigencia de la empresa, que en este caso será entre 10 años, dando un valor constante para los años de vigencia del proyecto. El valor de los imprevistos representa el 5% del costo de los equipos.

$$A_i = \frac{Imp}{TP} \quad (\text{Alvarado, Betancourt ,2005}) \quad (\text{B.43})$$

7. ING (\$) ingreso neto gravable: es la ganancia neta que obtiene la empresa, después de restarle los costos operacionales, la depreciación de los equipos, la amortización de intangibles.

$$ING (\$) = I_{PR} - Cop - D_e - A_i \quad (\text{Alvarado, Betancourt ,2005}) \quad (\text{B.44})$$

donde:

ING (\$): ingreso neto gravable \$

8. Ingreso neto gravable por unidades tributarias ING (UT): es la representación de los ingresos netos gravables por las unidades tributarias, sabiendo que 1UT: 29400 Bs., asumiendo el dólar a 2150Bs, 1UT (\$) igual a 13,67\$. Este valor se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$ING (UT) = ING (\$) / 1UT \quad (\text{Alvarado, Betancourt, 2005}) \quad (\text{B.45})$$

donde:

ING (UT): ingresos netos gravables, (\$/ UT)

9. Impuesto sobre la renta ISR: es un impuesto que representa un el porcentaje del ING (\$) (aprox. 15%) que se paga al seniat. Este se calcula con la ecuación que sigue:

$$ISR = 0,15 * ING (\$) \quad (\text{Alvarado, Betancourt ,2005}) \quad (\text{B.46})$$

donde:

ISR: impuestos sobre la renta, \$

B.6.4. Indicadores de rentabilidad

Para determinar la rentabilidad del proyecto, los indicadores de rentabilidad deben cumplir con lo siguiente: el valor actual sea mayor a cero y que la tasa interna de retorno sea superior a la tasa de interés empleada en la determinación del valor actual, y si la cantidad de años para recuperar la inversión inicial (TP) es menor al tiempo de vida de proyecto (TPC) , este se considera rentable.

1. Valor actual: El método del Valor actual se emplea porque transforma todos los ingresos y egresos futuros en dinero en la actualidad, si este valor es positivo, entonces los ingresos son mayores que los egresos. El valor actual representara la actualización de los flujos monetarios

netos, si el valor es superior a cero indica que se obtiene un beneficio, por lo tanto para que el proyecto sea rentable, los ingresos generados por las alternativas a implementar debe ser mayor a los costos.

$$VA(i) = -F_0 + F_1 * (P / S_{i,1}) + F_2 * (P / S_{i,2}) + F_3 * (P / S_{i,3}) + \dots + F_n * (P / S_{i,n}) \text{ (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.47)}$$

donde:

VA (i) : valor actual, \$

(P/S_{i,n}): factor de actualización, adim

F_i : flujos monetarios de cada año, \$

2. Equivalente anual: Representa el beneficio o la pérdida equivalente en forma de una serie anual uniforme, un proyecto es rentable si los ingresos son lo suficiente mente grandes para cubrir todos los costos y la tasa mínima de rendimiento.

$$EA (10\%) = VA * [R / P_{i,n}] \text{ (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.48)}$$

donde:

EA: equivalente anual, \$

[R / P_{i,n}] : Factor de recuperación de capital, adim

3. Tasa interna de retorno: Expresa el beneficio neto anual que se obtiene en relación con la inversión para recuperar al comienzo de cada año. Si el valor obtenido es mayor al factor de interés (i) empleado, esto indica que se obtiene un beneficio anual para recuperar la inversión realizada al culminar el finalizar la vida del proyecto.

$$0 = -F_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \frac{F_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \text{ (Alvarado, Betancourt ,2005) (B.49)}$$

donde:

i: tasa interna de retorno, %

4. Tiempo de Pago: Esto represente el tiempo en años requeridos para que los flujos monetarios netos recuperen la inversión inicial a una tasa mínima de rendimiento igual a 0.

$$-II + \sum_{t=1}^{r^*} Ft = 0 \text{ (Alvarado, Betancourt, 2005) (B.50)}$$

CÁLCULOS TÍPICOS

C.1. MODELOS MATEMÁTICOS UTILIZADOS EN EL DIMENSIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN DEL BAÑO DE CROMO

Para alternativa propuesta para la filtración del baño de cromo empleado en la empresa, se requiere de una bomba de recirculación que lleve del tanque de ácido crómico al filtro, para que esta sea filtrada y esta sea llevada de nuevo para el tanque donde se encuentra el baño de cromo.

C.1.1 Determinación del caudal de bombeo, mediante la Ecuación (B.1), se establece que el período de circulación de todo el contenido del baño sea de 30 minutos, ya que se espera que el baño de cromo sea filtrado todo su contenido en una hora, se estableció un período menor, para que el caudal no sea tan pequeño.

Tiempo o período de filtración de toda la solución: 30 min.

Volumen de la solución de cromo a filtrar: 1300 L

A partir del tiempo establecido para la filtración del baño y el volumen a filtrar, se determina el caudal de recirculación del baño de cromo durante la realización de la filtración.

$$Q_b = \frac{1300L}{30 \text{ min}} * \frac{1m^3}{1000L} * \frac{60 \text{ min}}{1h} = \frac{2,6m^3}{h} * \frac{1h}{60 \text{ min}} * \frac{264,17 \text{ gal}}{1m^3} = 11,44 \text{ gpm} \approx 12 \text{ gpm}$$

Caudal de recirculación igual a 12gpm

C.1.2 Determinación del diámetro de la tubería: el material a emplear por ser una solución corrosiva sería un acero inoxidable AISI 316L, el cual es recomendable para una solución de ácido crómico al 50 % en caliente, según la Figura A.13, en el apéndice A, que corresponde a la resistencia a la corrosión de ciertos materiales, este material posee una resistencia a la corrosión buena y como también existe la presencia de ácido sulfúrico en un porcentaje menor, este tipo de acero también es recomendable, pero ya que la filtración no se realizaría todos los días, sería por lo menos una vez por semana, la corrosión será menor que un proceso que se lleve a cabo todos los días.

Densidad de la solución del baño de ácido crómico: 1,25 g/mL

$$\rho = \frac{1,25g}{1mL} * \frac{1000ml}{1m^3} * \frac{1Kg}{1000g} = \frac{1250Kg}{m^3} * \frac{1lb}{0,4535Kg} * \frac{1m^3}{264,172gal} = \frac{78,03lb}{pie^3}$$

Empleando la Figura A.1 presente en el apéndice A, la cual se emplea para determinar el diámetro económico de una tubería, empleando el valor del caudal calculado y la densidad del fluido, se determinó que el tamaño del diámetro interno de la tubería es de una pulgada. Para la estandarización se emplea la Figura A.6, en el apéndice A, donde se encuentran las propiedades de las tuberías de acero comercial, obteniéndose un valor cercano de diámetro interno de 0,92in y un espesor de pared de 0,065in.

1. Determinación de la velocidad de salida, mediante la Ecuación (B.2), previamente se determina el área de la superficie de la tubería, mediante la ecuación (B.3)

$$A_{ST} = \frac{\pi * (0,0233m)^2}{4} = 0,00042m$$

$$v_2 = \frac{\frac{2,6m^3}{1h}}{0,00042m^2} = \frac{6190,47m}{h} * \frac{1h}{3600s} = \frac{1,71m}{s}$$

La velocidad de salida de la tubería de recirculación es de $V_2 = 1,71$ m/s

C.1.3 Selección de la bomba

1. Cabezal de velocidad, mediante la Ecuación (B.5), la velocidad v_1 se asume 0m/s, ya que el líquido se encuentra en reposo cuando se encuentra en el tanque, tomando el tanque abierto como punto 1 del sistema planteado.

$$\Delta V = \left(\frac{\left(\left(1,71 \frac{m}{s} \right)^2 - \left(0 \frac{m}{s} \right)^2 \right)}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} \right) = 0,149m \quad \Delta V = 0,149 m$$

2. Cabezal de velocidad, mediante la Ecuación (B.6): La presión en el punto 1 y punto 2 se asumen 0 lb/ft³, ya que ambos puntos del sistema se encuentran a presión ambiente.

$$\Delta P = \left(\frac{(0-0) \frac{Lb}{ft^2}}{78,03 \frac{Lb}{ft^3}} \right) = 0 ft \approx 0m \quad \Delta P = 0 m$$

3. Cabezal de altura, mediante la Ecuación (B.7): La altura en el punto 2 del sistema es aproximadamente 2,5m, se toma como referencia a nivel de las bases del tanque.

$$\Delta Z = (2,5m - 0m) = 2,5m$$

$$\Delta Z = 2,5 m$$

4. Cabezal de pérdidas de energía, mediante la Ecuación (B.8)

El número de reynolds se calcula a partir de del diámetro interno de 0,92 in (0,0233m), la velocidad de 1,71m/s, la densidad de 1250 Kg/m³ y la viscosidad del fluido cercana a 0,7cp. Para determinar el fd, se requiere el valor de la rugosidad relativa que se obtiene a partir del ε del tipo de acero igual a 0,00015 para acero comercial y con un diámetro de 0,0233m, se obtiene una rugosidad relativa de 0,006.

$$Re = \frac{(0,0233m) * (1,71m/s) * (1250Kg/m^3)}{(0,7cp) * \left(\frac{10^{-3} Kg/m * s}{1cp} \right)} = 71148,21$$

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ (acero comercial)}$$

$$\varepsilon/D = 0,00175$$

El factor de Darcy f_d , se determina a través de la Figura A.3, que aparece en el apéndice A, con el número de reynolds obtenido en el área de turbulencia completa debido al diámetro interno de la tubería, y con un valor de rugosidad relativa para tubos de acero comercial de 0,0018 para un diámetro interno de una pulgada, que se observa en la Figura A.2, en el apéndice A, seleccionando el valor intermedio 0,025 de factor de Darcy.

Los accesorios adicionales son 3 codos de 90 °, una válvula de compuerta previa a la bomba, y la salida del filtro, sus valores de longitudes equivalentes se obtienen a partir de la Figura A.4, en el apéndice A, dando valores de 30, 10, 0,5 respectivamente.

$$h_L = \left\{ 0,025 * \left[\frac{4,5m}{0,0233m} + (13) + (90 + 10 + 0,5) \right] \right\} * \frac{1,71m}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,6688 \text{ m}$$

$$h_L = 0,6688 \text{ m}$$

5. Cabezal total de la bomba, mediante la ecuación (B.4)

$$H_{req}: (0,149 \text{ m} + 0 \text{ m} + 2,5 \text{ m} + 0,6688 \text{ m}) = 3,3178 \text{ m}$$

$H_{req} = 3,3178 \text{ m} \approx 3,3 \text{ m}$, es la distancia a vencer la bomba para cumplir con el recorrido establecido

1.4 Energía requerida

1. Flujo másico, mediante la ecuación (B.10)

$$m_f = 1250 \frac{Kg}{m^3} * 1,71 \frac{m}{s} * 0,00042 m^2 = 0,89 \frac{Kg}{s}$$

$$m_f = 0,89 \approx 0,9 \text{ Kg. /s}$$

2. Potencia de la bomba, mediante la Ecuación (B.9): El H_{req} se asume 4m, para obtener una potencia superior a la requerida por el sistema, y cubrir lo necesario para el transporte del fluido. A partir de la Figura A.14, donde se muestra la curva característica de una bomba regenerativa o de recirculación, obteniéndose que la eficiencia de la bomba para un caudal de 12gpm es cercana a 8%, debido a la altura que debe alcanzar el líquido es pequeña en relación a la altura que puede alcanzar empleándose la bomba.

$$P_B = \frac{1}{0,08} * 4 \text{ m} * 0,9 \frac{Kg}{s} * \frac{1}{76} * \frac{Hp}{Kg * \frac{m}{s}} = 0,59 \text{ Hp}$$

$$P_B = 0,59 \approx 0,6 \text{ Hp}$$

En el mercado existen bombas centrífugas que se emplean para los baños de galvanoplastia o electrolíticos, para bajos caudales como el requerido como la que se describe a continuación:

Centrífuga horizontal con partes obtenidas por inyección: Disponibles en Polipropileno ó PVDF, aptas para el manejo de fluidos corrosivos

Con caudales de: $0,5$ a $30 \text{ m}^3/\text{h} \geq$ Caudal requerido de $2,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Altura máxima: $25 \text{ m} \geq$ altura máxima de $2,5$ a 3m

Temperatura: hasta $60^\circ\text{C} \geq$ Temperatura del fluido de $40 \text{ }^\circ\text{C}$

Aplicaciones: corrosivos (HCl; HF; $\text{H}_2\text{SO}_4, \text{HNO}_3$); tóxicos, baños para galvanoplastía. Lo cual cumple con lo requerido para los baños de cromo



Figura C.1: Bomba centrífuga horizontal construida de plástico

C.2. MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL FILTRO EMPLEADO EN EL SISTEMA DE FILTRACIÓN

C.2.1 Relación entre las superficies filtrantes: Para el sistema de filtración de baños electrolíticos, la superficie filtrante debe ser suficientemente grande para permitir el paso del líquido, sin que ocurra una pérdida de carga excesiva y para recoger un volumen de sedimentos suficiente al que genera el baño. Por lo tanto la superficie que se aconseja es de 1m^2 por $3 \text{ m}^3/\text{h}$ de caudal con filtros a platos o paneles.

Caudal seleccionado: $2,6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$, ya que el volumen de baño de cromo es 1300 L , la filtración se recomienda que se realice 2 veces por hora.

Si por cada $3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ se emplean superficies de 1m^2

$$\frac{3\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{2,6\text{m}^3}{\text{Sup} - \text{filt}}$$

Despejando la ecuación (B.11), se obtiene:

$$\text{Sup-fil} = \frac{\frac{2,6m^3}{h}}{\frac{3m^3}{h}} * 1m^2 = 0,866m^2 \approx 0,9m^2$$
$$\text{Sup-fil} = 0,9 m^2$$

Al obtener la superficie filtrante requerida y conocer el tipo de filtro que se necesita, que es del tipo cartucho, se selecciona el tipo de material con el que esta construido el cartucho del filtro, en este caso se requiere que el material sea acero inoxidable debido al tipo de solución, este puede ser del mismo material seleccionado para las tuberías, por la capacidad para resistir la corrosión. Por lo tanto se sugiere que se de acero 316. Estos tipos de filtro tienen un costo aproximado de 3400 \$.

C.3 MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SEPARADOR DE GRASAS PARA EL BAÑO DE DESENGRASANTE

Para la alternativa propuesta de los separadores de grasas para los baños de desengrasantes, se debe tomar en cuenta que el tanque o estanque debe estar situado cercano a los tanques donde se encuentra contenido la solución de desengrasantes.

Estos tanques constan de un espacio entre la parte inferior del tanque y el suelo de aproximadamente 1,2 m de alto, por lo tanto el separador de grasas no puede tener una altura superior a esta medida, por lo que se estableció, que la altura (profundidad) del separador sea de 0,9 m, y a su vez permita que se le pueda realizar la limpieza cuando esta sea necesaria.

El ancho de este separador no debe ser superior a 1,5 m, que es la distancia entre la parte delantera del tanque y la pared que se encuentra localizada detrás de él. Se estableció que sea de 1,2 m, que es el mismo ancho que poseen los tanques de desengrasantes. El largo del separador no debe ser superior a 1 m de largo, que es el espacio disponible, ya que se limita al espacio, que ocupa el tanque de desengrasante. El período de retención recomendado: 1 hora y media a 2 horas

1. Volumen del separador: el volumen del separador debe ser tal que el contenido total de la solución de desengrasante pueda ser contenido sin riesgo de derrame.

Volumen a contener dentro del separador: 1000 L

Tiempo de retención seleccionado: 1 hora y 15 min., se seleccionó este tiempo, ya que el período de retención recomendado es de hora y media a dos horas

Por medio de la ecuación B.1 se obtiene $Q_s = 0,22 \text{ L/s}$, este es el caudal de entrada de la solución de desengrasante al separador de grasas, este caudal se obtiene a partir del volumen de la solución de desengrasante entre el período de retención establecido. A continuación se presentan características de separadores de grasas para diferentes volúmenes requeridos, donde se observa que para un volumen cercano a 1000L, el largo y el ancho poseen el mismo valor, y la altura posee un valor menor a los anteriores.

VOLUMEN	RECTANGULAR			TUBERIA PVC	BOCA ACCESO	CAUDAL l/seg.
	Alto mm.	Largo mm.	Ancho mm.			
100 l.	410	630	460	110 mm.	270 mm.	0.5
300 l.	490	1170	730	110 mm.	270 mm.	1
500 l.	580	1330	870	110 mm.	270 mm.	2
900 l.	970	1100	1100	110 mm.	400 mm.	4

Fuente: <http://www.ictisp.com/~filtec/sq.htm> separadores de grasas rectangulares

El volumen del separador, mediante la ecuación (B.12)

$$V_s = 0,22 \frac{L}{s} * 4500s = 990L \approx 1000L = 1 \text{ m}^3$$

$$V_s = 1 \text{ m}^3$$

Este tipo de sistema funciona es en función de a partir de la diferencia de pesos específicos entre el agua y las grasas. El agua entra al depósito o separador, teniendo lugar una pérdida de velocidad del efluente, permitiendo en primer lugar una separación de sólidos y una separación posterior de grasas y aceites. Una vez que ocurre la separación de las grasas, ocurre la recirculación de la solución de desengrasante.

2. Longitud del separador, mediante la Ecuación (B.13), ya que se ha establecido el límite del ancho del separador al igual que la altura, se determina la longitud del mismo, cuidando que

sea inferior al límite establecido por el sitio donde se debe colocar el separador, que debe ser menor a 1m.

$$1m^3 = 1,2 m * L * 0,9 m$$

$$L = \frac{1m^3}{1,2m * 0,9m} = 0,92 m \leq 1m \text{ es aceptable esta longitud}$$

$$L = 0,92 m \approx 1 m$$

3. Longitud de las pantallas o barreras: el tamaño de separación de las pantallas con la parte inferior del estanque, esto depende del que realiza el diseño, se estableció que estas posean una separación de la parte inferior del estanque de un tercio de la profundidad del tanque, para que la turbulencia sea lo menos posible.

Separación de las pantallas de la parte inferior del tanque,

$$S_p = \frac{1}{3} * 0,9m = 0,3m$$

Obteniéndose una Longitud de las pantallas, mediante la Ecuación (B.14)

$$L_p = 0,9 m - 0,3 m = 0,6 m$$

4. Separación entre las pantallas, se calcula mediante la Ecuación (B.15): como el largo del tanque es cercano a 1m, las pantallas pueden estar colocadas a igual distancia de la entrada del caudal al igual que a la salida del mismo, por lo tanto la longitud del estanque será dividido en tres partes iguales.

$$E_p = \frac{1m}{3} = 0,33m$$

Cada pantalla deberá ser colocada a 33 cm. de la entrada del caudal y a 33 cm. de la salida del mismo. El estanque imhoff, tiene las mismas medidas que el estanque de grasas, la única diferencia es que este utiliza la aeración para agilizar el proceso de separación de las grasas, para el cual necesita que este localizado en espacios abiertos. Los separadores de grasas empleados en la actualidad se encuentran fabricados de plásticos, principalmente, por ser un material más resistente, con lo cual se puede conseguir para volúmenes bajos con un precio aproximado de 431,64 \$, para un separador de grasas de 1000 L de capacidad, fabricados de polietileno.

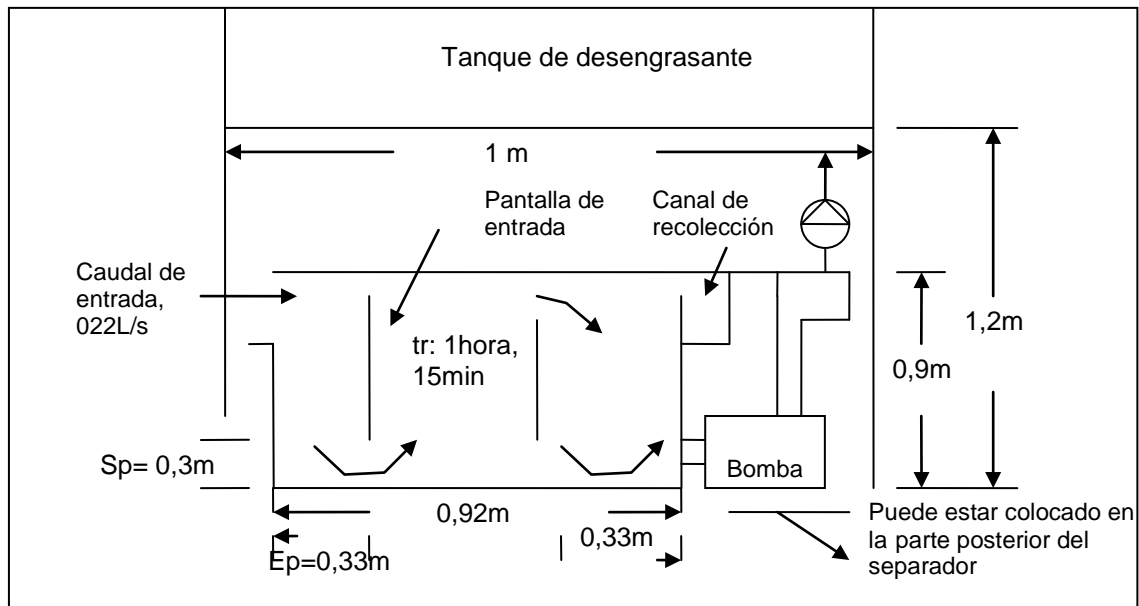


Figura c.2: Diagrama de longitud del sistema de separador de grasas

C.4 MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE IGUALACIÓN, DETOXIFICACIÓN Y NEUTRALIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS POR CARGAS.

C.4.1 Dimensiones del tanque de igualación, neutralización y detoxificación: estos tanques tendrán un forma cilíndrica, ya que de esta forma pueden ocupar un espacio menor a que si poseen forma rectangular, y no poseerán una altura superior a 1,5 m, ya que se requiere de la supervisión por parte de los operarios, además que de implementar esta alternativa, los operarios será lo que se encargarán de la adición de los compuestos empleados para cada una de las etapas del proceso de reducción de tóxicos en las aguas cromadas.

El volumen a contener dentro de ellos será igual a la suma de dos tanques de enjuagues de la línea de cromado, con el que se obtiene un volumen de 2600 L, ya que si se diseña para que pueda contener todos los volúmenes de la etapa del baño de cromo, el volumen es muy grande para el espacio donde pueden colocarse, por lo que tanto si se requiere la detoxificación de un volumen mayor, estos serán realizados por cada 2600 L de solución.

1. Área superficial del tanque, mediante la Ecuación (B.16)

Altura del tanque: 1,5m

Volumen del tanque $\geq 2600L \approx 2900L$, se estableció que el volumen fuera un poco mayor, debido a que al añadirle los compuestos adicionales, algunos de estos generan lodos, los cuales pueden ocasionar un incremento del volumen produciendo el rebose del tanque.

$$A_t = \frac{2,9m^3}{1,5m} = 1,93m^2$$

$$A_t = 1,93 m^2$$

2. Diámetro del tanque, mediante la ecuación (B.17)

$$D_T = \sqrt{\frac{4 * 1,93m^2}{\pi}} = 1,56m$$

Según relaciones de diseño, que se especifican en el apéndice B, según Rivas y Mijares (1978):

Se determina el diámetro del agitador según la siguiente relación:

$$\frac{Dt}{D} = \frac{1,56}{D'} = 3 \quad \text{Despejando el valor de } D', \text{ obteniéndose un diámetro de agitador de } 0,52 \text{ m}$$

La altura de líquido en el tanque esta regida por las siguientes restricciones: el valor de la altura

del líquido debe estar entre este intervalo: $2,7 \leq \frac{h}{D} \leq 3,9$

Por lo tanto se establece un valor de altura de líquido menor a la altura del tanque, estableciéndose que la altura del líquido sea entre el 90-95% de la altura del tanque

Para 95% de altura del tanque es igual a 1,482 m

$$\frac{h}{D} = \frac{1,48m}{0,52} = 2,84 \geq 2,7 \quad \text{Si cumple con la restricción}$$

Ya que cumple con la restricción de obtenerse una relación con un valor mayor al establecido como mínimo, se acepta que la altura del líquido sea de 1,48m.

Para obtener el valor de la longitud del agitador sumergido en el líquido, se toma un valor que cumpla con la restricción establecida

$$0,7 \leq \frac{h_i}{D} \leq 1,3$$

Partiendo de un valor intermedio de esta restricción (igual a 1), despejando el valor de h_i

$$\frac{h_i}{D} = 1, \quad h_i = 0,52 * 1 = 0,52 \text{ m}$$

Por lo tanto la longitud del agitador sumergido en el líquido es igual a 0,52 m

Según la recomendación para el diseño, la relación entre el espesor del tanque y el diámetro del agitador debe tener un valor alrededor de 0,1.

Se estima que el espesor del tanque sea de 0,05 m a 0,1m, se tomara un valor de 0,05m

$$\frac{W}{D} = \frac{0,05m}{0,52m} = 0,096 \leq 0,1 \text{ No cumple con la restricción, por lo tanto se establece un nuevo valor}$$

de espesor de 0,055 m

$$\frac{W}{D} = \frac{0,055m}{0,52m} = 0,105 \approx 0,1, \text{ ya que se cumple la restricción de diseño, se acepta como espesor}$$

de pared del tanque el valor de 0,055 m

Debido a la solución que se van introducir a estos tanques, lo más recomendable es que los tanques sean de acero inoxidable, ya que la solución aunque sean diluidas, existe la presencia de ácido crómico, ácido sulfúrico, para evitar que la corrosión pueda producir graves daños a la estructura de los tanques, se sugiere que sea de acero inoxidable 316. El desagüe de estos tanques debe ser por la zona inferior, con tuberías del mismo tipo de material que el tanque, el transporte entre cada tanque será por la zona inferior de los tanques.

C.4.2 Dimensionamiento del agitador de los tanques

1. Número de revoluciones del agitador, mediante la Ecuación (B.18)

Para tener un estimado de las condiciones del líquido contenido en los enjuagues de las aguas cromadas, se tomaran como condiciones de la solución las condiciones del agua a temperatura

ambiente como referencia, ya que la mayor cantidad del contenido de la solución es un alto porcentaje de agua.

Condiciones del fluido:

Temperatura: 24 °C

Densidad: 997,07 Kg / m³

Viscosidad: 0,894 cp = 0,894 g / seg. * cm

Determinando el número de reynolds, obteniéndose un valor de 10⁵. A partir del Número de Reynolds y el Figura A.5, en el apéndice A, se obtuvo que el valor de K=2, por el tipo de agitador seleccionado, de dos paletas.

$$N_R = \frac{D^2 * n * \rho}{\mu}$$
, despejando de la ecuación el valor de n, se obtendrán el número de revoluciones por segundo.

$$n = \frac{N_R * \mu}{D^2 * \rho} = \frac{100000 * 0,894 \text{ g / seg * cm}}{2794 * 0,997 \text{ g / cm}^2} = 32,09 \approx 32,1 \text{ Revoluciones por segundo}$$

2. Potencia del agitador, mediante la Ecuación (B.19)

$$P = \frac{2}{980} * 0,997 * (32,09)^3 * 52^5 = 2556377,2 \text{ g * cm / seg}$$

$$\frac{2556377,2 \frac{\text{g * cm}}{\text{seg}}}{75 * 10^3 * 10^2} = 0,34 \text{ Hp}$$

C.5 MODELOS MATEMÁTICOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES EMPLEADAS EN LOS TANQUES DE DESMETALIZADO, Y DETOXIFICACIÓN Y NEUTRALIZACIÓN DE ALTERNATIVA SISTEMA LANCY.

C.5.1 Volumen de la solución del tanque de desmetalizado: las materias primas a emplear en el tanque de desmetalizado son las siguientes: ácido sulfúrico (H₂SO₄), y agua (H₂O), la concentración es de 1000 g/L a 1100 g/L. El espacio a ocupar por la solución será entre un 90%

y 95%, para así evitar que cuando se introduzcan las piezas haya desbordamiento del baño. Se seleccionó emplear un del 95% de la capacidad del tanque.

Cantidad de volumen de solución, mediante la Ecuación (B.20), para el baño de desmetalizado se empleara un tanque de 1300 L de capacidad, hecho de hierro galvanizado y recubierto de una resina protectora, que se encuentra si utilizar en la línea de cromado, con unas dimensiones similares a las de los enjuagues posteriores al desengrasante.

$$V_s = 0,95 * 1300L = 1170 L$$

$V_s = 1170 L$, cantidad de solución del tanque de desmetalizado.

1. Masa de ácido sulfúrico, mediante la ecuación (B.21)

$$M_{H_2SO_4} = 1170L * \frac{1000g}{L} * \frac{1Kg}{1000g} = 1170Kg$$

Se debe emplear 1170 Kg. de ácido sulfúrico para preparar la solución a colocar en el tanque de desmetalizado electrolítico

2. Determinación de la cantidad de metabisulfito de sodio en el tanque de detoxificación : para el sistema de reducción de tóxicos, se emplearán tanques de 2300 L de polietileno de alta densidad, con una altura de 1,2 m, de ancho igual a 1,2 m y una longitud de 1,6 m, similar al tamaño del baño de níquel electrolítico, este material es resistente a la corrosión de este tipo de solución, según los datos obtenidos a través de la Figura A.12, del apéndice A, de la resistencia de la corrosión de los plásticos. En este tanque, la solución ocupará el 95 %, para contener un volumen 2185 L. La proporción a utilizar es una solución saturada de metabisulfito de sodio. Se conoce que la solubilidad del metabisulfito de sodio es de 650 g/L a temperatura ambiente.

Mediante la Ecuación (B.22),

$$M_{MB2} = \frac{(2185L * 0,650Kg)}{1L} = 1420,25Kg$$

Se debe emplear 1420,25 Kg. de metabisulfito de sodio para preparar la solución saturada, se debe tomar en cuenta que esta solución es altamente concentrada, para favorecer la rápida

conversión del cromo hexavalente a cromo trivalente, que se encuentra retenido en las piezas, ya que al estar en una solución con bajas concentraciones hace que la conversión no sea completa, y a un tiempo de residencia mayor. Con un tanque con alta concentración se espera que el período de uso sea mayor, que realizando tratamiento por carga, en la cual se emplea una mayor cantidad de reactivos.

3. Determinación de la cantidad de hidróxido de sodio en el tanque de neutralización: la solución es 2185 L, en este caso se debe preparar una solución al 20 % V/V de hidróxido de sodio.

El hidróxido de sodio a emplear, es adquirido por la empresa en su forma sólida por sacos, debido a que no poseen tanques destinados para contener una solución de hidróxido de sodio, por lo tanto por medio del uso de su densidad a temperatura ambiente, se determinará la cantidad de hidróxido de sodio para prepara la solución. La densidad del NaOH es 1,25 g/mL. Esta solución al igual que la anterior, es altamente concentrada para ayudar a la rápida neutralización y precipitación del cromo trivalente que pueda permanecer dentro de las piezas, y así evitar que los enjuagues posteriores posean un alto contenido de cromo tanto hexavalente como trivalente.

Se empleará la siguiente relación: Para una solución al 20 % V/V de NaOH, cuya relación es de 0,02 L de NaOH por cada 0,1 L de solución, a partir de dicha relación y conociendo el volumen de la solución a colocar en el tanque de neutralización y mediante la Ecuación (B.23),

$$V_{NaOH2} = \frac{(0,02L * 2185L)}{0,1L} = 437L \text{ NaOH, para preparar la solución al 20\% V/V de NaOH,}$$

en un volumen de solución de 2185L

$$M_{NaOH} = 437 L * 1,25 Kg / L = 546,25 Kg$$

Se deben emplear alrededor de 546,25 Kg de NaOH para la preparación de la solución al 20% de NaOH para la neutralización y precipitación del cromo trivalente.

C.6 MODELOS MATEMÁTICOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RENTABILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS.

C.6.1 Determinación de los factores para la inversión inicial

1. Costos de los equipos: para el tanque de polietileno del sistema de tratamiento de aguas residuales, se determinó su precio a partir de un tanque de polietileno de alta densidad de capacidad de 5800L de una empresa especializada en tanques, que posee un precio de 1945 \$. Se seleccionó el polietileno de alta densidad por su resistencia química y térmica, así como su impermeabilidad y dureza son superiores a las del polietileno de baja densidad. El polietileno es uno de los polímeros más estables e inertes, como podía esperarse de su estructura sustancialmente parafínica.

Mediante la Ecuación (B.24),

$$\text{Costo Tanque 2300L} = \text{Costo Tanque 5800L} * \left(\frac{2300L}{5800L} \right)^{0,6}$$

$$\text{Costo Tanque 2300L} = 1945\$ * (0,396)^{0,6} = 1116,6 \approx 1117 \$$$

Los equipos a adquirir son los siguientes:

Tabla C.1 Cantidad y costo de equipos a adquirir

Equipo o materia prima	Cantidad	Costo por unidad (\$)	Sub- total (\$)
Tanques de polietileno para el Sistema Lancy	2	1117	2234
Extractor para el Sistema Lancy	1	2450	2450
pHmetro-Temperatura para los baños electrolíticos y el sistema Lancy	4	375	1500
		Total	6184

Mediante la Ecuación (B.25) se obtiene los costos de todos los equipos a adquirir:

Costos de los equipos= $2 * 1117 \$ + 1 * 2450 \$ + 4 * 375 \$ = 6184 \$$

2. Costos de instalación de equipos, mediante la Ecuación (B.26)

$$\text{Inst. de equipos} = 0,30 * (6184) = 1859 \$$$

3. Inversión inicial

3.1 Capital fijo, mediante la Ecuación (B.29) :

$$CF = 6184 \$ + 1859 \$ + 2 * 0,05 * 6184 \$ = 8659 \$$$

El valor del capital fijo es de 8659 \$

3.2 Capital de trabajo, mediante la Ecuación (B.30):

$$CT = 0,15 * 8659 \$ = 1299 \$$$

El capital de trabajo tiene un valor de 1299 \$

A partir de los valores de capital fijo y capital de trabajo se obtiene la inversión inicial, mediante la Ecuación (B.27)

$$II = 8659 \$ + 1299 \$$$

Resultando un valor de Inversión inicial de 9958 \$

C.6.2 Costos operacionales: se toma en cuenta la materia prima a emplear, como se trata de baños que se desgastan con el periodo de uso, hay posibilidades de que se requiera la reposición de los baños en el periodo menor a un año, por lo tanto en el costo de materia prima se determinará para el cambio de los baños, por lo tanto el valor obtenido de materia prima será multiplicado por 2, para tomar en cuenta la reposición de los baños, además del gasto de salario de los operarios y el mantenimiento de los equipos adquiridos

1. Costo de materia prima: en el caso del ácido sulfúrico, empleando la siguiente ecuación que se deriva de la Ecuación B.32

$$C_{H_2SO_4} = 1170Kg * 0,697\$ / Kg = 815,49 \approx 816\$$$

Todos los demás costos de materia prima se determinan de forma similar, y mediante la Ecuación (B.32) se obtiene el costo de toda la materia prima:

$$C_{MP} = 816 \$ + 980 \$ + 426 \$ = 2222 \$$$

Tabla C.2 Costo de la compra de materia prima empleada en los baños de desmetalizado y sistema de reducción de residuos anualmente

Materia prima	Cantidad (Kg)	Costo por unidad (\$)	Sub- total (\$)
Ácido sulfúrico	1170	0,697 \$/ Kg.	816
Metabisulfito de sodio	1420,25	0,69 \$./Kg.	980
Hidróxido de Sodio	546,25	0,78\$./Kg.	426
Total			2222

La tabla anterior reporta la cantidad de materia prima a emplear en la preparación de las soluciones de desmetalizado y de los baños del sistema Lancy, correspondiente a la elaboración de una sola solución de desmetalizado y del sistema Lancy al año, pero en los costos operacionales se tomara en cuenta la posibilidad del reemplazo de dichos baños dos veces al año, para que sea tomado en cuenta, aunque no se reemplace la solución.

2. Salario de los operarios

Salario mínimo mensual: por un operario es igual a 238 \$

Salario Anual por operarios: 238 \$ * 12 meses = 2856 \$

Mediante las Ecuaciones (B.33) y (B.34)

$$C_{op} = 2 * 2222 \$ + 2856 \$ + 0,02 * 8659 \$$$

$$C_{op} = 7473,18 \approx 7473 \$$$

Los costos operacionales para todos los años de la duración del proyecto, el cual se estableció sea de 10, serán de 7473 \$, tomando en cuenta el reemplazo de las soluciones de desmetalizado y el Sistema Lancy. Hay que tomar en cuenta que los costos operacionales están sujetos a variación debido a la inflación o aumento de los costos de las materias primas así como también un incremento en los salarios de los operarios, por lo tanto, se tomara en cuenta que exista un incremento por lo menos de un 3-5% anual, de los costos operacionales.

Tomando como incremento un 3 % de los costos operacionales, se obtiene los valores de los costos operacionales tomando en cuenta el posible incremento anual:

Para el año 2: $7473 + 7473 * 0,03 = 7697,19 \$$

Para el año 3: $7697,19 + 7697,19 * 0,03 = 7928,1 \$$

Tabla C.3 Variación de los costos operacionales en función del incremento de los precios de la materia prima y salarios

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ingresos (\$)	7473	7928	8166	8411	8663	8923	9191	9467	9751	10043

C.6.3 Flujos Monetarios

1. Ingresos por piezas recuperadas (I_{RPD}): en base a las piezas que se encuentran con defectos en la actualidad, a partir del registro realizado, se pudo constatar que las proporciones son las siguientes: las tuercas belga con un 60 %, los seguros espárragos con un 33 %, y las demás piezas de menor tamaño ocupando un 7 %.

A través de información suministrada por los operarios de la empresa, se conoce, que dichas piezas poseen valores de ingresos de 2,5 \$, 9,3 \$ y alrededor de 0,69 \$ aproximadamente. A partir de estos valores de ingresos por cada tipo de pieza, se determinó el valor de recuperación de las piezas defectuosas.

De las 8000 piezas que existen al comienzo del estudio:

33 % tienen un costo de 9,3 \$ = 2640 piezas

60 % tienen un costo de 2,5 \$ = 4800 piezas

Y el resto tienen un costo aprox. De 0,69 \$ = 560 piezas

Se determina las ganancias a obtener de la recuperación de dichas piezas, mediante la Ecuación (B.35):

$$VP: 2640 * 9,3 \$ + 4800 \$ * 2,5 + 560 * 0,69 \$ = 36938,4 \$ \approx 36939 \$$$

Se podría obtener aproximadamente 36939 \$ por la venta de las piezas defectuosas obtenidas en el periodo anterior al comienzo del estudio, se recuperación se realizaría en el primer año de implantación de la alternativa del baño de desmetalizado. Piezas defectuosas existentes aproximadamente 8 mil piezas en un periodo de 2 años y medio.

Ya que en la empresa no se tiene ningún registro de como fue la variación de cantidad de piezas mensuales en este periodo de tiempo, se asume esta proporción para tener un valor de comparación con el valor actual de piezas defectuosas por mes. A partir del tiempo y de la cantidad de piezas defectuosas, se determinó un promedio de piezas defectuosas mensuales que se obtuvieron mensualmente en ese período:

$$Pd = \frac{P_{De}}{t} = \frac{8000 \text{ piezas}}{2,5 \text{ años}} = 3200 \frac{\text{piezas}}{\text{año}} = 260 \frac{\text{piezas}}{\text{mes}}$$

260 piezas es el promedio de piezas defectuosas por mes obtenidas en ese período. En el presente año, la cantidad de piezas defectuosas producidas descendió a un promedio de 200 piezas aproximadamente, según lo reportado por el registro de piezas defectuosas. Si se producen 200 piezas al mes, asumiendo que se mantienen la misma proporción de tipo de piezas defectuosas, para determinar un valor aproximado de los ingresos a obtener de las piezas defectuosas que se pueden obtener en los años de la implantación de la alternativa de baño de desmetalizado:

33 % de 200 = 66 piezas de 9,3 \$

60 % de 200 = 120 piezas de 2,5 \$

7% de 200 = 14 piezas de 0,69 \$

Se determina el ingreso a obtener mensualmente, ya que las 200 piezas defectuosas es un promedio mensual de las piezas obtenidas:

$$VP_{\text{Mes}}: 66 \cdot 9,3 \$ + 120 \cdot 2,5 \$ + 14 \cdot 0,69 \$ = 923,46 \$ \approx 924 \$ \text{ mensuales}$$

Mediante la Ecuación (B.36), el valor de las ventas de las piezas recuperadas anualmente estaría alrededor de:

$$I_{\text{RPD}} = 924 \$ \cdot 12 \text{ meses} = 11088 \$$$

En el presente año (2006) se generaron 200 piezas defectuosas al mes, si se recuperan se podría obtener ingresos de 924 \$ al mes y en un período de 12 meses obtener 11088 \$.

En el primer año se puede obtener ganancias de la recuperación de las piezas defectuosas existentes y las que se pueden producir, aunque con la aplicación de las otras alternativas, se espera un descenso de la cantidad de piezas, se obtiene un valor estimado de ingresos para el

año 1, tomando en cuenta las piezas existentes (8000 piezas además las que pueden producirse en el año en curso):

$$I_{RPD} = 36939 \$ + 11088 \$ = 48027 \$$$

En relación con la disminución de las piezas defectuosas de 260 a 200 piezas en la actualidad, con la aplicación de las alternativas, se espera que haya un descenso en la cantidad de piezas, a medida que la aplicación de las alternativas propuestas sean tomadas en cuenta.

Por lo que los ingresos a obtener de las piezas recuperadas puede ser de para los años siguientes (del año 2 hasta el año de culminación del proyecto), tener un descenso en los ingresos por piezas recuperadas, se establece que sea de un 5 -10% el descenso anual de las piezas, tomando 10 % de descenso en la producción de piezas defectuosas anualmente, de las que se producen en la actualidad:

$$\text{Para el año 2: } I_{RPD(2)} = 11088 \$ - (11088 \$ * 0,1) = 9979,2 \$$$

$$\text{Para el año 3: } I_{RPD(3)} = 9979,2 \$ - (9979,2 \$ * 0,1) = 8981,28 \$$$

Este valor puede ser un valor mayor, si la cantidad de piezas defectuosas no disminuya en gran medida su porcentaje de obtención. Este procedimiento se aplica a los ingresos siguientes, obteniéndose los valores siguientes de los posibles ingresos a obtener:

Tabla C.3 Variación de los ingresos en función de la disminución de la cantidad de piezas

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ingresos (\$)	48027	9979	8981	8083	7275	6547	5893	5303	4773	4296

2. Depreciación de los equipos: esto representa el valor monetario, que pierde el costo de los equipos al pasar un periodo de uso, se determina por cada año de uso. Ya que se fijo como duración del proyecto o duración de la implantación de la propuesta seleccionada, un período de 10 años, se toma como tiempo de vida para los equipos a adquirir que no se conozca su tiempo de vida útil, a pesar que estos puedan tener un tiempo de vida mayor, debido al tipo de material con el que están contruidos.

Para los tanques de polietileno del sistema de reducción de tóxicos (costo de los 2 tanques de 2300 L es igual a 2232 \$), mediante la Ecuación (B.37), se toma como tiempo de vida 20 años, como valor aproximado.

$$D_{(t)} = \frac{(2232 - 0,10 * 2232)}{20}$$

$$D (t) = 100,44 \text{ \$/año}$$

De esta forma se obtienen los valores de depreciación de los demás equipos adquiridos

3. Valor en libro o valor residual: se obtiene a partir del período de vida de los equipos y el tiempo del proyecto, aquí se emplea como vida del proyecto 10 años, por lo tanto se estimará el costo de los equipos para el año 10, tomando en cuenta su depreciación anual.

Para los tanques de polietileno

Valor Año 0: 2232 \$

Valor Año 10 = 2232 \$ - 10 * Depreciación

Valor Año 10 = 2232 \$ - 10* 100,44\$ = 1227,6 ≈ 1228 \$

Así se calcula para el resto de los equipos, para calcular el valor en libro de todos los equipos adquiridos, mediante la Ecuación (B.39)

VL: VL tanques + VL extractor + VL pH-Temperatura

$$VL = 1228 + 240 + 150 = 1618 \text{ \$}$$

Tabla C.3 Costo, valor residual y depreciación de los equipos adquiridos

Costos de equipos	Costo 2006 (\$)	Vida equipo (años)	V residual (\$)	depreciación (\$/año)
Tanques de polietileno	2232	20	1228	100,44
Extractor	2450	10	240	221
Indicadores de pH-Temperatura	1500	10	150	135
		Total	1618	456,44

4. Amortización de intangibles

Se calcula mediante la Ecuación (B.43)

$$A_i = \frac{309}{10} = 30,9 \approx 31\$$$

5. Ingreso neto gravable, ING (\$): es la ganancia neta que obtiene la empresa, después de restarle los costos operacionales, la depreciación de los equipos, la amortización de intangibles.

Para el primer año de implementación de la propuesta, mediante la Ecuación (B.44)

$$\text{Para el año 1: ING (\$)} = 48027 \$ - 7473 \$ - 456,44 \$ - 31 \$ = 40066,56 \$$$

$$\text{Para el año 2: ING (\$)} = 9979 \$ - 7928 \$ - 456,44 \$ - 31 \$ = 1563,56 \$$$

De igual forma se calcula para los años siguientes, obteniéndose valores negativos, debido a que los valores de ingresos de los años siguientes son cercanos a los valores establecidos como costos operacionales.

6. ING(UT) : para el año 1 de la implantación de la propuesta, mediante la Ecuación (B.45), se obtiene:

$$\text{Para el año 1: ING (UT)} = 40066,56 \$ / 13,67 \$ = 2930,98 \approx 2931 \text{ UT}$$

$$\text{Para el año 2: ING (UT)} = 1583,56 \$ / 13,67 \$ = 114,37 \approx 114 \text{ UT}$$

7. Impuesto Sobre la Renta, mediante la Ecuación (B.46)

$$\text{Para el año 1: ISR} = 0,15 * 2931 \$ = 358,65 \$ \approx 439 \$$$

$$\text{Para el año 2: ISR} = 0,15 * 114 \$ = 17,15 \$ \approx 17 \$$$

De igual forma se calcula para los años siguientes, obteniéndose valores menores a los obtenidos para el año 2, por lo tanto no se toma en cuenta para los años siguientes, ya que resultan valores negativos, por lo que no se obtienen ingresos brutos.

8. Flujos monetarios: para calcular los flujos monetarios a través de los años, se efectúa a partir de la resta de los costos operacionales, y el impuesto sobre la renta de los ingresos brutos obtenidos de las ventas del producto, debido a que se obtienen un margen de ganancias de la implementación de las alternativas, los flujos monetarios son positivos, exceptuando el año 0, donde se realiza la inversión inicial. El flujo del año 0 representa el valor de los gastos realizados para la implementación de las alternativas

$$F_0 = -8659 - 1299 = -9958 \$$$

Flujos de los años siguientes: para los flujos de los años 1-10, se tomara en cuenta los costos operacionales, los impuestos a pagar por las ganancias obtenidas procedentes de los ingresos correspondientes a la recuperación de las piezas.

Por lo tanto para el año 1, se obtendría un valor de:

$$F_1 = 48027 \$ - 7473 \$ - 439 = 40115 \$$$

Los años siguientes se determinan de la siguiente manera, exceptuando que a partir del año 4 no se toma en cuenta el impuesto sobre la renta:

$$F_{(2)} = 9979 \$ - 7928 \$ - 17 \$ = 2068 \$$$

$$F_{(3)} = 8981 \$ - 8166 \$ - 3,5 \$ = 819 \$$$

Y de igual forma se calculan los flujos de los años siguientes hasta el año 9

Para el año 10, Se toma en cuenta el capital de trabajo y el valor en libros de los equipos utilizados, mediante la Ecuación B.42

$$F_{10} = 1299\$ - 1004 3\$ + 1618 \$ + 4296 \$$$

$$F_{10} = -2830 \$$$

En la siguiente tabla se muestra los flujos monetarios en los años de implantación de la propuesta seleccionada

Tabla C.3 Flujos monetarios del período de vida del proyecto o propuesta

Año	Capital fijo (\$)	Capital de trabajo (\$)	Ingresos (\$)	Costos Operacionales (\$)	ISR (\$)	Valor en Libro (\$)	Flujos monetarios (\$)
2006	-8659	-1299					-9958
2007			48027	-7473	-439		40994
2008			9979	-7928	17		2068
2009			8981	-8166	3		819
2010			8083	-8411			-328
2011			7275	-8663			-1388
2012			6547	-8923			-2376
2013			5893	-9191			-3298
2014			5303	-9467			-4164
2015			4773	-9751			-4978
2016		1299	4296	-10043		1618	-2830

C.6.4. Indicadores de rentabilidad

1. Valor actual: se puede emplear las tablas financieras, empleando el factor de actualización para un valor de i : 15 %, se seleccionó esta tasa de interés anual, ya que los bancos tienen como tasas de interés máx. alrededor de 23 %, y como media alrededor de 10 %, se tomo una tasa de interés promedio

Tabla C.4 Valores de producto de factores de actualización para una tasa de interés de 15%, para la determinación del valor actual

Año del proyecto	Factor de actualización (P/S_{i,n}) (Adim)	Producto de los Flujos monetarios y el factor de actualización (\$)
2007	0,86957	35647
2008	0,75614	1564
2009	0,65752	538
2010	0,57175	-188
2011	0,49718	-690
2012	0,43233	-1027
2013	0,37594	-1240
2014	0,3269	-1361
2015	0,28426	-1415
2016	0,24719	-700

Empleándose la Ecuación B.47:

$$VA(15\%) = -9958 \$ + 35647 \$ + 1564 \$ - 538 \$ - 188 \$ - 690 \$ - 1027 \$ + -1240 \$ - 1361 \$ - 1415 \$ - 700 \$$$

$$VA (15\%) = 21170 \$$$

2. Equivalente anual

Para el año 10, y empleando el valor de $R/P_{i,n} = 0,19925$, de la tabla de Factores de interés, que se encuentra en el Apéndice A.

Empleándose la Ecuación B.48:

$$EA (15\%) = 21170 \$ * 0,19925$$

$$EA (15\%) = 4059 \$$$

3. Tasa interna de retorno

$$0 = -9958 + \frac{40994}{(1+i)^1} + \frac{2068}{(1+i)^2} + \frac{819}{(1+i)^3} + \dots + \frac{-2830}{(1+i)^{10}}$$

Los valores obtenidos mediante el tanteo, para la obtención de la tasa interna de retorno, da valores superiores a 100%, por lo que se considera que el proyecto es rentable.

4. Tiempo de pago

$$\text{Año 1} = -9958 \$ + 40115 \$ = 30157 \$$$

Ya que el valor es superior a cero, esto indica que el dinero invertido ya fue recuperado, por lo tanto el tiempo de pago es igual a un año.

Este ingreso de 40115 \$ es lo que correspondiente a todo el ingreso a obtener en el año 1, por lo tanto, si se divide en los 12 meses, se obtiene un valor de 3342, 9 \$ mensuales de ingresos, por lo tanto si la inversión inicial son aproximadamente 10000 \$, en un período de 4 meses, del primer año de implantación de la propuesta, se logra recuperar la inversión inicial.