



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PROPUESTAS DE MEJORAS DE LAS ETAPAS DEL
TRATAMIENTO DE SUPERFICIES METÁLICAS
EN EL PROCESO DE TREFILADO DE LA
EMPRESA TUBOAUTO C.A**

*Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo
para optar al título de Ingeniero Químico*

Prof. Julio César Silva
Tutor Académico

Ing. Luis Ríos
Tutor Industrial

Autores:
Br. Andy Ramos
Br. Joselias Molina

Valencia, Octubre de 2007



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **“PROPUESTAS DE MEJORAS DE LAS ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE SUPERFICIES METÁLICAS EN EL PROCESO DE TREFILADO DE LA EMPRESA TUBOAUTO C.A”**, realizado por los bachilleres Ramos Andy C.I. 14.239744. y Molina Joselias C.I. 14.925.557, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo y que no nos hacemos responsables de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Julio César Silva
Presidente

Prof.(a) María Modroño
Jurado

Prof. (a) Olga Martínez
Jurado

Valencia, Octubre de 2007

SUMARIO

El presente trabajo especial de grado se realizó con el objeto de mejorar las etapas del tratamiento de superficies metálicas de la empresa TUBOAUTO, C.A, para aumentar la eficiencia del proceso de producción estudiado.

Para lograr la tarea propuesta se deben cumplir una serie de pasos: evaluar la condición inicial del proceso a fin de obtener fallas, a continuación se identifican las variables relacionadas con las fallas, seguidamente se analizan las variables de cada etapa del proceso con la finalidad de identificar las más influyentes, en base a las variables identificadas se generan alternativas de mejora, y por último se seleccionan las más adecuadas.

Las variables más importantes del proceso son: dureza del agua, debido a que disminuye la concentración de las especies químicas en los baños, producto de reacciones indeseadas, la presencia de grasa en la superficie de la solución de desengrasado afecta las etapas posteriores del tratamiento químico de superficies y el exceso de acelerador en la cuba de fosfatizado provoca interacciones indeseadas con los componentes del baño. Una vez identificadas las variables se procede a sugerir mejoras en el proceso, recomendando 2 especialmente: rebose de la grasa y preparación de la cuba con agua desionizada en la cuba de desengrase, así como la preparación del baño de fosfatizado con agua desmineralizada para evitar reacciones no deseadas. Las alternativas descritas anteriormente cumplen con los requerimientos exigidos por la empresa, así como la viabilidad económica de las propuestas.

Dentro de las recomendaciones se pueden citar: mantener bajo especificación, los parámetros de operación de las cubas, utilizar agua desionizada en lugar de agua proveniente de pozos para evitar reacciones indeseadas en las soluciones tanto de desengrase como de fosfatizado, remover el exceso de grasa sobrenadante sobre la solución de desengrase para evitar inconvenientes en las etapas siguientes al desengrase de los tubos.

Palabras clave: Trefilado, Fosfatizado, decapado, Tratamiento de superficies.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1.1 Diagrama de bloques de las etapas de tratamiento químico del proceso de producción de tubos en la empresa TUBOAUTO.....	3
FIGURA 2.1 Interacciones del metal y el inhibidor que contiene la solución decapante.....	23
FIGURA 2.2 Molécula de bencenosulfonato de sodio.....	24
FIGURA 2.3 Molécula de cloruro de n-dodecil piridina.....	25
FIGURA 2.4 Molécula de dodecil betaína.....	25
FIGURA 2.5 Molécula de lauril mono etanol amida.....	26
FIGURA 3.1 Diagrama causa-efecto.....	31
FIGURA 3.2 Matriz de selección.....	39
FIGURA 4.1 Almacén de recepción de las bobinas de acero.....	42
FIGURA 4.2 Máquina laminadora.....	43
FIGURA 4.3 Soldador magnético.....	44
FIGURA 4.4 Horno de revenido.....	45
FIGURA 4.5 Cuba de desengrasado.....	46
FIGURA 4.6 Cuba de decapado.....	48

FIGURA 4.7	Cuba de fosfatizado.....	49
FIGURA 4.8	Cuba de lubricante.....	51
FIGURA 4.9	Diagrama causa-efecto de los factores influyentes del tratamiento químico de superficies metálicas.....	52
FIGURA 4.10	Diagrama causa-efecto simplificado.....	55
FIGURA 4.11	Variación del volumen ácido sulfúrico gastado en la determinación de la concentración de la solución de desengrasante en función de la dureza del agua utilizada.....	57
FIGURA 4.12	Solución de desengrasante preparada con agua dura.....	58
FIGURA 4.13	Variación del tiempo desengrasado de los tubos en función de las temperatura de la solución.....	59
FIGURA 4.14	Efecto del tipo de agua utilizada en el proceso de fosfatizado...	60
FIGURA 4.15	Efecto de la grasa sobre la superficie del tubo fosfatizado.....	61
FIGURA 4.16	Efecto del acelerador agregado en exceso dentro de la solución fosfatizante.....	62
FIGURA 4.17	Tubos con diferentes cantidades de cintas de aluminio.....	63
FIGURA 4.18	Tubos después de 20 días con y sin cinta de aluminio.....	63
FIGURA 4.19	Comparación del tubo número 6 con el tubo número 8.....	64

FIGURA 4.20 Cinta de aluminio con ampollas producto de la oxidación.....	64
FIGURA 4.21 Tubos después de 47 días de haber iniciado la experiencia experimental.....	65
FIGURA 4.22 Deterioro de los tubos 7,11 y 12 transcurrido 47 días	66
FIGURA 4.23 Cuba de desengrasando con exceso de grasa en la parte superior de la solución.....	69
FIGURA 4.24 Método de remoción de la grasa de la superficie de la solución de desengrasante.....	70
FIGURA C.1 Vista frontal de la máquina trefiladora.....	95
FIGURA C.2 Cortadora de puntas de los tubos luego de trefilar.....	95
FIGURA C.3 Tubos fosfatizados con punta para el trefilado.....	96
FIGURA C.4 Rack de tubos para procesar.....	96
FIGURA C.5 Tubos destinados para despacho.....	97
FIGURA C.6 Tubos fosfatizados.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1.1 Rechazos de tubos y paradas no planificadas en el proceso de trefila.....	6
TABLA 1.2 Pérdidas asociadas a fallos en el proceso de trefilado de los tubos.....	6
TABLA 3.1 Formato de prueba experimental de la influencia de la temperatura en el tiempo de desengrasado.....	35
TABLA 3.2 Formato de prueba experimental de la influencia del agua utilizada en la preparación de la solución de desengrasante.....	36
TABLA 3.3 Número de bandas de aluminio que tiene cada muestra (tubo).....	37
TABLA 4.1 Fallas en proceso de tratamiento de superficies y posibles variables involucradas.....	54
TABLA 4.2 Variables bajo estudio en cada etapa del proceso de trefilado.....	56
TABLA 4.3 Matriz de selección de alternativas de mejora.....	73
TABLA 4.4 Costos anuales asociados al tratamiento del agua.....	74
TABLA 4.5 Costos anuales en la etapa de desengrasado.....	75
TABLA 4.6 Costos anuales estimados una vez implementada la propuesta.....	75
TABLA 4.7 Ahorro anual en la cuba de desengrasado.....	75

TABLA 4.8	Relación beneficio-costo de la propuesta de remoción de grasa y uso de agua desionizada en la etapa de desengrasado.....	75
TABLA 4.9	Costos anuales en la etapa de fosfatizado.....	76
TABLA 4.10	Costos anuales estimados una vez implementada la propuesta.....	76
TABLA 4.11	Ahorro anual en la cuba de fosfatizado.....	76
TABLA 4.12	Relación beneficio-costo de la propuesta de usar agua desionizada en la etapa de fosfatizado.....	77
TABLA 4.13	Dimensiones de un tubo de acero.....	77
TABLA 4.14	Seguimiento de costos de ácido y área de tubos retrabajados para el último trimestre del 2006.....	78
TABLA 4.15	Relación beneficio-costo de la propuesta reducción del número de tubos retrabajados por concepto de desoxido.....	78
TABLA 4.15	Relación beneficio-costo de las 3 alternativas.....	79
TABLA B.1	Volumen de ácido gastado en la titulación de muestras de agua desionizada y dura.....	92
TABLA B.2	Tiempo de desengrasado en función de la temperatura a la que se expone la solución desengrasante.....	92
TABLA B.3	Tipos de tubos sometidos al proceso de trefilado.....	92
TABLA B.4	Costo en US\$ de los químicos utilizados en preparación de la superficie de los tubos.....	93
TABLA B.5	Costos asociados a la instalación de la red de tubería para llevar el agua tratada a las cubas.....	93

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Situación actual.....	5
1.2.2 Situación deseada.....	6
1.3 Objetivo de la investigación.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.5 Limitaciones.....	9
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Fundamentos teóricos.....	15
2.2.1 Desengrasante.....	15
2.2.2 Decapado.....	17
2.2.3 Fosfatizado.....	19
2.2.4 Inhibidor.....	23
2.2.5 Surfactantes.....	24
2.2.6 Agentes quelantes o secuestrantes.....	26
CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO	28
3.1 Tipo de investigación.....	28
3.2 Metodología.....	28
3.2.1 Evaluar la condición actual del proceso con la finalidad de conocer cada etapa del proceso.....	28
3.2.2 Identificar las variables involucradas en el proceso de tratamiento de metales a fin de conocer las posibles causas de fallas.....	30

3.2.3 Analizar las variables de cada etapa en el proceso de tratamiento de superficies a fin de conocer cuales son las más influyentes.....	32
3.2.4 Generar y proponer alternativas de mejora en base a las variables críticas con el fin de seleccionar la más adecuada.....	38
3.2.5 determinar la viabilidad económica de las propuestas seleccionadas, a fin de considerar su futura implementación.....	40
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1 Evaluar la condición actual del proceso con la finalidad de conocer cada etapa del proceso.....	42
4.1.1 Recepción.....	42
4.1.2 Laminación.....	43
4.1.3 Tratamiento térmico de los tubos.....	44
4.1.4 Tratamiento químico de las superficies metálicas.....	45
4.1.5 Trefilado.....	50
4.1.6 Inspección.....	51
4.2 Identificar las variables involucradas en el proceso de tratamiento de Metales a fin de conocer las posibles causas de fallas.....	51
4.3 Analizar las variables de cada etapa en el proceso de tratamiento de superficies a fin de conocer cuales son las más influyentes.....	55
4.4 Generar y proponer alternativas de mejora en base a las variables críticas con el fin de seleccionar la más adecuada.....	67
4.5 determinar la viabilidad económica de las propuestas seleccionadas, a fin de considerar su futura implementación.....	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
APÉNDICES.....	85
A Cálculos típicos.....	85
B Hoja de datos.....	91
C Imágenes.....	94
D Datos característicos de los tanques químicos.....	98
E Especificaciones técnicas de productos.....	100
Desengrasante.....	101
Agente decapante.....	103
Compuesto fosfatizante.....	110
Acelerador.....	114
Lubricante.....	117

INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo especial de grado es el de mejorar las etapas del tratamiento químico de superficies metálicas en el proceso de trefilado de la empresa TUBOAUTO, C.A, con la finalidad de disminuir los costos de producción.

Para lograr ese propósito, es necesario seguir la siguiente metodología: antes de atacar el problema debemos conocer cuales son sus fallas, información obtenida mediante la consulta con el personal del proceso, para luego identificar cuales son las variables que pueden causar las fallas observadas anteriormente, a continuación se procede a elaborar una serie de ensayos experimentales con el fin de conocer cuales son las más influyentes, para finalmente proponer las mejoras que aumenten la eficiencia de las etapas y sean viables desde el punto de vista económico.

El presente trabajo está estructurado en 4 capítulos. En el Capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema y justificación de la investigación, así como también los objetivos planteados, situación actual, situación deseada y limitaciones del estudio; el Capítulo 2 está conformado por los antecedentes y las bases teóricas que sustentan la investigación; en el Capítulo 3 se presenta el marco metodológico para desarrollar los objetivos de la investigación, y por último el Capítulo 4 contempla la descripción detallada del proceso de tratamiento químico de superficies de la empresa y se indican los resultados obtenidos con el correspondiente análisis de los mismos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones.

La importancia de este estudio se fundamenta en el hecho que se consume una cantidad innecesaria de reactivo para mantener la concentración de las soluciones de desengrase y fosfatizado bajo los parámetros de operación exigidos por los proveedores, como producto de reacciones indeseadas con el agua proveniente de pozo profundo. Adicionalmente se generan problemas en el tratamiento químico debido a la grasa sobrenadante en la solución de desengrase porque la empresa no cuenta con un método de remoción de grasas.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el tipo de investigación a desarrollar, y en forma secuencial, la metodología empleada para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio de las mejoras en la superficie de los tubos de la empresa TUBOAUTO C.A se realizó con la finalidad de conocer el proceso de fosfatizado, así como también manipular variables para aumentar la cantidad de tubos procesados, y en función de esto, plantear alternativas de mejora en el proceso. Se considera por lo antes expuesto que esta investigación es de tipo proyecto factible o proyectiva.

La investigación proyectiva consiste en diseñar o crear propuestas, dirigidas a dar soluciones específicas a un problema o necesidad del fenómeno bajo estudio. Estas propuestas son el resultado de un análisis de la relación existente entre las variables controladas y los efectos que estas producen.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 EVALUAR LA CONDICIÓN ACTUAL DEL PROCESO CON LA FINALIDAD DE CONOCER CADA ETAPA DEL PROCESO DE TREFILADO.

Se realiza una inducción y familiarización con el proceso mediante visitas guiada que abarco desde la recepción de las bobinas de acero, materia prima con la que se fabrican los tubos hasta su despacho.

3.2.1.1 Recopilación de material bibliográfico.

Se realizan visitas a las diferentes bibliotecas de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo (UC), Instituto Venezolano de Investigación Científica

(IVIC), con la finalidad de recopilar estudios y trabajos realizados referente al problema bajo estudio.

3.2.1.2 Observación directa y análisis de las actividades realizadas por los operarios.

Se realizan recorridos por las instalaciones de la planta bajo la dirección y guía de un personal calificado, con el propósito de identificar equipos, personal, estructuras y manejo de las operaciones que se desarrollan en cada etapa.

3.2.1.3 Entrevista al personal involucrado en el proceso.

Se entablan conversaciones con el personal involucrado, tanto operadores, técnico como supervisores con la finalidad de obtener una opinión más detallada del proceso, haciendo hincapié en las etapas que lo constituye, así como las variables que se manipulan.

3.2.1.4 Revisión de los manuales de procedimiento.

Se procede a revisar todo el material que se posea con respecto al proceso, manuales, guías e informes, en los cuales se especifique la manera de llevar a cabo el proceso, trabajos realizados en la línea y recomendaciones hechas por especialistas.

3.2.1.5 Identificación de las etapas en el proceso de tratamiento de superficies.

Luego de conocer de forma general la fabricación de tubos en la empresa TUBOAUTO C.A, se procedió a delimitar cada etapa del tratamiento químico de superficies, así como los químicos utilizados en cada una de las etapas.

Los tubos se cargan por lotes, por lo que el proceso es semicontinuo. Las etapas a las cuales se hace referencia son: desengrasado, enjuague, decapado, enjuague, fosfatizado, enjuague, neutralización, y por último lubricación.

3.2.2 IDENTIFICAR LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE METALES A FIN DE CONOCER LAS POSIBLES CAUSAS DE FALLAS.

3.2.2.1 Identificación de todas las posibles variables que afectan el proceso de tratamiento de superficies.

Al consultar la bibliografía, revisión de manuales, hojas técnicas, inspección visual de las etapas, así como la realización de una tormenta de ideas con personal encargado del proceso, se enumeraron las posibles variables que intervienen en la línea de tratamiento de superficies metálicas.

3.2.2.2 Elaboración de un diagrama causa-efecto.

Una vez que se tienen todas las posibles variables que intervienen en el proceso de tratamiento de superficie metálicas, se realiza un diagrama causa-efecto, que no es más que un gráfico que refleja la relación entre un problema y los factores que posiblemente contribuyen a que existan (Ver Figura 3.1).

Procedimiento a seguir para elaborar el diagrama causa-efecto:

- ❖ Se define el problema a atacar, es decir el efecto.
- ❖ Se define las distintas categorías para agrupar las causas: estas categorías son conocidas como las 6M (maquinaria, materiales, mano de obra, medio ambiente y mediciones).

Maquinaria: incluye todos aquellos factores relacionados con los equipos existentes en el área de producción.

Materiales: se toman en cuenta todas las variables de calidad del acero y los cambios que pudiesen introducir en la producción de tubos.

Mano de obra: en esta categoría se incluye la experiencia y el entrenamiento del personal encargado de poner en funcionamiento los equipos con los parámetros indicados en especificaciones, así como todos aquellos factores que pueden afectar el desempeño de los operarios.

Medio ambiente: el ambiente puede introducir algunas variaciones en el proceso, debido a su naturaleza cambiante, es por ello que se consideran todos aquellos factores que afecten el proceso.

Mediciones: todo parámetro de calidad esta relacionado con una medición y sus errores, es por ello que se toma en cuenta a la hora de considerar fallas en la determinación de una medida de calidad.

Métodos: son los métodos o procedimientos ejecutados por los operarios en las distintas etapas que conforman el proceso.

- ❖ Se agrupan o estratifican las causas de acuerdo con sus similitudes en ramas o subramas en las diferentes categorías.
- ❖ Una vez representadas en un diagrama causa-efecto todas las causas probables, preguntarse si falta algunas causas aún no consideradas; si es así, agregarlas.

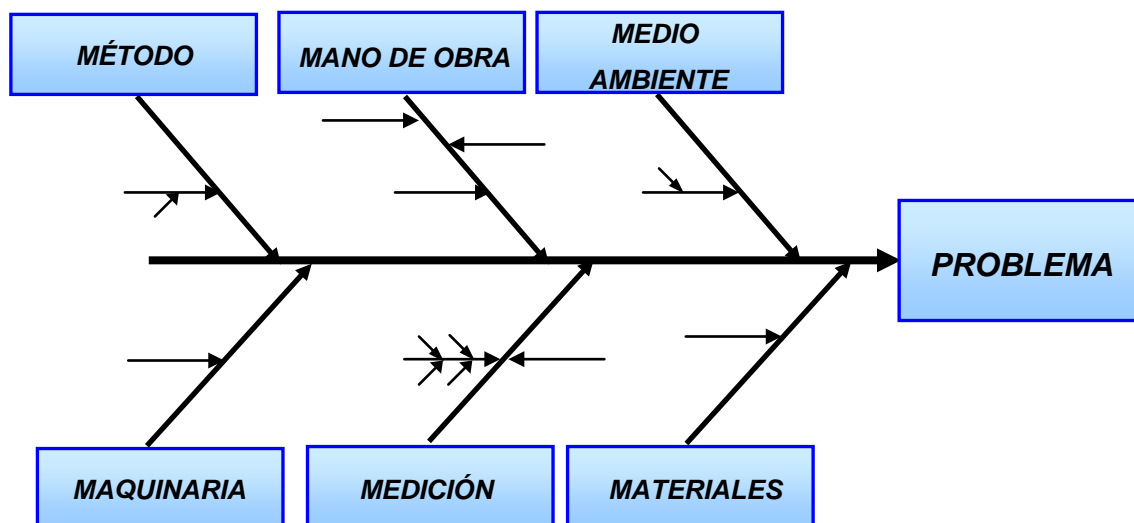


Figura 3.1 Diagrama causa-efecto. (Gutiérrez, 2005)

- ❖ Decidir cuales son las causas mas importantes, y se realiza un diagrama de causa-efecto mas simplificado.

3.2.3 ANALIZAR LAS VARIABLES DE CADA ETAPA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIES A FIN DE CONOCER CUALES SON LAS MÁS INFLUYENTES.

3.2.3.1 Establecer qué factores influyen efectivamente en el proceso.

Mediante consultas con el personal involucrado y conocedor de las etapas del tratamiento de superficie metálica, así como la revisión de las hojas técnicas de los productos e interrelación existente de las causas con el problema, se enumeraran cuales de las variables del diagrama causa efecto simplificado podrían causar una influencia considerable en el proceso de tratamiento químico de superficies.

3.2.3.2 Selección de las variables críticas más influyentes del proceso.

Las variables obtenidas en la actividad 3.2.2.2 se someten a un análisis para verificar cuales pueden ser manipuladas en realidad, y determinar aquellas que escapan fuera del alcance de la investigación propuesta, debido a diversos factores.

3.2.3.3 Realización de pruebas de validación de influencia y efectos de cada variable seleccionada.

Para la realización de las pruebas se consultó con el personal que realiza los ensayos de laboratorio en la empresa, así como también las hojas de instrucción del proceso y las pautas que se siguen para la realización de experimentos en línea.

- ✚ **Preparación de soluciones para el estudio de las variables influyentes en el proceso de fosfatizado:**

Desengrasante:

Para reproducir las condiciones de operación en línea preparamos 2 litros de solución de desengrasante según la concentración sugerida por el proveedor, para verificar la concentración de trabajo correcta se sigue el método descrito a continuación.

Método para la determinación de la concentración de desengrasante:

1. Tomar 10 mL de solución desengrasante e introducirlos en un matraz erlenmeyer de 250 mL.
2. Agregar 2 gotas de indicador fenolftaleína y agitar de manera uniforme para homogenizar la solución.
3. Lavar, limpiar y curar una bureta de 50 mL con una solución de H_2SO_4 1 N.
4. Llenar la bureta hasta alcanzar la marca de 0 mL en la escala impresa en su superficie.
5. Titular la solución de desengrasante hasta observar que el indicador de fenolftaleína vire de color rosado a incoloro.
6. Anotar los valores de volumen inicial y final en la tabla de recolección de datos.
7. Verificar el valor obtenido de volumen gastado con el recomendado por el proveedor de la solución de desengrasante, en este caso equivale a un rango de valores (4-7) mL de ácido gastado.

Los pasos a seguir para la preparación del indicador fenolftaleína son los siguientes:

1. Agregar 60 mL de alcohol etílico medidos con una pipeta debidamente lavada y curada con la solución en un beaker limpio y seco de 250 mL.
2. Agregar 40 mL de agua destilada medida con una pipeta en el beaker.
3. Añadir fenolftaleína a un vidrio de reloj, medir en una balanza electrónica 0,1 g de indicador.
4. Disolver la fenolftaleína en la solución de alcohol hasta dejarla reposar.

Fosfatizado:

Para reproducir las condiciones de operación de la cuba se requiere la disolución de 3 productos en agua: B6-R, B6-M y K10. Se prepara una cantidad equivalente a 2 L de solución fosfatizante de acuerdo a los parámetros establecidos por la empresa suministradora de la solución fosfatizante, para verificar que la solución ha sido mezclada de manera correcta, se procede a determinar la concentración de iones hidronio. Para ello se sigue la metodología descrita a continuación:

1. Tomar 5 mL de solución fosfatizante e introducirlos en un matraz erlenmeyer de 250 mL.
2. Agregar 4 gotas de indicador fenolftaleína y agitar de manera uniforme para homogenizar la solución.
3. Lavar, limpiar y curar una bureta de 50 mL con una solución de NaOH 0,1 N.
4. Llenar la bureta hasta alcanzar la marca de 0 mL en la escala impresa en su superficie.
5. Titular la solución de fosfatizante hasta observar que el indicador de fenolftaleína vire de incoloro a rosado.
6. Anotar los valores de volumen inicial y final en la tabla de recolección de datos.
7. Verificar el valor obtenido de volumen gastado con el recomendado por el proveedor de la solución fosfatizante, en este caso equivale a un rango de valores (20-24) mL de hidróxido gastado.

 Ensayos experimentales con las variables críticas del proceso.**Ensayo experimental N° 1**

Para determinar el efecto de la temperatura en la efectividad del desengrasante, se preparó una solución de desengrasante siguiendo las instrucciones recomendadas por el proveedor, luego se estableció un rango de temperatura (20-70) °C para la realización de la prueba. Cabe destacar que la temperatura se fue variando cada 10°C.

Tomando un volumen de 500 mL de solución desengrasante, posteriormente se calienta la solución en una plancha eléctrica hasta una temperatura fija, luego se introduce un tubo previamente engrasado y se determina el tiempo que tarda en remover completamente la grasa de la superficie del tubo.

se puede verificar fácilmente cuando el tubo ha sido completamente desengrasado, debido a que la grasa liberada del tubo difunde rápidamente hacia la parte superior de la solución, formando una capa sobrenadante en la solución. Para cada una de las temperaturas establecidas se hicieron tres repeticiones de valores para descartar cualquier valor anormal y reducir los errores experimentales.

TABLA 3.1 Formato de prueba experimental de la influencia de la temperatura en el tiempo de desengrasado.

		Temperatura ($T \pm 1$) °C					
		20	30	40	50	60	70
Tiempo (min)							

Ensayo experimental N° 2

En esta experiencia se verifica la influencia del tipo de agua utilizada en la concentración de desengrasante. En este caso se toman 11 muestras de solución desengrasante preparadas con agua tanto dura como desionizada, luego se procedió a realizar una titulación ácido-base descrito en el apartado: método para la determinación de la concentración de desengrasante.

TABLA 3.2 formato de prueba experimental de la influencia del agua utilizada en la preparación de la solución de desengrasante.

		Muestras										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Agua dura	Va (mL)											
Agua desionizada	Va (mL)											

En la tabla anterior la variable **Va** es el volumen de ácido gastado necesario para neutralizar 10 mL de solución desengrasante.

Ensayo experimental N° 3

En este ensayo se estudió de manera cualitativa el efecto que tienen los iones calcio y magnesio presente en el agua dura en la etapa de fosfatizado.

Para realizar esta experiencia debemos garantizar que la superficie del tubo esté completamente limpia, libre de aceite, grasa, óxido, cascarilla o cualquier rastro de material orgánico que pueda causar interferencia con la deposición del fosfato.

Luego se sumergen los tubos en la solución de fosfato previamente preparada y se ajusta las condiciones del proceso, en cuanto a temperatura, concentración de ácido y tiempo de residencia del tubo dentro del beaker que contiene la solución fosfatizante. Una vez que transcurre el tiempo de fosfatizado, se extrae el tubo del beaker y se anotan las observaciones. Esta experiencia es realizada tanto para el agua dura como para el agua desionizada.

Ensayo experimental N° 4

Para verificar el efecto de la grasa sobre los tubos en la etapa de fosfatizado, se procedió a fosfatizar un tubo completamente limpio y otro con resto de grasa en la superficie. Se utilizaron 500 mL de solución fosfatizante contenida en un beaker y

se empezó a calentar en una plancha eléctrica y haciendo uso de un termómetro se llevó la solución fosfatizante a la temperatura deseada, luego se introdujo el tubo limpio y se esperó hasta que transcurriera el tiempo de fosfatizado en donde se retiró el tubo de la solución y se anotaron los resultados obtenidos. De igual forma se repitió la experiencia para el tubo cubierto de grasa.

Ensayo experimental N° 5

Una de las principales fuentes de gasto de reactivos en el proceso de decapado es el retrabajo de los tubos por concepto de óxido, y no es más que el procesamiento con solución decapante de los tubos oxidados. Para prevenir este trabajo adicional se propone realizar un ensayo experimental donde se proteja el tubo a través de un acoplamiento galvánico contra la corrosión ocasionada por el ambiente.

Para ello, se cortaron 12 trozos de tubo de aproximadamente 1 metro, A continuación se cortan bandas de aluminio de 4 centímetros de ancho aproximadamente, se enumeran cada una de las muestras y utilizando cinta plástica se fijan un número de bandas de aluminio según la siguiente Tabla 3.3.

TABLA 3.3 Número de bandas de aluminio que tiene cada muestra (tubo).

	Muestra											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Número de bandas de aluminio	3	3	3	4	4	2	2	1	1	0	0	0

Posteriormente se coloca todos los tubos en un lugar apropiado y transcurrido cierto tiempo se verifica el estado y apariencia de los tubos, así como el efecto del aluminio en la protección contra la corrosión de los tubos.

Ensayo experimental N° 6

Como resultado de la observación del proceso y la información obtenida de los operarios del proceso, que verifican un exceso de reactivo acelerante agregado a la cuba de fosfatizado para disminuir el tiempo del proceso, se dispuso de una experiencia práctica para verificar la influencia del exceso de acelerador en el fosfatizado de los tubos. El primer paso de este ensayo es verter 300 mL de solución de fosfato en un beaker de 500 mL y medirle su concentración para verificar que se encuentre dentro de los parámetros de trabajo, luego se somete a la acción del calor generado por una plancha de calentamiento destinada para tal fin, como último paso se introducen en la solución 4 porciones de tubo previamente desengrasados, decapados y enjuagados para que interactúe con la solución de fosfatizado durante el tiempo establecido. Se procede a añadir un exceso de reactivo acelerador del proceso de fosfatizado, anotando todas aquellas observaciones que pudiesen conllevar a demostrar una reacción química de los componentes de la solución, como son: el desprendimiento de vapores, cambio de color, formación de precipitados, aumento o disminución pronunciada de la temperatura, entre otros.

3.2.4 GENERAR Y PROPONER ALTERNATIVAS DE MEJORA EN BASE A LAS VARIABLES CRÍTICAS A FIN DE SELECCIONAR LAS PROPUESTAS MAS ADECUADAS.

3.2.4.1 Identificar las mejoras que se relacionen con las variables críticas identificadas.

En base a los resultados obtenidos mediante el análisis de las variables críticas del proceso, y tomando en cuenta todas las opiniones de operarios y supervisores generadas mediante una tormenta de ideas, se procede a buscar alternativas de mejoras que permitan solventar las fallas asociadas al tratamiento químico de superficies metálicas.

Pasos a seguir para aplicar una tormenta de ideas:

- ✓ Primero se identifica el tema sobre el que se van a aportar ideas.
- ✓ Se forma un grupo de personas.
- ✓ Se le pide a cada persona del grupo que exponga una idea.
- ✓ Se presentan las ideas visualmente a fin de que todos las vean.
- ✓ Una vez que se hallan agotado todas las ideas se eliminan las ideas que recibieron poca consideración o atención por el grupo.
- ✓ Se hace una nueva discusión de las ideas que quedaron y se someten a votación para obtener las más importantes.

3.2.4.1 Selección de las alternativas de mejoras.

Se seleccionan las alternativas de mejoras basándose en las necesidades de la empresa, utilizando una matriz de selección. Aplicando criterios como: factibilidad técnica, económica, tiempo de implementación

3.2.4.1.1 Elaboración de la matriz de selección

- ✓ Se determinan los criterios deseables por la empresa.
- ✓ Se elabora una matriz de selección basándose en los criterios
- ✓ Se registran las alternativas de solución.
- ✓ se fija el rango de valores de la ponderación y de los criterios.
- ✓ El total acumulado está dado por el producto entre la ponderación y el acumulado.

		ALTERNATIVAS			
Criterios de selección	Ponderación	1		n	
		Puntuación	Acumulado	Puntuación	Acumulado
Factibilidad técnica					
Factibilidad económica					
Tiempo de implementación					
Entrenamiento del personal					

Figura 3.2 Matriz de selección. (Elaboración propia).

3.2.4.1.2 selección de la(s) alternativa(s) de solución que cumpla(n) con los requerimiento establecido por la empresa.

Una vez elaborada la matriz de selección se procede a analizar los resultados obtenidos y se seleccionan la(s) alternativa(s) que cumplan con los requisitos de la empresa.

3.2.5 DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADA, A FIN DE CONSIDERAR SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN.

Una vez que se tienen las propuestas de mejoras, es necesario sopórtalas con una evaluación económica que permita conocer si es factible o no.

3.2.5.1 Análisis de las propuestas de mejoras planteadas en las etapas del tratamiento químico.

Después de enumerar las propuestas de mejoras en las etapas del proceso bajo estudio, se analiza la facilidad de implementación, disponibilidad de de equipos, costo asociados, así como manipulación de las variables de control que conllevan a la mejora.

3.2.5.2 Estudiar el costo-beneficio de cada propuesta.

El análisis costo-beneficio es un modelo de evaluación que se utiliza para medir el atractivo económico de un proyecto, expresando la relación entre el beneficio percibido por la empresa y el costo en que incurre por la inversión del proyecto.

$$R_{B-C} = \frac{B}{C} \quad (3.1) \quad (Giugni, Ettetdgui y González, 2005)$$

Donde:

R_{B-C} : Razón beneficios – costos (adim)

B: Beneficios (US\$/año)

C: Costos de inversión de la propuesta (US\$/año)

Económicamente hablando un proyecto es rentable si cumple:

$$R_{B-C} \geq 1 \quad (3.2) \quad (\text{Giugni, Ettetdgui y González, 2005})$$

Paso a seguir el análisis costo beneficio de cada propuesta:

- ✓ Estimar los costos de inversión.
- ✓ Estimar los costos operativos adicionales anuales.
- ✓ Estimar los ahorros de costos anuales.

Inversión inicial: es los conjuntos de desembolsos necesarios para la adquisición y adecuación de equipos, herramientas o materiales para poder implementar la propuesta.

$$I_o = C_{\text{equipos}} + C_{\text{inst}} \quad (3.3) \quad (\text{Gómez y Núñez, 2004})$$

Donde:

I_o : Inversión inicial, (US\$).

C_{equipos} : Costo total de equipos requerido, (US\$)

C_{inst} : Costo total por instalación, (US\$)

Costos operacionales: Incluye todos los desembolsos que se requieren para la propuesta una vez puesta en marcha continué operando normalmente. Estos costo son materia prima, personal, mantenimiento.

$$C_{op} = \sum (\text{gastos de operación}) \quad (3.4) \quad (\text{Giugni, Ettetdgui y González, 2005})$$

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan el análisis y la discusión correspondiente de los resultados obtenidos en la investigación.

4.1. EVALUAR LA CONDICIÓN ACTUAL DEL PROCESO CON LA FINALIDAD DE CONOCER CADA ETAPA DEL PROCESO DE TREFILADO.

En la evaluación del proceso se determinó que el mismo está conformado por unas series de etapas bien definidas que se describen a continuación:

4.1.1 Recepción

Es allí donde se reciben bobinas de acero al carbono (Ver Figura 4.1). Provenientes de la empresa SIDOR, las mismas están hechas utilizando dos métodos distintos: forjado en frío y forjado en caliente, esta diferencia determinará que tipo de producto se fabricará. Al ser recibidas, se le practican los ensayos de laboratorio correspondientes para determinar la calidad del acero y si está dentro de los parámetros exigidos por la empresa.



Figura 4.1 Almacén de recepción de las bobinas de acero.

4.1.2 Laminación

Las bobinas son cortadas en flejes en un slitter según el tubo a producir y se cargan dentro de una máquina laminadora (Ver Figura 4.2), que dobla la lámina de acero hasta hacer coincidir dos lados opuestos de la lámina cortada para que un soldador magnético (Ver Figura 4.3) se encargue de sellar el espacio entre ellas.

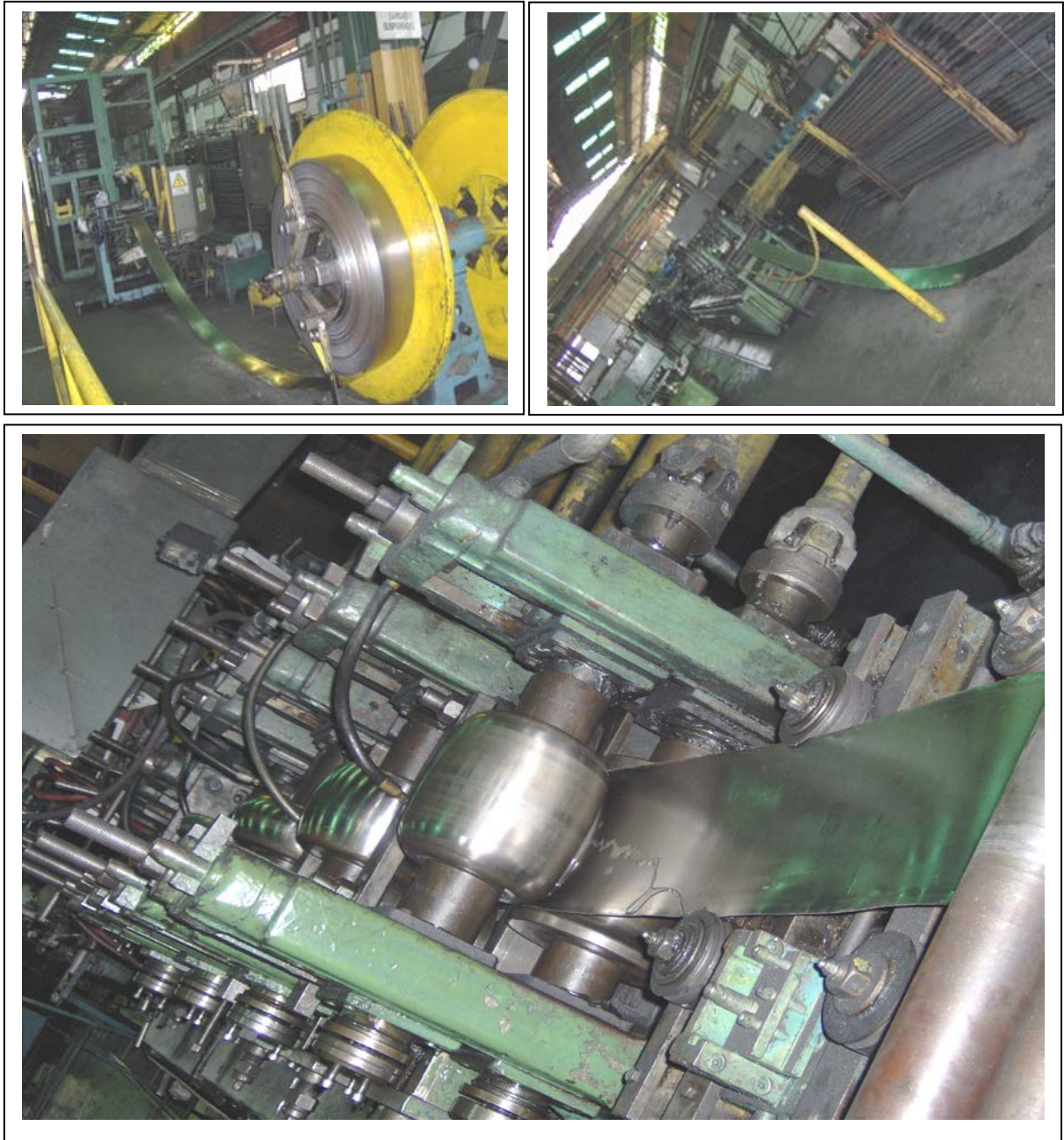


Figura 4.2 Máquina laminadora.

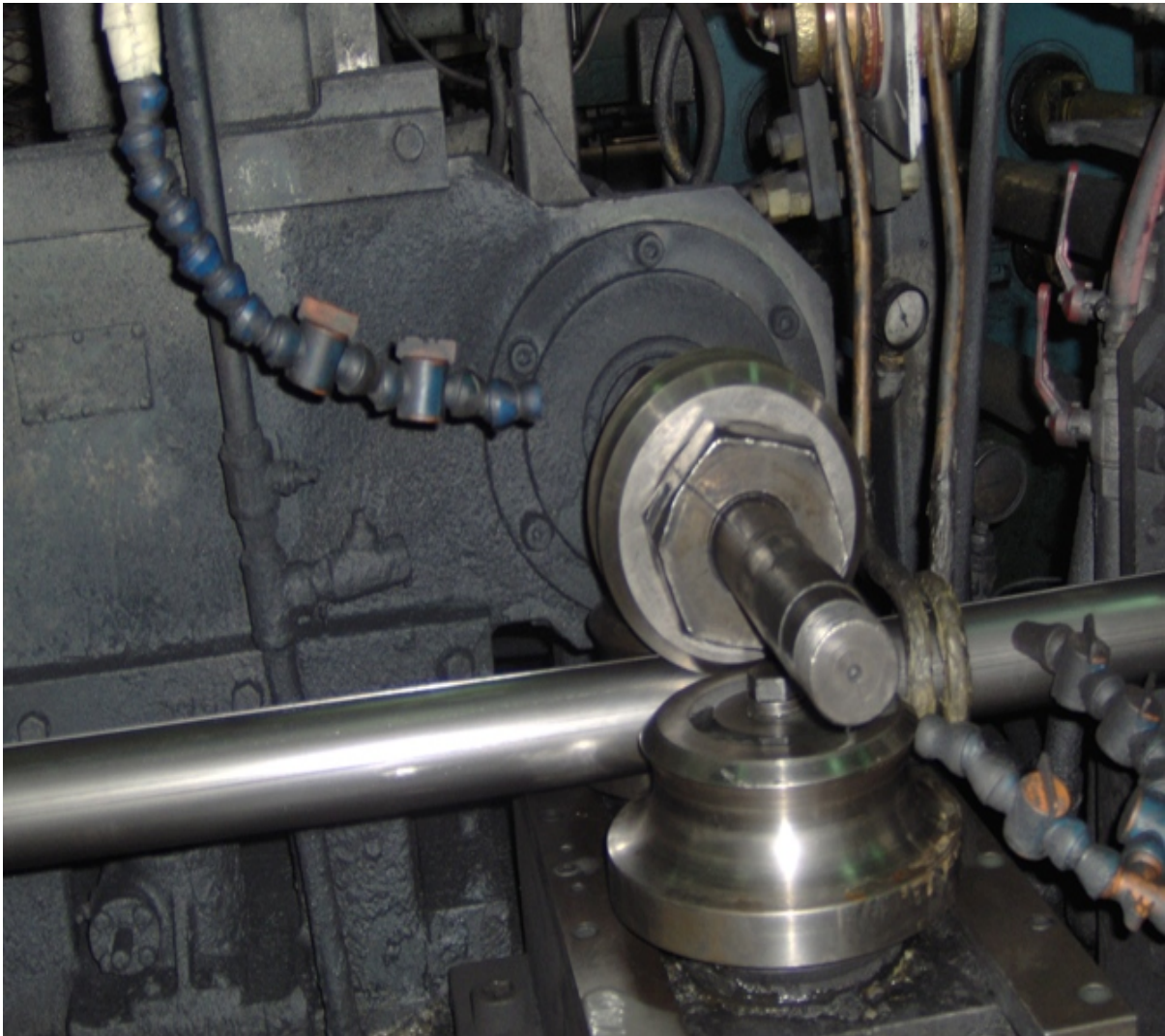


Figura 4.3 Soldador magnético.

4.1.3 Tratamiento térmico de los tubos

Los tubos pasan a un horno de revenido (Ver Figura 4.4) para homogeneizar toda la superficie, eliminando restos de soldadura. Este tratamiento térmico permite reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.



Figura 4.4 Horno de revenido.

4.1.4 Tratamiento químico de las superficies metálicas

Desengrasado

Es el primer tratamiento al que se someten los tubos, con la finalidad de remover restos orgánicos. Para ello se sumergen los tubos en una cuba de 10000 litros de capacidad, la cual contiene una solución de desengrasante de nombre comercial P3-VR-6390-15, cuya composición es una mezcla de álcalis, agentes acomplejantes y fosfatos (Ver Figura 4.5). El tiempo de residencia de los tubos dentro de este baño es de 1 a 3 minutos.

La preparación de esta solución se realiza mezclando 450 Kg. de producto por cada 5000 litros de agua, luego se calienta la solución hasta alcanzar una temperatura dentro del rango de 60 a 75 °C. Posteriormente se procede a verificar la concentración del desengrasante, titulando con ácido sulfúrico 1N, tomándose como concentración aceptable de la solución un gasto de ácido dentro del rango de 4 a 7 mL; de no estar dentro de estos valores se deben tomar acciones para que este parámetro cumpla con las especificaciones sugeridas por el proveedor.



Figura 4.5 Cuba de desengrasado.

Enjuague

Tiene como función diluir o eliminar restos de solución que queda adherida a la superficie de los tubos, a tal grado que no afecte el proceso posterior. Consta de una cuba de 10000 litros de capacidad, la cual contiene agua a temperatura ambiente. Esta etapa es de suministro continuo de agua por el fondo de la cuba, y rebose por

el tope de la misma. Los tubos se sumergen y se elevan continuamente de la cuba durante un lapso de tiempo de 1 a 3 minutos.

Decapado

Luego de limpiar los tubos de cualquier suciedad, ya sea aceite o grasa se procede a eliminar el óxido metálico o manchas que puedan contener la superficie de los tubos, sumergiéndolos en un baño ácido que contiene un producto llamado galvacid. El galvacid está compuesto de ácido clorhídrico, tensoactivos e inhibidores que impiden el ataque excesivo al metal.

Esta solución es preparada mezclando 1500 litros de producto con agua a temperatura ambiente hasta alcanzar un volumen total de 6300 litros (Ver Figura 4.6). Posteriormente se verifica la concentración del ácido titulando la muestra del baño con hidróxido de sodio 0,4 N, si el valor arrojado por el análisis no está dentro del rango que va de 5 a 10 % en peso de ácido se toman medidas para ajustar esta variable.

El tiempo de inmersión de los tubos está dentro del rango de 15 a 30 minutos, si transcurrido este tiempo los tubos presentan manchas u óxidos, se vuelven a sumergir en la cuba por más tiempo.

El parámetro de cambio para este baño esta relacionado con la cantidad de hierro en solución producto del decapado de los tubos, permitiéndose como máximo valor el 10 % en peso.

Enjuague

El propósito de esta etapa es la de remover los restos de óxido, así como también restos de solución decapante de los tubos. Para ello se sumergen los tubos en una cuba cuya capacidad es la de 10000 L con agua a temperatura ambiente, por un período de tiempo dentro de un rango de 1 a 3 minutos.



Figura 4.6 Cuba de decapado.

Fosfatizado

En esta etapa se debe garantizar que la superficie del tubo este completamente limpia, libre de cualquier tipo de película de grasa, aceite, polvo o suciedad que puede interferir en la formación del recubrimiento. Es la principal etapa del proceso, ya que en ella se fija sobre la superficie del tubo una capa de fosfato insoluble que es considerablemente más absorbente que el metal, por lo que se va a fijar mucho mejor el lubricante. Consta de una cuba de 10000 litros de capacidad de una solución fosfatizante (ver Figura 4.7), compuesta por agua y los productos KELCOAT B6-R y KELCOAT B6-M, así como también un acelerador llamado KELCOAT 10-AV.

El rango de temperatura de trabajo de ésta cuba es de 66 a 75 °C. Para verificar el punto de operación apropiado de la solución, se determina la acidez total

a través de una titulación de neutralización. El tiempo de residencia de los tubos en este baño es de 12 a 20 minutos.

El parámetro de cambio de este baño es el porcentaje en peso de lodos, valor que es permitido hasta un máximo de 10%.



Figura 4.7 Cuba de fosfatizado.

Enjuague

Tiene como finalidad remover restos de solución fosfatizante de la superficie de los tubos. Para tal fin se utiliza una cuba de 10000 litros de capacidad, llena con agua a temperatura ambiente, alimentada de forma continua por el fondo. La duración en ésta etapa es de 1 a 3 minutos.

Neutralización

Consiste en sumergir los tubos en un álcali para neutralizar cualquier resto de ácido que pueda interferir con la fijación de la grasa en la etapa posterior. Esta neutralización es llevada a cabo en una cuba de 10000 litros de capacidad.

Se prepara cargando la cuba con 5000 litros de agua a temperatura ambiente, y añadiendo 5 Kg. del producto KELKORINSE R-1 hasta su disolución. Para verificar la concentración de operación sugerida por el proveedor, se mide el pH, cuyo valor debe estar dentro del rango de 9 a 11.

Lubricante

Esta es la última etapa de la preparación de la superficie de los tubos, en donde el recubrimiento a base de fosfato de zinc reacciona con la solución jabonosa, formando jabones a base de zinc que actúan como lubricante.

Para tal fin se dispone de una cuba de 10000 litros de capacidad, la solución es preparada utilizando 175 Kg. de un producto comercial llamado KELKOLUBE L-26 vertiéndolo en 5000 litros de agua precalentada a la temperatura de operación, que es entre 70 a 80 °C, y mezclando hasta homogenizar la solución. Presenta un sistema de mezclado para mantener uniforme el porcentaje de sólidos del producto (Ver Figura 4.8).

4.1.5 Trefilado

En esta etapa se ajustan algunas variables como diámetro, espesor y rugosidad de los tubos; posteriormente son cortados y esmerilados para eliminar las secciones en los tubos que exceden el tamaño requerido.



Figura 4.8 Cuba de lubricante.

4.1.6 Inspección

Aquí se realiza la verificación de calidad de los tubos en cuanto a la no presencia de fisuras, golpes, manchas, y externas, garantizando que el producto está en condiciones de ser despachado al cliente.

4.2. IDENTIFICAR LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE METALES A FIN DE CONOCER LAS POSIBLES CAUSAS DE FALLAS.

Basado en consultas con el personal involucrado del proceso y los resultados del objetivo 1, revisión de manuales de operación, revisión y datos técnicos del proceso, se identificaron todas las posibles fallas que afectan el proceso de tratamiento de superficies metálicas. Todas las variables observadas, fueron esquematizadas en un diagrama causa –efecto (Ver Figura 4.9).

Después de realizar un análisis mas detallado de las variables que afectan el proceso de tratamiento químico de superficie, se pudieron descartar una serie de ella puesto que no influyen o no pueden ser manipuladas.

Las categorías medio ambiente y mano de obra no se tomaron en cuenta por no ejercer influencia en el proceso.

Dentro la categoría maquinaria la causa “agitadores” debe ser considerada ya que tiene efecto en la deposición del lubricante sobre la capa de fosfato formada en la etapa de fosfatizado. Las subcausas “calentador” y “desionizador” no pueden ser descartadas ya que la primera permite mantener los baños químicos a las temperaturas recomendadas y el segundo porque a través del cual se remueven los iones calcio y magnesio que pueden afectar el proceso.

En la categoría materiales la subcausa “Agua” es una variable de importancia que interviene en la eficiencia del tratamiento químico y que puede ser modificada, mientras que las subcausas “Bobinas” y “Químicos” no pueden ser modificadas ya que la empresa tiene establecido sus proveedores.

En la categoría método se descarta la causa tratamiento térmico ya que la empresa tiene establecido los ajustes correspondientes en esta etapa, la subcausa agentes químicos puede ser manipulada, cambiando la dosificación y la concentración de los químicos, la dureza del agua se puede cambiar al utilizar agua suave o dura para la preparación de las soluciones. El tiempo de inmersión se puede cambiar y tiene una influencia en el problema.

La categoría medición es importante ya que va a permitir un resultado confiable para el ajuste de los parámetros de los baños químicos. La empresa ya dispone de los equipos destinados a la medición de estos parámetros así como su calibración, por lo que no se puede modificar esta subcausa.

En el diagrama causa-efecto de la Figura 4.9 se muestran todas las variables relacionadas con el problema, pero que después de realizar un análisis detallado del proceso con operarios involucrados en las etapas de tratamiento químico, se pueden descartar aquellas variables que no influyen directamente en el proceso de tratamiento de superficies metálicas, por lo que se elabora un diagrama causa-efecto mas detallado con todas las variables mas influyente en el proceso.

Basándose en observaciones realizadas en el proceso producción y en opiniones recabadas de supervisores y operarios encargados de la línea de tratamiento químico de superficies, se enumeraron unas series de fallas asociadas a diversas variables como se muestra a continuación:

Tabla 4.1 Fallas en el proceso de tratamiento químico de superficies y posibles variables involucradas.

<i>Etapas del proceso</i>	<i>Variable</i>	<i>Posibles fallas</i>
Desengrasante	Temperatura Dureza del agua Concentración Tiempo	Reducción de eficiencia de arrastre de aceites y grasas Aumento del tiempo de inmersión
Decapado	Concentración Tiempo	Aumento del tiempo del proceso
Fosfatizado	Concentración de las especies químicas en el baño Temperatura del baño Dureza del agua	No uniformidad en el procesado de los tubos

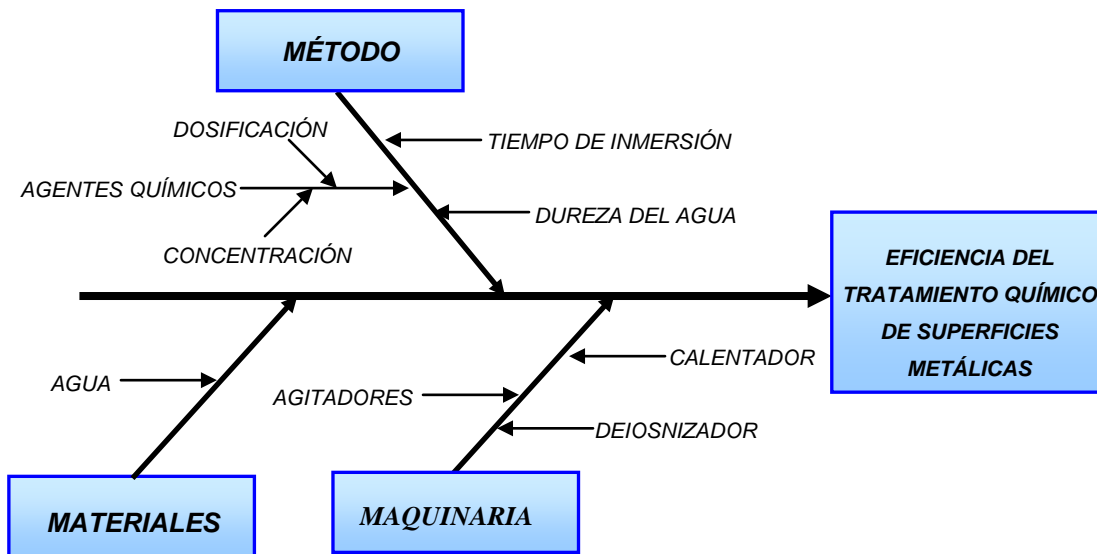


Figura 4.10 Diagrama causa-efecto simplificado.

4.3 ANALIZAR LAS VARIABLES DE CADA ETAPA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIES A FIN DE CONOCER CUALES SON LAS MÁS INFLUYENTES.

Cabe destacar que las variables identificadas en el diagrama causa- efecto simplificado están estrechamente relacionadas con el problema, pero muchas de ellas no pueden ser manipuladas o cambiada. Entre ellas tenemos las subcausas de la categoría maquinaria en donde el calentador no se puede cambiar, lo que se podría modificar es el flujo medio calefactor que calienta las soluciones de las cubas. En el desionizador no se puede cambiar la capacidad ni ninguna otra variable del mismo, por lo que se descarta del análisis así como el agitador presente en la cuba de lubricante que ya está establecido por la empresa.

Realizando un análisis de las variables descritas en la Tabla 4.1 se tiene lo siguiente: en la etapa de desengrasado la variable tiempo de inmersión está relacionado con la temperatura de la solución, la etapa de decapado no se toma en cuenta ya que la concentración de la solución decapante ya esta establecida por los proveedores y el tiempo de inmersión no se puede modificar por que está dado por la cantidad de óxido que contenga la superficie de los tubos. En la etapa de

fosfatizado se descarta la temperatura ya que no se tiene control sobre el medio calefactor de la cuba de fosfatizado.

A continuación se presenta una tabla resumen, con solamente aquellas variables seleccionadas a estudiar.

Tabla 4.2 Variables bajo estudio en cada etapa del proceso de tratamiento de superficie

Etapa del proceso	Variable
Desengrasante	Dureza del agua
	Temperatura
Fosfatizado	Dureza del agua
	Dosificación de reactivos

Se llevaron a cabo ensayos experimentales con las variables descritas en la Tabla 4.2.

En la Figura 4.11 se tiene la cantidad de ácido gastado para neutralizar 10 mL de cada muestra de desengrasante preparadas con agua desionizada y agua dura. Como se puede observar en el gráfico, el volumen de ácido gastado en la solución preparada con agua desionizada fue mayor que en el caso de la solución preparada con agua dura. Los valores promedio en cada caso son $5,2 \pm 0,1$ mL y $4,2 \pm 0,1$ mL, respectivamente.

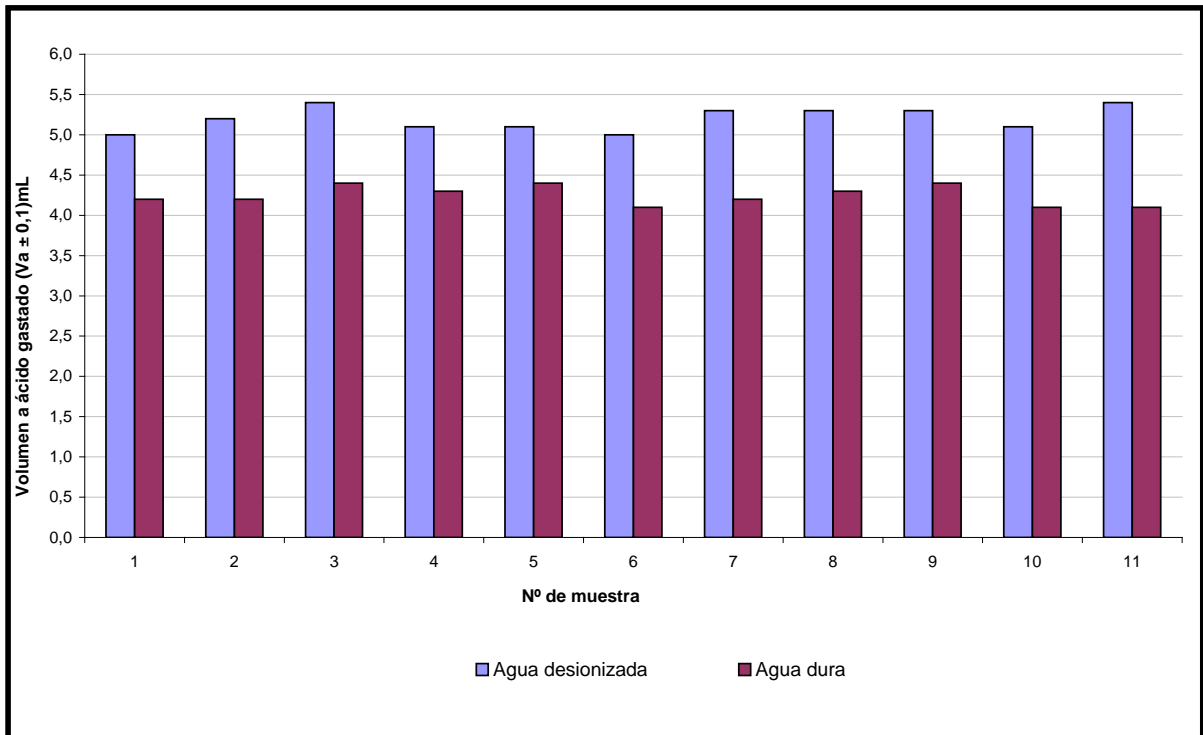
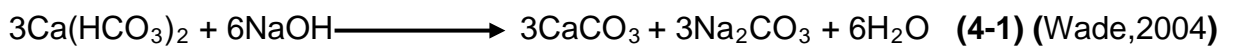


Figura 4.11 Variación del volumen de ácido sulfúrico gastado en la determinación de la concentración de la solución de desengrasante en función de la dureza del agua utilizada.

Como se puede observar en el gráfico, el volumen de ácido gastado en la solución preparada con agua desionizada fue mayor que en el caso de la solución preparada con agua dura. Los valores promedio en cada caso son $5,2 \pm 0,1$ mL y $4,2 \pm 0,1$ mL, respectivamente. Este volumen de ácido gastado es directamente proporcional a la concentración de hidróxido presente en la muestra. Esta diferencia de concentración se debe a una serie de reacciones químicas por parte de los iones calcio y magnesio presentes en el agua dura que se muestran a continuación:



Estas reacciones de los iones calcio y magnesio también se evidenciaron de una manera cualitativa en la formación de una capa lechosa (sales de carbonato de calcio y magnesio) en la superficie de la solución de desengrasante, la cual no se presentó en la solución preparada con agua desionizada (ver Figura 4.12).

La reacción de los iones calcio y magnesio presente en el agua con la solución desengrasante provoca a una pérdida de la alcalinidad libre requerida para una efectiva hidrólisis de los aceites y grasas presentes en la superficie de los tubos.

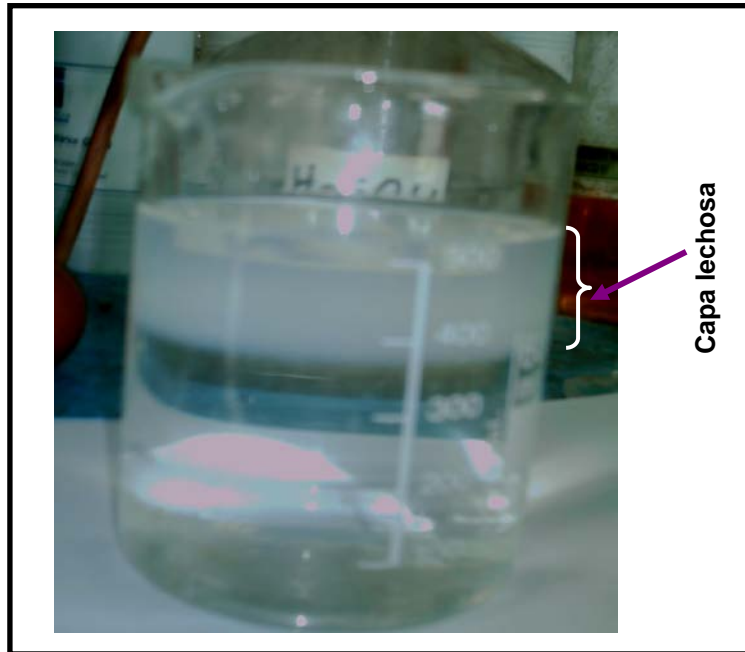
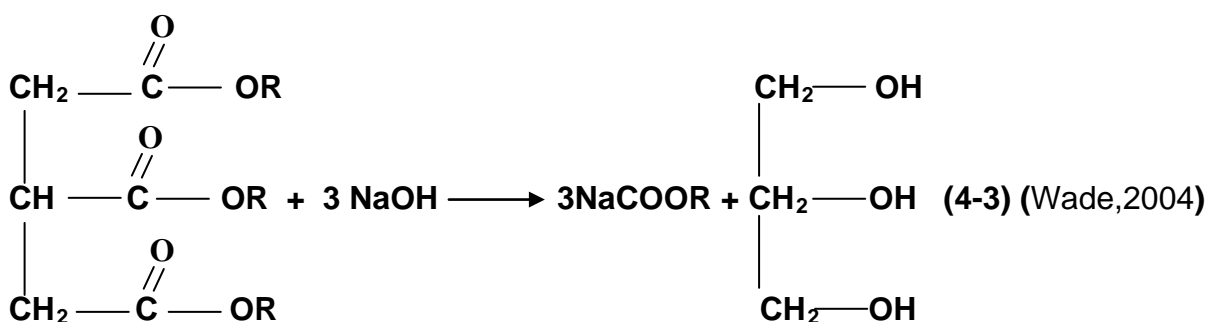


Figura 4.12 Solución de desengrasante preparada con agua dura.

Otra de las variables estudiada fue la temperatura y su efecto en el poder desengrasante de la solución. En este ensayo se calentaron soluciones de desengrasante hasta una temperatura fija y se colocaron tubos con grasa dentro de la solución y se midió el tiempo que le tomaba la misma en remover la grasa de los tubos.

La solución de desengrasante es más efectiva cuando es calentada, porque la grasa y aceite que se encuentran alojadas en la superficie de los tubos sufren una reacción química con los álcalis, denominada saponificación mostrada a continuación:



donde R= cadena de 12 a 18 carbonos.

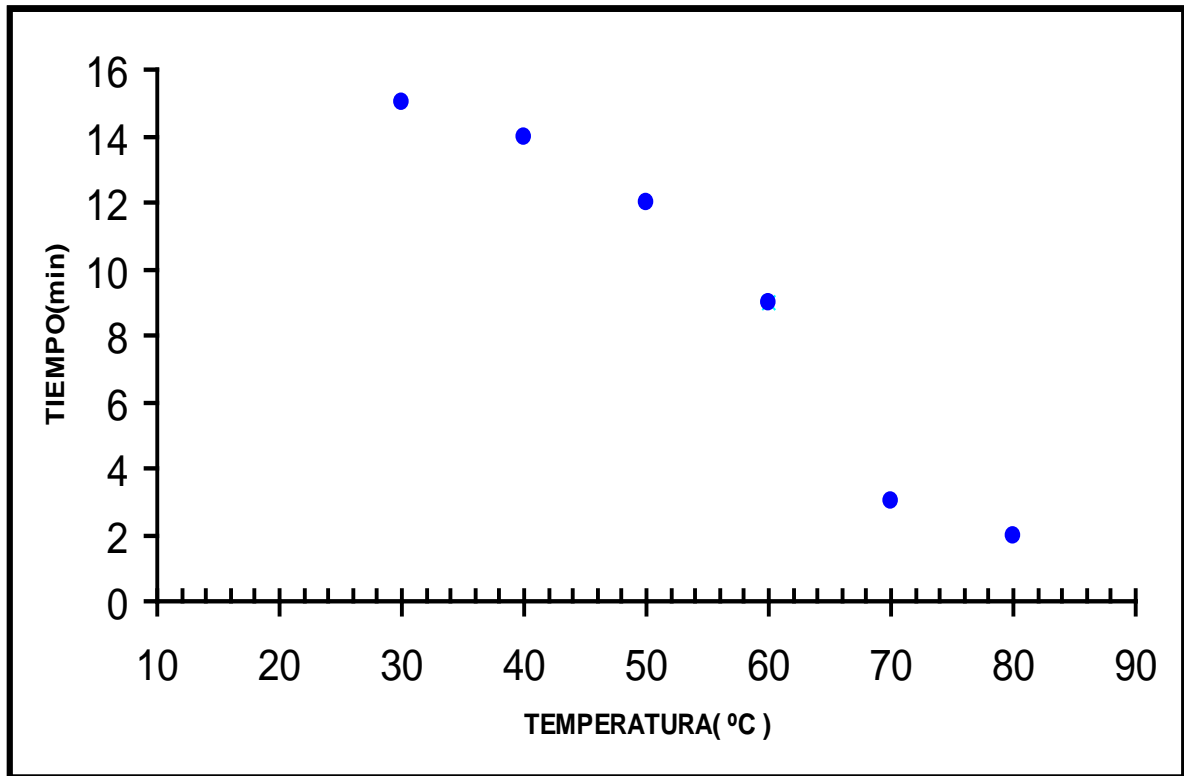


Figura 4.13 Variación del tiempo de desengrasado de los tubos en función de la temperatura de la solución.

Se puede apreciar en la Figura 4.13 que el tiempo de desengrasado disminuye a medida que aumenta la temperatura y el efecto es notable a partir de lo 60 °C, aproximadamente y hasta los 70°C ya que un incremento pequeño de temperatura conduce a una disminución significativa del tiempo en el proceso.

En el proceso de fosfatizado se estudió la influencia del tipo agua utilizada para preparar la solución, lográndose una mejor apariencia en el fosfatizado cuando se utilizó agua desionizada, en vez de agua dura (Ver Figura 4.14).

En la Figura 4.14 se puede evidenciar una pobre deposición de fosfato de zinc sobre la superficie del tubo expuesta a la solución fosfatizante cuando se utiliza agua dura. Los iones calcio que se encuentran en el agua dura reaccionan con el fosfato formando lodo que precipita en forma de fosfato de calcio mediante la siguiente reacción:

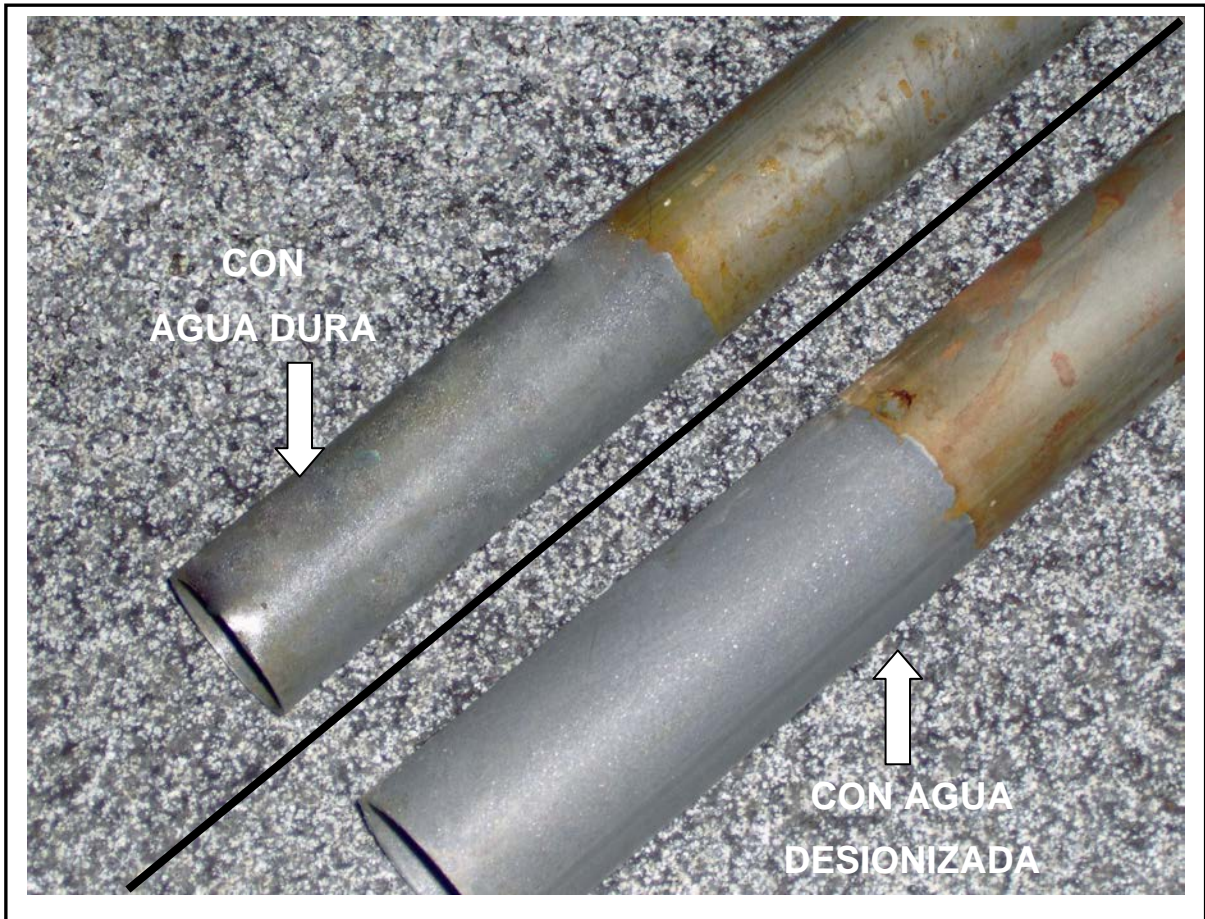
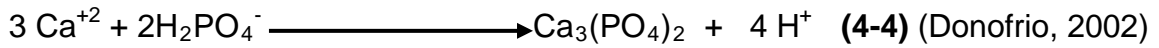


Figura 4.14 Efecto del tipo de agua utilizada en el proceso de fosfatizado.

La formación de lodos de fosfato de calcio provocando una ineffectividad en el proceso de fosfatizado, debido a que disminuye la concentración de fosfato disponible para la formación del recubrimiento sobre la superficie del tubo.

También se realizó una prueba para verificar la deposición de fosfato de zinc sobre la superficie del tubo cubierta de grasa (Ver Figura 4.15), pudiéndose demostrar que para que ocurra un buen fosfatizado, la superficie del tubo debe estar completamente limpia, libre de contaminantes tales como aceites, grasas, producto de corrosión y suciedad.

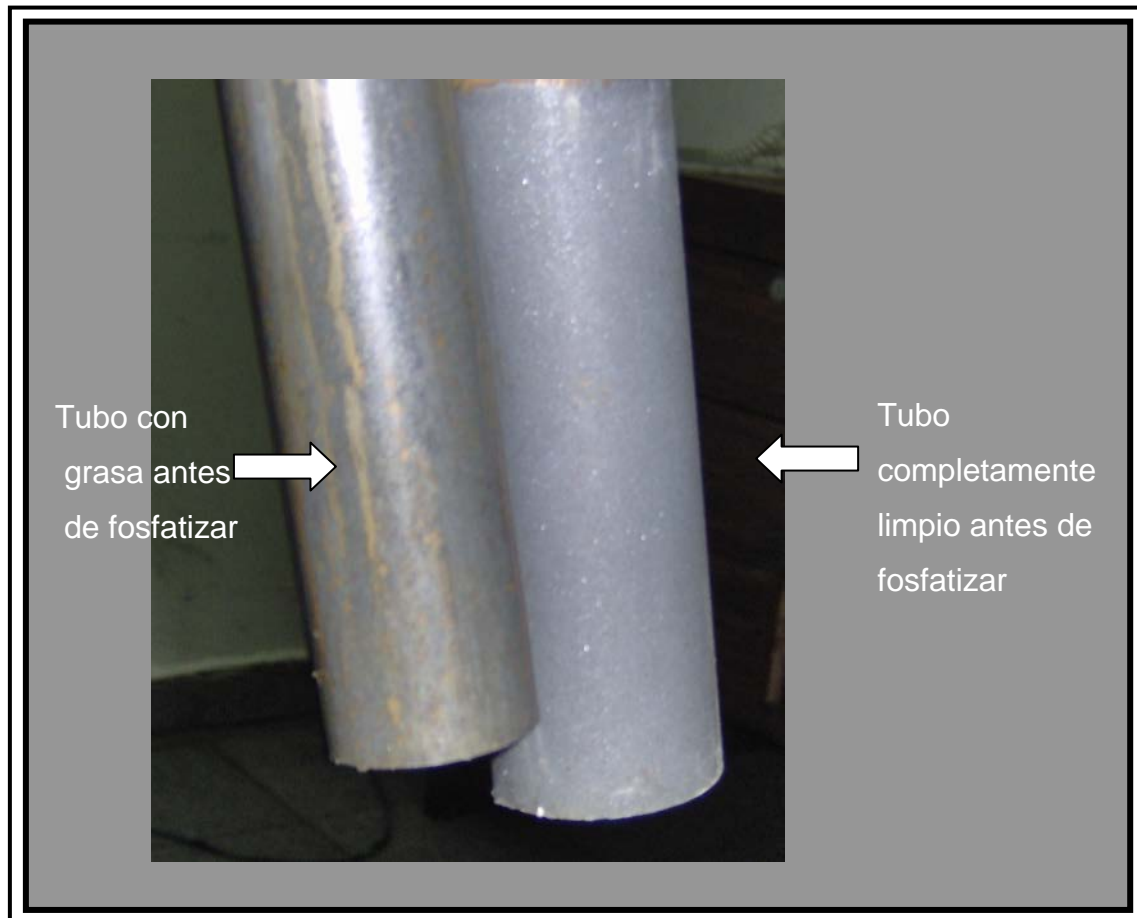


Figura 4.15 Efecto de la grasa sobre la superficie del tubo fosfatizado.

Otra prueba de gran interés que se realizó, fue el efecto de agregar más acelerador a la solución fosfatizante del nivel establecido por los proveedores (Ver Figura 4.16).

En la Figura 4.16a se muestra el fosfatizado de un tubo. Al retirar el tubo de la solución (Ver Figura 4.16b), ésta se torna de color amarillo, indicativo de la presencia de iones ferrosos (Fe^{+2}) en la solución, producto de la reacción de oxidación del tubo de hierro. La solución antes descrita está compuesta por ácido fosfórico, fosfato de zinc y un acelerador que generalmente es un agente oxidante. En la Figura 4.16c se le agrega acelerador a la solución fosfatizante en exceso, ocasionando una precipitación de lodos insolubles, demostrando así, que una dosificación de acelerador por encima del valor recomendado oxida los iones ferrosos a férricos, precipitando el fosfato en forma de lodo (fosfato férrico) mediante la siguiente reacción:

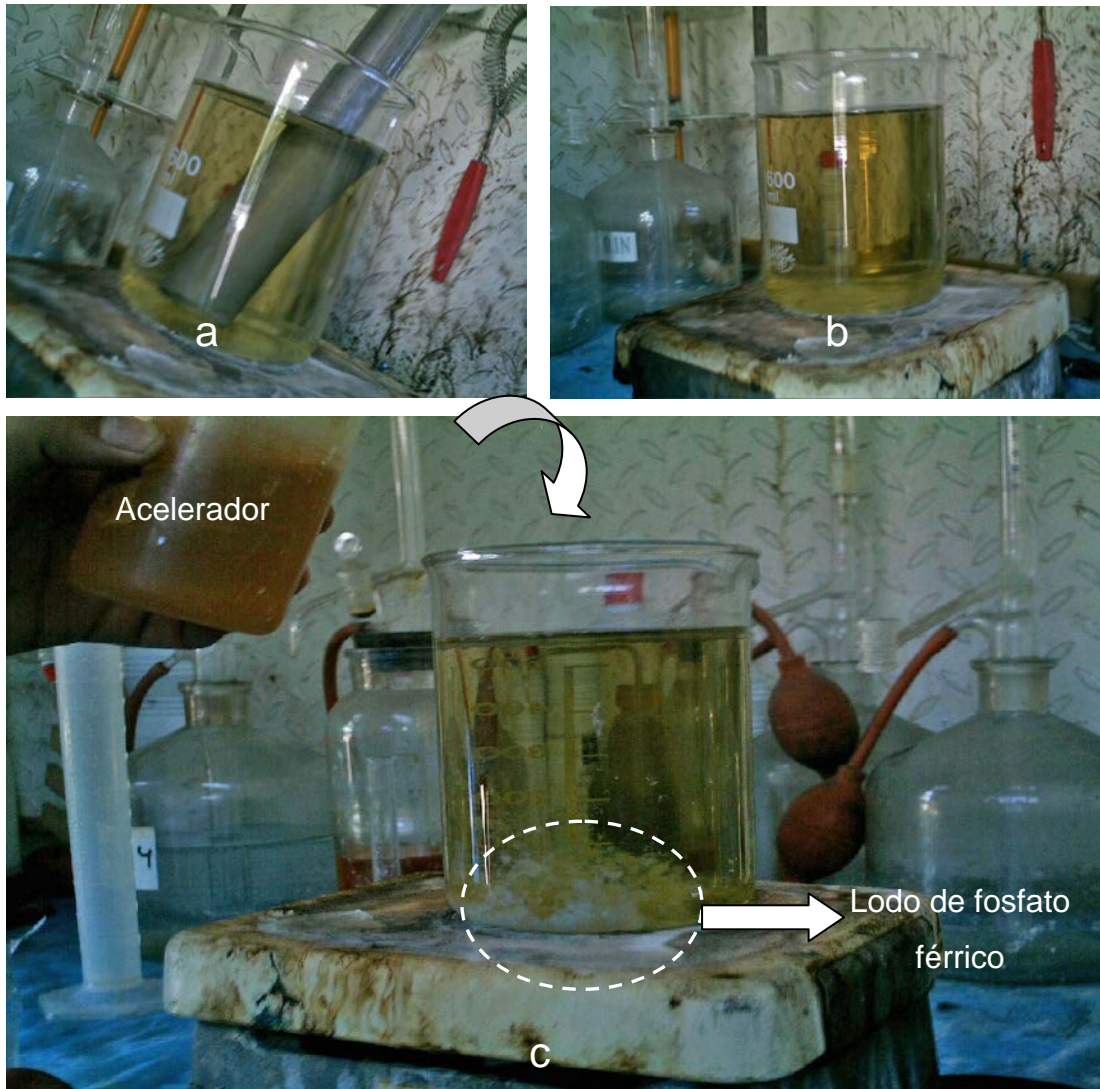
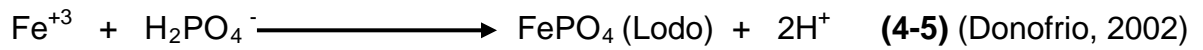


Figura 4.16 Efecto del acelerador agregado en exceso dentro de la solución fosfatizante: a) fosfatizado del tubo, b) solución resultante después del fosfatizado, c) agregando acelerador a la solución fosfatizante.

Una prueba experimental interesante fue verificar la influencia que tiene colocarle a los tubos cintas de aluminio para reducir el proceso de corrosión. Esta experiencia se llevó a cabo con 12 trozos de tubo variando la cantidad de cintas colocadas como se muestra en la Figura 4.17. Después de 20 días almacenados se evidenció que los tubos que no tenían cintas de aluminio sufrieron un proceso de corrosión como se aprecia en la Figura 4.18 y 4.19.



Figura 4.17 Tubos con diferentes cantidades de cintas de aluminio.



Figura 4.18 Tubos después de 20 días con y sin cinta de aluminio.



Figura 4.19 Comparación del tubo número 6 con el tubo número 8.



Figura 4.20 Cinta de aluminio con ampollas producto de la oxidación.



Figura 4.21 Tubos después de 47 días de haber iniciado la experiencia experimental.

En la Figura 4.21 se muestra un maltrato de los tubos producto de la corrosión, hasta los tubos que tenía cintas de aluminio sufrieron corrosión, que se le atribuye a que estaban en un lugar bajo condiciones extremas como humedad, vapores corrosivos, aceites, etc. Cabe destacar que los tubos estaban dispuestos de manera horizontal y en muchas ocasiones reposaban sobre agua estancada.



Figura 4.22 Deterioro de los tubos 7,11 y 12 transcurrido 47 días

En la figura 4.22 se puede apreciar que los tubos 12 y 11 presenta un mayor deterioro por la corrosión que el tubo 7, este se debe a que el tubo está protegido con aluminio por lo que el ataque no fue tan pronunciado.

Los tubos que tenían las cintas de aluminio estaban protegidos contra la corrosión mediante una protección catódica, en este caso un acoplamiento galvánico donde el aluminio actuaba como ánodo mientras que el tubo como cátodo. En la Figura 4.20 se muestra como el aluminio sufre el proceso de oxidación actuando de esta manera como ánodo de sacrificio.

4.4 GENERAR Y PROPONER ALTERNATIVAS DE MEJORA EN BASE A LAS VARIABLES CRÍTICAS A FIN DE SELECCIONAR LAS PROPUESTAS MAS ADECUADAS.

En base a los resultados obtenidos en los ensayos experimentales y consulta con las personas dedicadas al manejo del tratamiento químico de superficie se generaron varias alternativas de mejora, tomando en cuenta factores como: factibilidad técnica, tiempo de implementación, adquisición de equipos nuevo y entrenamiento del personal. Las propuestas generadas son las siguientes:

1. Remoción continua de la grasa sobrenadante en la solución de desengrase con un equipo de ultrafiltración.
2. Remoción de la grasa sobrenadante en la solución de desengrase por rebose y preparación de la solución desengrasante con agua desionizada.
3. Dosificación automatizada de los componentes que conforman el baño de fosfatizado.
4. Preparar la solución de fosfatizado con agua desionizada.
5. Proteger los tubos contra la corrosión para evitar el proceso de desoxido.

1. Remoción continua de la grasa sobrenadante en la solución de desengrase con un equipo de ultrafiltración.

Esta alternativa permite remover periódicamente el sobrenadante de la cuba de desengrasante compuesta básicamente por aceite en emulsión, el método

consiste en hacer pasar la solución desengrasante por unos filtros compuestos por una membrana que se comporta como un tamiz molecular donde se separan selectivamente ciertas moléculas de otras y va a depender de las dimensiones de los poros de la membrana que lo conforman. Una vez realizada la separación dentro de equipo se recircula la solución desengrasante a la cuba.

La implementación de esta propuesta implica el diseño, implantación y puesta en marcha de una tecnología nueva, lo cual conlleva gastos a la empresa por concepto de cualquiera de estos rubros. Adicionalmente se debe instruir al personal encargado del proceso de desengrase para operar el equipo.

2. Remoción de la grasa sobrenadante en la solución de desengrase por rebose y preparación de la solución desengrasante con agua desionizada.

La etapa de desengrasado en el tratamiento químico es crítica para el proceso, ya que al procesar cierta cantidad de material (tubos), se acumula una cantidad excesiva de grasa en la superficie de la solución (Ver Figura 4.23). Al momento de retirar los tubos de dicha cuba, estos arrastran consigo parte de esta grasa ocasionando una pobre deposición de fosfato de zinc en la superficie de los tubos en la etapa de fosfatizado.

En esta alternativa se propone remover la grasa sobrenadante de la solución desengrasante basándose en la diferencia de solubilidades que presenta la solución desengrasante de la grasa. Esta operación de remoción es llevado a cabo mediante la adición de solución desengrasante haciendo subir el nivel de la solución en la cuba provocando el rebose de la grasa presente en la solución.

Los iones calcio y magnesio presente en el agua dura reaccionan con el álcali de la solución desengrasante, reduciendo así su efectividad en el proceso de limpieza de los tubo, en vista a esto, se proponer utilizar agua desionizada para preparar la solución.

Los equipos y reactivos necesarios para la implementación de la alternativa son solución desengrasante y un desionizador, que para este caso, se puede contar con el de la empresa solo haciendo una planificación adecuada de los días en que se va a utilizar.



Figura 4.23 Cuba de desengrasado con exceso de grasa en la parte superior de la solución.

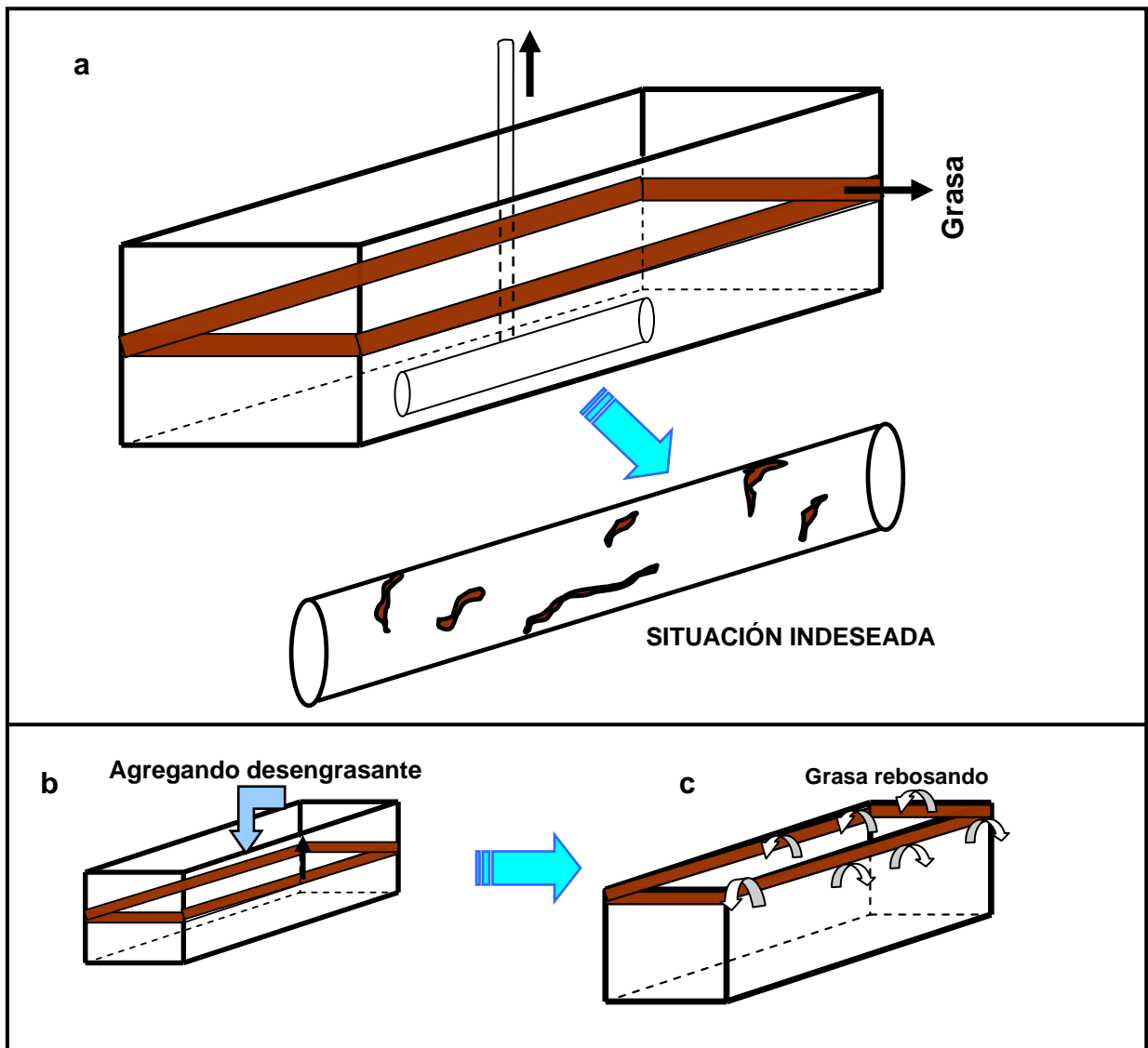


Figura 4.24 Método de remoción de la grasa de la superficie de la solución de desengrasante: a) Sacando tubo de la cuba de desengrasado que contiene exceso de grasa sobrenadante en la superficie de la solución, b) Agregando solución desengrasante para subir el nivel de la solución y rebosar la grasa sobrenadante.

3. Dosificación automatizada de los componentes que conforman el baño de fosfatizado.

Debido a que la etapa de fosfatizado es una de las más importantes dentro del tratamiento químico, es necesario tener un control apropiado de la cantidad de especies que la componen. Como se evidencia en las pruebas de validación, un exceso de agente acelerador en esta etapa conlleva la precipitación del fosfato

disponible para la formación del recubrimiento en forma de lodo, además hay que mantener la concentración dentro de los parámetros recomendados por el proveedor de los reactivos de la solución fosfatizante.

Para automatización de la dosificación de los reactivos es necesario contar con medidor que realice monitoreos constantes de los parámetros de control de la solución fosfatizante, y según la lectura de dicho medidor ejecutar las acciones correctivas necesarias. Para implementar esta propuesta la empresa debe adquirir nuevos equipos, personal especializado que opere, monitoree y manipule el sistema en el caso de cualquier eventualidad, así como también disponer de dispositivos alternativos a la hora de presentarse una falla.

4. Preparar la solución de fosfatizado con agua desionizada.

Al tomar en cuenta las interacciones del agua dura con los componentes del baño de fosfatizado, es necesario reducir la cantidad de iones calcio y magnesio presentes en la solución, es por esto que se recomienda disminuir tales iones, tratando el agua destinada para la preparación de la solución.

La empresa posee un desionizador que se utiliza de lunes a viernes para la generación de vapor en las calderas, cabe destacar que la capacidad del equipo es suficiente como para llenar la cuba de fosfatizado en un tiempo razonable. La ventaja de usar este equipo, es que la empresa no necesita adquirir nuevos dispositivos para suavizar el agua, y los costos asociados a tal decisión. Adicionalmente los operarios están familiarizados con el proceso, y por tanto, no se requiere de un entrenamiento del personal para operar un dispositivo nuevo. Los costos de esta propuesta están directamente relacionados con la canalización del agua desde el desionizador hasta la cuba de fosfatizado, el mantenimiento preventivo del suavizador y la sal para desionizar el agua dura.

5. Proteger los tubos contra la corrosión para evitar el proceso de desoxido.

El acero, al estar compuesto en su mayoría por hierro, es propenso a oxidarse, debido a que el estado natural del hierro es a estar presente en la naturaleza en forma de óxido, como se pudo evidenciar en la experiencia práctica, la acción del ambiente corroe el metal, haciendo necesario el uso de solución decapante para remover el óxido formado por la interacción del metal con el medio ambiente. Al proteger la superficie del tubo con aluminio, se establece un acoplamiento galvánico, en el que el acero actúa como cátodo y el aluminio como ánodo, debido a que el costo del aluminio es menor con relación al acero, se prefiere la corrosión del aluminio a la del acero. El costo asociado a esta propuesta se relaciona directamente con la adquisición del material de aluminio y mano de obra utilizada, el entrenamiento del personal dedicado a fijar el aluminio a los tubos es de relativa facilidad, ya que no requiere el uso de técnicas o procedimientos complicados, además de ahorrar solución decapante destinada a la eliminación de óxido de los tubos.

Conociendo las alternativas se dispone de una matriz de selección, asignado una calificación del 0 al 10, siendo el 10 la puntuación más favorable de cada categoría, y la ponderación de cada criterio es un número entero, que al sumar todas las cantidades debe dar como resultado 100 puntos. Cabe destacar que tanto para la ponderación de las alternativas como la elección del peso de cada factor se fijó en consenso con el personal encargado del proceso de tratamiento de superficies metálicas.

Basándose en los resultados obtenidos en la Tabla 4.3 las 3 alternativas con más ponderación son:

- 1.-Remoción de la grasa sobrenadante en la solución de desengrase por rebose y preparación de la cuba con agua desionizada.
- 2.-Preparar la solución de fosfatizado con agua desionizada.
- 3.- Proteger los tubos contra la corrosión para evitar el proceso de desoxido.

TABLA 4.3 Matriz de selección de alternativas de mejora.

<i>Criterios de selección</i>	<i>Ponderación</i>	1		2		3		4	
		<i>Puntuación</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Puntuación</i>	<i>Acumulado</i>
Factibilidad técnica	30	8	240	8	240	5	150	8	240
Adquisición de equipos	20	3	60	6	120	4	80	7	140
Tiempo de implementación	25	4	100	6	150	3	75	6	150
Entrenamiento del personal	25	4	100	7	175	2	50	6	150
			500		685		355		680

<i>Criterios de selección</i>	<i>Ponderación</i>	5	
		<i>Puntuación</i>	<i>Acumulado</i>
Factibilidad técnica	30	7	210
Adquisición de equipos	20	6	120
Tiempo de implementación	25	5	125
Entrenamiento del personal	25	9	225
			680

4.5 DETERMINAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADA, A FIN DE CONSIDERAR SU FUTURA IMPLEMENTACIÓN.

Alternativa N° 1

Remoción de grasa y uso de agua desionizada en la etapa de desengrasado.

El costo de la propuesta de la remoción de grasa en la etapa de desengrasado está vinculado principalmente al tratamiento del agua utilizada, la cantidad de solución desengrasante adicional para rebosar la grasa así como a la mano de obra necesaria para aplicar el método de remoción.

Cabe destacar que para tratar el agua necesaria para la preparación de la solución de desengrasante, se va a utilizar un suavizador disponible en la empresa. El suavizador puede suplir la demanda de agua requerida para tal implementación siempre que se utiliza los fines de semana ya que los días de semana el equipo se destina solo para las calderas.

El rebose de la grasa por el tope de la cuba de desengrasante se puede realizar sin incurrir en daños al medio ambiente, ya que se cuenta con doble trampa de grasa en la planta de tratamiento de agua de la empresa.

TABLA 4.4 Costos anuales asociados al tratamiento del agua

<i>Suavizado (US\$)</i>	<i>Mantenimiento (US\$)</i>	<i>Canalización (US\$)</i>	<i>TOTAL(US\$)</i>
498,14	1.162,79	215,45	1.876,38

El gasto por concepto de mano de obra empleada para aplicar el método de remoción es de 145,92 US\$/Año, asumiendo que el operario se toma 1 hora en realizar esta operación. El costo por hora de sobretiempo es 3,04 US\$/h.

La frecuencia de remoción de la grasa se va a realizar semanalmente, y se consumen 6 barriles de desengrasante por año. El gasto por concepto de químicos utilizado en esta propuesta es de 2.460,00 US\$/Año.

Actualmente la empresa tienes el siguiente gasto en la cuba de desengrasante.

TABLA 4.5 Costos anuales en la etapa de desengrasado. **Fuente: TUBOAUTO**

<i>Químicos</i>	<i>Tiempo de vida útil del baño(meses)</i>	<i>Adiciones por mes</i>	TOTAL(US\$)
Desengrasante	1	2	14.760,00

TABLA 4.6 Costos anuales estimados una vez implementada la propuesta.

<i>Químico</i>	<i>Tiempo de vida útil del baño(meses)</i>	<i>Adiciones por mes</i>	TOTAL(US\$)
Desengrasante	1,5	1	7.790,00

Un beneficio percibido una vez que se implementa la propuesta es la reducción en las adiciones de reactivos para mantener la cuba de desengrasado dentro de los parámetros establecido por el proveedor, así como el incremento del tiempo de vida útil del baño de desengrasado, lo que conduce a un ahorro significativo de dinero (Ver Tabla 4.7).

TABLA 4.7 Ahorro anual en la cuba de desengrasado **Fuente: TUBOAUTO..**

<i>Químico</i>	<i>Limpieza del baño</i>	<i>Reducción de adiciones</i>	TOTAL(US\$)
Desengrasante	255,81	5	1.279,07

TABLA 4.8 Relación beneficio-costos de la propuesta de remoción de grasa y uso de agua desionizada en la etapa de desengrasado.

<i>Beneficio (US\$/año)</i>	<i>Costos de Inversión (US\$/año)</i>	R_{B-C}
6.970,00	4482,30	1,56

Alternativa N° 2

Usar agua desionizada para la preparación de la solución fosfatizante en la etapa de fosfatizado.

El costo asociado a la propuesta está determinado por tratamiento del agua utilizada para preparar la solución fosfatizante, y no es más que el ilustrado en la Tabla 4.4.

TABLA 4.9 Costos anuales en la etapa de fosfatizado. *Fuente: TUBOAUTO*

<i>Químico</i>	<i>Tiempo de vida útil del baño(meses)</i>	<i>Adiciones por mes</i>	TOTAL(US\$)
Fosfatante	1	3	34.984,19

TABLA 4.10 Costos anuales estimados una vez implementada la propuesta.

<i>Químico</i>	<i>Tiempo de vida útil del baño(meses)</i>	<i>Adiciones por mes</i>	TOTAL(US\$)
Fosfatante	1	2	26.238,14

En la etapa de fosfatizado no se produce cambio en el tiempo de vida útil de baño una vez puesta en marcha la propuesta, solo se reducen las adiciones, lo que conlleva un ahorro por reactivo mostrado en la Tabla 4.11.

TABLA 4.11 Ahorro anual en la cuba de fosfatizado *Fuente: TUBOAUTO.*

<i>Químico</i>	<i>Reducción de adiciones</i>	TOTAL(US\$)
Fosfatante	12	8.746,05

TABLA 4.12 Relación beneficio-costo de la propuesta de usar agua desionizada en la etapa de fosfatizado.

<i>Beneficio (US\$/año)</i>	<i>Costos de Inversión (US\$/año)</i>	<i>R_{B-C}</i>
8.746,05	1.876,38	4,66

Alternativa N° 3

Reducción del número de tubos retrabajados por concepto de desoxido.

Los costos asociados a esta propuesta están directamente relacionados con el aluminio, y el operario encargado de colocar las bandas sobre el metal.

El costo de un paquete de aluminio al mayor es de 9,30 US\$. Este contiene una lámina continua de 80 metros de largo y 30 centímetros de ancho, de los cuales se cortan tiras de aluminio de 4 centímetros de ancho por 30 centímetros de largo, resultando 20.000 tiras. Colocando 4 tiras de aluminio a cada tubo se puede proteger 500 tubos. El tubo a procesar tiene las siguientes dimensiones:

Tabla 4.13 Dimensiones de un tubo de acero.

<i>Díámetro interno(mm)</i>	<i>Espesor(mm)</i>	<i>Longitud(mm)</i>
32	1,27	4.980

Para determinar los m² de un tubo se aplica la ecuación:

$$A_t = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (D_i + e) / 1000000 \quad (4-6)$$

donde:

A_t : Área total superficial del tubo (m²)

L : Longitud del tubo (mm)

D_i : Diámetro interior del tubo (mm)

e : Espesor del tubo (mm)

Reemplazando los valores de la Tabla 4.12 tenemos que los metros cuadrados de un tubo son 1,04 y el área total en metros cuadrados de los tubos a procesar es 520,5. El gasto por concepto de aluminio es 0,0179 US\$.

El costo asociado a la de mano de obra necesario para fijar la cantidad de aluminio antes descrito, asumiendo que un trabajador tarda en promedio 4 minutos fijando las 4 tiras a un tubo, para procesar la cantidad total de aluminio requiere aproximadamente 33 horas para completar la tarea, y debido a que el salario percibido por hora es de 1,79 US\$, el trabajador recibe un total de 59,57 US\$ procesando los 500 tubos a ser protegidos. Con el costo y el área total procesada se estima el costo de mano de obra, que es de 0,0114 US\$/m². La suma de los costos por mano de obra y material, en este caso, el aluminio es 0,092US\$.

Como último paso se determina el beneficio de la propuesta, para este caso es el ahorro producto del desoxido de los tubos.

Tabla 4.14 Seguimiento de costos de ácido y área de tubos retrabajados para el último trimestre del 2006. **Fuente: TUBOAUTO**

	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>
Costo de desoxido (US\$/m ²)	0,102	0,092	0,209

El valor promedio de los datos mostrados en la Tabla 4.14 es de 0,134 US\$/m², cuyo valor es considerado el beneficio de la propuesta.

TABLA 4.15 Relación beneficio-costo de la propuesta reducción del número de tubos retrabajados por concepto de desoxido.

<i>Beneficio</i> (US\$/m ²)	<i>Costos de Inversión</i> (US\$/m ²)	<i>R_{B-C}</i>
0,134	0,1323	1,01

A continuación se presenta una tabla con la relación beneficio-costos de las 3 alternativas planteadas:

TABLA 4.16 Relación beneficio-costos de las 3 alternativas.

Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
1,56	4,66	1,01

Después de determinar la viabilidad económica de cada una de las propuestas planteada (Ver Tabla 4.16), comparando el ahorro producido por la inversión con el costo de la inversión se puede notar que la propuesta mas viable económicamente es usar agua desionizada para la preparación de la solución fosfatizante en la etapa de fosfatizado, seguida de la propuesta remoción de grasa y uso de agua desionizada en la etapa de desengrasado. La alternativa 3 a pesar de resultar viable económicamente es de poca relevancia para la empresa.

APÉNDICE A

CÁLCULOS TÍPICOS

En esta sección se presentan los cálculos necesarios para la obtención del valor de algunos parámetros importantes en la investigación.

A.1 Determinación del valor promedio de una variable.

Es necesario determinar el promedio para comparar un conjunto de valores, en este caso el valor de ácido gastado para determinar la concentración del desengrasante, y no es más que la suma de todos los elementos, dividido entre el total de mediciones hechas.

$$\bar{X} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots}{n} \quad \text{A.1} \quad (\text{Harvey, 2000})$$

donde:

\bar{X} : Es el valor promedio de la variable bajo estudio

a_1, a_2, a_3, \dots : Son los valores de la variable

n : Número de mediciones tomadas en cuenta para el cálculo del promedio

Tomando como referencia los valores en la Tabla B.1 para el agua desionizada, tenemos:

$$\bar{X} = \frac{5,0 + 5,2 + 5,4 + 5,1 + 5,1 + 5,0 + 5,3 + 5,3 + 5,3 + 5,1 + 5,4}{11} = 5,2 \text{ (mL)}$$

A.2 Superficie total de un tubo.

Para determinar el ahorro o costo de la implementación debemos calcular el área procesada, en este caso de un tubo, para posteriormente llevarlo a un periodo de un año

$$A_t = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (D_i + e) / 1000000 \quad \text{A.2} \quad (\text{TUBOAUTO})$$

donde:

A_t : Área total superficial del tubo (m^2)

L : Longitud del tubo (mm)

D_i : Diámetro interior del tubo (mm)

e : Espesor del tubo (mm)

Tomando como ejemplo las dimensiones del tubo interior para amortiguadores de la Tabla B.3, obtenemos

$$A_t = 2 \cdot \pi \cdot 4980 \cdot (32 + 1,27) / 1000000 = 1242,98 \text{ (m}^2\text{)}$$

A.3 Costos asociados a la canalización de agua suavizada hasta las cubas

Para disponer de la cantidad de agua desionizada necesaria para llenar las cubas se requiere de una manguera y accesorios para canalizarla

$$Cas = Cm + Cn + Cab$$

A.3*(elaboración propia)*

Cas : Costo asociado a la canalización del agua (US\$)

Cm : Costo de la manguera (US\$)

Cn : Costo del niple (US\$)

Cab : Costo de la abrazadera (US\$)

$$Cas = 212,93US\$ + 0,59US\$ + 1,93US\$ = 215,45 \text{ (US\$)}$$

Tomando los costos de la Tabla B.5 el resultado es 215,45 US\$

A.4 Costo asociado al mantenimiento del suavizador

El costo del mantenimiento del suavizador no es más que el producto del número de mantenimientos anuales por el costo unitario por concepto de mantenimiento.

$$Cam = Nm \cdot Cum$$

A.4*(elaboración propia)*

Donde:

Cam : Costo anual debido al mantenimiento del suavizador (US\$/año)

N_m : Cantidad de mantenimientos realizados al año (mantenimiento/año)

C_{um} : Costo de cada mantenimiento (US\$/mantenimiento)

$$C_{am} = 2 \text{mantenimientos} / \text{año} \cdot 581,40 \text{US\$} / \text{mantenimiento} = 1.162,79 \text{ (US\$/año)}.$$

A.5 Costo anual por concepto de sal para el suavizador

Anualmente se requiere de cierta cantidad de dinero para suplir la necesidad de la sal encargada de disminuir los iones calcio y magnesio del agua dura

$$C_{ass} = N_s \cdot C_{us} \quad \text{A.5} \quad (\text{elaboración propia})$$

Donde:

C_{ass} : Costo anual por sal de suavizado (US\$/año)

N_s : Cantidad de sacos utilizados por año para suavizar el agua (sacos/año)

C_{us} : Costo de cada saco de sal para el suavizador (US\$/saco)

Tomando los datos para la preparación de la cuba de desengrasante, se tiene el siguiente resultado:

$$C_{ass} = 7 \text{sacos} / \text{año} \cdot 71,16 \text{US\$} / \text{saco} = 498,14 \text{ (US\$/año)}$$

A.6 Costo anual por concepto de mano de obra utilizada en la cuba de desengrasante.

$$C_{amd} = N_{ha} \cdot C_{mo} \quad \text{A.6} \quad (\text{elaboración propia})$$

Donde:

C_{amd} : Cantidad anual por mano de obra de desengrasado (US\$/año)

N_{ha} : Cantidad de horas por año por rebose de grasa (h/año)

C_{mo} : Costo de la mano de obra por hora (US\$/h)

$$C_{amd} = 48 \text{h} / \text{año} \cdot 3,04 \text{US\$} / \text{h} = 85,92 \text{ (US\$/año)}$$

A.7 Costo anual asociado al uso de químicos en las cubas.

Para comparar el ahorro de las mejoras con la situación actual, determinamos cual es el costo asociado a la cantidad de productos químicos que se utilizan en cada una de las cubas.

$$C_{pq} = (C_i + A) \cdot C_a \quad \text{A.7} \quad (\text{elaboración propia})$$

donde:

C_{pq} : Costo por químicos utilizados (US\$/año)

C_i : Cantidad de cargas de producto (barriles/año)

A : Adiciones de producto luego de la carga inicial (barriles/año)

C_a : Costo de cada producto por unidad (US\$/barril)

Tomaremos como ejemplo el cálculo para el desengrasante de la situación actual en la propuesta 1, tomando los valores de la Tabla 4.5 y la Tabla B.5.

$$C_{pq} = (12,00 \text{barriles} / \text{año} + 24,00 \text{barriles} / \text{año}) \cdot 410,00 \text{US} \$ / \text{barril} = 14.760,00 \text{US} \$ / \text{año}$$

Al igual que con el desengrasante se calculan los valores para la cuba de fosfatizado.

A.8 Cálculo de la relación beneficio-costos

La relación beneficio-costos no es más que la división de los beneficios de la propuesta entre los costos asociados a ella.

$$R_{B-C} = \frac{B}{C} \quad \text{A.8} \quad (\text{Giugni, Ettetdgui y González, 2005})$$

Donde:

R_{B-C} : Razón beneficios – costos (adim)

B : Beneficios (US\$/año)

C : Costos de inversión de la propuesta (US\$/año)

Determinando la relación beneficio-costo para la propuesta de implementación de remoción de la grasa y suavizado del agua en la cuba de desengrasante obtenemos:

$$R_{B-C} = \frac{6.970,00\text{US\$/año}}{4.482,30\text{US\$/año}} = 1,56 \text{ (adim)}$$

A.9 Cantidad adicional de desengrasante para remover la grasa

Debido a que la grasa recubre la superficie metálica e impide la reacción es necesario retirarla de la solución, para ello determinamos la cantidad adicional de producto para rebosar de la cuba la grasa remanente, con la siguiente fórmula:

$$C_{pa} = (1 - h) \cdot 10 \cdot 1000 \quad \text{A.9} \quad (\text{elaboración propia})$$

C_{pa} : Cantidad de producto a añadir (L)

h : Altura desde el tope de la cuba hasta el nivel de desengrasante (m)

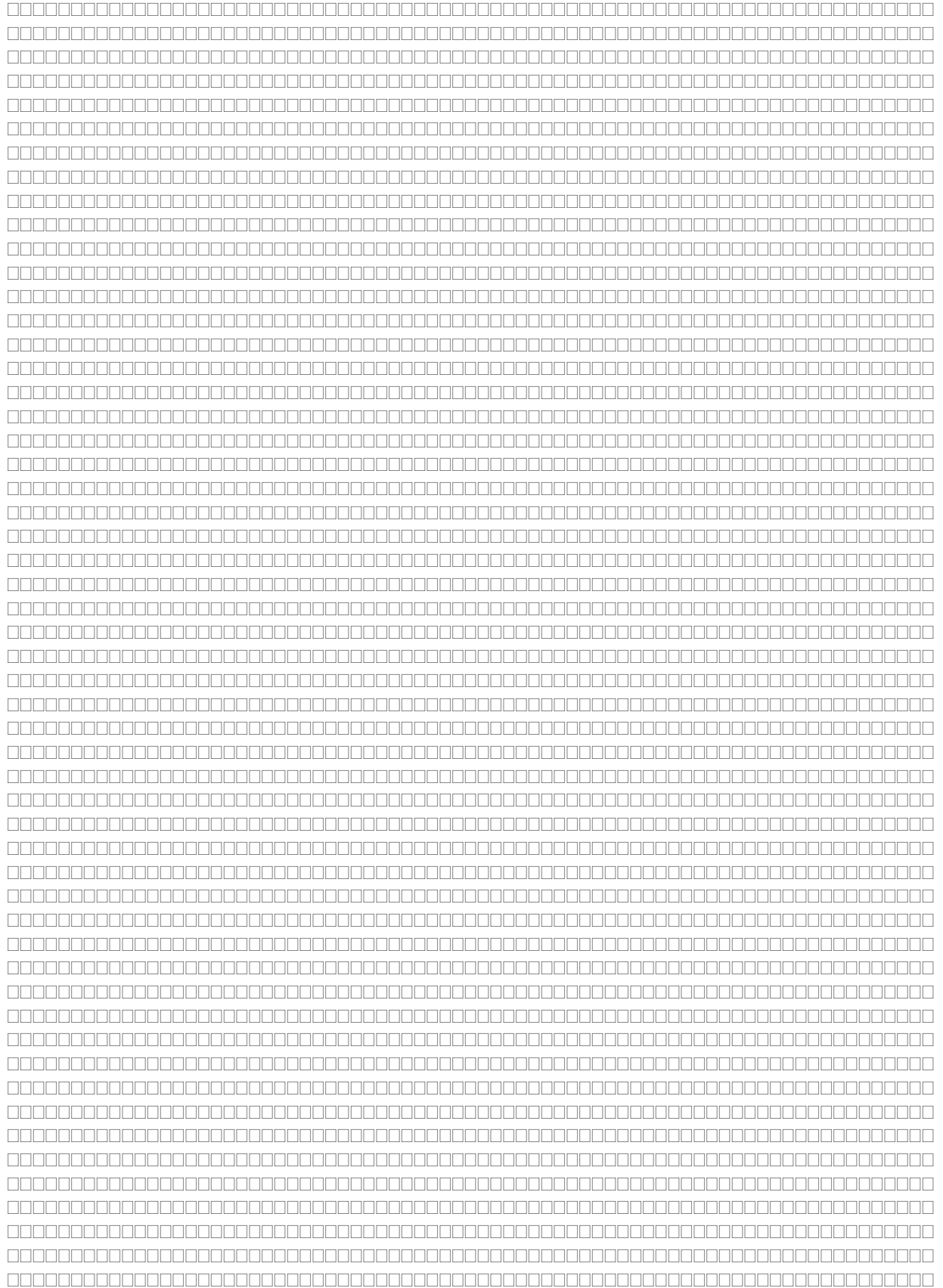
Como ejemplo, supongamos que la altura $h=0,5$ m entonces la cantidad de solución desengrasante que debemos añadir para rebosar la grasa es:

$$C_{pa} = (1 - 0,5) \cdot 10 \cdot 1000 = 5000 \text{ L}$$

APÉNDICE D

DATOS CARACTERÍSTICOS DE LOS TANQUES QUÍMICOS

A continuación se presenta una tabla con las características de los baños químicos



APÉNDICE E

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PRODUCTOS

A continuación se presenta las especificaciones técnicas de los productos utilizados

APÉNDICE B

HOJAS DE DATOS

Seguidamente se presentan tabulados los datos necesarios para el cálculo de unos valores importantes del proceso

Tabla B.1 Volumen de ácido gastado en la titulación de muestras de agua desionizada y dura.

Volumen de ácido gastado(mL)		
Muestras	Agua desionizada	Agua dura
1	5,0	4,2
2	5,2	4,2
3	5,4	4,4
4	5,1	4,3
5	5,1	4,4
6	5,0	4,1
7	5,3	4,2
8	5,3	4,3
9	5,3	4,4
10	5,1	4,1
11	5,4	4,1

Tabla B.2 Tiempo de desengrasado en función de la temperatura a la que se expone la solución desengrasante.

Temperatura(°C)	Tiempo de desengrasado(min)
30	12,32
40	10,46
50	7,52
60	5,36
70	4,22
80	2,18

Tabla B.3 Tipos de tubos sometidos al proceso de trefilado.

Tipo de tubo	Diámetro Interno(mm)	Espesor(mm)	Longitud (mm)
Tubos para amortiguador interior	32	1,27	4980
Tubos para amortiguador Mc.Pherson	57,15	2,5	7550

Tabla B.4 Costo en US\$ de los químicos utilizados en preparación de la superficie de los tubos.

Químicos	Costo(US\$/barril)
Desengrasante	410
Fosfato	728,83

Tabla B.5 Costos asociados a la instalación de la red de tubería para llevar el agua tratada a las cubas.

Materiales	Precio(US\$.)
Manguera(60 mts)	212,93
Niple	0,58
Abrasadera	1,93

APÉNDICE C

IMÁGENES

Imágenes de varios sectores del proceso de la línea de
tratamiento de superficie



Figura C.1 Vista frontal de la máquina trefiladora



Figura C.2 Cortadora de puntas de los tubos luego de trefilar



Figura C.3 Tubos fosfatizados con punta para el trefilado



Figura C.4 Rack de tubos para procesar

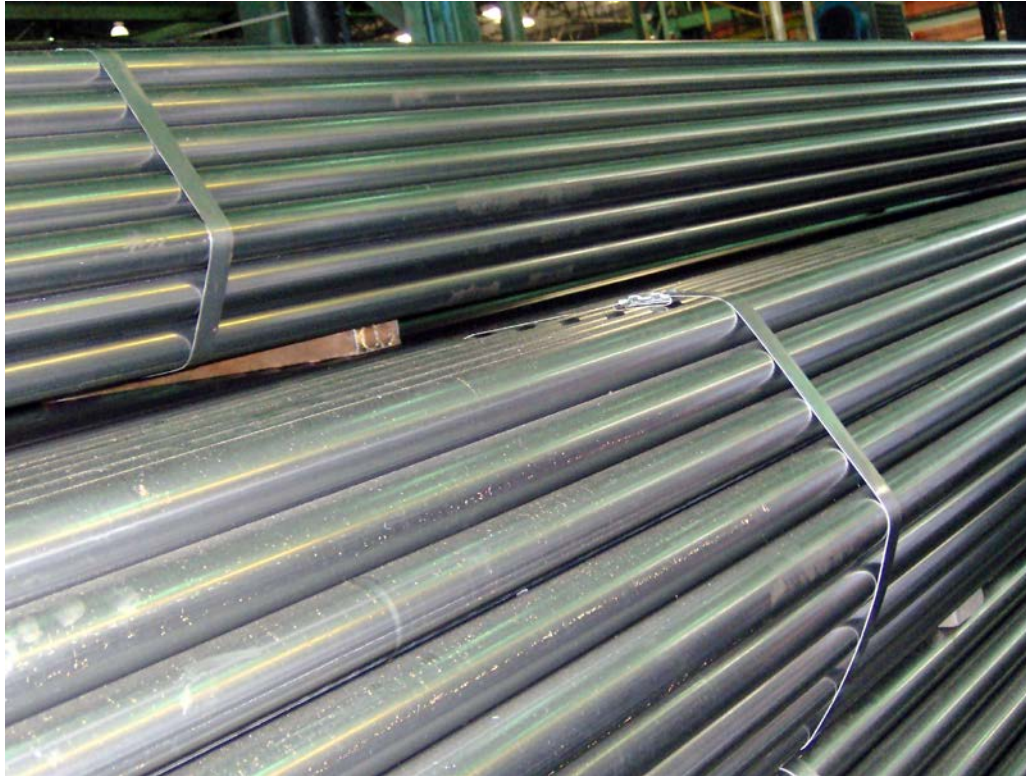


Figura C.5 Tubos destinados para despacho



Figura C.6 Tubos fosfatizados

CONCLUSIONES

- 1) Las variables más influyentes en el proceso de tratamiento de superficies metálicas son: en el caso del desengrasante la dureza del agua, la temperatura de la solución y el tiempo de inmersión de los tubos. Para la solución de fosfatizado son: la dureza del agua, la presencia de grasa en los tubos y la dosificación de acelerador.
- 2) La concentración de desengrasante es mayor cuando se utiliza agua desionizada que agua dura por la preparación de la solución.
- 3) Los iones calcio y magnesio presentes en el agua dura reacciona con el desengrasante, reduciendo su efectividad para remover la grasa de los tubos.
- 4) El rango efectivo de temperatura de la solución de desengrasante es de 60-70 °C.
- 5) La cantidad de iones calcio y magnesio presentes en el agua dura reacciona con los componentes del fosfatizado, disminuyendo su efectividad.
- 6) El fosfatizado realizado con agua desionizada produce una mejor apariencia en los tubos, contrario al caso en el que se hace con agua dura.
- 7) Un exceso de acelerador en el baño de fosfatizado produce un incremento en la formación de lodos.
- 8) La grasa depositada en la superficie de los tubos, producto de una ineficiente limpieza en la etapa de desengrasado, afecta negativamente el proceso de fosfatizado.

9) La corrosión de los tubos disminuye cuando se utiliza una protección catódica mediante acoplamiento galvánico con cintas de aluminio.

RECOMENDACIONES

1. Garantizar que la superficie de los tubos se mantenga libre de grasa, evitando el retrabajo de los tubos por mal fosfatizado.
2. Instruir al personal encargado de manipular los equipos y materiales del proceso, en cuanto a normas ambientales y seguridad en el sitio de trabajo.
3. Automatizar el sistema de calefacción de las cubas, garantizando la temperatura adecuada para cada una de las soluciones.
5. Disponer de los recursos para la construcción de un laboratorio de pruebas de control adecuado, así como de los equipos destinados a producir resultados confiables en el menor tiempo posible.
6. Implementar un sistema de remoción de lodos en la etapa de fosfatizado.
7. Utilizar un sistema continuo de remoción de grasa en la cuba de desengrasado.
8. Implementar un sistema de extracción de vapores en la etapa de decapado.
9. utilizar un sistema mecanizado para la colocación de las cintas de aluminio en los tubos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Doctor Calderon Labs. (2006 Julio). [Página web en línea]. Disponible en:

<http://www.drcalderonlabs.com/Labnews/Labnews6.html> [Consulta: 2006 Julio]

Donofrio, J. (2002). **Zinc phosphating**. Metal finishing, 100(6a), 89-104.

Etzold, U., Hülser, P y Mohr, K (2003). **The Use of Corrosion Inhibitors in Steel Strip Production and Coating**.

Fernández, A y Salager, J. (2004). **Surfactantes**.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/cuadernos/S304.pdf>

[Consulta: 2006 Julio]

Gate, L. Gibbon, D. Jackson, K. Rodnyansky, A. Warburton, P. y Warburton, Y (1999). **Chemical composition, electrochemical, and morphological properties of phosphate conversion coatings**.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.proquest.com>

[Consulta: 2006 Julio]

Giugni, L., Ettetdgui, C., Gonzalez, I., Guerra, V (2005). **Evaluación de proyectos de inversión**. (4ª edición). Editado por la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Gu C. D., Jiang Z. H., Li G.Y., Lian J.S y Niu L. Y. (2006). **A study and application of zinc phosphate coating on AZ91D magnesium alloy**. Surface & coatings technology. 200 (2006) 3021-3025.

Gutiérrez, H. (2005). **Calidad total y productividad**. Segunda edición. McGraw Hill Interamericana.México.

Harvey, David (2000). **Modern analytical chemistry**. McGraw Hill.

Hasler, F, Stone, N. (1997). **The whys and hows of hydrochloric acid pickling**.

[Documento en línea]. Disponible en:

<http://www.mnsi.net/~pas/hydrochloricwhysnhows.PDF>

[Consulta: 2006 Julio].

Jegannathan, S. Rajeswari, S. Ravichandran, K. Sankara, T (2005). **Formation of zinc-zinc phosphate composite coatings by cathodic electrochemical treatment**.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://sci-lib.net/papers/13.03.2006b/02.pdf>

[Consulta: 2006 Julio].

Kwiatkowski, L (2004). **Phosphate coatings porosity: Review of new approaches**.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.proquest.com>

[Consulta: 2006 Julio].

McLaughlin M y Zisman A. (1998). **The aqueous cleaning handbook**. (3a. ed.). AL Technical Communications, LLC, Estados Unidos de América.

Perkins, W. (1998). **Surfactants – a primer**. Dyeing, Printing and Finishing. 51-55.

Salager, J. (2003). **Surfactantes. Tipos y usos**

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/cuadernos/S300A.pdf>

[Consulta: 2006 Julio]

Sankara, T (2005). **Surface pretreatment by phosphate conversion coatings – A review**.

[Documento en línea]. Disponible en: http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_2905/narayanan.pdf

[Consulta: 2006 Julio]

Sparks, Jhon. ***The basics of alkaline in-process cleaning for metal substrates.***

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.p2pays.org/ref/12/11201.pdf>

[Consulta: 2006 Julio]

Troubleshooting guide for powder coatings.

[Documento en línea]. Disponible en: [http://marpolind.com/downloads/](http://marpolind.com/downloads/Marpol_Troubleshooting_Guide.pdf)

Marpol_Troubleshooting_Guide.pdf.

[Consulta: 2006 Julio]

Vilba, pinturas industriales (2006, Julio) [Página web en línea]. Disponible en:

<http://www.vilba.com.ar/>

Wade, Jr. L. G. (2004). ***Química Orgánica.*** Quinta Edición. Pearson education, S. A. Madrid.

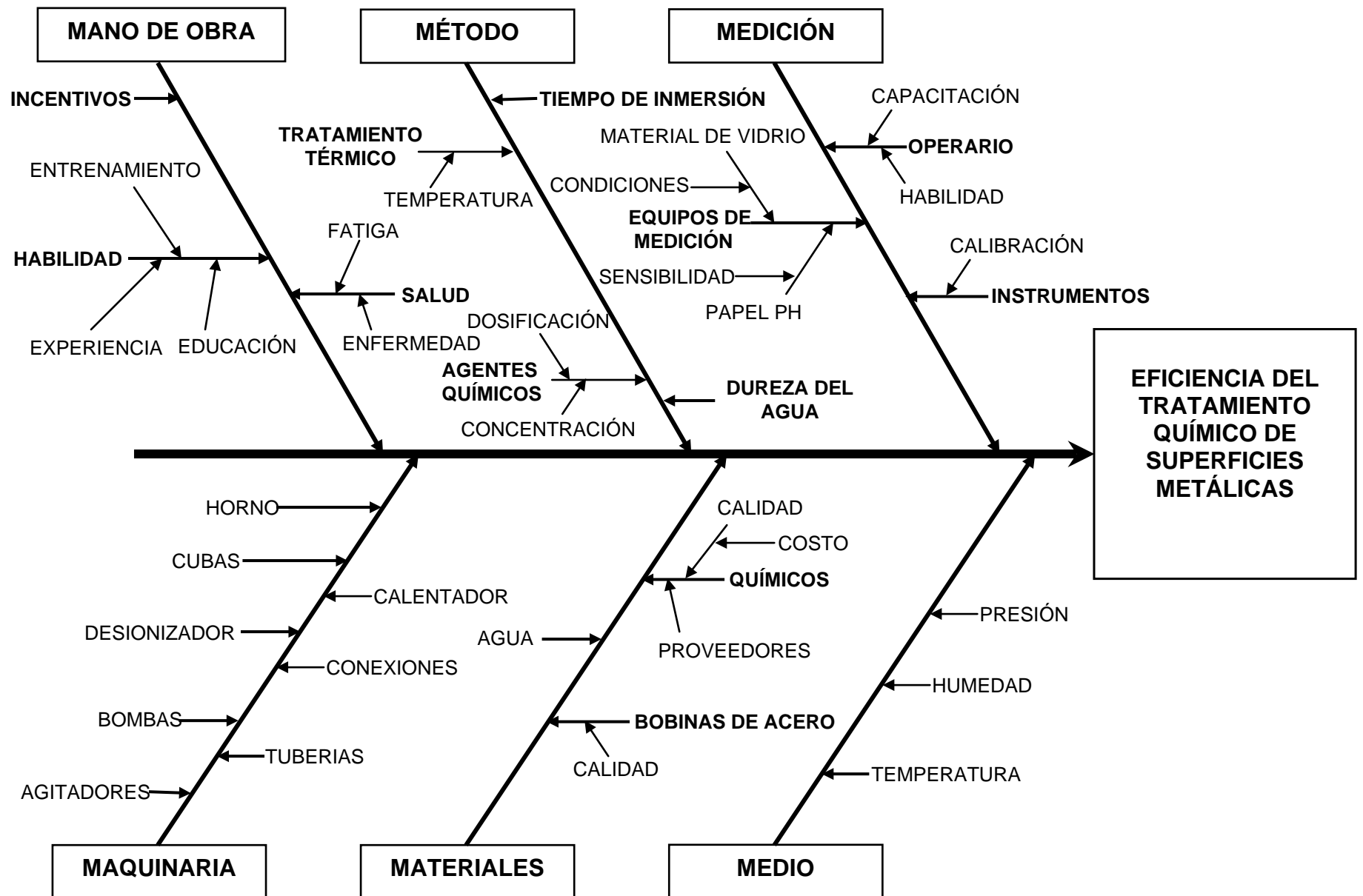


Figura 4.9 Diagrama causa-efecto de los factores influyentes del tratamiento químico de superficies metálicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Doctor Calderon Labs. (2006 Julio). [Página web en línea]. Disponible en:

<http://www.drcalderonlabs.com/Labnews/Labnews6.html> [Consulta: 2006 Julio]

Donofrio, J. (2002). **Zinc phosphating**. Metal finishing, 100(6a), 89-104.

Etzold, U., Hülser, P y Mohr, K (2003). **The Use of Corrosion Inhibitors in Steel Strip Production and Coating**.

Fernández, A y Salager, J. (2004). **Surfactantes**.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/cuadernos/S304.pdf>

[Consulta: 2006 Julio]

Gate, L. Gibbon, D. Jackson, K. Rodnyansky, A. Warburton, P. y Warburton, Y (1999). **Chemical composition, electrochemical, and morphological properties of phosphate conversion coatings**.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.proquest.com>

[Consulta: 2006 Julio]

Giugni, L., Ettetdgui, C., Gonzalez, I., Guerra, V (2005). **Evaluación de proyectos de inversión**. (4^a edición). Editado por la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

Gu C. D., Jiang Z. H., Li G.Y., Lian J.S y Niu L. Y. (2006). **A study and application of zinc phosphate coating on AZ91D magnesium alloy**. Surface & coatings technology. 200 (2006) 3021-3025.

Harvey, David (2000). **Modern analytical chemistry**. McGraw Hill.

Hasler, F. Stone, N. (1997). ***The whys and hows of hydrochloric acid pickling.***

[Documento en línea]. Disponible en:

<http://www.mnsi.net/~pas/hydrochloricwhysnhows.PDF>

[Consulta: 2006 Julio].

Jegannathan, S. Rajeswari, S. Ravichandran, K. Sankara, T (2005). ***Formation of zinc-zinc phosphate composite coatings by cathodic electrochemical treatment.***

[Documento en línea]. Disponible en: <http://sci-lib.net/papers/13.03.2006b/02.pdf>

[Consulta: 2006 Julio].

Kwiatkowski, L (2004). ***Phosphate coatings porosity: Review of new approaches.***

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.proquest.com>

[Consulta: 2006 Julio].

McLaughlin M y Zisman A. (1998). ***The aqueous cleaning handbook.*** (3a. ed.). AL Technical Communications, LLC, Estados Unidos de América.

Perkins, W. (1998). ***Surfactants – a primer.*** Dyeing, Printing and Finishing. 51-55.

Sankara, T (2005). ***Surface pretreatment by phosphate conversion coatings – A review.***

[Documento en línea]. Disponible en: http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_2905/narayanan.pdf

[Consulta: 2006 Julio]

Sparks, Jhon. ***The basics of alkaline in-process cleaning for metal substrates.***

[Documento en línea]. Disponible en: <http://www.p2pays.org/ref/12/11201.pdf>

[Consulta: 2006 Julio]

Troubleshooting guide for powder coatings.

[Documento en línea]. Disponible en: <http://marpolind.com/downloads/>

Marpol_Troubleshooting_Guide.pdf.

[Consulta: 2006 Julio]

Wade, Jr. L. G. (2004). **Química Orgánica**. Quinta Edición. Pearson education, S. A. Madrid.