

Universidad de Camagüey
Facultad de Electromecánica



*Medidas para mejorar el desempeño ambiental en el
proceso de tratamiento térmico de Planta Mecánica
Camaguey.*

*Tesis presentada en opción al título académico de
Master en Ciencias
Eficiencia Energética*

Autor: Ing Ricardo Omar Bautista Fayas
Tutora: Dra C. Sarah Barreto Torrella

Camagüey

2010

~



*"...el hombre
transforma la
naturaleza a medida
que se desarrolla, a
medida que crece su
técnica; el hombre
revolucionaria la*

*naturaleza, mas la naturaleza tiene sus leyes, y la
naturaleza no se puede revolucionar impunemente. Y
es necesario considerar esas leyes como un conjunto, es
necesario e imprescindible y vital no olvidar ninguna
de esas leyes . . . "*

Fidel Castro Ruz

A mis dos compañeras en la vida:

Mi hija Anni; por su motivación y ejemplaridad

*Mi esposa Betsy; por su consagración y
espiritualidad*

Agradecimientos:

A mi tutora Sarah; por su colaboración y enseñanza ilimitada.

A mi hijita; por su apoyo y motivación para desarrollar este trabajo.

A mi esposa; por su sensibilidad constante y por impulsarme a seguir adelante.

A mis camaradas en este combate, especialmente a Fragma, por su estimulación y perseverancia, por demostrarnos que si se puede.

A mis compañeros de trabajo; por su cooperación absoluta cada vez que la he necesitado, por su apoyo

RESUMEN

El presente trabajo se desarrolla en la empresa “Planta Mecánica” de Camagüey, con el objetivo de contribuir a mejorar el desempeño ambiental en el proceso de tratamiento térmico de esa organización. El empleo del “método genérico de producciones más limpias”, que incluye herramientas administrativas y de análisis e ingeniería de procesos, permitió: definir los puntos de mayor impacto en la generación de los residuos y la identificación de los indicadores de desempeño ambiental para el control operacional a los procesos unitarios de tratamiento térmico mediante sales fundidas. Se evidencia la necesidad de disminuir la generación de los residuos, lo que está indisolublemente ligado con el costo, referido al consumo de los productos químicos. Se detecta, que en los hornos de sales se genera la mayor cantidad de residuos sólidos, caracterizados como peligrosos, se desecha el 64 % de su gasto en el residuo y los productos químicos utilizados son clasificados como altamente peligrosos. Se definieron la estrategia, y las acciones de mejora del desempeño; entre las medidas propuestas se definieron: adquirir equipos para la realización de limpieza ultrasónica a las piezas, cambios en los procesos productivos, mediante sustitución de productos químicos, reparación a los hornos, diseño de procedimiento para la gestión de los residuos y sustitución de los hornos de sales por hornos de cámaras para altas temperaturas. Con las acciones propuestas se puede disminuir el 25 % de las emisiones de sales tóxicas, que equivale a una disminución de 7 054,00 \$/año debido al consumo de productos químicos.

ABSTRACT

The present work is developed in the Mechanical Plant of Camaguey, with the aim to contribute to the improvement of the environmental performance in Heat Treatment Process of this organization. The employment of Cleaning Production Generic Method, that's includes management and analysis and process engineering tools, allowed to define the points of major impact on the generation of residuals and to identify the Indicators of environmental performance for the operational control of the unitary processes of heat treatment by means of melted salts. The necessity of diminishing the generation of residuals and the costs related to the consumption of chemical products is proving. It's detecting that the salt furnaces produce the largest quantity of solid waste considered to be dangerous, 64% of salt furnaces consumption is discarded as waste and the used chemical products are classified as highly dangerous. The strategy and improving performance actions were defined; proposed measures includes purchasing equipment for ultrasonic cleaning of the details, changing the productive processes through substitution of chemical products, repairing the furnaces, designing a procedure for handling the residuals and replacing the salt furnaces with those of high temperature chamber. The application of proposing actions can produce emission of poisons salts reduction of 25 %, corresponding to a decrease of \$7 054, 00/year for chemical products consumption.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. GESTIÓN AMBIENTAL EN LOS PROCESOS QUÍMICOS Y TERMOQUÍMICOS EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA	4
1.1. Procesos químicos y termoquímicos en la industria metalmecánica	4
1.2. Gestión ambiental empresarial	11
1.3. Diagnóstico ambiental a los procesos industriales.....	20
1.4. Factibilidad ambiental en la toma de decisiones.....	28
CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.	33
2.1. Causas de la generación de residuos y de los altos consumos de productos químicos	33
2.1.1. Descripción del flujo tecnológico en el taller.....	33
2.1.2. Diagnóstico para determinar el aprovechamiento de los productos químicos, y los residuos generados en el taller de tratamiento térmico.....	36
2.1.3. Análisis de los costos referidos a los productos químicos.....	48
2.1.4. Análisis de la peligrosidad de los productos químicos.	53
2.1.5. Definición de los Indicadores de desempeño ambiental.	54
2.1.6. Inspección al taller de Tratamiento térmico	55
2.2. Identificación de alternativas de mejora de desempeño ambiental.....	62
2.2.1. Definición de la estrategia de actuación.....	62
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MEJORAS DE DESEMPEÑO AMBIENTAL.	65
3.1 Evaluación de las alternativas.....	66
3.2 Programa de mejoras de desempeño ambiental en el taller de tratamiento térmico en los hornos de sales fundidas.....	72
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES.....	77
NOMENCLATURA.....	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS.....	

INTRODUCCIÓN

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) define la Producción más Limpia como la "aplicación continua de una estrategia integrada de prevención a los procesos, productos y servicios, para aumentar la eficiencia y reducir los riesgos a la vida humana y el medio ambiente" (Caraballo, 2005), por lo tanto el impacto ambiental es el elemento esencial a la hora de calificar una acción dentro del concepto de Producción mas Limpia y exige de especialistas y técnicos la incorporación de la dimensión ambiental en su labor, con todo lo que ello significa de conocimiento y dominio de los conceptos y principios de la gestión ambiental.

La Estrategia Ambiental Nacional (CITMA, 2008) pretende materializar la política ambiental cubana, a través de la coordinación e integración de instituciones, sectores y organismos que conforman el Grupo Nacional de Medio Ambiente. La empresa Planta Mecánica Camaguey está destinada a la fabricación y reparación de elementos metalmecánicos. El cumplimiento de su misión se garantiza a partir de un "mapa de procesos" que complementan las condiciones de suministros, servicios internos, mantenimiento y aseguramiento energético, además de la gestión de los residuos generados en los diferentes procesos.

Los procesos de tratamiento térmico y termoquímico son los siguientes: recocido; precalentamientos; cementación; temple; revenidos; limpiezas mecánicas y limpiezas electroquímicas. Se utilizan hornos de cámara de resistencia eléctrica, hornos de sales fundidas, líneas de tratamiento químico, cámaras de chorreado por arena abrasiva.

A lo largo de las diferentes operaciones se requiere un elevado consumo de electricidad, productos químicos y agua (PLAMEC, 2007b). Entre los productos químicos se consumen algunos considerados como peligrosos (INSHT, 2008) (NC, 2003). Además, se emiten gases y polvos a la atmósfera y se generan residuos líquidos y sólidos, incluyendo desechos clasificados como peligrosos (CITMA, 1999). De los \$ 122 250,21 que se gastan en el año en productos químicos en los procesos productivos de PLAMEC, el 10,24 % pertenecen al taller de tratamiento térmico; de éstos, se consume en los hornos de sales el 44 % (PLAMEC, 2008c); todos los productos se clasifican como peligrosos y no se le realiza ningún

tratamiento antes de su disposición final al vertedero de la empresa. (PLAMEC, 2007b)

En la Estrategia Ambiental de la Empresa Planta Mecánica Camaguey (PLAMEC, 2008a) se reflejan las siguientes dificultades relacionadas con el Proceso de Tratamiento Térmico:

1. No está definido correctamente la disposición de los residuos de los hornos.
2. Deficiente explotación de las máquinas de limpieza mecánica (chorreadoras), incluyendo el estado de los sistemas de captación y evacuación del polvo.
3. No hay política de recuperación de los aceites usados.
4. Alto consumo de portadores energéticos (energía eléctrica)
5. Consumo excesivo de productos químicos peligrosos y generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.

Entre las acciones propuestas en esta estrategia están:

- Garantizar un control sistemático de los principales focos contaminantes de las aguas, su caracterización y la exigencia por el cumplimiento de las medidas para eliminar su efecto nocivo.
- Incorporar a la aplicación de nuevas inversiones y reactivación de capacidades industriales tecnologías y producciones más limpias.
- Inventariar y controlar la producción, almacenamiento, tratamiento, reciclado, reutilización, transporte y eliminación de los desechos peligrosos, conforme con la Resolución 87/95, relativo a la gestión de los desechos peligrosos.

La evidencia de los altos consumos de productos químicos (PLAMEC, 2007b) y la necesidad de gestionar los desechos generados partiendo del interés del país en general y de las FAR en particular de lograr la “disminución de los consumos de las materias primas, agua y energía, acompañado de la disminución y aprovechamiento de los residuales” (Consejo de Ministros, 2007), hace necesario definir correctamente los indicadores de desempeño ambiental y lograr su mejora continua.

El alto nivel de residuos generados en las operaciones unitarias del Proceso de tratamiento térmico es el **problema a investigar** en este trabajo.

Teniendo en cuenta la situación existente en la instalación, el **Objeto de investigación** son los residuos del proceso de tratamiento térmico.

Objetivo Principal: Proponer un sistema de medidas para mejorar el desempeño ambiental en el proceso de tratamiento térmico de Planta Mecánica

Objetivos Específicos:

1. Realizar la evaluación del desempeño ambiental del proceso de tratamiento térmico.
2. Identificar alternativas de mejoras del desempeño ambiental del Proceso de Tratamiento térmico.
3. Proponer un sistema de medidas para mejorar el desempeño ambiental en el proceso de tratamiento térmico.

Campo de investigación: Las operaciones y procesos de tratamiento térmico.

Hipótesis: Se pueden elaborar medidas que permitan el cumplimiento de los objetivos del SGA de Planta Mecánica y mejorar su desempeño ambiental mediante la aplicación de métodos de “producciones más limpias” en el proceso de tratamiento térmico.

Con la realización de esta investigación se pretende obtener los resultados siguientes:

1. Identificar las causas de la generación de residuos y de los altos consumos de productos químicos.
2. Evaluar las potencialidades de mejora de desempeño ambiental.
3. Diseñar un programa de mejora de desempeño ambiental.

Las principales tareas a realizar dentro de esta investigación son:

1. Realizar el Diagnóstico ambiental del proceso de tratamiento térmico para recopilar la información acerca de los, los factores que afectan su eficiencia y eficacia y mejora del desempeño ambiental e identificar los parámetros tecnológicos y de operación del proceso de tratamiento térmico, así como las posibles medidas a aplicar para lograr producciones más limpias.
2. Seleccionar los indicadores de desempeño ambiental en el Proceso de tratamiento térmico.
3. Identificar alternativas de mejora de desempeño y evaluar los indicadores.
4. Analizar los resultados. Evaluar prioridades de alternativas de solución.

CAPÍTULO 1. GESTIÓN AMBIENTAL EN LOS PROCESOS QUÍMICOS Y TERMOQUÍMICOS EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA

1.1. Procesos químicos y termoquímicos en la industria metalmecánica

1.1.1. Tratamiento térmico

Entre los procesos conocidos de tratamiento térmico están:

- Recocido
- Temple
- Normalización
- Cementación
- Temple en sales
- Nitruración

El Temple, revenido y la cementación son los de mayor utilización en la industria metalmecánica. El temple se usa para endurecer y aumentar la resistencia de los aceros; consiste en un calentamiento en general al acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior y se enfría más o menos rápidamente en un medio conveniente, que es esencialmente agua o aceite. El temple superficial, se endurece solo la capa superficial de la pieza, luego se enfría con agua. El revenido se da a las piezas de acero que han sido templadas; se calienta a temperatura inferior a la crítica, disminuyendo dureza y resistencia; se eliminan las tensiones del temple, quedando el acero con la dureza deseada. (Barreiro, 1989) (Gómez, Castro, & Muñoz, 2007)

Para definir la tecnología de tratamiento térmico se tiene en cuenta (F. Martínez, 2000):

- 1) Material utilizado (composición química, proceso de obtención)
- 2) Diseño de elemento (configuración, dimensiones)
- 3) Tecnología del proceso (maquinado, fundición)
- 4) Tecnología del tratamiento térmico (equipamiento, distorsiones previsibles, cantidad de piezas, costo)
- 5) Exigencias finales (terminado superficial, propiedades físicas y mecánicas)

Elección del medio del temple

Para obtener mejores resultados conviene usar el medio de enfriamiento menos enérgico capaz de dar al acero una velocidad de enfriamiento superior a la crítica; máxima dureza de acuerdo a su composición y evitar grietas y deformaciones. Para los aceros poco aleados se recomienda el uso del agua. El aceite se usa fundamentalmente para los aceros aleados; debe considerarse la viscosidad, ya que si es muy alta se desecha muy rápido, cuando es muy baja se volatiliza y se pierde con mucha facilidad. Se recomiendan altos puntos de inflamación y combustión para evitar humos y peligro de incendios (Barreiro, 1989) (F. Martínez & Gordon, 1985) (Gordon, 1985) (Correa, 2008).

En aceros para herramientas de alta aleación que endurecen a más de 1 100 °C la velocidad de temple de 980 °C a menos de 650 °C es crítica para obtener un tratamiento térmico óptimo y la dureza del material (Crucible-Service, 2008).

Tipos de Temple

Los tipos de temple usados actualmente son (M. Martínez & Palacios, 2000):

- Temple con enfriamiento continuo
- Temple con enfriamiento interrumpido
- Temple con enfriamiento isotérmico
- Austempering, Martempering, patenting.

Utilización de Sales fundidas

Las sales utilizadas en el tratamiento térmico son: Cloruro de Bario, Carbonato de potasio, Carbonato de sodio, Cloruro de sodio, Cloruro de potasio, Cianuro de potasio, Cloruro de calcio, Cianuro de sodio, Hidróxido de potasio, Nitrato de potasio, Hidróxido de sodio, Nitrato de sodio, Nitrito de potasio, Nitrito de sodio (Askeland, 2007) (Barreiro, 1989).

Las ventajas que se obtienen a partir del tratamiento en baños de sales son:

- Reducción de las grietas y deformaciones.
- Se evita la oxidación superficial de acero.

Las desventajas se relacionan con el uso de materiales caros y de difícil manipulación, incluyendo la gestión del residuo que se genera; según criterio de autor, la bibliografía consultada hace poca referencia a la manipulación de estos productos químicos y sus desechos. (Barreiro, 1989) (Laytin, 1985). La norma

cubana NC 229:2002 refiere las medidas generales para manipular los productos químicos peligrosos de forma segura para la salud de los trabajadores y su manejo sin afectar al ambiente (NC, 2003).

Los hornos de crisol con sales fundidas han sido largamente utilizados en el tratamiento térmico de los metales, utilizándose entre otros en los procesos de cementación, nitruración, temple, revenido, sulfinización y selenización. Entre otras ventajas cabe citar la rapidez de tratamiento, la uniformidad de temperaturas, la ausencia de oxidación, y, sobre todo, la facilidad de manejo. El tratamiento térmico más empleado para mejorar las propiedades de una pieza mecanizada es el temple seguido de un revenido. Para conseguir un buen resultado es necesario seguir las indicaciones del fabricante del acero en cuanto a temperaturas y métodos de enfriamiento. (Jorochilov & Gordon, 1972) (Askeland, 2007)

En el mercado se obtienen hornos de construcción metálica, electro soldados, a partir de chapas y perfiles de acero laminado en frío, de gran robustez, con avanzado diseño y protección., preferiblemente con calentamiento por resistencias eléctricas y sistemas de control de la temperatura que contribuyen a mejorar la eficiencia energética, la vida útil de los crisoles y de los materiales usados (Emison, 2007b) (Nabertherm, 2005).

En la actualidad se presentan como alternativas, en los procesos de tratamiento térmico a los metales, tecnologías económicas con mayor control de la calidad de las piezas y menos impacto ambiental por el uso de Hornos al vacío (Nabertherm, 2005) (SCHMETZ, 2005) y hornos continuos (Nabertherm, 2005) (Uriarte & Cobas, 2002); estas tecnologías se caracterizan por utilizarse en procesos altamente productivos, con aseguramiento estable de la producción. Se observa una seria tendencia a construir hornos de cámara con calentamiento eléctrico (Nabertherm, 2005) (CALTEC, 2000) y temple mediante la utilización de gases inertes (Nabertherm, 2005) (Gómez et al., 2007) (BMI, 2005) .

Por lo antes expuesto, se considera que para determinar el tipo de tecnología se debe integrar el análisis de los procesos, las piezas y materiales a tratar, el volumen de la producción, el aseguramiento tecnológico y energético con que se cuenta y los criterios de calidad que se imponen a partir de los requisitos establecidos para la pieza terminada de acuerdo a su utilización.

1.1.2. Tratamientos químicos

En los procesos en los cuales se utilizan sustancias químicas peligrosas es esencial el control de indicadores medioambientales referidos al consumo de estos, el daño a la salud y al medioambiente (J. Martínez et al., 2005) (FUNDES, 2000) . Las informaciones acerca de la reactividad, riesgos a la salud, al medioambiente, condiciones de almacenamiento, transportación y almacenamiento se pueden estudiar en las Fichas de Datos de Seguridad de los Productos Químicos (INSHT, 2008) (FUNDES, 2000) (Byrd, 2001) (Stellman, Osinsky, & Markkanen, 2001).

Si hay que limpiar piezas, se debe considerar primero el material menos peligroso. Idealmente, el método de limpieza preferido implicará el número menor de pasos, se empleará el medio menos tóxico, y generará el menor residuo. Los medios más deseables de limpieza son el aire y el agua. Si éstos no son efectivos, los medios abrasivos con aire y agua son los próximos más deseables. Si para lograr el acabado necesario se requiere el uso de químicos, estos deben probarse en el orden siguiente: las soluciones acuosas de detergentes, las soluciones alcalinas, los ácidos, y los solventes. Esta jerarquía se basa en las propiedades de riesgo de las opciones y de los costos de tratamiento (Environment-Agency, 2004).

Se proponen medidas para optimizar los procesos de tratamiento de superficies metálicas:

- Evitar la necesidad de limpieza de las piezas.
- Reducción de uso de solventes orgánicos, mediante el uso de limpiadores ácidos o alcalinos.
- Uso de agua, de vapor, o de abrasivos como sustitutos para los limpiadores ácidos o alcalinos.
- Uso de abrasivos líquidos para disminuir los desechos metálicos.
- La compra, el almacenaje y la administración de los productos químicos, herramientas, dispositivos y embalajes.

La cita anterior es contradictoria con las características de los procesos de tratamiento térmico, en el caso que estudiamos los procesos de limpieza se ejecutan para mantener condiciones de calidad final del producto y se evalúa la necesidad de limpieza como elemento de entrada al proceso, por lo que sería necesario analizar

limpiezas alternativas que impacten en la eliminación tanto de residuos sólidos como residuales líquidos peligrosos; existen tecnologías que proponen baños ultrasónicos utilizables en los procesos de tratamiento de superficies que pueden ser utilizados en las operaciones de limpieza de piezas metálicas a un mínimo de generación de residuales (Emison, 2007a).

Se propone un orden de prioridad ambiental para los procesos electroquímicos (IHOBE, 2000):

Técnicas de Minimización

- Prolongación de la vida de los baños.
- Minimización de arrastres.
- Optimización de las técnicas de Lavado.
- Devolución de electrolitos arrastrados al baño.
- Sustitución de procesos o sustancias problemáticas en la producción o en el tratamiento de agua residual

Técnicas de Recuperación

- Concentración de sustancias valorizables en el agua de lavado.
- Tratamiento del agua residual.

Un criterio sobre minimización de residuos define la adopción de medidas organizativas y operativas que permiten disminuir, hasta niveles económica y técnicamente factibles, la cantidad y peligrosidad de los subproductos y contaminantes generados (residuos, emisiones al aire y vertido al agua) que precisen un tratamiento o eliminación final (CITMA, 1999) (Medioambiente, 2001).

Esto se consigue por medio de:

- La reducción en origen de los subproductos generados, la adopción de buenas prácticas operativas, la optimización de procesos, el cambio de tecnologías, la sustitución de materias primas y la modificación de productos
- El reciclaje de los subproductos, utilizándose como materia prima en los mismos procesos productores o en otros, en la misma factoría o en el exterior
- La recuperación de las sustancias o recursos de interés contenidos en el subproducto

La *planificación de la prevención de la contaminación* desplaza la filosofía de la gestión ambiental de la reacción ante los problemas a la previsión de soluciones mediante la sustitución de productos químicos, la modificación de procesos y el reciclado interno, de acuerdo con la siguiente secuencia, según (Forbes, 2001) :

1. Aplicar la prevención de la contaminación a todos los aspectos de la empresa.
2. Determinar las corrientes de residuos.
3. Establecer prioridades de actuación.
4. Determinar el origen de los residuos.
5. Definir y ejecutar modificaciones que reduzcan o eliminen los residuos.
6. Medir los resultados.

En PLAMEC se han realizado trabajos investigativos acerca de la mejora del desempeño en los procesos de tratamiento de superficies metálicas; mediante la introducción de inhibidores se logra una disminución de las emisiones de gases, disminuye el volumen de residual líquido ácido que se genera, además de optimizar el consumo de agua y productos químicos (H. E. Sánchez, 2007) ; en esta fuente no se analizan los criterios de valoración ambiental para la propuesta final. Además se investiga en el tratamiento de residuales líquidos; por una parte se realiza una evaluación ambiental donde se valoran los criterios ambientales, técnicos y económicos para la toma de decisiones en el proceso de mejora continua (Galindo, 2008); en este trabajo no se consideran las medidas de reducción en las fuentes contaminantes. En el caso de (Y. E. Martínez, 2008), la evaluación de tratamiento de residuales se centra en la optimización del proceso de reducción del residual crómico sin llegar a evaluar los factores que determinan la generación de la carga contaminante.

1.1.3. Clasificación de residuos peligrosos.

La legislación cubana clasifica los residuos peligrosos de acuerdo a las características de los procesos de Tratamiento térmico y Limpieza química que se requiere como complemento se consideran los siguientes residuos (CITMA, 1999):

- Y7. Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple.

- Y8. Desechos de aceites minerales no aptos para el consumo a que estaban destinados.
- Y9. Mezclas y emulsiones de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
- Y17. Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos.
- Y18. Residuos resultantes de las operaciones de la eliminación de desechos industriales.

Además, se consideran desechos que tengan como constituyentes compuestos de cromo hexavalente, compuestos de cobre, compuestos de zinc, compuestos de mercurio, compuestos de plomo, cianuros inorgánicos, soluciones ácidas o ácidos en forma sólida, soluciones básicas o base en forma sólida.

La clasificación anterior resume algunos de los residuos clasificados como peligrosos que se identifican en la Estrategia Ambiental de PLAMEC; en el proceso de tratamiento térmico se consideran los siguientes desechos (PLAMEC, 2008a):

- Desechos de aceites minerales
- Mezclas y emulsiones de aceite y agua.
- Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales (sales fundidas contaminadas)
- Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida
- Soluciones básicas o base en forma sólida.
- Asbesto
- Desechos industriales (polvos abrasivos, virutas)

A continuación se resumen los tipos de residuos más importantes que genera la industria metalmecánica, referida a los procesos de acabado de metales (Metropolitana & GTZ, 1997, 1998a, 1998b) (Ecolur, 2006) (Hueber et al., 2000) (Ingenieros Asesores, 2005) (Rintoul, 2001).

- Soluciones de aceite de los baños de templado provenientes de las operaciones de enfriamiento.
- Residuos de las operaciones de limpieza alcalina o ácida. Enjuagues del decapado con ácido clorhídrico.
- Soluciones gastadas y residuos provenientes del cromado
- Lodos de tratamiento de aguas residuales provenientes del lavado de metales para remover soluciones concentradas

- Lodos provenientes de las operaciones de desengrasado
- Envases vacíos usados en el manejo de materiales y residuos peligrosos.

Los criterios de clasificación son afines en ambas citas; se consideran como aplicables a los efectos de este trabajo la Resolución 87:99 (CITMA, 1999) , por ser la legislación cubana existente al respecto. No obstante, a juicio del autor esta clasificación generaliza demasiado determinados tipos de desechos y deja margen a dudas, no es el caso de (Hueber et al., 2000) y (NOM, 1993) que refieren los desechos a partir de los tipos de procesos generadores, además del inventario de desechos que realiza la Comunidad Europea (J. Martínez et al., 2005)

Se obtienen referencias al control de las emisiones de residuos y productos químicos mediante planes de emergencia para minimizar los efectos de accidentes y derrames, aunque esto se refiere a acciones de remediación trae consigo un efecto positivo a la gestión ambiental (Culler, 2003) (Cloutier & Cushma, 2004).

1.2. Gestión ambiental empresarial

Para disminuir los costos de producción es necesario reducir los flujos de residuos en la fuente de origen, o sea, aumentar la eficiencia productiva, esto se promueve a partir del uso eficiente de las materias primas, la energía, el agua, al reducir los costos unitarios de producción se reducen los costos necesarios para el tratamiento de los desechos y los costos de inversión y mantenimiento requeridos para esta actividad. Las técnicas de “Producciones más limpias” pueden aplicarse a cualquier proceso industrial, incluye cambios operacionales sencillos, modificación de procesos u operaciones unitarias o el uso de tecnologías más eficientes (Cachaldora, García, Rodríguez, & Gallo, 2006) (CPTS, 2005) (Ochoa, 2007) (PNUMA, 2003) (Ingenieros Asesores, 2005) (Tortosa, 2007) .

En la “Estrategia ambiental” de Planta Mecánica Camaguey, se proyecta la ciencia y la tecnología como soporte a la solución de los problemas que afectan al medio ambiente, propiciando la gestión del desarrollo y aplicación de tecnologías más limpias en el proceso productivo a través de equipos y tecnologías que contribuyan a la preservación del medio ambiente. Los procesos de tratamiento térmico se afectan por el alto costo de las inversiones necesarias para la realización de cambios tecnológicos y por la existencia de productos químicos peligrosos en el proceso de

producción. Es preciso identificar los procesos con alta carga contaminante a partir de sus consumos de materiales evaluando sus costos unitarios y desde estos definir indicadores operacionales para controlar la eficiencia de los procesos (PLAMEC, 2008a). El Sistema de Gestión Ambiental está diseñado en Planta Mecánica Camaguey conforme al Mapa de procesos de la Empresa, el problema fundamental que se observa en su diseño es que no se precisa el método de accionar desde la visión de “producción más limpia”, como instrumento de hacer funcionar el SGA de forma preventiva. (CPTS, 2005) (PLAMEC, 2008b)

Entre las causas fundamentales de la generación de los residuos se plantean según (Tortosa, 2007):

1. Uso de tecnologías obsoletas
2. Materias primas de mala calidad.
3. Maquinaria/equipo en malas condiciones.
4. Inadecuados:
 - rendimiento de producción
 - procedimientos de operación
 - control del proceso e instrumentación
 - materiales de empaque para las materias primas.
 - manejo de materiales e inventario
 - diseño de la maquinaria/equipo.
 - condiciones de procesamiento sin optimizar.
5. Operadores mal entrenados.
- 6 Falta de recuperación o reciclado dentro del proceso.
7. Mantenimiento deficiente.

En los planes de minimización y prevención deben analizarse los procesos industriales como actividades que complementan los esfuerzos destinados a mejorar la productividad de la empresa, como una oportunidad de minimización y mejora; optimizando los recursos y minimizando los residuos y la contaminación implica mejoras en la calidad de los productos, además del complemento económico por lo que el plan de minimización debe integrarse al programa de gestión de calidad de la Empresa (Rovira, Seco, & Pablo, 2003) (Thorpe, 1999).

El Plan de acción de la estrategia ambiental de la Empresa Planta Mecánica se propone integrarse al Programa de Gestión de la calidad, no obstante, la falta de preparación de los cuadros en lo particular y en lo general la falta de aptitud de los trabajadores en esta actividad, trae consigo que no se identifique la relación de los factores económicos y de calidad con la gestión ambiental de la entidad (PLAMEC, 2008a).

1.2.1. Programas de Minimización

Hay que identificar los orígenes y las causas de los efluentes, sus efectos ambientales, el tipo de gestión actual y su coste. Se citan una serie de oportunidades de prevención de la contaminación que giran en torno a las propiedades fisicoquímicas de los productos empleados, del control y del conocimiento del flujo de los productos a lo largo del proceso, del control de los procesos, de la automatización y de las nuevas tecnologías (Rovira et al., 2003); ellos son:

1. Ahorro y correcta gestión del agua.
2. Sustituir los productos químicos por otros menos tóxicos.
3. Considerar la posibilidad de emplear nuevas tecnologías para la fabricación de un producto.
4. Optimización de las concentraciones de productos químicos empleados.
5. Llevar a cabo inventarios, prácticas de conservación y de almacenaje adecuado.
6. Evaluación de los sistemas de producción y la forma como se ejecutan las acciones relacionadas, para verificar la correcta ejecución de los procesos productivos.
7. Cuestionarse si la documentación disponible relacionada con el uso de materiales es cuidada, completa y fácil de entender.
8. Proporcionar al personal criterios relacionados con la utilización de buenas prácticas de trabajo.

Los criterios antes señalados son muy importantes para la preparación de las diferentes herramientas que se utilizan para la realización del diagnóstico y la evaluación de las alternativas de mejoras de desempeño ambiental. Los balances de materiales, los análisis económicos (evaluación de la inversión, tiempos de

reposición, análisis de los costos, el VAN), así como su efecto directo al medio ambiente considerando la peligrosidad de los materiales y los residuos generados, son referencias obligadas para cualquier análisis a realizar dentro de un programa de minimización de contaminantes.

En un Programa de reducción de desechos (PRD) deben cumplirse las etapas siguientes (Menéndez, 2000b) :

- Reconocimiento de la necesidad de reducir desechos.
- Identificar dónde y cómo se pueden reducir los desechos.
- Análisis de factibilidad de las opciones seleccionadas. Implementación de las opciones seleccionadas.

Se propone responder preguntas tales como:

1. ¿Qué corrientes de desechos se producen?
2. ¿Qué volumen?
3. ¿Cuáles son los procesos u operaciones que las producen?
4. ¿Qué desechos son peligrosos y cuáles no? ¿Qué los hace peligrosos?
5. ¿Cuáles son los materiales de entrada que producen corrientes de desechos en un área determinada?
6. ¿Cuán eficiente es el proceso productivo?
7. ¿Qué tipo de almacenamiento se utiliza y a cuánto desecho da origen?

Para la selección de opciones existen muchos criterios. Algunos ejemplos de éstos se dan a continuación (Martin, 1998):

- Cuantía en la que se reducen los desechos.
- Reducción de peligrosidad (toxicidad, corrosividad, etc.).
- Reducción de costos de tratamiento y disposición.
- Antecedentes de éxitos en el tipo de industria.
- Antecedentes de éxitos en la empresa.
- No detrimento de la calidad del producto.
- Costo capital.
- Costo de operación y mantenimiento.
- Facilidades para la implementación.

A criterio del autor, este juicio sobre el programa de reducción de desechos no satisface las necesidades de un programa de mejoras de desempeño ambiental bajo criterios de producciones más limpias, ya que no se refiere a la fuente contaminante, el análisis de las alternativas de mejoras se dedica solo a la disminución de residuos.

Respecto a la minimización de los residuos, se plantea que la reducción en la fuente incluye cualquier actividad que optimice el proceso productivo, pero que a la vez reduzca la formación de contaminantes, o que reutilice insumos, lo que trae como consecuencia una reducción en el volumen de los residuos y en la carga contaminante de los mismos. El reciclaje, por otro lado, incluye cualquier uso posterior que se le de a un residuo fuera del proceso productivo. (Thorpe, 1999)

Los beneficios esperados de la aplicación de un programa de minimización mediante técnicas de producción más limpia, según (Castillo, Rodríguez, Rivera, & Acuña, 2000) (CPTS, 2005) (Galindo, 2008) (Ochoa, 2007) (PNUMA, 2003), son:

- Disminuye los riesgos ambientales asociados a la generación de desechos.
- Disminuye los costos operativos de producción por economía de insumos y de energía
- Reduce en el tratamiento los costos de instalación, operación y los requerimientos de terreno.
- Posesiona mejor a la empresa frente a sus clientes y a la población en general.
- Mejora la calidad de los procesos productivos.

Los beneficios económicos y ambientales de la producción más limpia han sido demostrados y se evidencian en la medida en que estas prácticas se generalizan. Como resultado del estudio detallado del proceso para la obtención de productos o para la prestación de un servicio y las opciones que se generan durante el análisis del ciclo de vida del producto, estudiando todos los procesos, procedimientos y fórmulas, surgen ideas que una vez puestas en práctica, conducen a la concepción de que al contaminar se pierden beneficios. (Y. Sánchez, 2008)

Al proceso de ejecución del programa de minimización o de mejora de la gestión ambiental corresponden las siguientes actividades con las tareas que se enumeran (J. Martínez et al., 2005):

1. Realización de la evaluación detallada
 - Revisar y ampliar la información reunida en la etapa previa.
 - Realizar estudios de campo y ensayos.
 - Organizar y documentar la información.
2. Definición de las opciones de optimización.
 - Proposición de alternativas de minimización.
 - Evaluación y selección de alternativas.
3. Realización del análisis de factibilidad
 - En lo técnico.
 - En lo económico.
 - En lo ambiental.
4. Redacción del informe de la evaluación
5. Ejecución del plan.
 - Selección de proyectos.
 - Obtención de los fondos para su ejecución.
 - Puesta en marcha.

Como se señala anteriormente, la minimización de los residuos debe estar acompañada del control en la fuente, o sea, de una gestión adecuada de los materiales que provocan la contaminación, y esta es la esencia de una política de producción más limpia (PLAMEC, 2007b); el trabajo de mejora de desempeño ambiental debe partir en todo momento de la evaluación del proceso desde el proceso unitario contaminante. El efecto del resultado de un programa de mejoras radica en aumentar la eficiencia del proceso al mínimo coste ambiental.

La mejora de los procedimientos de operación permite el uso óptimo de la materia prima empleada en el proceso de producción. En cualquier empresa, el primer paso para establecer operaciones que conduzcan a la prevención de la contaminación es examinar sus procedimientos de producción y buscar la forma de mejorar la eficiencia. La revisión podría incluir todos los segmentos del proceso desde la recepción de la materia prima hasta la producción y el almacenamiento final del producto (EPA, 2000).

Los ingredientes para un programa de buenas prácticas de operación que se propone en esta cita son:

- Segregación de residuos
- Programa de mantenimiento preventivo
- Programas de capacitación
- Supervisión efectiva
- Planificación y cronograma de la producción
- Asignación de costos y contabilidad.

Para alcanzar producciones más limpias se necesita la conjugación y complementación de los siguientes elementos (Tortosa, 2007):

- Mejoramiento de la gestión de producción.
- Uso eficiente del agua.
- Inventario, almacenamiento y manejo adecuado de los materiales utilizados en el proceso productivo.
- Separación y tratamiento independiente de los residuales.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Reciclaje o reuso de residuales.
- Educación y capacitación de los recursos humanos.
- Modificaciones en los procesos productivos.
- Cambios en el proceso.
- Sustitución de materiales.
- Aprovechamiento económico de residuales. El aprovechamiento puede ser en la misma unidad productiva que generó los residuales o en otras instalaciones pertenecientes a otros sectores, por lo que deben crearse lazos funcionales de carácter interempresarial e intersectorial que garanticen la existencia de una demanda.

Los aspectos señalados por (EPA, 2000) y (Tortosa, 2007) se utilizan como base para diseñar los objetivos para la mejora de desempeño ambiental en los procesos de tratamiento térmico de Planta Mecánica Camagüey (PLAMEC); de estos conceptos se toman los criterios para identificar las alternativas de mejoras.

1.2.2. Medidas de segregación de los residuos

Una experiencia en una industria metalmecánica incluye la segregación y disposición de los residuos sólidos en lugares autorizados, el desarrollo y ejecución de un plan de concientización del personal para el manejo adecuado de residuos sólidos y la aplicación de mejoras en el orden y limpieza de los lugares de trabajo. El plan de manejo consistió en la segregación de los residuos mediante la instalación de contenedores diferentes para cada tipo, para su posterior reciclaje interno o externo, o su disposición, en el caso de los residuos peligrosos, El ahorro asociado a estas medidas corresponde a la disminución de las pérdidas de residuos sólidos aprovechables, reciclándose un 30% de éstos, y a la disminución en los costos de disposición, en alrededor de un 18%. (Castillo et al., 2000)

En PLAMEC existen grandes posibilidades de mejorar la gestión ambiental a partir de la segregación de los residuos; en las auditorías efectuadas a los procesos y servicios se reflejan las oportunidades de minimizar los residuos mediante la caracterización y disposición de estos, y la introducción de acciones de reutilización; esto está previsto en la “Estrategia ambiental de la empresa” hasta el año 2010. (PLAMEC, 2008a) (PLAMEC, 2007b)

1.2.3. Manejo de Residuos Peligrosos

Un “Plan de Manejo de residuos peligrosos” (PMRP) tiene por objetivo la definición de procedimientos y planificación de actividades relacionadas con el manejo de los residuos peligrosos, desde su generación hasta su disposición final o eliminación, de forma tal de resguardar la salud de las personas y se minimizan los impactos ambientales (CONAMA, 2001) (González, 2005) (J. Martínez et al., 2005).

Para la elaboración e implementación de los planes de gestión de los residuos peligrosos debe considerarse (J. Martínez et al., 2005) (González, 2005) :

- Desarrollo de Planes y programas.
- Bases para la reglamentación.
- Vigilancia, control y seguimiento.
- Indicadores de gestión.
- Instalación de infraestructura adecuada.
- Participación del personal.

- Ordenamiento territorial.

De lo anterior podemos resumir lo siguiente:

1. En cada proceso se debe identificar la *posibilidad* de generación de residuos peligrosos; esto se realiza partiendo de los balances de entradas y salidas en las diferentes operaciones unitarias; se distinguen materiales peligrosos y reacciones que ocurren, se puede determinar las características de las corrientes de salida; además se pueden realizar mediciones al proceso.
2. El criterio de peligrosidad, según la legislación vigente en Cuba, se considera conforme con los Anexos de la resolución 87:99 (CITMA, 1999).
3. Cada desecho identificado requiere de un “Plan de manejo”, y este debe considerar las operaciones desde la generación hasta la disposición.
4. Los criterios de minimización tienen como prioridad:
Primero. Reducción en la fuente (Cambio de producto y control).
Segundo. Reciclado (uso, reuso y recuperación).

En PLAMEC existe una clasificación de los residuos peligrosos, conforme a lo que establece la Resolución 87:99 (CITMA, 1999), que se anexa a la “Estrategia ambiental de la empresa” (PLAMEC, 2008a). Dentro del plan de acción se definen tareas encaminadas al manejo de los residuos peligrosos; estos son:

- Definir, documentar e implementar el procedimiento de manejo de los productos químicos (desde la contratación hasta el consumo, tratamiento de los recipientes y residuos generados)
- Actualizar, controlar y cumplir el “Plan de manejo de los productos químicos Peligrosos”.
- Aplicar prácticas de disminución de los productos químicos a partir de los procesos y servicios.
- Definir acciones para el tratamiento a los productos químicos identificados como de baja o en mal estado.

La evaluación de alternativas encaminadas a la gestión de los residuos peligrosos se diseña conforme a los objetivos que se propone la estrategia de la empresa a corto plazo, ya que entre las alternativas a evaluar están: inversiones encaminadas a eliminar o disminuir el consumo de productos químicos peligrosos y por lo tanto de

sus desechos, minimización del consumo de los productos, gestión de los residuos que se generan, etc .

Los tratamientos a los residuos según (Sorinas, 2005) se clasifican en:

- Fisicoquímicos
- Estabilización – Solidificación
- Biológicos
- Térmicos
- Disposición

1.2.4. Gestión de Mantenimiento

El Mantenimiento desempeña un papel determinante en la gestión de cualquier organización, dado que sus resultados deciden sobre aspectos relevantes de esta, como son: seguridad, calidad, costos, medio ambiente, competitividad etcétera. El mantenimiento como acción, desde el punto de vista ambiental, constituye un medio para prevenir impactos, dado que garantiza la fiabilidad de los equipos, lo que reduce el riesgo de ocurrencia de accidentes catastróficos, como incendios, explosiones, emisiones de sustancias tóxicas etc. y una fuente de contaminación porque en su ejecución produce desechos peligrosos (sólidos, líquidos y gaseosos). Las acciones encaminadas a la preservación del medio ambiente en el Mantenimiento, deben tener carácter proactivo y estar integradas a los trabajos que generan los impactos, para asegurar que esta tenga efecto, motivado porque todas las acciones (técnicas, organizativas y económicas) han sido tomadas y documentadas; los procesos están bajo control operacional y las personas poseen los conocimientos y el entrenamiento necesario para ejecutar las acciones establecidas. Para ello es necesario determinar los equipos y procesos de mantenimiento críticos para el medio ambiente. (Pérez, 2000)

1.3. Diagnóstico ambiental a los procesos industriales.

1.3.1. Recopilación de datos. Identificación de los aspectos ambientales

Un programa para la identificación, evaluación y análisis de los aspectos ambientales que contemple el sistema de recolección de datos, balances y el estudio de las variantes de mejora de desempeño ambiental, resulta un método práctico para el

análisis de los aspectos ambientales de una Empresa de forma integral. (León, Aubad, & Ceccon, 2005)

En lo referente a la recopilación de datos, se plantea que conviene recoger datos de cada uno de los efluentes residuales y de los procesos productivos que los generan. Hay que recopilar los datos referentes a todas las materias primas empleadas, como por ejemplo, el consumo anual, consumo por unidad producida, precio de compra, modo de suministro y almacenaje, efectos ambientales, modo de transferencia dentro de la fábrica, caducidad, posibilidad de retornar los envases, etc. De forma similar, para los productos fabricados, es importante conocer la producción anual, el tipo de envase utilizado para la distribución, los efectos ambientales, el porcentaje de producto fuera de especificaciones, etc. (Fisher & Pai, 2000).

En cuanto a los efluentes residuales, es interesante analizar las declaraciones de residuos de los últimos años, poniendo especial énfasis en la generación de residuos especiales. Hay que determinar su generación por unidad de producto, escogiendo las unidades de medida de producción más adecuadas y directamente relacionadas con el producto medido. (Rovira et al., 2003)

En Cuba se han elaborado por parte del CITMA metodologías para la realización de diagnósticos ambientales donde se contemplan los criterios siguientes (CITMA, 2005) (CITMA, 2006):

- Información inicial.
- Educación Ambiental.
- Técnicas de prevención de la contaminación.
- Materia prima. Eficiencia del abasto de agua.
- Eficiencia del uso de la energía eléctrica.
- Manejo y control de residuales líquidos.
- Manejo y control de desechos sólidos.
- Manejo y control de los desechos peligrosos.
- Manejo de sustancias químico – tóxicas.
- Control de las emisiones a la atmósfera.
- Condiciones higiénicas ambientales.
- Protección e higiene del trabajo.

En el Acápito 4.3.1.3, Identificación de aspectos ambientales de la NC ISO 14004:2004 se plantea que el proceso de identificación de aspectos ambientales se

beneficia de la participación de aquellas personas que están familiarizadas con las actividades, productos o servicios de la organización (NC, 2005d).

Existen revisiones bibliográficas sobre herramientas de gestión ambiental entre las que están: Ciclo de vida, ecodiseño, tecnología limpia, gestión de la calidad ambiental total, auditoria ambiental, estudio de impacto ambiental. Estudian el análisis de ciclo de vida (ACV) como un proceso objetivo de evaluación de cargas ambientales asociadas al producto, proceso o actividad. (Llanes, Sarria, & López, 2006) (Rieradevall, 2005) (Vignes, 2001)

El análisis de ciclo de vida se define como una técnica que permite evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad (NC, 2005c), a través de:

A. Recopilación de un *inventario* de las entradas (materia y energía) y las salidas (productos, emisiones atmosféricas, residuos sólidos, etc.), relevantes del sistema (producto, proceso y/o actividad objeto de estudio).

B. *Evaluación de los potenciales impactos* medioambientales generados como consecuencia de las entradas y salidas mencionadas en el paso A.

C. *Interpretación* de los resultados de las dos etapas anteriores (inventario y evaluación de impacto), de acuerdo con los fines que se pretendan lograr con el ACV.

Este criterio de análisis de ciclo de vida permite identificar y evaluar los impactos ambientales en diferentes etapas de la concepción de un producto, resulta interesante como se puede relacionar el concepto de producto a un proceso o servicio (CITMA, 2000) (Kohler et al., 2001) (Vignes, 2001), por lo que se usará esta herramienta, diseñada a través de los diagramas de flujo para la realización del diagnóstico ambiental en el proceso objeto de investigación en este trabajo.

El CITMA ha trazado pautas para la identificación y evaluación de los aspectos ambientales de mayor incidencia en el logro de la producción más limpia, enfatizando en el conocimiento del proceso de producción (González, 2005) .

Se debe estudiar información sobre las operaciones unitarias que lo conforman, las entradas de materias primas y sustancias al proceso (cantidades y tipos), consumos de agua y energía, productos acabados y subproductos generados.

- Identificación de las áreas donde se producen, procesan, bombean, transportan, tratan o almacenan residuales o desechos y sustancias tóxicas, y

localización de los puntos donde se realizan o pueden realizar descargas o emisiones al medio ambiente.

- Evaluar las áreas de almacenamiento para determinar la posibilidad de ocurrencia e incorporación de derrames a las redes de alcantarillado y drenaje pluvial y los procedimientos de limpieza y evacuación de cuando éstos ocurran.
- Descripción de las descargas o emisiones líquidas, sólidas y gaseosas (volúmenes, concentraciones, frecuencia, destino) y evaluación de sus impactos sobre el ambiente circundante. Cuantificación de las salidas del proceso y búsqueda de pérdidas potenciales cuando sean significativamente menores que las entradas.
- Evaluación de los niveles actuales de reutilización/ reciclaje de residuales.
- Identificación de las ineficiencias del proceso y las áreas con administración deficiente, donde la toma de medidas internas contribuye substancialmente a la reducción de los volúmenes y concentraciones de los residuales generados y al uso eficiente de los materiales manejados.
- Identificar áreas en que se pueden reducir el uso de productos químicos y el volumen y concentración de contaminantes en las descargas.
- Idoneidad, funcionamiento y estado técnico-constructivo de los sistemas de tratamiento de residuales.
- Evaluación de oportunidades para lograr mejoras ambientales, con énfasis en las opciones de reducción de residuales y su aprovechamiento económico, ya sea en el mismo lugar donde se generaron o en otras instalaciones diferentes.
- Establecimiento de planes de acción con las metas a alcanzar.

Estos conceptos son de importancia capital para definir el diagnóstico a realizar en el proceso que se identifica como objeto de estudio en la investigación. La recolección de datos se realiza en este trabajo durante un año y se registraran los consumos de materiales, producción realizada y generación de residuos por cada operación unitaria; esta información sirve para la elaboración de las técnicas de análisis y los balances de materiales para desarrollar los objetivos propuestos.

Se describen las generaciones de emisiones gaseosas, residuales líquidos y residuos sólidos junto a los consumos de los materiales y de la energía dentro de los diagramas de flujo de los procesos, se realizan los análisis de peligrosidad de los materiales y los residuos para complementar la información del informe del diagnóstico ambiental.

La NC ISO 14001 propone un método que suele emplearse para evaluar los aspectos e impactos ambientales, consiste en asignar valores numéricos a los aspectos e impactos ambientales con el objetivo de organizarlos de manera sistemática y en forma de matrices para cada una de las condiciones: normales, anormales y de emergencia. De este modo, pueden considerarse en una primera etapa tres criterios de selección: la amplitud, la intensidad y la probabilidad de ocurrencia del impacto. Así, por ejemplo, la amplitud reflejaría su extensión (puntual, local o global), la intensidad representaría el grado del impacto negativo al medio ambiente, que podría ser alto, medio o bajo; y la probabilidad estimada (alta, media o baja) de ocurrencia del efecto sobre el medio ambiente. De esta forma se asignan los valores: 1 (nivel bajo), 2 (nivel medio) y 3 (nivel alto) conforme a la tabla que se ilustra a continuación. La suma de estos valores de amplitud e intensidad (o probabilidad para el caso de riesgo ambiental) tiene un valor nominal que varía entre 2 y 6, lo cual da el nivel de importancia o grado de calificación del efecto. A su vez este nivel de importancia del aspecto o impacto ambiental puede clasificarse, por ejemplo, como despreciable 2, moderado, entre 3 y 4, crítico, entre 5 y 6, y no aplicable. También podría elaborarse una matriz para establecer la relación aspecto-impacto, al definir el nivel de significación o importancia (baja, media o alta) de donde puede resultar un esquema para la valoración ambiental de las áreas de actividad de la organización. (CITMA, 2000; NC, 2004)

El uso de criterios ayuda a establecer qué aspectos ambientales e impactos asociados considera significativos. Cuando se establecen criterios para determinar la importancia, se debe considerar lo siguiente según las NC ISO 14000 (NC, 2005a, 2005c) (Gale & Barg, 2000) (EPA, 2000):

a) Criterios ambientales (tales como escala, severidad y duración del impacto, o tipo, tamaño y frecuencia de un aspecto ambiental).

- b) Requisitos legales aplicables (tales como los límites de emisión y descarga en los permisos y reglamentaciones, etc.).
- c) Las inquietudes de las partes interesadas, internas y externas (como las relacionadas con valores de la organización, imagen pública, ruido, olor o degradación visual).

Como soporte a la evaluación de los aspectos ambientales, se plantea que para identificar los aspectos ambientales se requiere considerar todas las actividades que generan impactos, incluyendo las principales, secundarias y auxiliares. Deben considerarse las condiciones normales, anormales y de emergencia, las actividades presentes y las planificadas. Se parte de una fotografía real de la situación existente y se requiere optimizar los recursos y esfuerzos a solucionar los impactos significativos. (Rodríguez, Sardiñas, Cortés, Alomá, & Brito, 2006)

Para la evaluación, se debe tener en cuenta: Toxicidad, riesgos al medioambiente, Impacto, sensibilidad, frecuencia, afectación al entorno, probabilidad de ocurrencia. Aunque todos estos parámetros son de importancia para el resultado final, no se propone un método para la realización de la evaluación. (Masoliver, 1999) (SEMARNAT, 2005).

Los métodos de evaluación ambiental referidos por los autores anteriormente citados proponen criterios subjetivos de diferentes niveles de importancia, por lo que siempre el análisis para definir el índice de importancia de los impactos ambientales pasa por un alto grado de riesgo que depende en gran medida de las condiciones internas y externas en que se desarrolla la empresa evaluada; en nuestro caso, teniendo en cuenta la visión que se propone la investigación de evaluar el riesgo ambiental en la fuente generadora (equipos de tratamiento térmico) los criterios estimadores del impacto ambiental que se proponen, están relacionados con las características tóxicas de los materiales usados en el proceso, cantidad de productos químicos peligrosos consumidos y riesgos potenciales de contaminación por los métodos de gestión de los residuos.

1.3.2. Indicadores de desempeño ambiental

La NC ISO14031:2005 proporciona orientación sobre el diseño y el uso de la evaluación del desempeño ambiental (EDA) dentro de una organización. Esta norma

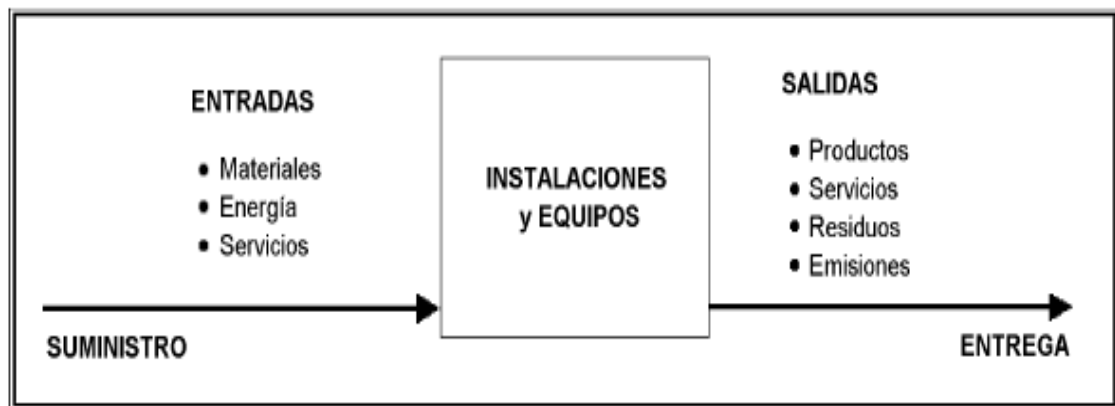
describe las categorías de indicadores de la evaluación del desempeño ambiental. La información transmitida a través de indicadores para la EDA se puede expresar como medidas directas o relativas, o como índices. Los indicadores para la EDA pueden ser agregados o ponderados según corresponda a la naturaleza de la información y al uso que se le pretenda dar. (NC, 2005b)

Los “Indicadores de desempeño de gestión” (IDGs) se usan para dar seguimiento a:

- la implementación y eficacia de varios programas de gestión ambiental;
- las acciones de la dirección que influyen en el desempeño ambiental de las operaciones de la organización y posiblemente en la condición ambiental;
- los esfuerzos de particular importancia para la gestión ambiental exitosa de la organización;
- las capacidades de gestión ambiental de la organización incluyendo la flexibilidad de enfrentarse a condiciones cambiantes, el cumplimiento con objetivos específicos, la coordinación eficaz y la capacidad para resolver problemas;
- el cumplimiento con requisitos legales y regulatorios y la conformidad con otros requisitos suscritos por la organización;
- los costos o beneficios financieros.

Los indicadores del desempeño operacional (IDOs) proporcionan información sobre el desempeño ambiental de las operaciones de la organización. Los IDOs están relacionados con:

- entradas: materiales (por ejemplo: procesados, reciclados, reutilizados o materias primas; recursos naturales), energía y servicios;
- el diseño, la instalación, la operación (incluyendo situaciones de emergencia y operaciones fuera de rutina) y el mantenimiento de las instalaciones físicas y equipos de la organización;
- salidas: productos (por ejemplo: productos principales, subproductos, materiales reciclados y reutilizados), servicios, residuos (por ejemplo: sólidos, líquidos, peligrosos, no peligrosos, reciclables, reutilizables) y emisiones (por ejemplo: emisiones al aire, descargas al agua o al suelo, ruidos, vibraciones, calor, radiación, luz) resultantes de las operaciones de la organización.



Se establecen indicadores de desempeño ambiental medibles. Estos indicadores deben ser objetivos, verificables y reproducibles; Deben ser apropiados para las actividades, productos y servicios de la organización, coherentes con su política ambiental, prácticos, eficaces en cuanto a costos y tecnológicamente viables. Estos indicadores se pueden usar para realizar el seguimiento el progreso de una organización en el logro de sus objetivos y metas. También se pueden usar para otros propósitos, por ejemplo, como parte de un proceso global para la evaluación y mejora del desempeño ambiental. (Garzón, 2001) (EPA, 2001)

Se consideran entre los **Indicadores de desempeño** (INE, 2005) (NC, 2005b) (CITMA, 2008):

- Cantidad de materia prima o energía usada.
- Cantidad de emisiones, residuos producidos por cantidad de producto terminado.
- Eficiencia del material y la energía usada.
- Número de incidentes ambientales.
- Porcentaje de residuos reciclados.
- Cantidades de contaminantes específicos.
- Inversión en protección ambiental.
- Consumo de agua por unidad de producción.
- Consumo de productos químicos peligrosos por unidad de producción.
- Consumo de combustible por unidad de producción.
- Generación de residuos no peligrosos por unidad de producción.

- Generación de residuos de manejo especial por unidad de producción.

En (PLAMEC, 2008a) se definen los indicadores de gestión para medir el comportamiento de la empresa desde el punto de vista ambiental .

Estos indicadores son los siguientes:

- 1) Metros cúbicos de agua consumida por miles de pesos de venta facturada.
- 2) Tonelada de aceite vendido a CUPET por tonelada de aceite comprado.
- 3) Miles de pesos referidos a productos químicos ociosos en existencia en almacenes.
- 4) Toneladas de combustible consumido en la producción por Miles de Pesos de venta facturada.
- 5) Toneladas de Combustible consumido en el transporte automotor por kilómetros recorridos según hojas de ruta.
- 6) Toneladas de residuos químicos vertidos al año.
- 7) Toneladas de Anhídrido crómico consumido en los procesos galvánicos por decímetros cúbicos tratados.
- 8) MWh de energía eléctrica consumida por miles de pesos de venta facturada.

Dentro del indicador número 6 se consideran los residuales generados en los procesos de tratamiento térmico en los hornos de sales fundidas, no obstante en el proceso de tratamiento térmico los indicadores se deben referir al consumo y al costo de los materiales peligrosos utilizados en los procesos identificados como de mayor incidencia en el consumo; esto es importante para la integración de la gestión ambiental a la eficiencia del proceso y por lo tanto a identificar la mejora de desempeño como gestión integral para la empresa.

1.4. Factibilidad ambiental en la toma de decisiones

1.4.1. Evaluación de Factibilidad

El chequeo detallado de las opciones de mejora requiere de un análisis extenso para determinar cuales de las opciones son técnicamente factibles, y determinar los beneficios medioambientales y económicos de llevar a cabo estas opciones (Ochoa, 2007) (Menéndez, 2000a).

Una vez que se identifican las opciones mediante técnicas como el diagrama de Pareto, es importante chequear si todas las causas identificadas son dirigidas adecuadamente por las opciones o si se requieren opciones adicionales para satisfacer cualquier causa que todavía permanezca pendiente. Las opciones directamente aplicables son las opciones simples obvias y que pueden llevarse a cabo enseguida. Para estas opciones no se requiere ningún análisis de factibilidad detallado y extenso. Además, su aplicación inmediata rinde beneficios reales, tangibles.

La “Guía técnica general de producción más limpia de Colombia” (CPTS, 2005), aunque detalla diferentes herramientas para diagnosticar, identificar y evaluar las condiciones ambientales, realiza la evaluación de factibilidad a partir de los aspectos económicos.

1.4.1.1. Evaluación técnica

La evaluación técnica debe cubrir los aspectos siguientes (Ochoa, 2007) (Galindo, 2008).

- Consumo de materiales y de energía.
- Calidad de los productos y subproductos.
- Corrección del problema.
- Recursos humanos requeridos.
- Riesgos en llevar a cabo la opción.
- Facilidad de aplicación.
- Tiempo requerido para la aplicación.

1.4.1.2. Evaluación medioambiental

La evaluación medioambiental debe incluir la estimación de los siguientes beneficios que cada opción puede traer (Ochoa, 2007) (CPTS, 2005):

- Reducción probable en la cantidad de desperdicios y emisiones generadas
- Reducción probable en la descarga de desperdicios y emisiones peligrosas, tóxicas, o no biodegradables
- Reducción probable en el consumo de recursos naturales no renovables

1.4.1.3. Aspectos de seguridad

Desde el punto de vista de la seguridad, pueden usarse los siguientes criterios para evaluar opciones de mejoras (Ochoa, 2007):

- Mejoramiento o degradación de la seguridad asociada con cambios en los procesos.
- Cambios en los riesgos asociados con el almacenaje y manipulación de materiales y/o desperdicios
- Riesgos asociados con cambios en el diseño del puesto de trabajo
- Reducción probable del nivel de riesgo en el lugar (desde el punto de vista de seguridad del proceso)

1.4.1.4. Evaluación económica

Los componentes principales de la evaluación económica son (Ochoa, 2007) (CPTS, 2005) (Galindo, 2008):

- Inversión
- Costos operativos

Estos beneficios y costos se analizan y se calculan entonces usando varios criterios de evaluación, por ejemplo el periodo de retorno, el valor actual neto (VAN), la Tasa interna de retorno (TIR).

Tanto (CPTS, 2005) como (Ochoa, 2007) plantean que en la evaluación económica al valorar los flujos de cajas se debe tener en cuenta solo los ingresos por ahorros y costos operativos que se implementan debido a las medidas de producción más limpia o de mejora del desempeño ambiental.

Los valores de las tasas de descuento dependen de las características de las empresas, del tipo de producción o servicio que realiza, etc; en el caso de las industrias metalmecánicas se trabaja con un 10 %, establecido en el Ministerio de las Fuerzas Armadas.

El tiempo de evaluación de la inversión puede ser desde 4 hasta 7 años.

$$VAN = -I_o + \sum \frac{FC_{anual}}{(1 + r)^n}$$

$$TR = I_o / FC_{anual}$$

1.4.2. Selección y priorización de opciones factibles

Un método para priorizar las opciones es la de asignación de puntos, o matriz de priorización (Ochoa, 2007) (Galindo, 2008). Esta es una ayuda cuantitativa para la toma de decisiones.

Los criterios con los cuales hay que evaluar las opciones varían de una empresa a otra, pero pueden considerarse los siguientes criterios:

- Período de retorno
- Ahorros anuales después del período de retorno
- Probabilidad de éxito en lograr los ahorros previstos después del cambio
- Beneficios no financieros de la empresa, por ejemplo: seguridad, mantenimiento, aspectos medioambientales

Habiendo decidido cuales opciones de mejoras implementar, muchas veces quedan fijados los objetivos de las mejoras. Entonces se seleccionan uno o más indicadores de la realización para medir el éxito alcanzado en la consecución de los objetivos.

Se diseña una matriz similar para la evaluación de procesos, valorando los criterios de calidad, ambientales y económicos, donde se establece mayor importancia a los criterios ambientales (Galindo, 2008). El autor considera que este concepto de priorización no puede en ningún caso ser forzado. El criterio que se defina en una entidad para evaluar la toma de decisiones en aras de priorizar acciones que contribuyan a mejorar el desempeño ambiental debe tener carácter de integración del sistema de gestión de la empresa; para ello se requiere que se trabaje en condiciones de equipo de expertos y la definición del grado de importancia a los diferentes aspectos se deben aprobar desde la visión de la mejora de la eficacia y la eficiencia del proceso o servicio. El criterio económico siempre es fundamental para discutir la factibilidad de una medida y el efecto ambiental puede defenderse a partir de la mejora de los indicadores económicos y de calidad del proceso.

Para la realización del trabajo se emplearán los siguientes materiales y métodos:

- Método genérico de evaluación de “Producciones más limpias” (ver anexo 20), según (Ochoa, 2007).
- Balances de masa y energía.
- Revisión y análisis de registros e informes técnicos.
- La inspección.

- El procesamiento de la información con ayuda de Excel.
- Diagramas de Pareto. (Ferreira, 2005)
- Diagrama de Ichicawa. (Ferreira, 2005)
- La lógica de la información recopilada.
- La encuesta.
- La tormenta de ideas.
- Análisis económico.
- Análisis financiero.
- Lista de verificación.
- Diagramas de flujos de procesos.
- Diagramas cuantitativos de generación de residuos.

CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.

2.1. Causas de la generación de residuos y de los altos consumos de productos químicos

2.1.1. Descripción del flujo tecnológico en el taller.

El taller de tratamiento térmico de la Unidad básica de servicios a la producción (MEGATER) tiene el objeto de prestar los servicios de tratamiento térmico a las piezas y conjuntos de otras Unidades de la empresa. Las tecnologías utilizadas en estos procesos son convencionales, consisten fundamentalmente en operaciones de precalentamiento, recocido, cementación, temple, enfriamiento, revenido y limpieza. Los diagramas de flujo (Figuras 1, 2, 3 y 4) reflejan la información de entradas y salidas de materiales y residuos por proceso unitario (PLAMEC, 2008d); se completan con la información obtenida de los planes técnicos económicos de la Unidad de servicios a la producción (PLAMEC, 2008c).

2.1.1.1. Descripción del proceso de tratamiento térmico a las herramientas.

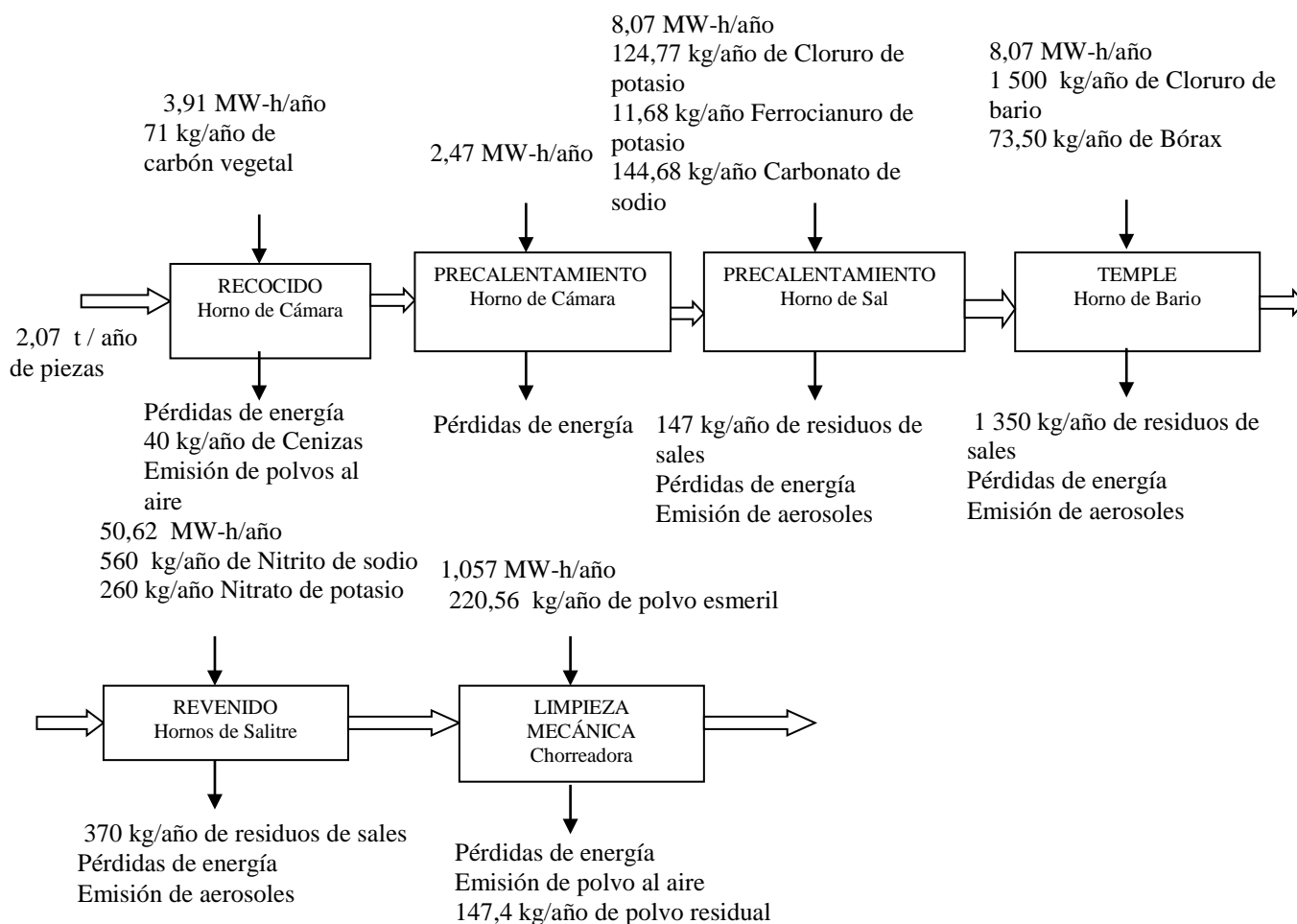


Figura 1. Diagrama de flujo de tratamiento térmico a las herramientas

Antes del tratamiento térmico, se realiza la operación de recocido. En este caso el acero se calienta aproximadamente de 860°C a 900°C en un horno de cámara de 58 kW, en cajas con carbón vegetal y después de permanecer a esta temperatura se enfría hasta 750°C. En este intervalo de temperaturas se mantienen las piezas entre 1,5 a 2 horas. Posteriormente se realizan precalentamientos previos, primero de 500°C a 600°C en un horno de cámara de 58 kW y después de 830°C a 860°C en un horno de sales fundidas de Carbonato de sodio y Cloruro de potasio de 160 kW de Potencia. La temperatura de temple es hasta 1 230°C; esta operación se realiza en un horno de sales de Cloruro de bario de 160 kW de Potencia. El enfriamiento de temple se realiza en el horno de Salitre compuesto por sales fundidas de Nitrito de sodio y Nitrato de potasio a una temperatura de 500°C y 160 kW. El revenido del acero se efectúa mediante un triple revenido a 560°C, manteniéndolo cada vez una hora a esta temperatura en hornos de salitre. La limpieza se realiza en una chorreadora de arena abrasiva (PLAMEC, 2008d, 2008f).

2.1.1.2. Descripción del proceso de tratamiento térmico a piezas principales

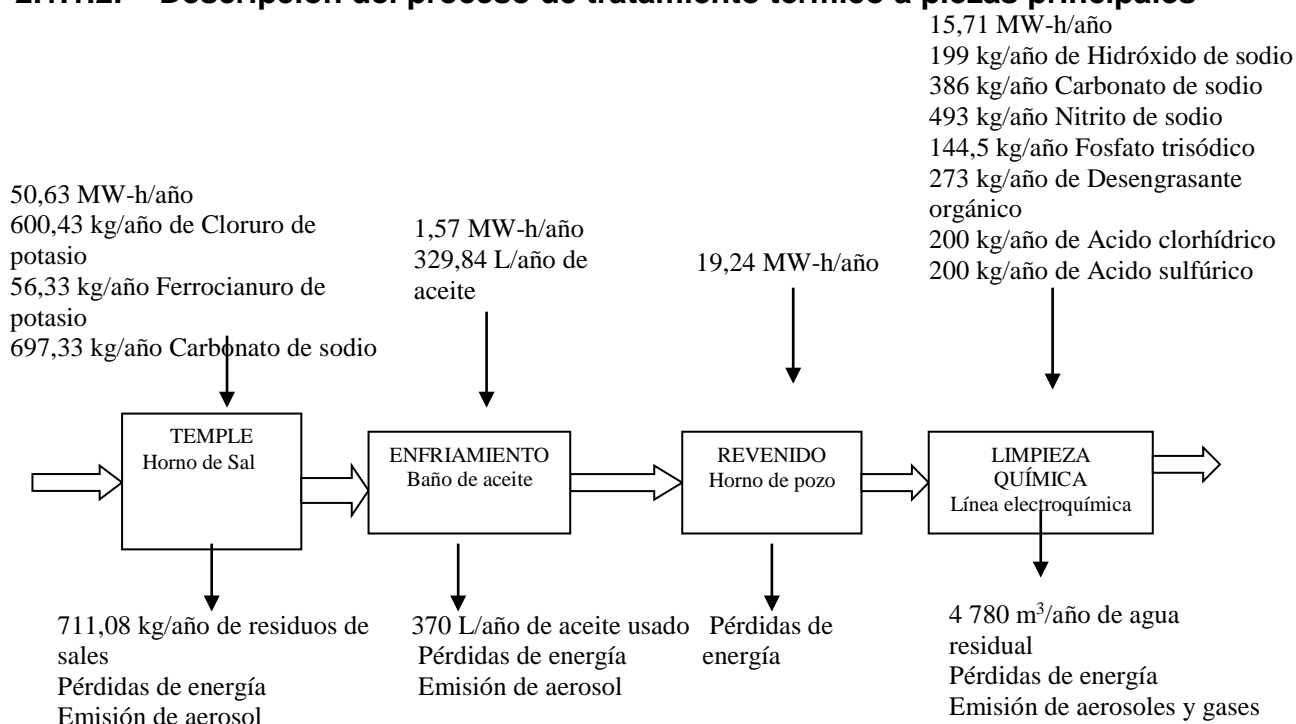


Figura 2. Diagrama de flujo de tratamiento térmico a las piezas principales.

El temple se realiza en el horno de sales fundidas (Carbonato de sodio y Cloruro de potasio), a 160 kW y temperatura 840 °C con el objetivo de aumentar la dureza de la pieza así como la resistencia al desgaste y la resistencia mecánica, el enfriamiento es en aceite a 70 °C . Después se le da revenido en un horno de pozo de 37,2 kW . Como

resultado del revenido el acero adquiere las propiedades mecánicas requeridas. Finalmente las piezas se limpian en la línea electroquímica (PLAMEC, 2008d, 2008e, 2008f).

2.1.1.3. Descripción del proceso de tratamiento térmico a piezas auxiliares con cementación.

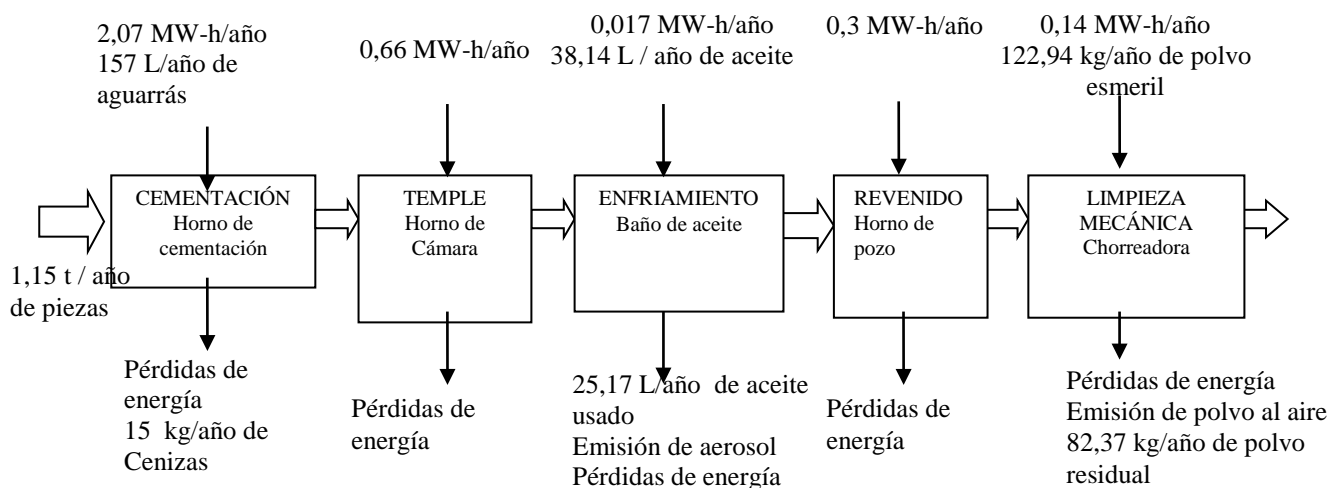


Figura 3. Diagrama de flujo del tratamiento térmico a las piezas auxiliares con cementación.

En el caso de piezas que trabajan a grandes esfuerzos y grandes rozamientos, en su tratamiento térmico figura la cementación: proceso de saturación de la capa superficial del acero con carbono. Se distinguen dos tipos fundamentales de cementación: cementación sólida y gaseosa.

Esta última es la utilizada en el taller, se realiza en un horno de cementación de 73 kW de potencia para obtener una profundidad a cementar de 1,3 mm a 1,6 mm se le da un tiempo de permanencia en el horno de 10 horas a 920°C. Después del proceso de cementación se realiza el temple en un horno de cámara de 58 kW con un calentamiento hasta 780°C ; el enfriamiento es en aceite.

La operación final del tratamiento térmico de las piezas cementadas es el revenido hasta 600 °C en un en un horno de pozo de 37,2 kW.

Las propiedades finales de las piezas cementadas se logran como resultado del tratamiento térmico que se realiza después de la cementación. Luego se limpian las piezas cementadas en una chorreadora de arena abrasiva (PLAMEC, 2008d).

2.1.1.4. Descripción del proceso de tratamiento térmico a piezas auxiliares sin cementación.

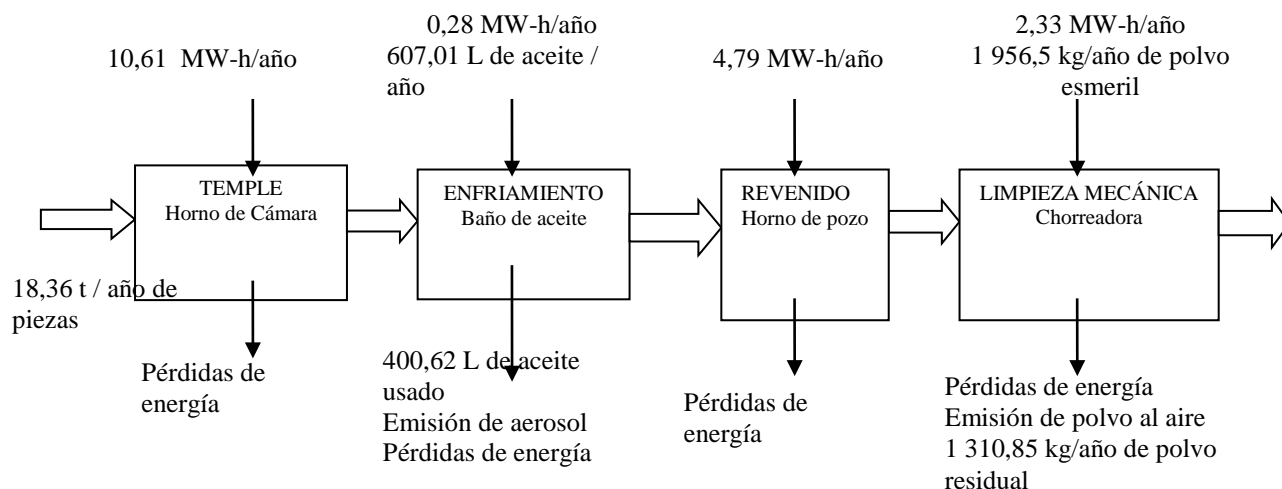


Figura 4. Diagrama de flujo del tratamiento térmico a las piezas sin cementación.

A las piezas auxiliares que no requieren cementación, se les realiza el temple en un horno de cámara de 58 kW con un calentamiento hasta 1 000°C, y enfriamiento en una cuba de aceite o agua, según el material. El revenido se realiza hasta 600°C en un horno de pozo de 37,2 kW. La limpieza de las piezas se realiza en una chorreadora de arena abrasiva (PLAMEC, 2008d).

2.1.2. Diagnóstico para determinar el aprovechamiento de los productos químicos, y los residuos generados en el taller de tratamiento térmico.

Para realizar el diagnóstico del Taller de tratamiento térmico, se ha obtenido la información del informe técnico económico del año 2008 en la Unidad de Servicios a la Producción de la Empresa Planta Mecánica Camaguey (PLAMEC, 2008c). Se utilizan como documentos de trabajo los siguientes:

- Diagramas de flujo de los procesos de Tratamiento térmico realizados en el taller (Figuras 1, 2, 3 y 4). (PLAMEC, 2008d, 2008e, 2008f)
- Consumos de materiales durante el año 2008 por equipo tecnológico (o proceso unitario). (Anexo 2). (PLAMEC, 2008c)
- Producciones realizadas y residuos sólidos y líquidos generados en el taller de tratamiento térmico durante el 2008. (Anexo 1). (PLAMEC, 2008c)

- Los diagramas de flujo de los procesos incluyen la información obtenida durante la investigación del proceso productivo del taller en el año 2008. Esta información se obtuvo mediante la recolección de los datos que se incluyen en la información técnica – productiva y económica de la Unidad de Servicios a la Producción (PLAMEC, 2008c, 2008d, 2008e, 2008f)

Se caracterizan los cuatro procesos identificados teniendo en cuenta las variables siguientes:

- Masas de piezas para cada proceso, en toneladas: MP_i
- Masas de productos químicos y materiales que se utilizan o se gastan en los procesos unitarios, en kilogramos: MPQ_j
- Masas de los residuos sólidos que se generan en los procesos unitarios, en kilogramos: MR_{ij}
- Volumen de aceite usado que se genera en los procesos, en litros: VRA
- Volumen de residual líquido generado en los procesos electroquímicos, en metros cúbicos: VRL
- Energía eléctrica equivalente (suma de todos los portadores energéticos), que se consumen en los procesos unitarios, en MegaWats-horas: EE_i

En el Anexo 1 se resumen los datos de producción, consumo de energía, generación de aguas residuales, aceites usados, residuos de polvos abrasivos y de productos químicos usados en los hornos de sales durante el año 2008; la información acerca de los consumos de productos químicos se completa con el anexo 2. Se puede observar que el proceso productivo está muy poco organizado; a pesar de ser procesos altamente consumidores de energía y de materiales se manifiesta un bajo aprovechamiento de la capacidad de producción, lo que es visible por las diferencias en cuanto a las cantidades de producción realizadas durante el año 2008.

El uso más importante de la energía es como elemento calefactor. Se ha detectado ineficiencia en la utilización de la energía producto a la organización de la producción (el tiempo necesario para calentar los hornos es como promedio hasta un 10 % del que se consume en los procesos) (PLAMEC, 2007b) (PLAMEC, 2008a). El aprovechamiento de los productos químicos resulta ineficiente; los hornos de sales se cambian cada vez que se utilizan en campañas (PLAMEC, 2008c) (PLAMEC, 2007b). Los criterios de consumo de materiales que se obtienen de la literatura consultada indican que los hornos de sales

tienen una vida útil de más de 5 años, en nuestro caso el promedio es de 2 a 3 meses. (M. Martínez & Palacios, 2000) (CEPIS-OPS, 2000)

El tratamiento a las herramientas se realiza cuatro meses en el año con producciones que oscilan entre 0,24 y 1,25 toneladas; igualmente ocurre con la producción total, las producciones varían de 0,29 a 4,31 toneladas. Esto confirma la desviación en el régimen de producción; las causas principales que originan este problema tienen carácter externo a las posibilidades de planificación del proceso en el taller de tratamiento térmico.

Gráfico residuos generados en los hornos de sales

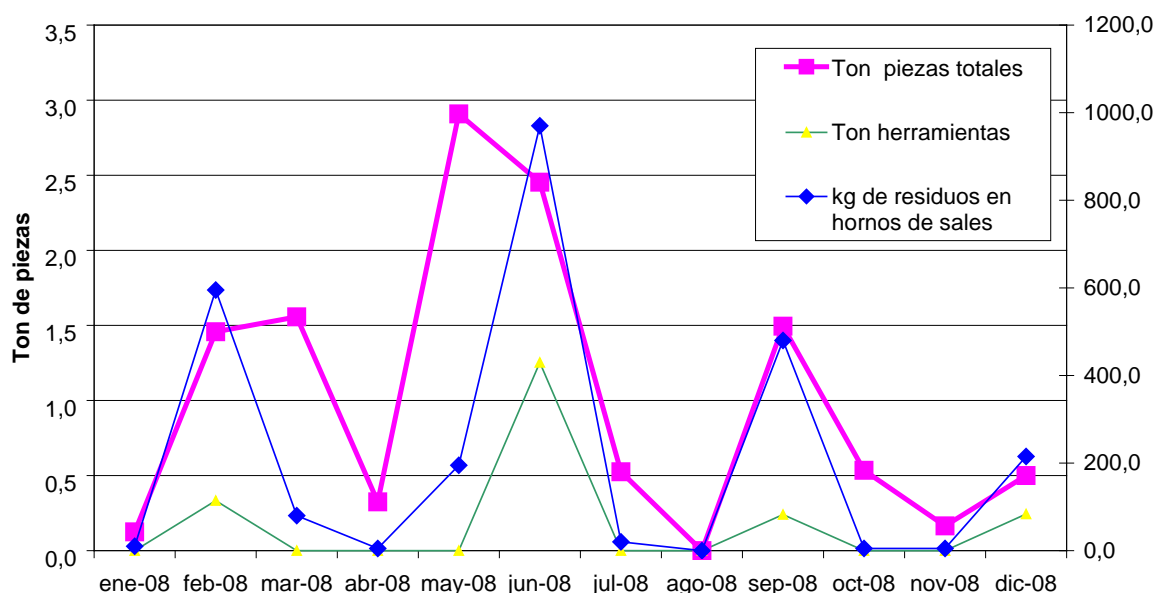


Figura 5. Gráfico de residuos químicos peligrosos generados en los hornos de sales.

Al analizar el gráfico de la figura 5 (generación de residuos contra toneladas de producción total y de herramientas en los hornos de sales), se observa que la tendencia a los picos en la generación de residuos peligrosos generados en los hornos de sales se relaciona con el tratamiento a herramientas; específicamente en los meses de febrero, junio, septiembre y diciembre, meses en que se realizaron las campañas de tratamiento térmico a las herramientas.

2.1.2.1. Medición de los residuos generados en los procesos.

En la evaluación preliminar de los procesos existentes en el taller se identifican las siguientes corrientes de residuos; los datos se obtienen de (PLAMEC, 2008c) (PLAMEC, 2007b):

1. Residuos peligrosos generados en los hornos de sales (MRsales): **2 580 kg / año**
2. Residuos de aceites usados generados en el baño de enfriamiento (Vau): **650 L / año**
3. Residuos de polvos abrasivos generados en la operación de limpieza mecánica (MRpa): **1 540 kg / año**
4. Residual líquido generado en la operación de Limpieza electroquímica (VRL):
4 780 m³ / año

Los residuos se reflejan mensualmente en el anexo 1. *(Datos de la producción durante el año 2008)*(PLAMEC, 2008c)

Métodos de medición:

Las mediciones de los desechos sólidos se realizan utilizando una báscula semiautomática *PM – 1 – 13 M (0 a 1000 kg)*.

La medición de los aceites gastados se realiza por relación volumétrica del efluente residual, o sea: *largo del recipiente x ancho x altura cubierta de la cuba*.

La medición de los residuales líquidos se obtiene por el reporte registrado en la sala de tratamiento de residuales.

Los métodos de registro y control de los residuos se consideran en la instrucción de trabajo de tratamiento térmico (PLAMEC, 2007a).

2.1.2.2. Mapas cuantitativos para las corrientes de residuos identificadas.

A continuación se reflejan los mapas cuantitativos de los residuos que se identifican en el taller utilizando la información del balance general de materiales.

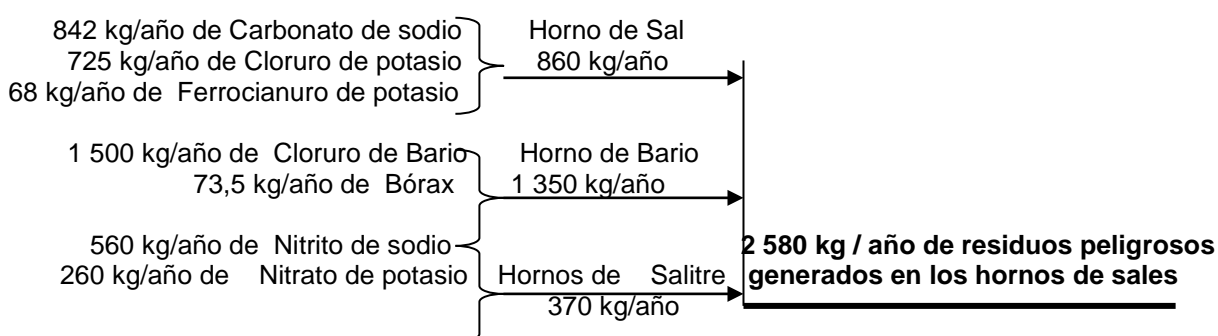


Figura 6. Mapa cuantitativo de generación de residuos de los hornos de sales

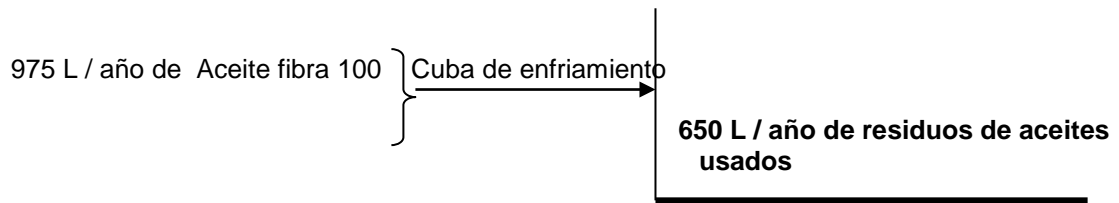


Figura 7. Mapa cuantitativo de generación de residuales de aceites usados.

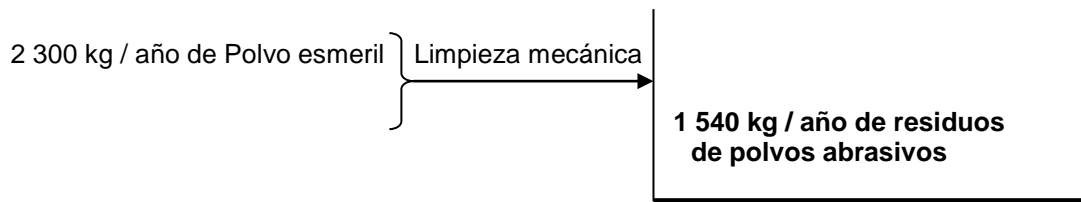


Figura 8. Mapa cuantitativo de generación de residuos de polvos abrasivos.

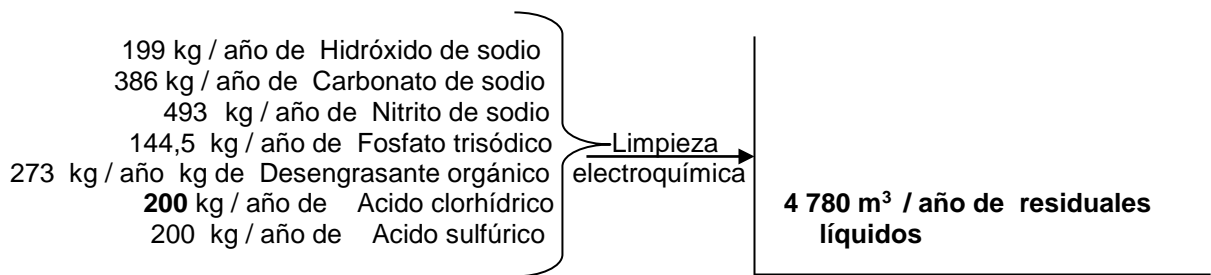


Figura 9. Mapa cuantitativo de generación de residuales líquidos galvánicos.

En los mapas cuantitativos de generación de residuos se relacionan los residuos que se forman con los materiales que provocan su producción. La importancia de estos diagramas es que permiten identificar de forma preliminar las relaciones de consumo de productos químicos frente a la generación de los desechos y es la base de la estrategia de actuación para el diagnóstico ambiental de los procesos productivos. (Ochoa, 2007)

Esta información se toma como punto de partida para evaluar a los hornos de sales como los procesos unitarios de alto impacto ambiental negativo específicamente por la generación de residuos y por los consumos de productos químicos.

2.1.2.3. Balance de los productos químicos

Se realiza el cálculo del balance de consumo de los productos químicos por proceso tecnológico para cada operación tecnológica. Los datos totales de consumos por operación se obtienen del anexo 2. (*Productos químicos consumidos durante el año 2008*) (PLAMEC, 2007b)

Los métodos de registro y control de los residuos se consideran en la instrucción de trabajo de tratamiento térmico (PLAMEC, 2008f).

Para cada operación o proceso unitario se identifican los productos que se utilizan.

$$MPQe_{i,j} = MPQi * \% MPj$$

Para las operaciones en el horno de sal

MP herramientas: 2,07 t/año

MP principal: 9,98 t/año

MPQe (KCl): 725 kg/año

MPQe(Na₂CO₃): 842 kg/año

MPQe(K₄Fe(CN)₆): 68 kg/año

Para las herramientas:

MPQe (KCl): 725 kg/año * (2,07 t/año / (2,07 t/año + 9,98 t/año)

MPQe (KCl): 124,57 kg/año

MPQe (Na₂CO₃): 842 kg/año * (2,07 t/año / (2,07 t/año + 9,98 t/año)

MPQe (Na₂CO₃): 144,67 kg/año

MPQe (K₄Fe(CN)₆): 68 kg/año * (2,07 t/año / (2,07 t/año + 9,98 t/año)

MPQe (K₄Fe(CN)₆): 11,68 kg/año

Para las piezas de producción principal:

MPQe (KCl): $725 \text{ kg/año}^* (9,98 \text{ t/año} / (2,07 \text{ t/año} + 9,98 \text{ t/año}))$

MPQe (KCl): 600,43 kg/año

MPQe (Na_2CO_3): $842 \text{ kg/año}^* (9,98 \text{ t/año} / (2,07 \text{ t/año} + 9,98 \text{ t/año}))$

MPQe (Na_2CO_3): 697,33 kg/año

MPQe ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$): $68 \text{ kg/año}^* (9,98 \text{ t/año} / (2,07 \text{ t/año} + 9,98 \text{ t/año}))$

MPQe ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$): 56,32 kg/año

Para las operaciones en el horno de bario:

MP herramientas: 2,07 t/año

MPQe (BaCl): 1 500 kg/año

MPQe ($\text{B}_4\text{O}_7\text{Na}_2$): 73,5 kg/año

Para las operaciones en los hornos de salitre:

MPQe (NaNO_2): 560 kg/año

MPQe (KNO_3): 260 kg/año

Tabla 1. Resumen de los consumos de productos químicos por operación (proceso unitario)

Operación	Producto químico	U/M	Procesos de tratamiento térmico a:			
			Herramientas	Piezas principales	Piezas Auxiliares sin cementación	Piezas Auxiliares Cementación
Recocido	Carbón vegetal	kg	71,00			
Horno de Sales	Cloruro de Potasio	kg	124,57	600,43		
	Carbonato de sodio	kg	144,67	697,33		
	Ferrocianuro de potasio	kg	11,68	56,32		
Cementación gaseosa	Aguarrás de pino	L				157,00
Horno de Bario	Cloruro de bario	kg	1500,00			
	Bórax	kg	73,50			
Horno de Salitre	Nitrito de sodio	kg	560,00			
	Nitrato de potasio	kg	260,00			
Enfriamiento por aceite	Aceite Fibra 100	L		329,84	607,01	38,14
Limpieza Mecánica	Polvo abrasivo	kg	220,56		1956,50	122,94
Limpieza Química	Carbonato de sodio	kg		386,00		
	Hidróxido de sodio	kg		199,00		
	Nitrito de sodio	kg		493,00		
	Fosfato trisódico	kg		144,50		
	Acido clorhídrico	kg		200,00		
	Acido sulfúrico	kg		200,00		
	Desengrasante orgánico Androx	kg		273,00		

En la tabla 1 se reflejan los consumos de productos químicos que se gastan en los procesos durante el año 2008. De esta información se puede concluir que el Cloruro de bario es el producto que más se concentra en una operación (el *temple en el horno de bario*) (724, 64 kg/t) y el tratamiento a las herramientas como el proceso de mayor consumo específico.

(1 432,37 kg/t).

2.1.2.4. Balance de materiales general anual para los hornos de sales

El cálculo de las corrientes durante el año 2008 se realiza para los hornos de sales; las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$MPQ_e = MPQ_s + MPQ_{cp} + MP_{pérdidas}$$

$$MP_{pérdidas} = MPQ_e - MR_s - MPQ_{cp}$$

$$MPQ_{cp} = C_{Enc} * MP * 1000 \quad (\text{kg/año})$$

Donde:

C_{Enc}: Consumo específico por operación, según la norma de consumo tecnológica. (kg/kg) , de acuerdo a la IT 3487. Instrucción de trabajo para los hornos de sales (PLAMEC, 2008f).

En la tabla 2 se refieren los consumos específicos de los productos químicos en los hornos de sales y el consumo óptimo (ideal) que se corresponde con la producción ocurrida en el proceso durante el año 2008. (PLAMEC, 2008f) (ver anexos 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4)

Tabla 2. Normas de consumo específico de los productos químicos en los hornos de sales (kg de productos químicos por kg de piezas tratadas).

Producto químico	Consumo específico (kg/kg de piezas)	Consumo óptimo en el proceso (kg/año)
Cloruro de potasio	0,01	120,48
Carbonato de sodio	0,01	120,48
Ferrocianuro de potasio	0,001	12,05
Cloruro de bario	0,02	41,40
Bórax	0,001	2,07
Nitrito de sodio	0,02	165,60
Nitrato de potasio	0,02	165,60

MP: Masa de producción que pasa por la operación unitaria. (kg/año)

Para el horno de sal:

Productos químicos que entran al proceso:

$$MPQ_{entrada} = MPQ_e (KCL) + MPQ_e (Na_2CO_3) + MPQ_e (K_4Fe(CN)_6)$$

$$MPQ_{entrada} = 725 \text{ kg/año} + 842 \text{ kg/año} + 68 \text{ kg/año}$$

MPQ entrada = 1635 kg/año

Residuos sólidos que se generan en el proceso:

MRs = 860 kg/año

(Medido en el proceso, ver anexo 1)

Productos químicos que se consumen en el proceso según su norma de consumo:

$$MPQ_{cp} = \sum C_{Enc} * MP * 1000 \quad (\text{kg / año})$$

$$MPQ_{cp} = (C_{Enc}(KCl) + C_{Enc}(Na_2CO_3) + C_{Enc}(K_4Fe(CN)_6)) * (MPherram. + MPprinc.) * 1000$$

De la tabla 2:

$C_{Enc}(KCl) : 0,01 \text{ kg/kg}$

$C_{Enc}(Na_2CO_3) : 0,01 \text{ kg/kg}$

$C_{Enc}(K_4Fe(CN)_6) : 0,001 \text{ kg/kg}$

Del anexo 1:

$MPherram : 2,07 \text{ t/año}$

$MPprinc. : 9,98 \text{ t/año}$

$$MPQ_{cp} = (0,02 \text{ kg/kg} + 0,02 \text{ kg/kg} + 0,001 \text{ kg/kg}) * (2,07 \text{ t/año} + 9,98 \text{ t/año}) * 1000 \text{ kg/t}$$

MPQcp = 253,00 kg / año

Pérdidas en el proceso (valores no cuantificados)

$$Mpérdidas = MPQ_e - MRs - MPQ_{cp}$$

$$Mpérdidas = 1635,00 \text{ kg/año} - 860,00 \text{ kg/año} - 253,00 \text{ kg / año}$$

Mpérdidas = 522,00 kg / año

Para el horno de bario

Productos químicos que entran al proceso:

$$MPQ_{entrada} = MPQ_e (BaCl) + MPQ_e (BaO_7Na_2)$$

$$MPQ_{entrada} = 1500 \text{ kg/año} + 73,5 \text{ kg/año}$$

MPQ entrada = 1573,5 kg/año

Residuos sólidos que se generan en el proceso:

MRs = 1350 kg/año

(Medido en el proceso, ver anexo 1)

Productos químicos que se consumen en el proceso según su norma de consumo:

$$MPQ_{cp} = \sum C_{Enc} * MP * 1000 \quad (\text{kg / año})$$

$$MPQ_{cp} = (C_{Enc}(\text{BaCl}) + C_{Enc}(\text{B}_4\text{O}_7\text{Na}_2)) * M_{Pherram} * 1000$$

De la tabla 2:

$C_{Enc}(\text{BaCl}) : 0,02 \text{ kg/kg}$

$C_{Enc}(\text{B}_4\text{O}_7\text{Na}_2) : 0,001 \text{ kg/kg}$

$$MPQ_{cp} = (0,02 + 0,001) * 2,07 * 1\,000$$

$$MPQ_{cp} = 53,45 \text{ kg/año}$$

Pérdidas en el proceso (valores no cuantificables)

$$M_{pérdidas} = MPQ_e - MR_s - MPQ_{cp}$$

$$M_{pérdidas} = 1\,573,50 - 1\,350,00 - 53,45$$

$$M_{pérdidas} = 170,05 \text{ kg/año}$$

Para los hornos de salitre

Productos químicos que entran al proceso:

$$MPQ_{\text{entrada}} = MPQ_e(\text{NaNO}_2) + MPQ_e(\text{KNO}_3)$$

$$MPQ_{\text{entrada}} = 560,00 \text{ kg/año} + 260,00 \text{ kg/año}$$

$$MPQ_{\text{entrada}} = 820,00 \text{ kg/año}$$

Residuos sólidos que se generan en el proceso:

$$MR_s = 370 \text{ kg/año} \quad (\text{Medido en el proceso, ver anexo 1})$$

Productos químicos que se consumen en el proceso según su norma de consumo:

$$MPQ_{cp} = (C_{Enc}(\text{NaNO}_2) + C_{Enc}(\text{KNO}_3)) * M_{Pherram} * 1\,000$$

$$MPQ_{cp} = ((0,02 + 0,02) * 2,07) * 4$$

$$MPQ_{cp} = 331,20 \text{ kg/año}$$

Pérdidas en el proceso (valores no cuantificables)

$$M_{pérdidas} = MPQ_e - MR_s - MPQ_{cp}$$

$$M_{pérdidas} = 820,00 - 370,00 - 331,20$$

Mpérdidas = 118,8 kg/año

Tabla 3. Resumen de corrientes de materiales en las operaciones realizadas en los hornos de sales.

Operación unitaria	Entradas (kg/año)	Salidas (kg/año)		
		Residuo sólido	Consumo en proceso	Pérdidas no cuantificadas
Calentamiento y temple en hornos de sal	1 635,00	860,00	253,00	522,00
Temple en hornos de bario	1 573,50	1 350,00	53,45	170,05
Revenido en hornos de salitre	820,00	370,00	331,20	118,80
Totales	4 028,50	2 580,00	637,65	810,85

Por las características de los procesos identificados en el diagnóstico, se realizan los balances de materiales para el tratamiento térmico a herramientas y a piezas principales en los hornos de sales.

En la variable “Pérdidas”, se asumen los gases y vapores que no se pueden medir en el proceso y los potenciales derrames no cuantificados.

La variable *productos consumidos en el proceso* se calcula a partir de las normas de consumo que se establecen en la documentación tecnológica del proceso (PLAMEC, 2008f).

En la tabla 3 se puede observar un resumen de las corrientes de entradas y salidas en los hornos de sales

Nos detenernos a analizar que las Pérdidas (valor que no se puede medir en los procesos) es un 20 % de las entradas ; esto puede tener importancia para la realización de una evaluación más específica de este proceso, por lo que sería necesario realizar un análisis de las corrientes de gases y realizar una combinación de los balances de materiales con los balances de energía, lo que no resulta objetivo de nuestro trabajo; no obstante para los intereses que nos proponemos, el 20 % considerándolo como las emanaciones a la atmósfera, resulta aceptable para cumplir el objetivo trazado.

En el horno de bario se refleja el mayor índice de generación de residuo (el 86 % de los productos químicos que entran al proceso); esta ineficiencia se explica ya que la operación de este horno se realiza con un bajo nivel de productividad y se utiliza como método operativo, cambiar totalmente el contenido del horno cada vez que se efectúa una campaña de producción).

2.1.3. Análisis de los costos referidos a los productos químicos.

Se evalúa la forma de integrar la optimización de los recursos a la minimización de los residuos. (Rovira et al., 2003)

Se utilizan los precios de los materiales tomados de la documentación económica de la Unidad de servicios a la producción (PLAMEC, 2008c) . En la tabla 4 se refieren los precios y costos totales de cada producto, conforme a la referencia citada anteriormente.

Tabla 4. Costos de los productos químicos utilizados en el proceso de tratamiento térmico

Producto químico	U/M	Precio	Cantidad	Costo total (\$/año)
Cloruro de potasio	\$/kg.	1,11	725,00	804,75
Carbonato de sodio	\$/kg	0,6	1 228,00	736,80
Ferrocianuro de potasio	\$/kg	0,46	68,00	31,28
Cloruro de bario	\$/kg	1,48	1 500,00	2 220,00
Bórax	\$/kg	0,82	73,50	60,27
Nitrito de sodio	\$/kg	0,77	1 053,00	810,81
Nitrato de potasio	\$/kg	0,96	260,00	249,60
Carbón vegetal	\$/kg	2,4	63,00	151,20
Aceite fibra 100	\$/L	0,51	975,00	497,25
Arena abrasiva	\$/kg	1,35	2 300,00	3 105,00
Aguarrás de pino	\$/L	1,47	157,00	230,79
Hidróxido de sodio	\$/kg	0,59	199,00	117,41
Acido clorhídrico	\$/kg	0,15	200,00	30,00
Acido sulfúrico	\$/kg	0,25	200,00	50,00
Fosfato trisódico	\$/kg	0,63	144,50	91,04
Desengrasante ANDROX	\$/kg	3,32	273,00	906,36

En la tabla 5 se resumen los consumos de productos químicos en los procesos unitarios u operaciones realizadas en los equipos tecnológicos, identificando los gastos de materiales en unidades de masa (kg) y en unidades financieras (\$). Se utilizan los resultados de los balances de productos químicos obtenidos en el acápite 2.1.2.3 y que se resumen en la tabla 1.; de esta información se obtienen los resultados que se resumen en la tabla 5 (costo de los productos químicos que se consumen en los procesos unitarios).

Tabla 5. Costo anual de productos químicos consumidos en los procesos unitario

Proceso unitario	Cantidad anual (kg)	Costo (\$ / año)
Hornos cámara	71,00	170,40
Carbón vegetal	71,00	170,40
Horno de sal	1 635,00	1 341,23
Carbonato de sodio	842,00	505,20
Cloruro de potasio	725,00	804,75
Ferrocianuro de potasio	68,00	31,28
Horno de bario	1 573,50	2 280,27
Cloruro de bario	1 500,00	2 220,00
Bórax	73,50	60,27
Horno de salitre	820,00	680,80
Nitrito de sodio	560,00	431,20
Nitrato de potasio	260,00	249,60
Limpieza mecánica	2 300,00	3 105,00
Polvo esmeril	2 300,00	3105,00
Cementación	210,00	230,79
Aguarrás de pino	157,00	230,79
Enfriamiento por Aceite	975,00	497,25
Aceite fibra 100 (l)	975,00	497,25
Limpieza electroquímica	1 895,50	1 806,02
Hidróxido de sodio	199,00	117,41
Carbonato de sodio	386,00	231,60
Nitrito de sodio	493,00	379,61
Fosfato trisódico	144,50	91,04
Desengrasante	273,00	906,36
Acido clorhídrico	200,00	30,00
Acido sulfúrico	200,00	50,00

El gasto total referido a los productos químicos consumidos en el taller es de **\$ 10 111,76 al año** (tomado de la tabla 5).

Tabla 6. Estructura de gastos de productos químicos por proceso unitario

Proceso unitario	Gastos (\$ / año)
Limpieza mecánica	3 105,00
horno de bario	2 280,27
Limpieza electroquímica	1 806,02
Horno de sal	1 341,23
Horno de salitre	680,80
Enfriamiento por Aceite	497,25
Cementación	230,79
Hornos cámara	170,40

El análisis de los costos reflejó que la operación más costosa es la limpieza mecánica (\$ 3 105,00), que es el 30,7 % de los gastos de productos químicos en el taller; le siguen por su importancia el horno de bario (22,6 %) la limpieza química (17,9 % y los hornos de sal y salitre (13,3 y 6,7 %). En la tabla 6 se detallan los gastos por procesos unitarios y en el anexo 4 se describe gráficamente la estructura de los gastos, lo que permite identificar las operaciones que inciden con mayor impacto en el costo operacional del taller. Se observa que los hornos de sales representan el 43 % del gasto total; los hornos de sales y la limpieza mecánica representan el 73 %.

Conforme a la literatura consultada, los residuos más importantes que se generan en los procesos de tratamiento térmico son los polvos de sílice procedentes de la limpieza mecánica; la solución que propone respecto a la disminución de los polvos es reciclar el polvo de sílice, remover los tóxicos de la arena peligrosa con silicato de sodio y óxido de calcio mediante estabilización y reducir el uso de arena sin procesar optimizando el sistema de control de la alimentación para el caso de los residuos de sales. (CEPIS-OPS, 2000)

Tabla 7. Costos específicos por procesos unitarios

Proceso unitario	Costo (\$ / año)	Costo por t
Horno de bario	2 280,27	1 101,58
Horno de salitre	680,80	328,88
Limpieza mecánica	3 105,00	143,84
Cementación	230,79	200,02
Limpieza electroquímica	1 806,02	181,01
Horno de sal	1 341,23	111,33
Enfriamiento por Aceite	497,25	16,86
Hornos cámara	170,40	5,40

La evaluación de los costos específicos (\$/toneladas) que se resume en la tabla 7 es útil para identificar la importancia del gasto por unidad de masa de pieza tratada en el proceso y de aquí se infiere que el horno de bario refleja un alto costo específico de 1 101 \$ / tonelada de piezas tratadas, lo que es importante para identificar los procesos unitarios de mayor importancia en la gestión ambiental del taller; lográndose definir que el área de mayor incidencia en la generación de residuos peligrosos es además donde es más costoso el proceso productivo: el horno de bario.

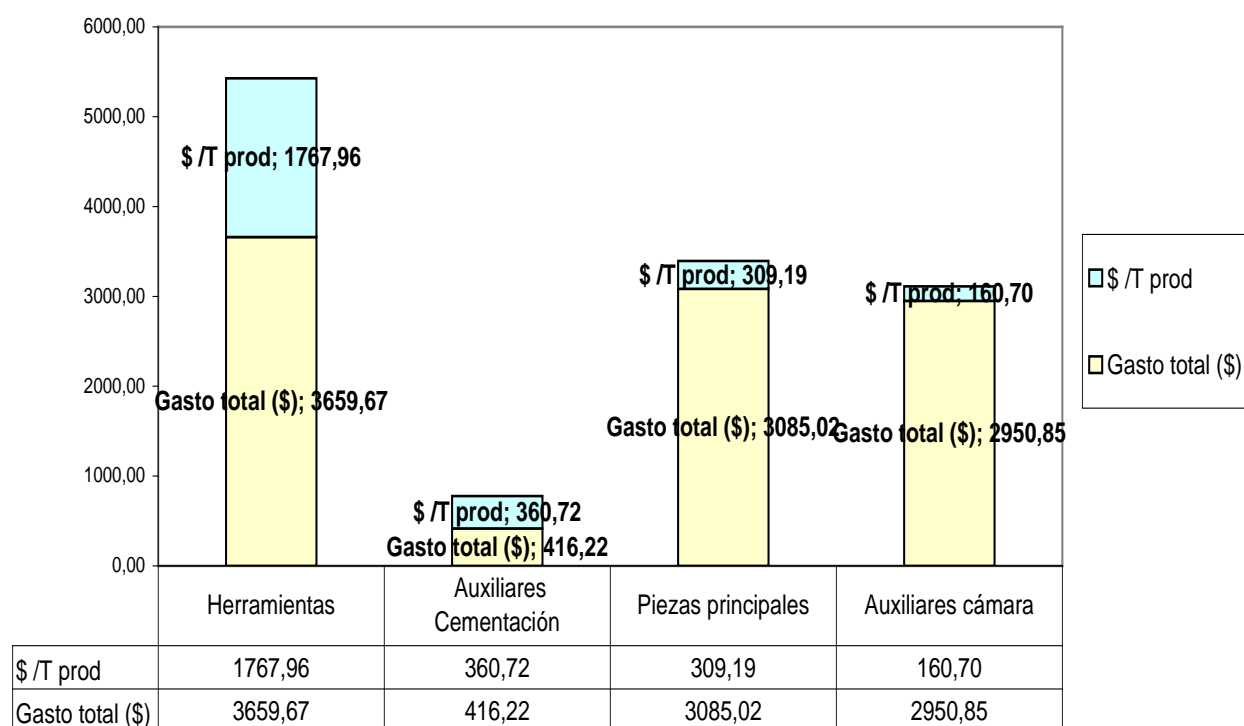


Figura 10. Estructura de gastos y gastos específicos por procesos de tratamiento térmico.

El proceso más costoso en nuestra investigación es el tratamiento a las herramientas (que incluye el horno de bario), con un alto valor de 1 767, 96 \$/tonelada de piezas; esto puede observarse en la figura 10, donde se refleja la estructura de gastos de los cuatro procesos identificados (herramientas, piezas principales, auxiliares en cementación y auxiliares en cámara). En la literatura consultada se plantea que un requisito fundamental para mejorar la eficiencia en los procesos de temple y revenido en los hornos salinos es garantizar la limpieza de las piezas antes de incorporarlas al proceso y suministrar agentes desoxidantes para mejorar la calidad del mismo. (Askeland, 2007) (CEPIS-OPS, 2000)

Tabla 8. Evaluación de los gastos de los productos químicos en los hornos de sales.

Operación unitaria	Gastos (\$/año)			% de gasto en el residuo
	Consumo en proceso	Residuo	Pérdidas totales	
Calentamiento y temple en hornos de sal	211,56	719,14	1 129,67	53,61
Temple en hornos de bario	71,15	1 812,31	2 209,12	79,48
Revenido en hornos de salitre	214,87	240,04	465,93	35,25
Total	497,58	2 771,49	3 804,72	64,42

La tabla 8 se construye resumiendo los resultados de los balances de materiales para los hornos de sales, teniendo en cuenta que en estas operaciones se manifiestan los mayores gastos específicos de productos químicos. La estructura de los gastos permite identificar la ineficiencia económica de estas operaciones. En los hornos de bario se desecha en el residuo el 79 % del gasto en que se incurre en los productos químicos (ver figura 11). Esto es no conforme con los criterios técnicos para este proceso (PLAMEC, 2008f), donde se certifica como permisible desechos entre el 30 y el 40 % de los productos químicos.

La literatura técnica plantea que en los hornos salinos de tratamiento térmico lo admisible es perder como residuo hasta un 25 % del gasto de las sales utilizadas; se refiere que la vida útil de los hornos salinos puede ser de más de cinco años (CEPIS-OPS, 2000) (CONAMA, 2001).

Los hornos instalados en el taller de tratamiento térmico de PLAMEC tienen una vida útil promedio de 4 meses (PLAMEC, 2007b), esto es una referencia consistente para explicar el alto costo de los procesos por pérdidas en los desechos.

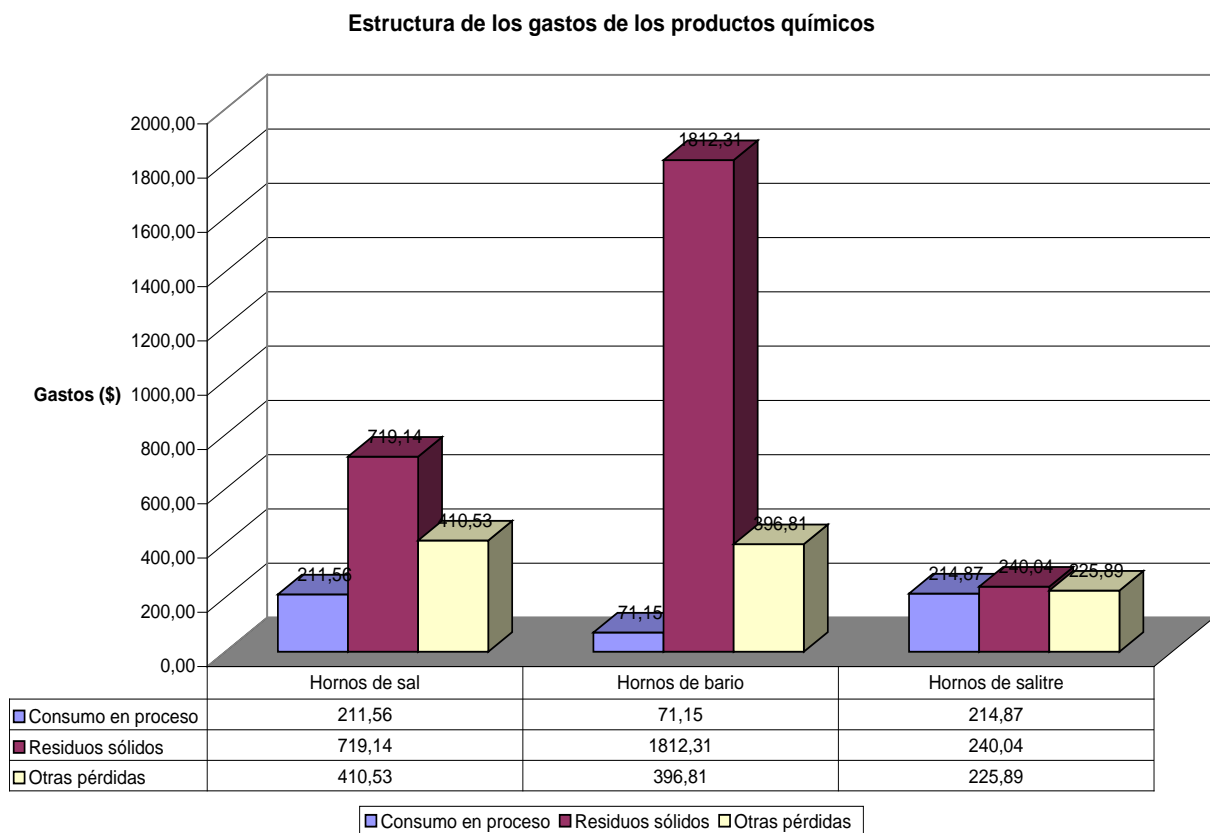


Figura 11. Estructura de gastos por procesos unitarios para los hornos de sales..

La firma *EMISON* propone la operación con hornos de sales a partir de equipos con una construcción de alta calidad, de acero inoxidable electrosoldado, con crisoles de alta resistencia térmica y control automático que identifique posibles roturas de estos (Emison, 2007b). La firma *Nabertherm* define la calidad del tratamiento en los hornos de sales partiendo del grado de vida útil que se le pueda dar a los productos químicos utilizados (Nabertherm, 2005).

2.1.4. Análisis de la peligrosidad de los productos químicos.

En el anexo 5 se refieren las características de peligrosidad de los productos químicos, según las fichas de seguridad presentadas por el sitio WEB del Instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo de España (INSHT, 2008) y la Guía de productos químicos (Stellman et al., 2001). Esta información permite completar la investigación acerca de la peligrosidad de los materiales y de los desechos así como identificar acciones necesarias para la manipulación, almacenamiento y tratamiento final de los residuos generados en los procesos. Los productos químicos que se caracterizan con mayor grado de peligrosidad de acuerdo a la información del anexo 5, se relacionan por orden de peligrosidad:

1. Cloruro de bario
2. Ferrocianuro de potasio.
3. Nitrito de sodio.
4. Nitrato de potasio.
5. Acido sulfúrico.
6. Acido clorhídrico.
7. Bórax (Tetraborato de sodio).

La comisión ambiental metropolitana de México propone caracterizar la peligrosidad de los residuos a partir de las características de los productos que los generan (Metropolitana & GTZ, 1997, 1998a, 1998b). La legislación cubana clasifica la peligrosidad de los residuos con parámetros similares a los que caracterizan la peligrosidad de los productos químicos (CITMA, 1999) Considerando estos criterios, en este trabajo se clasifica la peligrosidad de los desechos que se generan en los procesos unitarios, y por lo tanto de los procesos, partiendo de los materiales que se consumen y los parámetros físicos en que se operan (temperatura, tiempo de operación, características de los equipos). Es importante resaltar que los productos químicos que se consumen en los hornos de sales se clasifican como muy

peligrosos, fundamentalmente cuando se utilizan a altas temperaturas; esto trae consigo que los residuos se clasifiquen igualmente como peligrosos (anexo 5).

2.1.5. Definición de los Indicadores de desempeño ambiental.

Los indicadores de desempeño se definen a partir de la identificación de las operaciones de los procesos que inciden con mayor importancia en la generación de los residuos atendiendo a los criterios definidos con anterioridad:

- Costo de los materiales que generan los residuos.
- Peligrosidad de los productos químicos y los residuos que se generan (inflamabilidad, toxicidad, nocividad al medioambiente, reactividad química)
- Características de los desechos (sólidos, líquidos, concentración).
- Métodos de tratamiento final de los residuos.

Atendiendo a esta información se define lo siguiente:

- El proceso de mayor costo unitario referido al consumo de productos químicos es el *tratamiento térmico a las herramientas*. (**1 767,96 \$ / t**)
- El proceso unitario mas costoso es el *tratamiento en los hornos de Bario*. (**1 101,58 \$ / t**) ; este está relacionado con el proceso de tratamiento a las herramientas.
- En los hornos de sales, el 64 % del gasto incurrido en los productos químicos se desecha como residuo y los hornos de bario reflejan un 79 % como desecho.
- Los productos químicos utilizados en los hornos de sales son considerados como peligrosos, por lo que el manejo de sus residuos requiere que se clasifique como tal.

Los parámetros a controlar pueden ser:

Irsales (Índice de residuos generados)

Cantidad (en kg) de residuos generados en los procesos de tratamiento en hornos de sales fundidas por unidades másicas de producción.

Iccb (Índice de consumo de Cloruro de bario)

Cantidad (en kg) de Cloruro de bario consumido por unidades másicas de producción.

Igpq (Índice de costo de productos químicos)

Gastos (en \$) referido a los productos químicos por unidades másicas de producción.

legpq (Índice de sobregasto de productos químicos)

Gastos (en \$), no asociados a las normas de consumo establecidas para los procesos.

Estos indicadores se comportaron durante el año 2008 de la forma siguiente:

- 1) Irsales = 214,10 kg de residuos por tonelada de piezas de los procesos de piezas principales y herramientas.
- 2) lccb = 724,64 kg de Cloruro de bario por tonelada de piezas de herramientas.
- 3) lgpq = 357,04 \$ / t de piezas principales y herramientas; para los hornos de sales
- 3.1) lgpqt = 320,36 \$ / t de producción total; para toda la producción del taller.
- 4) legpq = 315,74 \$ / t de piezas principales y herramientas; para los hornos de sales.

En este punto, se concentró el trabajo en interpretar la información obtenida en los acápites anteriores. El trabajo debe ser agrupado en las operaciones de tratamiento en hornos de sales; no es factible separar un equipo de otro por ser estos procesos unitarios que completan un proceso, en este caso el tratamiento mediante los hornos de sales.

Por esto, se consideran como indicadores el consumo específico de cloruro de bario, la generación de los residuos en los hornos de sales y el costo de productos químicos en las operaciones de los hornos de sales.

El indicador que expresa el exceso de consumo de productos químicos referido a lo establecido en (PLAMEC, 2008f), es importante para el control del costo, conociendo el equivalente no asociado al proceso.

2.1.6. Inspección al taller de Tratamiento térmico

En la preparación de la inspección al área de trabajo se procede a la revisión de las operaciones que se realizan en los hornos de sales, teniendo en cuenta las actividades siguientes:

- Cumplimiento de las instrucciones de operación para la preparación de los hornos, operación y manipulación y destino final de los residuos.
- Estado del equipamiento.
- Calidad de los productos químicos utilizados.

- Identificación de las corrientes de pérdidas por derrames y emisiones de productos químicos y residuos.
- Condiciones de almacenamiento de los productos químicos.
- Manejo de los residuos generados.

La utilización de una lista de verificación, de acuerdo a criterios del CITMA y el World Bank Group, permite definir una guía con alcance definido para la realización de la inspección (CITMA, 2005) (CITMA, 2006) (World-Bank, 1998). (ver anexo 7)

- Luego de realizar la inspección al taller de tratamiento térmico, se resumen los siguientes problemas identificados mediante el Registro de control *RC 0431. Planillas de observaciones* (PLAMEC, 2007a) (ver anexo 13) :
- 1) El personal que trabaja en el área no está debidamente capacitado en el conocimiento, riesgos, manejo y almacenamiento de los productos químicos (NC, 2003), lo que se demuestra por lo siguiente:
 - El responsable del almacén de productos químicos no conoce las características de los materiales, no comprende la información de las etiquetas de los recipientes de embalaje. (INSHT, 2008)
 - Los trabajadores que manipulan los productos químicos (operarios de almacén, jefe de equipo, tecnólogo, operarios de tratamiento térmico) no tienen acceso a las fichas de datos de seguridad de los productos. (NC, 2003)
 - 2) Están establecidos las especificaciones de calidad para los productos químicos, pero no existe un control adecuado de la calidad en la recepción de los mismos, demostrándose al no presentar el registro *RC.3622. Registro de inspección de entrada*, donde se verifica la conformidad de los materiales usados en el proceso. (PLAMEC, 2007a)
 - 3) Los productos químicos no están correctamente almacenados, el jefe de equipo plantea que no tiene los recipientes tapados ni condiciones para eliminar los derrames al piso, ya que la manipulación dentro del local es manual (NC, 2003) (INE, 2005).
 - 4) Se registra la ocurrencia de los derrames, pero no se identifican los gastos ocurridos ni se establecen acciones preventivas para eliminar riesgos de posibles repeticiones. Esto se comprueba al no presentar el jefe de taller evidencia del

- control de los gastos ni de la notificación de los derrames mediante los documentos que se establecen por el SGC (NC, 2003) (PLAMEC, 2007a) (Catalunya, 2008).
- 5) No está establecido un sistema de gestión de los residuos, no se registran los residuos generados ni su destino final; se recolectan junto a otros residuos del taller y el destino final es enterramiento en el vertedero (PLAMEC, 2008a) (PLAMEC, 2008f), (CITMA, 2008) (CITMA, 1999) (Catalunya, 2008)
 - 6) No están establecidos en el sistema de gestión del Taller el control de los indicadores de consumo de los productos químicos ni de la generación de los desechos (PLAMEC, 2007a) (CITMA, 2008).
 - 7) La construcción de los crisoles y los refractarios es de mala calidad, se detectan problemas con la soldadura y fundición del refractario. (PLAMEC, 2008f)
 - 8) En los hornos de sales no se utiliza el Fluoruro de magnesio como desoxidante, como está establecido en la documentación técnica del proceso (PLAMEC, 2008f) (PLAMEC, 2007b).
 - 9) El régimen productivo es muy bajo y cíclico: Tratamiento a herramientas solo cuatro veces en el año 2008 y en cantidades muy pequeñas, por lo que el proceso es poco productivo y altamente ineficiente. (El 6,19 % de la producción del taller provoca el 36,19 % de los gastos de productos químicos) (PLAMEC, 2008a) (PLAMEC, 2007b)
 - 10) Se realiza mantenimiento periódico a los sistemas eléctricos, en el caso de los crisoles es deficiente el mantenimiento preventivo; no se presentan evidencias de la realización de trabajos de mantenimiento preventivo; se recomienda realizar revisiones mensuales cuando se trabaja de forma estable y cuando se trabaja por campañas cada vez que se realice una parada. (Pérez, 2000)
 - 11) Son importantes las pérdidas que se generan debido a roturas de los crisoles (en los hornos de sales por no utilizar revestimiento interno los crisoles se rompen por las soldaduras con alta frecuencia de ocurrencia). Se detectó que el horno que estaba en explotación no contenía el revestimiento interno. (CEPIS-OPS, 2000) (CEPIS-OPS, 1998) (PLAMEC, 2007b)
 - 12) No están establecidas medidas de manejo de los residuos, no se evalúan acciones de minimización ni de eficiencia del proceso, no se gestionan los residuos peligrosos de acuerdo a la legislación vigente en Cuba (CITMA, 1999)

- 13) El trabajo es muy peligroso para la salud de los trabajadores, por las altas temperaturas a que se trabaja y la generación de gases nocivos inherentes a los materiales utilizados (INSHT, 2008) (NC, 2003) (Stellman et al., 2001).

Se procede a realizar una encuesta (ver anexo 5) a un grupo de trabajadores que se relacionan con los procesos. Los cargos que se identifican para la realización de la encuesta son los que tienen incidencia en el trabajo del taller (administrativo, técnico – directivo, técnico – tecnólogo y operarios)

- Director técnico de la Unidad.
- Tecnólogo del taller.
- Jefe del taller.
- Operarios de tratamiento térmico (2).

La encuesta que se realiza a los trabajadores está conformada según el Anexo 6 (CITMA, 2005) (SEMARNAT, 2005) .

El procesamiento de los datos de la encuesta es el siguiente:

- Se suman los criterios con elementos similares en cada una de las respuestas.
- Se clasifica el grado de importancia por los mayores valores de las sumas.
- Se eliminan los criterios con menos de dos respuestas similares.

Los resultados de la encuesta son los siguientes:

1.a) Influencia en el alto costo del tratamiento térmico de las herramientas:

- Alto consumo energético del equipamiento. (5)
- Bajos niveles de producción a tratar por campañas (5)
- Mal estado de los hornos y transformadores (5)
- Alto consumo de productos químicos (4)
- Las piezas entran sucias al tratamiento térmico. (4)
- Existe un deficiente control de la calidad de los productos (3)
- Planes de producción bajos (2)
- Altos precios de los materiales (2)

1.b) Influencia en el alto consumo de productos químicos.

- Los hornos de sales están en muy mal estado, se rompen los crisoles continuamente. (4)

- Se cambian todos los hornos cuando se hace una campaña (4)
- No se limpian las piezas antes de entrar al térmico (4)
- Hornos de sales sin refractario interno. (3)
- No se recupera un 30 % del contenido de los hornos como se establece en la documentación (2)
- No se usa el cloruro de magnesio como desoxidante (2)

2.) Forma de disminuir los residuos en los hornos de sales.

- Usando otra tecnología (4)
- Reparando los hornos y crisoles (4)
- Limpiando las piezas antes del tratamiento. (4)
- Cambiando la instrucción de trabajo en los hornos de sales (3)
- Controlando más la producción (3)
- Utilizando el cloruro de magnesio (3)
- Usando hornos más pequeños (2)

3.) Forma de mejorar la eficiencia en el tratamiento térmico.

- Cambiando la tecnología (5)
- Invirtiendo en equipos menos consumidores de energía (4)
- Eliminando el uso de productos químicos (3)
- Eliminando la limpieza electroquímica (3)
- Mejorando los procesos productivos (3)
- Aumento las producciones (2)

Del análisis de las encuestas se obtuvo la información base sobre los problemas fundamentales que afectan tanto a la eficiencia de los procesos de tratamiento térmico como al impacto ambiental. Entre los criterios obtenidos se encuentran los problemas operativos y de mantenimiento de los hornos de sales, deficientes criterios tecnológicos, falta de política de gestión de los residuos, existencia de una tecnología muy ineficiente y una insuficiente organización del proceso productivo.

2.1.6.1. Resumen de las deficiencias identificadas.

Para resumir los problemas fundamentales que se detectan en el proceso de tratamiento térmico utilizando los resultados de la encuesta realizada al personal del taller y la inspección que se ejecutó al proceso se confecciona un diagrama Causa - Efecto para identificar la relación entre las causas fundamentales que generan los residuos peligrosos en los hornos de sales, para encausar la estrategia de trabajo posterior en el análisis de las posibles acciones de mejora del desempeño ambiental. (Metropolitana & GTZ, 1998b) (Tortosa, 2007)

Causas Principales:

1. Gestión incorrecta de los productos químicos
2. Problemas técnicos de los hornos y crisoles
3. Métodos incorrectos de gestión y organización

Causas secundarias:

1. Gestión incorrecta de los productos químicos
 - 1.1. No se limpian las piezas antes del proceso.
 - 1.2. Incorrecto procedimiento de cambio del contenido de los hornos.
 - 1.3. No se usan los PQ más efectivos en el proceso como desoxidante
 - 1.4. Malas condiciones de almacenamiento.
 - 1.5. No control de la calidad de los productos químicos
2. Problemas técnicos de los hornos y crisoles
 - 2.1. Se usan hornos sin revestimiento interior
 - 2.2. Mala soldadura de los crisoles.
 - 2.3. No se utilizan los materiales adecuados para el refractario.
 - 2.4. Deficiente sistema de mantenimiento preventivo.
3. Métodos incorrectos de gestión y organización
 - 3.1. Deficiente preparación del personal en el uso de los materiales y gestión de los desechos.
 - 3.2. Deficiente gestión de residuos peligrosos.
 - 3.3. No se establecen indicadores de consumo y de generación de residuos.
 - 3.4. No existen acciones para mejorar el proceso.

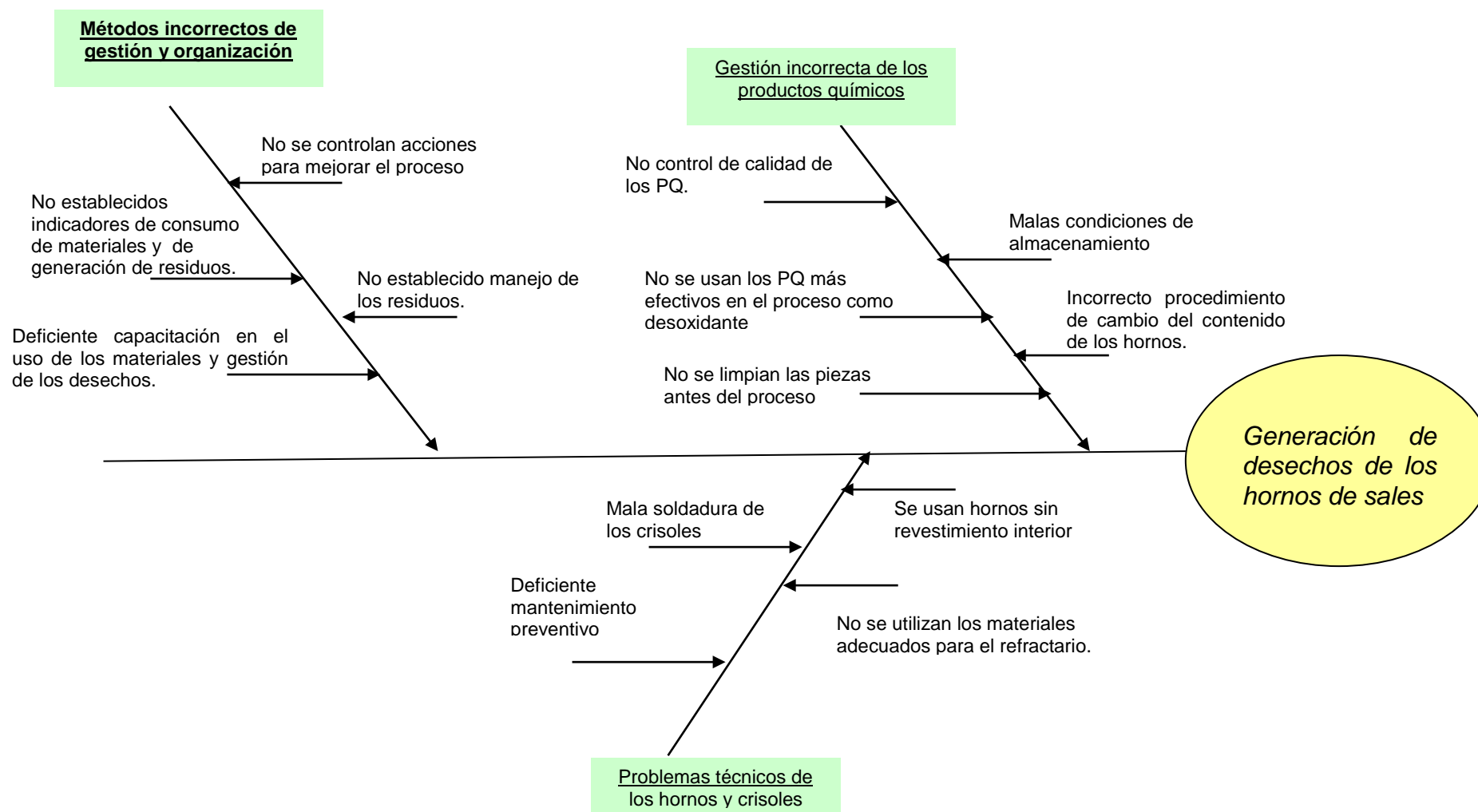


Figura 12. Diagrama causa – efecto para identificar las causas fundamentales que ocasionan la alta generación de residuos peligrosos en los hornos de sales.

2.2. Identificación de alternativas de mejora de desempeño ambiental

2.2.1. Definición de la estrategia de actuación.

Se procede a ejecutar una matriz DAFO para definir la estrategia a seguir para identificar las acciones a acometer dentro del proyecto de mejoras del desempeño ambiental (López, 2002).

Para la realización de la Matriz se identifican las condiciones internas y externas existentes en el taller y en la empresa, utilizando la información obtenida en el epígrafe anterior, además del análisis de la Revisión ambiental inicial de la empresa y la estrategia ambiental hasta el año 2010 (PLAMEC, 2007b) (PLAMEC, 2008a).

Fortalezas

1. Existe personal con experiencia y conocimiento en el trabajo de tratamiento térmico (obreros y técnicos)
2. Están identificados las operaciones críticas que inciden en el aumento de los costos y de la generación de desechos peligrosos.
3. Existencia de laboratorio metalúrgico con amplias posibilidades en la realización de ensayos de metalografía.
4. Aseguramiento tecnológico que garantiza posible aumento de la capacidad productiva: portadores energéticos secundarios (vapor aire comprimido) y agua, sistemas de transformación y suministro de energía eléctrica.
5. Existe en la Empresa un taller con responsabilidad en el tratamiento de los residuales. químicos y galvánicos.

Debilidades

1. No se cumplen criterios de establecidos en la documentación técnica de proyecto inicial acerca del uso de los productos químicos para el proceso.
2. No está establecida la operación de limpieza de las piezas antes de pasar al tratamiento térmico en las sales fundidas.
3. Los operarios y técnicos no conocen los riesgos ambientales ni las medidas necesarias para el control de los impactos ambientales.

4. El almacenamiento de los productos químicos no satisface los requisitos de calidad de estos (envases abiertos, humedad, posible contaminación entre diferentes productos)
5. El completamiento y limpieza de los productos químicos de los hornos de sales provoca excesivo consumo de materiales.
6. Los residuos generados en la limpieza y en los cambios de los hornos de sales se botan junto con toda la basura del taller.
7. No existe registro y control de la medición de los productos químicos y los residuos generados.

Oportunidades

1. Posibilidad de fuentes de financiamiento externo para inversión en la Empresa.
2. Existe conciencia de la alta gerencia del organismo superior acerca de la necesidad de aumentar la eficiencia y disminuir el impacto ambiental (Estrategia ambiental de la UIM y el MINFAR)

Amenazas

1. La Empresa cuenta con planes de producción muy bajos para la capacidad de producción instalada en el taller de tratamiento térmico.
2. No existe una política de gestión de residuos eficaz en el territorio.
3. Las tecnologías limpias en el tratamiento térmico son muy costosas.
4. La tecnología usada consume productos químicos altamente peligrosos para la salud de los trabajadores y al medioambiente.

Al realizar la evaluación en la Matriz (ver anexo 8), se seleccionan los elementos siguientes:

Las fortalezas que deben ser aprovechadas, utilizando las oportunidades existentes son:

- Los recursos humanos con experiencia (obreros y técnicos)
- Aseguramiento tecnológico que garantiza posibles inversiones y aumentos en la capacidad de producción.

Las debilidades que se deben neutralizar por ser las de mayor incidencia negativa son:

- No se realiza la limpieza de las piezas antes del tratamiento térmico.
- Los hornos de sales trabajan sin recubrimiento interior
- Deficiencias en la operación de completamiento y cambios de los hornos.
- Falta de gestión de los residuos, conforme a la legislación vigente.

Las oportunidades que deben considerarse con mayor importancia son:

- La posibilidad de un presupuesto de inversión para la empresa
- La conciencia de la alta gerencia sobre la necesidad de aumentar la eficiencia y disminuir el impacto ambiental

La amenaza que incide con mayor grado y debe considerarse dentro de la estrategia de mejora de desempeño es:

- La tecnología usada es alta consumidora de productos químicos y por lo tanto generadora importante de residuos peligrosos.

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE MEDIDAS DE MEJORAS DE DESEMPEÑO AMBIENTAL.

A partir de los resultados alcanzados en el capítulo anterior, se puede concluir que la estrategia de trabajo para evaluar las acciones de desempeño ambiental deben encaminarse a:

- Identificar opciones de mejora de desempeño ambiental a partir de la eliminación o minimización del uso de los productos químicos peligrosos.
- Plantear acciones de control de las medidas técnico – organizativas para minimizar las emisiones y consumos de productos químicos por problemas técnicos y tecnológicos.
- Aprovechar la existencia de una infraestructura tecnológica y energética existente para evaluar posibles mejoras de desempeño ambiental valiéndose de un presupuesto para inversión en la Empresa.

Para la evaluación de las acciones se tienen en cuenta los aspectos siguientes (Ochoa, 2007):

Aspectos técnicos:

- Consumo de materiales.
- Consumo de energía.
- Facilidad de aplicación de la medida.
- Tiempo requerido para aplicar la medida.
- Nivel de corrección de problema planteado.

Aspectos ambientales.

- Reducción de los residuos sólidos.
- Reducción de los residuales líquidos.
- Reducción de las emisiones al aire.
- Disminución del consumo de agua.
- Reducción de residuos peligrosos.

Aspectos económicos

- Gastos de inversión.
- Costos de operación en la aplicación de la medida.
- Período de retorno, en caso de algún tipo de inversión. (TR)

$$Tr = Io / FCanual$$

Donde:

Tr es el período de retorno de la inversión, en años.

Io es la inversión inicial, en pesos.

FC es el flujo de caja anual (ahorros – costos operativos), en pesos por año

Valor actual neto (VAN)

$$VAN = -Io + \sum \frac{FCanual}{(1+r)^n}$$

VAN es el valor actual neto de un capital invertido al cabo de un número de años n.

r es la tasa de descuento que permite calcular el valor actual de los flujos de caja.

n es tiempo que se evalúa el comportamiento de la inversión.

Restricciones para la evaluación de esta investigación:

$$n = 7 \text{ años}$$

$$r = 0.1$$

$$VAN > 0.$$

$$Tr > 5 \text{ años}$$

3.1 Evaluación de las alternativas

Las alternativas identificadas son las siguientes:

1. Introducir una operación de limpieza para las piezas antes del tratamiento térmico.

Esta acción tiene como objetivo mejorar las características físicas de las piezas eliminando las grasas y óxidos.

Esta medida disminuye entre un 15 y un 20% la generación de los residuos, asumiendo que el mal estado de las piezas al entrar a los hornos de sales (existencia de grasa,

cenizas, óxidos) contamina los baños, disminuyendo la capacidad productiva de los materiales y resulta imprescindible cambiar el contenido de los baños de sales; en el caso objeto de estudio esto resulta relevante ya que dentro de los criterios de control de entrada de las piezas al proceso se detectan todas estas características negativas al resultado esperado. (CEPIS-OPS, 2000)

Se proponen evaluar dos variantes:

- 1.1. Utilizar la máquina de limpieza por polvo abrasivo instalada en el taller.
- 1.2. Adquirir equipos de limpieza ultrasónica, para utilizar en todas las limpiezas realizadas en el taller incluyendo la limpieza química (ELTI, 2000) (Emison, 2007a).

Se recomienda la compra de dos equipos para suplir todas las operaciones de limpieza en el taller. (Ver anexo 12).

2. Utilizar el Fluoruro de magnesio por el Bórax como elemento antioxidante.

Objetivo: Disminuir el consumo de Cloruro de bario, mediante el uso de un antioxidante más efectivo.

El consumo de las sales fundidas disminuye en un 30 %, cuando se introduce el Fluoruro de magnesio. (CEPIS-OPS, 2000)

3. Reparación de los hornos de sales, rellenando la parte interior con el material refractario. (Ver anexo 19)

Objetivo: Disminuir el consumo de los productos químicos en los hornos, evitando las roturas de los crisoles y el uso de un sobreconsumo de materiales en la preparación de los hornos.

4. Cambios en criterios tecnológicos de desecho de los hornos de sales.

Objetivo: Disminuir los gastos de los productos químicos, partiendo de la reutilización de los productos existentes en los hornos al final de cada campaña de tratamiento térmico.

Se toman los criterios de la documentación técnica (PLAMEC, 2008f) (PLAMEC, 2007b), mediante los cuales se debe aprovechar hasta el 30 % de los productos químicos de los hornos.

Mediante un control estricto de la calidad de los hornos puede aprovecharse el baño totalmente, siempre que se garanticen las condiciones de entrada de las piezas (baja concentración de grasas y óxidos); a partir de esta información se propone aprovechar hasta el 75 % de los productos. (CEPIS-OPS, 2000)

5. Adquirir una línea de hornos de cámara con calentamiento por radiación para el tratamiento térmico a herramientas. (Ver anexo 18)

Objetivo: Eliminar el consumo de productos químicos en el tratamiento térmico a las herramientas y piezas principales y eliminar la generación de residuos peligrosos por esta operación.

Se toma como base la información aportada por la firma alemana (Nabertherm, 2005) (ver anexo 10). Se recomienda adquirir 6 hornos para mantener los requerimientos del proceso productivo.

6. Adquirir un horno al vacío para el tratamiento térmico a la producción principal y a las herramientas. (Ver anexo 17)

Con el uso de un horno al vacío que oferta la firma (Nabertherm, 2005) (ver anexo 11), se eliminan las operaciones en los hornos de sales y por tanto el consumo de productos químicos y la generación de los desechos peligrosos en este proceso.

7. Confinar los residuos generados en los hornos de sales junto con los residuos galvánicos (confinamiento controlado)

8. Acciones organizativas y de gestión de la Empresa:

- 8.1. Capacitar al personal dirigente, técnico y operarios en las tareas de gestión, manipulación de los materiales control operacional.

- 8.2. Diseñar un Procedimiento para la gestión final de los desechos de los hornos de sales.

A continuación se expresan las diferentes alternativas comparando criterios técnicos, ambientales y económicos; en el anexo 21 se ofrece un análisis de matriz de priorización para evaluar las medidas propuestas (Ochoa, 2007) (Galindo, 2008).

Tabla 10. Evaluación de la alternativa 1.

Aspectos a evaluar	Alternativa 1.1	Alternativa 1.2
Consumo de materiales.	Sobreconsumo de 1 179 kg al año de polvo abrasivo. (1 596,65 \$/año.) Disminución de 517,50 kg/año de sustancias peligrosas (860,30 \$/año).	Disminución de 1 920,35 kg/año de sustancias peligrosas (5 771 \$/año).
Consumo de energía.	Aumenta en 1,52 MWh/año. (137 \$/año.)	Disminuye en 12 MWh/año (1 282 \$/año)
Calidad del servicio.	Mejora la calidad del producto	Mejora la calidad del producto
Facilidades tecnológicas	Se aprovecha el equipamiento instalado (máquinas de chorreado)	Es necesario realizar instalación eléctrica y de suministro de agua; es factible por existir las redes de alimentación generales.
Generación de residuos peligrosos.	Disminuye residuos peligrosos de sales nocivas en 290 kg anuales Los residuos de abrasivos aumentan en 770 kg al año.	Los residuales líquidos disminuyen en 4 788 m ³ /año Disminuye residuos peligrosos de sales nocivas en 290 kg anuales
Inversión.	No se requiere inversión	\$ 5 640,00
Flujo de caja.	- 4 249 \$/año (negativo)	4 944,70 \$/año. (positivo)
VAN.	Negativo	\$ 18 432,87 (positivo)
Tiempo de retorno.	No conforme	1,14 años

La alternativa 1.1 no es recomendable ya que trae consigo un sobreconsumo de 1 179 kg al año de polvo abrasivo, con un costo de 1 596,65 \$/año. El consumo de energía eléctrica aumenta. El flujo de caja resulta negativo. Como se observa se requiere evaluar el entorno en que se lleva a cabo la acción de mejora, identificando posibles aspectos negativos en otros indicadores que se evalúan dentro del sistema. (ver anexo 15)

La alternativa 1.2 requiere de una inversión; se tiene en cuenta a partir de la oportunidad que se aprecia en la existencia de un presupuesto de inversión y de que este proceso, aparte de tener un alto impacto ambiental negativo es un alto consumidor de energía y por tanto es altamente ineficiente.

El análisis de disminución de consumo de productos químicos y además de los criterios económicos se realiza analizando las mejoras en el proceso no solo en los hornos de sales ya que esta inversión es factible tanto técnica como económicamente a partir de la utilización de estos equipos en todas las operaciones de limpieza que se realizan en el taller; se eliminan los consumos de productos químicos y energía en los procesos de limpieza (ya que se sustituyen las limpiezas mecánica y química, es por esto que se tiene en cuenta además la disminución de los residuales líquidos y del gasto que se infiere para su tratamiento, que asciende al 18 % del residual líquido galvánico que se genera en la Empresa (Ver anexo 3.2).

Tabla 11. Evaluación de las alternativas 2, 3 y 4

Aspectos a evaluar	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Consumo de materiales.	Disminución de cloruro de bario de 520 kg./año, (770,00 \$/año).	Disminución de 600 kg de sales de sodio /año (513,00 \$/año).	Disminución de 600 kg de sales de sodio y de bario en el año (795,75 \$/año).
Consumo de energía.	No es significativo.	No es significativo.	No es significativo.
Calidad del servicio.	Mejora	No significativo	No significativo
Facilidades tecnológicas	Se mantienen las mismas facilidades	Se mantienen las mismas facilidades	Se requieren criterios tecnológicos externos (limpieza, introducción de antioxidantes)
Generación de residuos peligrosos.	Disminuyen los residuos peligrosos en 250 kg/año	Reducción de los residuos peligrosos de 315 kg/año.	Reducción de los residuos peligrosos de 312 kg/año.
Inversión.	No inversión.	\$ 3 024,00	No inversión
Flujo de caja.	520 \$/año.	513,00 \$/año	795,75 \$/año
VAN.	– \$ 526,50	
Tiempo de retorno.	5,89 años	

En el caso de la alternativa 2, al ser el flujo de caja positivo, (520 \$/año.) se debe considerar esta medida para el programa de mejoras; este tipo de medidas se recomienda anexarlo a otras acciones, para justificar las posibles inversiones y mejorar el impacto positivo.

Alternativa 3: La evidencia del ahorro en el consumo de productos químicos y en la generación de residuos trae consigo que se evalúe esta medida como complemento de otras para asegurar la eficiencia y minimización de residuos en el proceso; la reducción de los residuos peligrosos es de 315 kg/año. La integración con otras acciones se hace necesaria por el carácter negativo de la evaluación económica.

La alternativa 4 es una medida de índole organizativa, sin gastos operativos extras de importancia; como el flujo de caja debido al Ahorro en productos químicos es de 795,75 \$/año, se considera como adecuada para la realización desde el punto de vista económico; además la disminución de los residuos peligrosos en 312 kg/año es positivo.

Tabla 12. Evaluación de las alternativas 5 y 6

Aspectos a evaluar	Alternativa 5	Alternativa 6
Consumo de materiales.	Disminuye el consumo de productos químicos en 4 028,50 kg/año (4 302,30 \$/año)	Disminuye el gasto en el consumo de productos químicos en 9 037, 21 \$/año
Consumo de energía.	Disminuye 61,32 MWh/año, (5 518,80 \$/año)	No significativo
Calidad del servicio.	Es regular; se requiere un control estricto de la calidad del proceso y no es recomendable para mayores planes productivos.	Mejora considerablemente la calidad del tratamiento; se requieren flujos estables de la producción.
Facilidades tecnológicas	Se requiere realizar montaje de elementos eléctricos y civiles. Existen las facilidades para el suministro energético.	Se requiere realizar montaje de elementos eléctricos y civiles. Existen las facilidades para el suministro energético.
Generación de residuos peligrosos.	Se eliminan 2 580 kg/año de residuos de sales fundidas.	Se eliminan 2 580 kg/año de residuos de sales fundidas. Los residuales líquidos disminuyen en 4 788 m ³ /año (2 015,70 \$/año)
Inversión.	\$ 52 000,00	\$ 600 000,00
Flujo de caja.	12 321,10 \$/año.	11 052, 91 \$/año
VAN.	\$ 7 984,28 (positivo)	-- \$ 546 190,00 (negativo)
Tiempo de retorno.	4,22 años	54,28 años.

Alternativa 5: Esta medida propuesta genera un alto gasto de inversión; se relaciona directamente con el aprovechamiento de la oportunidad de utilizar un presupuesto para inversión en la Empresa, por lo que su realización depende de que se lleve a cabo esta acción estratégica con carácter externo a las posibilidades de accionar por la dirección de la entidad. El consumo de energía y la generación de desechos peligrosos son los aspectos ambientales que traen consigo mayor impacto ambiental negativo en este proceso, por lo que al analizar la efectividad de una inversión en este sentido es importante tener en cuenta los dos criterios, aunque nuestro objetivo fundamental se relaciona con los desechos y por lo tanto con el consumo de los productos químicos. El análisis económico nos da como información un VAN de \$ 7 984, lo que puede considerarse como positivo para ser evaluado dentro del programa de mejoras de desempeño ambiental.

Alternativa 6: La evaluación de la acción de adquirir un horno al vacío da como resultado un valor del VAN de \$ 546 190,00, esto significa que económicamente no se justifica, fundamentalmente debido a los bajos valores productivos del taller; por lo que solo sería recomendable retomar esta variante para una reformulación de los planes de producción de la empresa.

Tabla 13. Evaluación de las alternativas combinadas

Aspectos a evaluar	Alternativas 1.2, 2 y 4	Alternativas 1.2, 2, 3 y 4
Consumo de materiales.	Disminución de 1 920,35 kg/año de sustancias peligrosas (5 771 \$/año). Disminución de cloruro de bario de 520 kg./año, (770 \$/año).	Disminución de 3 040 kg de productos químicos peligrosos /año (7 054,00 \$/año); \$ 2 142,98 equivalen a los hornos de sales y \$ 4 911,02 a las operaciones de limpieza.
Consumo de energía.	Disminuye en 12 MWh/año (1 282 \$/año)	Disminuye en 12 MWh/año (1 282 \$/año)
Calidad del servicio.	Mejora	Mejora
Facilidades tecnológicas	Es necesario realizar instalación eléctrica y de suministro de agua; es factible por existir las redes de alimentación generales.	Es necesario realizar instalación eléctrica y de suministro de agua; es factible por existir las redes de alimentación generales.
Generación de residuos peligrosos.	Los residuales líquidos disminuyen en 4 788 m ³ /año Disminuye residuos peligrosos de sales nocivas en 312 kg anuales	Los residuales líquidos disminuyen en 4 788 m ³ /año Reducción de los residuos peligrosos de 627 kg/año.
Inversión.	\$ 5 640,00	\$ 8 664,00
Flujo de caja.	5 464,70 \$/año. (positivo)	5 977,70 \$/año (positivo)
VAN.	\$ 20 964,45 (positivo)	\$ 20 437,95 (positivo)
Tiempo de retorno.	1,03 años	1.45 años

Se realiza la evaluación de estas alternativas combinadas para identificar la posibilidad de integrar los criterios técnicos y ambientales a la factibilidad económica; como se observa la combinación de las alternativas 1.1, 2, 3 y 4 se justifica técnica y económicamente.

3.2 Programa de mejoras de desempeño ambiental en el taller de tratamiento térmico en los hornos de sales fundidas

En el Anexo 15 se explica cada una de las propuestas de alternativas por separado, incluyendo su aporte en los indicadores de desempeño.; se resumen los resultados de la evaluación técnica, ambiental y económica a las diferentes acciones de mejora que fueron identificadas en las etapas anteriores; se asignó la prioridad para cada alternativa conforme con el criterio de gestión de producciones más limpias (ver anexo 14) (Metropolitana & GTZ, 1997, 1998a, 1998b).

En este resumen se establecen los valores de los indicadores que deben ser controlados para dar seguimiento a cada una de las medidas, lo que es imprescindible para confeccionar el proyecto de mejora de desempeño ambiental para la línea de

tratamiento térmico a las piezas principales y herramientas de corte, específicamente referidas al trabajo en los hornos de sales fundidas.

Este programa incluye, además de los indicadores mediante los que se controlará su efectividad, los responsables de su realización, forma de controlar el cumplimiento y recursos necesarios para su cumplimiento.

El proyecto de mejoras de desempeño ambiental en el taller de tratamiento térmico se describe a continuación:

Objetivo 1: Reducción de los residuos peligrosos en los hornos de sales del 25 %

Indicador propuesto 1:

Índice de residuos generados en los hornos de sales (Irsales) : 162,07 kg/t de piezas principales y herramientas.

Indicador actual: 214,10.

Objetivo 2: Reducción de los gastos en productos químicos en el taller del 70 %

Indicador propuesto 2.1:

Índice de gastos total de productos químicos en el Taller de tratamiento térmico (Igpqt): 96,88 \$/t de producción total.

Indicador actual: 320,36

Indicador propuesto 2.2:

Índice de gastos de productos químicos en los hornos de sales (Igpq): 179,20 \$ / t de piezas principales y herramientas.

Indicador actual: 357,04

Objetivo 3: Reducción de los gastos por pérdidas en los hornos de sales en un 25 %.

Indicador propuesto 3:

Índice de sobregasto de productos químicos en los hornos de sales (Ilegpq): 239,01 \$/ t de piezas principales y herramientas.

Indicador actual: 315,74

Acciones propuestas:

1. Adquirir dos equipos de limpieza ultrasónica, para utilizar en todas las limpiezas realizadas en el taller incluyendo la limpieza química. (ver anexo 12)

- Evaluar las ofertas existentes (ver anexo 12)

Responsable: Director general de la Empresa.

- Presentar al mando superior la propuesta de inversión

Responsable: Director general de la Empresa.

- Adquisición y montaje del equipamiento.

Responsable: Director UBSP.

2. Utilizar el Fluoruro de magnesio como elemento antioxidante.

Responsable: Director técnico UBSP.

3. Reparación de los hornos, rellenando la parte interior con el material refractario.

Responsable: Director UBSP

4. Definir cambios en criterios tecnológicos de desecho de los hornos de sales.

- Verificar que no se cambie el contenido de los hornos sin que el tecnólogo apruebe que el horno no está apto para usarse.
- Evaluar la efectividad del horno mediante los ensayos establecidos.

Responsable: Director de producción UBSP

5. Confinar los residuos generados en los hornos de sales junto con los residuos galvánicos (confinamiento controlado)

Responsable: Director de producción UBSP

6. Realizar un programa de capacitación a los trabajadores, técnicos y dirigentes.

- Seminario sobre Producciones más limpias y gestión ambiental a los dirigentes y técnicos
- Seminarios sobre trabajo con productos químicos peligrosos y gestión de los residuos peligrosos a los obreros y técnicos.

Responsable: Director técnico de la Empresa.

7. Confeccionar el procedimiento para el registro, control y gestión de los residuos de productos de los hornos de sales.

Responsable: Director técnico UBSP.

Acciones que se recomiendan evaluar a mediano plazo:

1. Adquirir una línea de seis hornos de cámara con calentamiento por radiación para el tratamiento térmico a herramientas.
 - Evaluar las ofertas existentes (Ver anexo 10).

Responsable: Director Técnico de UBSP.

- Presentar al mando superior la propuesta de inversión

Responsable: Director General de la Empresa.

- Adquisición y montaje del equipamiento.

Responsable: Director de UBSP.

Indicadores propuestos:

Índice de residuos generados (Irsales): 0,00

Índice de gastos total de productos químicos (Igpqt): 0,00

CONCLUSIONES

1. El desempeño ambiental en el proceso de tratamiento térmico es deficiente debido a:
 - Gestión incorrecta en el consumo de los productos químicos.
 - Problemas técnicos de los hornos y crisoles.
 - Métodos incorrectos de gestión y organización de la producción.
2. En los hornos de sales se genera la mayor cantidad de residuos sólidos caracterizados como peligrosos, se desecha el 64 % de su gasto en el residuo sólido y los productos químicos utilizados son clasificados como altamente peligrosos. El Cloruro de bario es el producto que más se concentra en una operación (724, 64 kg/t) y el tratamiento a las herramientas es el proceso de mayor consumo específico (1 432,37 kg/t). El programa de mejoras propuesto incluye alternativas organizativas, de control, cambios operacionales y tecnológicos, tales como: la adquisición de equipos para la realización de limpieza ultrasónica a las piezas, cambios en los procesos productivos, mediante sustitución de productos químicos, reparación a los hornos, diseño de procedimiento para la gestión de los residuos y sustitución de los hornos de sales por hornos de cámaras para altas temperaturas.
3. Se definen como indicadores del desempeño ambiental, para el control operacional a los procesos unitarios de tratamiento térmico mediante sales fundidas, el consumo específico de cloruro de bario, la generación de los residuos en los hornos de sales y el costo de productos químicos en las operaciones de los hornos de sales.
4. El sistema de medidas propuestas, organizadas en estrategia y plan de acción, están dirigidas a la disminución del 25 % de emisiones de sales tóxicas, lo que además equivale a una disminución de 7 054,00 \$/año, debido a un mejor uso de productos químicos.

RECOMENDACIONES

1. Modificar el plan de inversiones de la empresa, considerando las propuestas realizadas y los criterios técnicos - económicos evaluados.
2. Reformar el programa de indicadores de desempeño de la empresa con los indicadores propuestos en el trabajo.
3. Continuar la evaluación de la mejora de desempeño ambiental para los procesos de impacto negativo identificados en la empresa.
4. Incorporar las medidas de “Producciones más limpias” propuestas en este trabajo al “Sistema de gestión ambiental” de la Empresa.

NOMENCLATURA

CEnc	Consumo específico por operación, según la norma de consumo tecnológica. (kg/kg)
EE _i	Energía eléctrica equivalente (suma de todos los portadores energéticos), que se consumen en los procesos unitarios, en MegaWats-horas/año
FC	Flujo de caja anual (ahorros – costos operativos), en pesos por año.
ID	Indicador de desempeño ambiental
Irsales	Cantidad (en Kg) de residuos generados en los procesos de tratamiento en hornos de sales fundidas por unidades másicas de producción.
Iegpq	Gasto (en \$) por encima de las normas de consumo, referido a los productos químicos por unidades másicas de producción
Iccb	Cantidad (en Kilogramos) de Cloruro de bario consumido por unidades másicas de producción.
Igpq	Gasto (en \$) referido a los productos químicos por unidades másicas de producción
Io	Valor de la Inversión inicial , en pesos.
MP _i	Masa de piezas para cada proceso, en toneladas
MPherram	Masa de herramientas tratadas , en toneladas/año
MP Princ..	Masa de piezas principales tratadas, en toneladas/año
MPQ _i e	Masa de Productos químicos que se utilizan en los procesos, en kilogramos/año.
MPQ _i cp	Masa de Productos químicos que se consumen en los procesos (según las normas de consumo establecidas en sus tecnologías, en kilogramos/año.
MPQ _s i	Masa de Productos químicos que salen como residuos sólidos, en kilogramos/año.
Mpérdidas	Masa de emisiones de gases, polvos a la atmósfera y los derrames que no pueden ser medidos, en kilogramos/año.
Tr	Período de retorno de la inversión, en años.
VAN	Valor actual neto de un capital invertido al cabo de un número de años n
VRA	Volumen de aceite usado que se genera en los procesos, en litros/año
VRL	Volumen de residual líquido generado en los procesos electroquímicos, en metros cúbicos/año

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Askeland, D. (2007). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. Retrieved 18 de febrero de 2009, from www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_t%C3%A9rmico
- Barreiro, J. A. (1989). *Tratamiento térmico de los aceros* (Quinta ed.). Cuba: Escuela técnica.
- BMI. (2005). ¿Qué es el temple a gas? [Electronic Version] from <http://www.bmi-fours.com/espagnol/fours/gaz/gaz.htm>.
- Byrd, L. (2001). Industria del transporte y el almacenamiento. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (Vol. 102). España: Chantal Dufresne, BA - OIT.
- Cachaldora, I. J., García, Y., Rodríguez, D., & Gallo, Y. M. (2006). Estrategia de producción más limpia para el taller galvanizado de INPUD. Cuba: Universidad Central de Las Villas.
- CALTEC. (2000). Horno eléctrico de cámara [Electronic Version]. Retrieved 18 de febrero de 2009 from <http://www.caltec.com.ar/pdf/Folletos/Horno%20de%20cámara.pdf>.
- Caraballo, L. (2005). La presencia de la concepción de Producción más limpia en la legislación ambiental cubana [Electronic Version]. *Revista Cub@: Medioambiente y Desarrollo.*, V:8. Retrieved 14 de junio de 2007 from www.medioambiente.cu/revistama/8_05.asp.
- Castillo, J., Rodríguez, D., Rivera, A. M., & Acuña, H. (2000). Uso de Tecnologías Limpias: Experiencias Prácticas en Chile. Proyecto Producción Limpia SEPL-GTZ. Chile.
- Catalunya, G. d. (2008). Guía de gestión de residuos químicos. *Generalitat de Catalunya* Retrieved 9 de marzo de 2009, from <http://www.gencat.cat/salut/depsalut/html/es/dir90/index.html>
- CEPIS-OPS. (1998). La Minimización de Residuos en la Industria de Acabado de Metales. [Electronic Version] from <http://www.epa.gov/>.
- CEPIS-OPS. (2000). Lineamientos para la prevención de la contaminación. Industria de fundición y tratamiento térmico de metales [Electronic Version]. Retrieved 13 de septiembre de 2007 from <http://www.cepis.ops-oms.org/cdromrepi86/fulltexts/eswww/fulltext/epa/meta/metaapab.html>
- Regulaciones para el ejercicio de las funciones de autoridad nacional y punto de contacto del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación y otras disposiciones para la gestión ambientalmente racional de estos desechos. , Resolución 87 : 99. Cuba C.F.R. (1999).
- CITMA. (2000). Guía para la implementación de la NC ISO 14001. Oficina Nacional de Normalización. Cuba.

CITMA. (2005). Guías para la realización de la Inspección Ambiental Estatal. Cuba.

CITMA. (2006). Metodología para la ejecución de los diagnósticos ambientales y la verificación del cumplimiento de los indicadores establecidos en la Resolución CITMA 135/2004 para la obtención del reconocimiento ambiental nacional (RAN). Cuba.

Estrategia Ambiental Nacional 2008 - 2010, Anexo único de la Resolución 40 del 2007 C.F.R. (2008).

Cloutier, M., & Cushma, G. (2004). *Guía de respuesta en caso de emergencia*. Ottawa, Canadá: CANUTEC.

CONAMA. (2001). *Guía para el control y prevención de la contaminación Industrial. Taller Metalmeccánico*. Chile: Comisión Nacional del Medioambiente.

Reglamento para la implantación y consolidación del sistema de de dirección y gestión empresarial estatal. Capítulo VIII. Sistema de Gestión Ambiental. , Decreto Ley 281:07. Cuba C.F.R. (2007).

Correa, J. (2008). Tratamiento térmico del acero. Información básica para técnicos. Retrieved 18 de febrero de 2009, from <http://juliocorrea.wordpress.com/2007/08/23/tratamientos-termicos-del-acero/>

CPTS. (2005). *Guía técnica general de producción más limpia*. La Paz , Bolivia: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles.

Crucible-Service, C. (2008). Introducción al tratamiento térmico de acero para herramientas [Electronic Version]. *MetalForming*, Septiembre/2008 from <http://mexico.pma.org>.

Culler, N. (2003). *Control de emergencia con productos químicos. Manual para grupos de acción*. Buenos aires. Argentina: Cámara de la Industria química y petroquímica.

Ecotur. (2006). Listado de residuos industriales peligrosos [Electronic Version], 9 de marzo de 2009 from <http://www.ecotur.com/17-1-Listado+de+residuos+industriales+peligrosos.html>.

ELTI. (2000). Equipements de Traitement Thermique. Heat Treatment Equipment. Bulletin 92/f. *Etablissements Loire Thermie Industrielle* Retrieved 18 de febrero de 2009, from <http://www.elti.fr/bulletin92.pdf>.

Emison. (2007a). Baños de ultrasonidos. Retrieved 26 de marzo de 2008, from <http://www.emison.com/205>

Emison. (2007b). Tratamiento térmico de los metales. Hornos de Sales. Retrieved 26 de marzo de 2008, from <http://www.emison.com/207>

Environment-Agency. (2004). Guidance for the Surface Treatment of Metals and Plastics by Electrolytic and Chemical Processes, *Sector Guidance Note IPPC S2.07*. Scottish Environment Protection Agency (SEPA). UK.

- EPA. (2000). Taller para la prevención de la contaminación: fundamentos de la prevención de la contaminación [Electronic Version]. *Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos*. Retrieved 26 de marzo de 2008 from www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/epa/pcpqind.html.
- EPA. (2001). Integrated Environmental Management Systems. Implementation Guide. In *Design for the Environment Program Economics, Exposure, and Technology Division Office of Pollution Prevention and Toxics*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
- Ferreira, M. M. (2005). Diagramas causa-efecto, pareto y flujogramas [Electronic Version]. Retrieved 16 de Mayo del 2009 from <http://www.gestiopolis.com/recursos4/docs/ger/diagraca.htm>
- Fisher, M. T., & Pai, V. (2000). *ISO 14001 Environmental Management System Self-Assessment Checklis*. from <http://www.gemi.org>.
- Forbes, S. (2001). Cuestiones ambientales en el acabado de superficies metálicas y los recubrimientos industriales. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (Vol. 82). España: Chantal Dufresne, BA - OIT.
- FUNDES. (2000). *Guía de Buenas Prácticas para el Sector Galvanotecnia*. Retrieved 13 de septiembre de 2007, from http://www.minambiente.gov.co/prensa/publicaciones/guias_ambientales/4_sector_industrial_manufacturero/30_guia_buenas_practicas_para_el_sector_galvanotecnia.pdf.
- Gale, R., & Barg, S. (2000). *Global green Standard. ISO 14000 and sustainable development*. Canadá: International Institute for Sustainable Development (I.I.S.D.).
- Galindo, P. (2008). *El análisis de procesos en la búsqueda de tecnologías más limpias*. Universidad de Camagüey Cuba.
- Garzón, H. (2001). Seminario Desarrollo de Indicadores de Gestión en Seguridad, Salud, Ambiente y Calidad (HSEQ). Consejo colombiano de salud.
- Gómez, L. D., Castro, A. A., & Muñoz, M. A. (2007). Tratamientos térmicos de acero [Electronic Version] from <http://materialesii.blogspot.com/2008/10/tratamientos-termicos-del-acero.html>.
- González, C. (2005). *Estrategia para minimizar la generación de desechos peligrosos*. Paper presented at the Capacitación de técnicos municipales en la gestión ambientalmente adecuada de desechos peligrosos.
- Gordon, J. (1985). *Tecnología de tratamiento térmico de los metales*. Cuba: Universidad Central Las Villas.
- Hueber, D., Striegel, K.-H., Benavides, L., Salas, H., Cantanhede, A., Sylvester, A., et al. (2000). Guía para la definición y clasificación de residuos peligrosos. [Electronic Version]. *Servicio de Salud Valparaíso - San Antonio (SSVSA)*. Retrieved 26 de febrero de 2008 from www.ssvsa.clquiores.html/

- IHOBE. (2000). *Libro blanco para la minimización de residuos y emisiones en procesos de recubrimientos electrolíticos*. Gobierno Vasco. España: Eusko Jaurlarytza.
- INE. (2005). Manejo ambiental de sustancias químicas [Electronic Version]. Retrieved 9 de marzo de 2009 from <http://www.ine.gob.mx/dgmrar/usqea/man-s-q.html>.
- Ingenieros Asesores, S. A. (2005). Problemática ambiental en el sector metal. Asturias. España: FundaciónMetal
- INSHT. (2008). Hojas de Datos de Seguridad de Productos Químicos. *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo*, 2008, from www.mtas.es/fichasdeseguridad.
- Jorochilov, V., & Gordon, J. (1972). *Teoría y tecnología del tratamiento superficial del acero*. Cuba: Ciencia y técnica.
- Kohler, L. R., Burhenne-Guilmin, F., Freestone, D., Bisset, R., Ryding, S.-O., Coyle, R., et al. (2001). Política en materia de Medioambiente. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (Vol. 54). España: Chantal Dufresne, BA - OIT.
- Laytin, Y. (1985). *Metalografía y tratamiento térmico de los metales*. URSS: Ed. MIR.
- León, R., Aubad, A. I., & Ceccon, M. (2005). *Análisis de los Aspectos Ambientales de una Organización. Curso para responsables y auditores ambientales*. Colombia: Centro Nacional de Producción más Limpia.
- López, C. (2002). DOFA. Valores maestros. Estrategias [Electronic Version]. *Revista EAFIT*, Num. 105 from <http://www.angelfire.com/ca3/blueiguana/herr3.htm>
- Llanes, E. A., Sarria, B., & López, E. (2006). Metodología para la determinación de los impactos ambientales en procesos productivos. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 15, No. 3.
- Martin, R. (1998). *ISO 14001. Guidance Manual*. University of Tennessee: National center for environmental decision-making research.
- Martínez, F. (2000). Tecnología del Tratamiento térmico. Un enfoque sistémico. In E. F. Varela (Ed.), (pp. p (431 – 456).). Cuba.
- Martínez, F., & Gordon, J. (1985). *Teoría y tecnología del tratamiento térmico*. Cuba: Ed. Pueblo y educación.
- Martínez, J., Mallo, M., Lucas, R., Álvarez, J., Salvarrey, A., & Gristo, P. (2005). *Guía para la Gestión integral de Residuos Peligrosos*. Uruguay: Centro coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe.
- Martínez, M., & Palacios, M. (2000). Tratamiento térmico de los materiales metálicos. *Revista Tratamientos térmicos. España, No 59 Abril 2000*.
- Martínez, Y. E. (2008). *Propuesta para favorecer la eficiencia y eficacia en el tratamiento de las aguas residuales con contenido de cromo hexavalente*. Universidad de Camagüey.

- Masoliver, D. (1999). Sistema de gestión medioambiental. Criterios para la identificación y valoración de aspectos medioambientales. Ponencia al X congreso de empresas de Calidad. *Metalurgia y electricidad (Cataluña, España), Volumen LX No 122*, Pág. 14-16.
- Medioambiente, C. d. (2001). *Manual de minimización de residuos peligrosos. Tratamiento de superficies metálicas*. Retrieved 14 de junio de 2007, from <http://www.jcyl.es/jcyl/cmaot/sq/sved/info/serv02.htm>
- Menéndez, C. (2000a). Impacto ambiental de la industria. Política de minimización [Electronic Version]. Retrieved 26 de febrero de 2008 from www.redpml.cu/Biblioteca%20virtual
- Menéndez, C. (2000b). Programa para minimizar desechos [Electronic Version]. Retrieved 26 de febrero de 2008 from www.redpml.cu/Biblioteca%20virtual
- Metropolitana, C. A., & GTZ. (1997). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales en el Giro de la Metalmecánica*. México DF.
- Metropolitana, C. A., & GTZ. (1998a). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales en el Giro de la Galvanoplastia*. México DF.
- Metropolitana, C. A., & GTZ. (1998b). *Manual de Minimización, Tratamiento y Disposición. Concepto de Manejo de Residuos Peligrosos e Industriales en el Giro de la Química*. México DF.
- Nabertherm. (2005). Tratamiento térmico de metales. Hornos, Instalaciones y Accesorios para el uso profesional [Electronic Version] from <http://www.nabertherm.es/produkte/waermebehandlung/es>.
- Seguridad y Salud en el Trabajo. Productos químicos Peligrosos. Medidas para la reducción del riesgo, NC 229 / 2002 C.F.R. (2003).
- Sistema de Gestión Ambiental - Requisitos con orientación para su uso. [ISO 14001:2004 (Traducción certificada), IDT], NC ISO 14001: 2004 C.F.R. (2004).
- Gestión Ambiental - Evaluación ambiental de sitios y organizaciones (EASO), NC ISO 14015:2005 C.F.R. (2005a).
- Gestión Ambiental — Evaluación del Desempeño Ambiental —Directrices, NC ISO 14031:2005 C.F.R. (2005b).
- Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y estructura, NC ISO 14040: 2005 C.F.R. (2005c).
- Sistema de Gestión Ambiental—Directrices Generales sobre Principios, Sistemas y Técnicas de Apoyo, NC ISO 14004:2005 C.F.R. (2005d).

- Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, NOM-052-ECOL-1993. México C.F.R. (1993).
- Ochoa, P. A. (2007). *Las Producciones más Limpias en la Gestión Empresarial*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos.
- Pérez, A. (2000). La protección ambiental en el mantenimiento industrial. Un enfoque para su gestión. *Revista Gestión Mantenimiento (Cuba)*, V: XXXI No 2.
- PLAMEC. (2007a). Manual de procedimientos del Sistema de Gestión de Calidad EMI "Ignacio Agramonte".
- PLAMEC. (2007b). *Revisión Ambiental Inicial. EMI "My Gral Ignacio Agramonte" UEB MEGATER. Camaguey.*
- PLAMEC. (2008a). *Estrategia Ambiental 2008 - 2010 de la EMI Ignacio Agramonte. Camaguey.*
- PLAMEC. (2008b). *Expediente de Perfeccionamiento del Sistema de Gestión Ambiental. PLAMEC. Camaguey.*
- PLAMEC. (2008c). *Información técnico-económica. Unidad Básica de Servicios a la Producción.*
- Instrucción de trabajo para el Tratamiento térmico, IT 3473 C.F.R. (2008d).
- Instrucción de trabajo para la limpieza química después del tratamiento térmico, IT. 34246 C.F.R. (2008e).
- Instrucción de trabajo para los hornos de sales, IT 3487 C.F.R. (2008f).
- PNUMA. (2003). Metodología DESIRE de Producción más Limpia [Electronic Version]. Retrieved 4 de octubre de 2003 from <http://www.infomipyme.com/Docs/DO/Offline/PresentacionCENTRO%20MEXICANO%20PRODUCCION%20LIMPIA.doc>.
- Rieradevall, J. (2005). Herramientas de análisis ambiental para el eco-diseño de productos [Electronic Version]. Retrieved 12/08/08 from <http://www.empresasostenible.info/biblioteca/novedadd.asp>.
- Rintoul, A. (2001). Residuos Peligrosos. Aportes para la gestión ambiental local. Argentina.
- Rodríguez, I., Sardiñas, R., Cortés, M., Alomá, I. d. I. C., & Brito, J. (2006). Auditoria medioambiental, herramienta para el logro de tecnología más limpia en el taller galvánico de la empresa INPUD Primero de Mayo. Universidad Central de Las Villas.
- Rovira, M., Seco, F., & Pablo, J. d. (2003). Minimización de residuos industriales: rentabilidad económica y beneficios medioambientales [Electronic Version]. Retrieved 26 de febrero de 2008 from <http://www.medioambiente.xunta.es>.

- Sánchez, H. E. (2007). *Mejora de la eficiencia en los procesos del taller de galvanización de la empresa Planta Mecánica de Camaguey*. Universidad de Camaguey.
- Sánchez, Y. (2008). *Producciones Más Limpias*. Paper presented at the Procesos avanzados de Manufactura. .
- SCHMETZ. (2005). The specialist for vacuum furnaces. Schmetz-Systems. Retrieved 18 de febrero de 2009, from <http://www.schmetz.de/e-html/systeme.php?cat=1>
- SEMARNAT. (2005). *Requisitos para la elaboración del reporte de diagnóstico ambiental. Subprocuraduría de Auditoría Ambiental*. México: Secretaría de medioambiente y recursos naturales
- Sorinas, L. (2005). *Tratamiento y disposición de desechos peligrosos*.
- Stellman, J. M., Osinsky, D., & Markkanen, P. (2001). Guía de Productos Químicos. In *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (Vol. 104). España: Chantal Dufresne, BA - OIT.
- Thorpe, B. (1999). *Citizen's Guide to Clean Production*: Clean Production Network. The University of Massachusetts Lowell.
- Tortosa, I. (2007). *Producción más limpia en el sector empresarial cubano*.
- Uriarte, E., & Cobas, J. (2002). Instalación de tratamiento térmico en continuo. *Tratamientos térmicos (España)*, No 73. Septiembre 2002.
- Vignes, R. P. (2001). Use Limited Life-Cycle Analysis for Environmental Decision-Making — Supplement. CEP(American Institute of Chemical Engineers).
- World-Bank, G. (1998). Environmental Audits in Industrial Projects. In *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. Washington D.C.: World Bank Group.

ANEXOS

ANEXOS

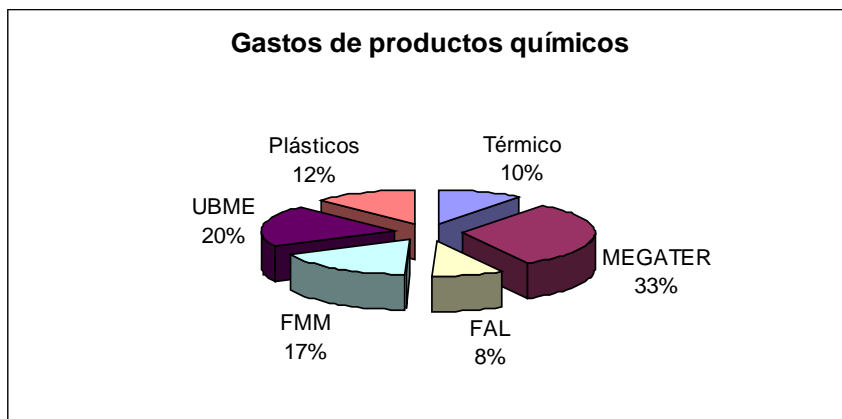
ANEXO 1. Datos de la Producción durante el año 2008 en el taller de tratamiento térmico.

	ene-08	feb-08	mar-08	abr-08	may-08	jun-08	jul-08	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	Año
Producción realizada (t)													
Herramientas	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,24	2,07
Auxiliares. Cámara	0,08	2,55	2,42	0,84	3,20	1,83	0,43	1,54	1,10	1,39	1,54	1,45	18,36
Aux. Cementación	0,09	0,08	0,14	0,06	0,08	0,03	0,06	0,27	0,16	0,09	0,07	0,05	1,15
Piezas principales	0,13	1,13	1,56	0,33	2,91	1,20	0,53	0,00	1,26	0,54	0,17	0,26	9,98
Total	0,29	4,09	4,11	1,22	6,18	4,31	1,01	1,81	2,76	2,01	1,78	2,00	31,56
Residuos generados													
Horno de Bario (kg)	0,00	280,00	0,00	0,00	0,00	690,00	0,00	0,00	180,00	0,00	0,00	200,00	1 350,00
Horno de Sales (kg)	10,00	160,00	80,00	5,00	195,00	180,00	20,00	0,00	185,00	5,00	5,00	15,00	860,00
Horno de Salitre (kg)	0,00	155,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	115,00	0,00	0,00	0,00	370,00
Cuba de Aceite (L)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	650,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	650,00
Abrasivos. (kg)	0,00	215,00	200,00	115,00	170,00	310,00	0,00	0,00	205,00	205,00	10,00	110,00	1 540,00
Residual galvanico (m³)	255,50	562,00	462,50	473,00	861,00	700,50	540,00	0,00	175,50	229,00	180,00	349,00	4 788,00
Energía y agua													
Energía Eléctrica (MWh)	7,00	33,27	27,66	18,08	25,61	41,01	14,64	14,64	23,28	20,31	18,68	19,80	264,01
Agua (miles de m³)	21,00	31,00	21,00	13,00	9,00	8,00	8,50	7,00	7,00	7,00	9,00	1,10	142,60

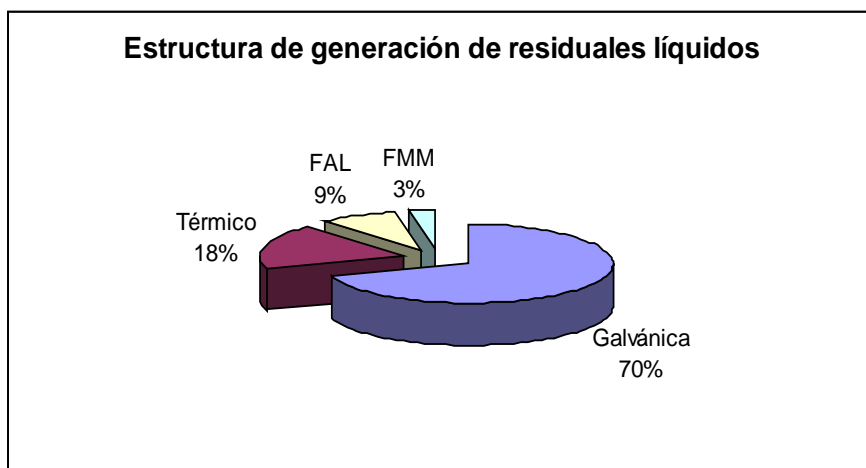
ANEXO 2. Productos químicos consumidos durante el año 2008 en el taller de tratamiento térmico.

Consumo de productos químicos / año	ene-08	feb-08	mar-08	abr-08	may-08	jun-08	jul-08	ago-08	sep-08	oct-08	nov-08	dic-08	Año
Hornos cámara													
Carbón vegetal (kg)	4	6	15	0	8	14	1	7	0	12	2	2	71,00
Horno de sal													
Carbonato de sodio (kg)	25	100	100	17	150	125	75	0	225	0	0	25	842,00
Cloruro de potasio (kg)	25	100	50	0	150	125	0	0	225	0	25	25	725,00
Ferrocianuro de potasio (kg)	3	12	8	3	3	20	4	0	0	0	5	10	68,00
Horno de bario													
Cloruro de bario (kg)	0	325	0	0	0	725	0	0	225	0	0	225	1500,00
Bórax (kg)	0	24	0	0	0	44,5	0	0	0	0	0	5	73,50
Horno de salitre													
Nitrito de sodio (kg)	0	200	0	0	0	200	0	0	160	0	0	0	560,00
Nitrato de potasio (kg)	0	100	0	0	0	0	0	0	160	0	0	0	260,00
Limpieza mecánica													
Polvo esmeril (kg)	0	350	275	175	225	400	0	0	325	300	50	200	2300,00
Cementación													
Aguarrás de pino (l)	8	6	6	3	9	6	2	30	59	14	9	5	157,00
Enfriamiento por Aceite													
Aceite fibra 100 (l)	5	10	10	20	10	10	885	0	5	10	5	5	975,00
Limpieza electroquímica													
Hidróxido de sodio (kg)	135	0	14	0	0	50	0	0	0	0	0	0	199,00
Carbonato de sodio (kg)	25	25	80	17	0	39	75	0	100	0	0	25	386,00
Nitrito de sodio (kg)	50	97	100	0	0	106	0	0	100	40	0	0	493,00
Fosfato trisódico (kg)	0	0	18	18	18,5	36	0	0	18	18	0	18	144,50
Desengrasante orgánico (kg)	5	20	30	38	0	10	10	0	25	100	15	20	273,00
Acido clorhídrico (kg)	0	0	80	0	0	10	50	0	0	30	0	30	200,00
Acido sulfúrico (kg)	0	0	80	0	80	40	0	0	0	0	0	0	200,00

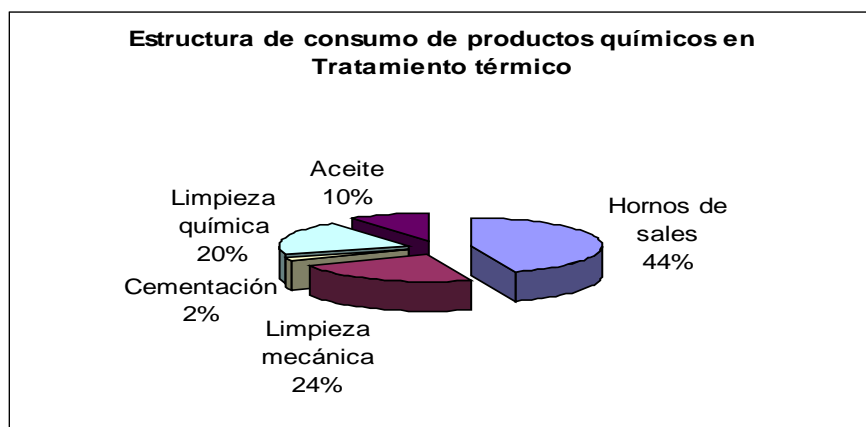
ANEXO 3.1 Estructura de gastos de productos químicos en PLAMEC durante el año 2008



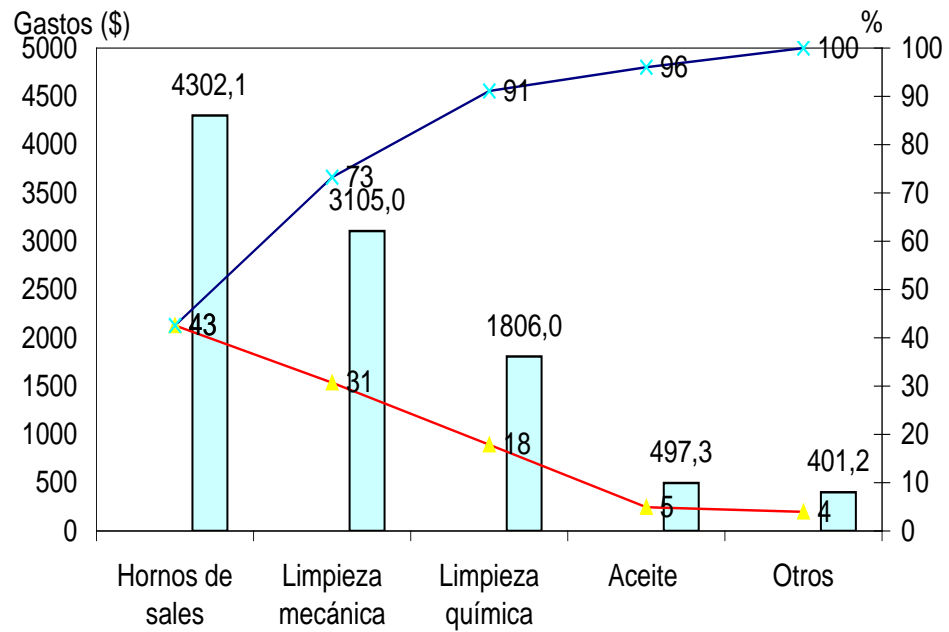
ANEXO 3.2 Estructura de generación de residuales líquidos en PLAMEC durante el año 2008



ANEXO 3.3 Estructura de consumo de productos químicos en el taller de tratamiento térmico durante el año 2008.



ANEXO 4. Estructura de gastos de productos químicos por proceso unitario en el proceso de tratamiento térmico



ANEXO 5. Identificación de características de peligrosidad de los productos químicos

Nomenclatura	Fórmula	No <u>CAS</u>	Recomendaciones de peligrosidad	Operación unitaria en que se utiliza
Cloruro de Bario	BaCl ₂	10361-37-2	A altas temperaturas se descompone y produce humos tóxicos. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.	Temple en horno de Bario
Ferrocianuro de potasio	K ₄ Fe(CN) ₆	14459-95-1	Evitar agentes oxidantes, ácidos, nitritos, Al descomponerse produce Cianuro de hidrógeno. No permitir su incorporación al suelo ni a acuíferos	Temple y calentamiento en Horno de sal
Nitrito de sodio	NaNO ₂	7632-00-0	Por encima de 530 °C puede estallar, se descompone y produce humos tóxicos, oxidante fuerte.	Revenido en horno de Salitre Limpieza electroquímica
Nitrato de potasio	KNO ₃	7657-79-1	Oxidante, reacciona violentamente con combustibles y reductores. Desprende humos (o gases) tóxicos o irritantes	Revenido en horno de Salitre
Fosfato de sodio	Na ₃ PO ₄	7601-54-9	No combustible. Reacción violenta con agua y ácidos	Limpieza electroquímica
Acido sulfúrico	H ₂ SO ₄	7664-93-9	Corrosivo, ácido fuerte, reacciona violentamente con las bases, al calentarse produce humos tóxicos.	Limpieza electroquímica
Acido clorhídrico	HCl	7647-01-0	Corrosivo, ácido fuerte, reacciona violentamente con las bases, al calentarse produce humos tóxicos.	Limpieza electroquímica
Tetraborato de sodio (Bórax)	B ₄ O ₇ Na ₂	1303-93-4	Es nocivo, produce anhídrido irritante	Temple en horno de Bario
Hidróxido de sodio	NaOH	1310-73-2	Corrosivo, reacciona violentamente con ácidos fuertes	Limpieza electroquímica
Aceites minerales			Evitar que los productos derramados alcancen los desagües. Combustible.	Enfriamiento
Aceite de trementina (Aguarrás de pino)		8006-64-2	Nocivo por inhalación, no se debe derramar a los desagües. Combustible. Los vapores pueden provocar mezclas explosivas en el aire. Reacciona violentamente con los oxidantes	Cementación

ANEXO 7. Lista de verificación para inspección al proceso de tratamiento térmico.

1. ¿Existe conocimiento de los productos químicos que se utilizan en el proceso, acerca de:
 - peligrosidad,
 - medidas de seguridad para su manipulación, almacenamiento y manejo en caso de derrame o accidente,
 - hojas de datos de seguridad?
2. ¿Se reciben los productos químicos de acuerdo a especificaciones escritas de calidad?
3. ¿Se almacenan los productos de acuerdo a:
 - sus características de reactividad e incompatibilidades,
 - calidad y seguridad de los recipientes,
 - medidas de seguridad en caso de derrames, accidentes o incendio?
4. ¿Existen evidencias de que se registren las ocurrencias de derrames o accidentes en la manipulación, almacenamiento y operación con los productos químicos?
5. ¿Existen evidencias de que se gestionen correctamente los residuos, mediante:
 - registro de los residuos generados,
 - medidas correctivas y preventivas para eliminar causas de generación de residuos,
 - recolección segura y señalización de los residuos,
 - disposición correcta de los residuos?
6. ¿Se tiene previsto como parámetro de control del proceso indicadores de utilización de los productos químicos y de generación de los residuos?
7. ¿Se utilizan los materiales definidos en la documentación técnica:
 - refractarios,
 - productos químicos?
8. ¿Las dimensiones de los equipos cumplen con las necesidades de la producción?
 - ¿Los hornos están sobredimensionados?
 - ¿Los hornos están subdimensionados?
 - ¿Los planes productivos son estables y de acuerdo a las capacidades instaladas?
9. ¿Se realiza algún tipo de mantenimiento periódico?
10. ¿Se observan pérdidas en el proceso referidas a averías en el equipamiento?
11. ¿Tiene implantadas opciones de manejo, tratamiento y/o disposición final de los residuos generados?
 - ¿Se cumplen los requisitos de manejo establecidos?
 - ¿Se detectan pérdidas en los desechos por no conformidad con requisitos establecidos?
 - ¿Los requisitos de manejo de los residuos generados garantizan conformidad con requisitos legales y normalizativos?
12. ¿Existen riesgos para la salud de los trabajadores por los métodos de trabajo y por las características de los materiales consumidos y residuos generados en el proceso?

ANEXO 8. Matriz DAFO para la evaluación de los hornos de sales.

	<u>Fortalezas</u>	<u>Debilidades</u>	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Existe personal con experiencia y conocimiento en el trabajo de tratamiento térmico (obreros y técnicos) 2. Están identificados las operaciones críticas que inciden en el aumento de los costos y de la generación de desechos peligrosos. 3. Existencia de laboratorio metalúrgico con amplias posibilidades en la realización de ensayos de metalografía. 4. Aseguramiento tecnológico que garantiza posible aumento de la capacidad productiva: portadores energéticos secundarios (vapor aire comprimido) y agua, sistemas de transformación y suministro de energía eléctrica. 5. Existe en la Empresa un taller con responsabilidad en el tratamiento de los residuales. químicos y galvánicos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se cumplen criterios de establecidos en la documentación técnica de proyecto inicial acerca del uso de los productos químicos para el proceso. 2. No está establecida la operación de limpieza de las piezas antes de pasar al tratamiento térmico en las sales fundidas. 3. Los operarios y técnicos no conocen los riesgos ambientales ni las medidas necesarias para el control de los impactos ambientales. 4. El almacenamiento de los productos químicos no satisface los requisitos de calidad de estos (envases abiertos, humedad, posible contaminación entre diferentes productos) 5. El completamiento y limpieza de los productos químicos de los hornos de sales provoca excesivo consumo de materiales. 6. Los residuos generados en la limpieza y en los cambios de los hornos de sales se botan junto con toda la basura del taller. 7. No existe registro y control de la medición de los productos químicos y los residuos generados. 	

(Continuación)		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	
<u>Oportunidades</u>														
1.Posibilidad de fuentes de financiamiento externo para inversión en la Empresa.		x	x	x	x									4
2.Existe conciencia de la alta gerencia del organismo superior acerca de la necesidad de aumentar la eficiencia y disminuir el impacto ambiental (Estrategia ambiental de la UIM y el MINFAR)		x	x		x									5
		2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
<u>Amenazas</u>														
1.La Empresa cuenta con planes de producción muy bajos para la capacidad de producción instalada en el taller de tratamiento térmico.					x									1
2.No existe una política de gestión de residuos eficaz en el territorio.						x						x	x	3
3.Las tecnologías limpias en el tratamiento térmico son muy costosas.			x				x	x		x				4
4.La tecnología usada consume productos químicos altamente peligrosos para la salud de los trabajadores y al medioambiente.			x			x	x	x	x	x	x	x	x	9
		2	2	0	1	2	1	2	2	1	2	2	2	
		2	4	1	3	2	1	2	2	1	2	2	2	

ANEXO 9.1 Carta del proceso tecnológico de tratamiento térmico de las herramientas de corte.

Carta del proceso tecnológico de trat. térmico			Denominación y codificación de la pieza		Denominación y Código del MT.		Dureza			Masa			
			Brocas		P6M5		HRC \geq			0,06 Kg.			
no	DENOMINACIÓN Y CONTENIDO DE LA OPERACIÓN TECNOLÓGICA	Equipo Tecnológico	Utillaje Tecnológico	Medio de Enfriamiento	Régimen de Trab.		Dureza	Cantidad de piezas		Calific.	To	Tpc	NT
					Temp. (°C)	Exposic. (min.)		En el dispost.	En la Instala				
05	Control	Visual				0,2			1	VI	0,2	0,2	0,4
10	Recocido 58 kW	H cámara	Caja	Horno	680	240		500	2000	VI	240	15	255
15	Primer precalentamiento 58 kW	H cámara	Dispositivo		550	8,33		20	600	VII	8,33	10	18,3 3
20	Segundo precalentamiento 165.5 kW	H sales (sal)	Dispositivo		850	4,16		20	80	VII	4,16	2	6,16
25	Temple 165.5 kW	H sales (bario)	Dispositivo		1210	2	61	20	20	VII	2	0,2	2,2
30	Enfriamiento 165.5 kW	H sales (salitre)	Dispositivo	Aire	500	2		20	80	VI	2	0,2	2,2
35	Primer revenido 165.5 kW	H sales (salitre)	Cesta	Aire	555	60		600	1200	VII	60	10	70
40	Segundo revenido 165.5 kW	H sales (salitre)	Cesta	Aire	555	60		600	1200		60	10	70
45	Tercer revenido 165.5 kW	H sales (salitre)	Cesta	Aire	555	60	62	600	1200		60	10	70
50	Limpieza 15 kW	Chorroadora	Cesta			1		30	30	VI	1	0,2	1,2
55	Control	Durómetro.				0,96		1	1	VI	0,96	0,5	1,46
10 Carbón vegetal 0,006 kg.													
20 Cloruro de potasio 0,00 kg.													
20 Carbonato de sodio 0,006 kg.													
20 Ferrocianuro de potasio 0,0000 kg.													
25 Cloruro de bario 0,0012 kg.													
25 Ácido bórico 0,00006 kg.													
30 Nitrito de sodio 0,006 kg.													
30 Nitrato de potasio 0,006 kg.													
35 Nitrito de sodio 0,006 kg.													
35 Nitrato de potasio 0,006 kg.													
40 Nitrito de sodio 0,006 kg.													
40 Nitrato de potasio 0,006 kg.													
45 Nitrito de sodio 0,006 kg.													
45 Nitrato de potasio 0,006 kg.													
50 Arena abrasiva 0,006 kg.													
50 Aire comprimido 0.0007 m ³													
				Mod.	Cant.	No. notif	Firma	Fecha	Aprob	Nombr e			
										Elaboró			
										Revisó			
										C.técnico			
										C.normali			

ANEXO 9.2 Carta del proceso tecnológico de tratamiento térmico a las piezas con cementación

Carta del proceso tecnológico de trat. térmico				Denominación y codificación de la pieza		Denominación y Código del MT.		Dureza		Masa				
				Rueda dentada de la segunda velocidad		20X2H4A		HRC ≥ 60		7,26 Kg.				
				34.08.289		h = 1,3-1,6								
no	DENOMINACIÓN Y CONTENIDO DE LA OPERACIÓN TECNOLÓGICA		Equipo Tecnológico	Utillaje Tecnol.	Medio de Enfriamiento	Régimen de Trab.		Dureza	Cantidad de piezas		Calific.	To	Tpc	NT
						Temp. (°C)	Exposición. (min.)		En el dispos.	En la Instala				
05	Control		Visual				1			1	VI	1	0,5	1,5
10	Cementación	90.2 kW.	H cementación	Dispositivo	Aire	920	600		138	138	VII	600	15	615
15	Control		Metálografico							15	IX	10	10	20
20	Revenido	54.4 kW.	H mina	Dispositivo	Aire	650	300		80	80	VI	300	15	315
25	Temple percal	58 kW.	H cámara	Dispositivo		550	53		30	30	VI	53		
	Cal final	58 kW.	H cámara	Dispositivo	Aceite	800	31		1	30	VI	31	15	152
30	Revenido	54.4 kW.	H mina	Dispositivo		180	120	≥ 60	80	80	VI	120	10	130
35	Limpieza	15 kW.	Chorroadora				3		1	1	VI	3	1,5	4,5
40	Pasivado		pasivado				3		80	80	VI	3	1,5	4,5
45	Control		Duromet.				0,5		1	1	VI	0,5	0,5	1
10 Aguarrás de pino 0,09 L														
10 Carbón vegetal 0,06 kg.														
25 Aceite fibra 100 0,10 kg.														
25 Carbón vegetal 0,08 kg.														
35 Arena abrasiva 0,72 kg.														
35 Aire 0.09 m³														
40 Aceite fibra 100 0,10 kg.														

ANEXO 9.3 Carta del proceso tecnológico de tratamiento térmico a las piezas de producción principal

Carta del proceso tecnológico de trat. térmico			Denominación y codificación de la pieza		Denominación y Código del MT.		Dureza			Masa				
			Tapa del estuche		50		40-48			0,014 Kg.				
no	DENOMINACIÓN Y CONTENIDO DE LA OPERACIÓN TECNOLÓGICA		Equipo Tecnológico	Utillaje Tecnológ.	Medio de Enfriamiento	Régimen de Trab.		Dureza	Cantidad de piezas		Calific.	To	Tpc	NT
						Temp. (°C)	Exposición. (min.)		En el dispost.	En la Instala				
05	Control		Visual				0,2		1	1	VI	0,2	0,2	0,4
10	Temple													
	Calentamiento	171 kW.	H sales	Dispositivo		840	5		130	260	VII	5	1	6
15	Enfriamiento	1.5 kW.		Aceite		70	3		130	260		3	1,5	4,5
20	Lavado	7 kW.		Cesta		90	3		170	170	VI	3	1,5	4,5
25	Revenido	54.4 kW.	H mina	Cesta		400	60	40-48	3500	3500	VI	60	10	70
30	Limpieza	120 kW.					60		7000	7000	VII	60	10	70
35	Control		Duromet.				0,2		1	1	VI	0,2	0,2	0,4
10	Ferrocianuro de potasio		0,000014 kg.											
10	Cloruro de sodio		0,00014 kg.											
10	Cloruro de potasio		0,00014 kg.											
15	Aceite fibra 100		0,00021 kg.											
20	Jabón		0,0000027 kg.											
20	Carbonato de sodio		0,0000014 kg.											
30	Nitrito de sodio		0,0000016 kg.											Hoja
30	Carbonato de sodio		0,0000055 kg.											
30	Hidróxido de sodio		0,000052 kg.								Elaboró			
30	Fosfato trisódico		0,000001 kg.								Revisó			
30	Desengrasante andróx		0,0000001 kg.											
30	Ácido sulfúrico		0,000005 kg.								C.técnico			
30	Ácido clorhídrico		0,000008 kg.											
30	Cloruro de sodio		0,0000001 kg.								C.normali			
					Mod.	Cant.	No. notif	Firma	Fecha	Aprob	Nombre			

ANEXO 9.4 Carta del proceso tecnológico de tratamiento térmico a las piezas sin cementación

Carta del proceso tecnológico de trat. térmico				Denominación y codificación de la pieza		Denominación y Código del MT.		Dureza		Masa				
				Rueda dentada de la segunda velocidad		20X2H4A		HRC ≥ 60		7,26 Kg.				
				34.08.289		h = 1,3-1,6								
no	DENOMINACIÓN Y CONTENIDO DE LA OPERACIÓN TECNOLÓGICA		Equipo Tecnológico	Uillaje Tecnológico	Medio de Enfriamiento	Régimen de Trab.		Dureza	Cantidad de piezas		Calific.	To	Tpc	NT
					Temp. (°C)	Exposición. (min.)	En el disposit.		En la Instala					
05	Control		Visual				1			1	VI	1	0,5	1,5
10	Temple precal 58 kW.		H cámara	Dispositivo		550	53			30	30	VI	53	
	Cal final 58 kW.		H cámara	Dispositivo	Aceite	800	31			1	30	VI	31	15
15	Revenido 54.4 kW.		H mina	Dispositivo		180	120	≥ 60		80	80	VI	120	10
20	Limpieza 15 kW.		Chorroadora				3			1	1	VI	3	1,5
25	Pasivazo		Pasivado				3			80	80	VI	3	1,5
30	Control		Duromet.				0,5			1	1	VI	0,5	0,5
10 Aceite fibra 100 0,10 kg.														
10 Carbón vegetal 0,08 kg.														
20 Arena abrasiva 0,72 kg.														
20 Aire 0.09 m³														
25 Aceite fibra 100 0,10 kg.														
												Elaboró		
												Revisó		
												C. técnico		
												C. normal		
					Mod.	Cant.	No. notif	Firma	Fecha	Aprobó	Nombre			

ANEXO 10. Datos de Oferta de la firma Nabertherm para hornos de cámara
(Nabertherm, 2005)

Modelo	Cantidad	Costo en €	Dimensiones en mm (Largo x Ancho x Alto)	Volumen en litros	Potencia en kW	Temperatura máxima en °C
N 161/13	2	16 000,00	550 x750x400	160	35	1 300
N 161	4	32 000,00	550x750x400	160	30	1 200
total	6	48 000,00	---	---	190	----

ANEXO 11. Datos de Oferta de la firma Nabertherm para horno al vacío.
(Nabertherm, 2005)

	Tmáx	Dimensiones interiores en mm			Volumen	Dimensiones exteriores en mm		
	°C	ancho	profundidad	altura	en L	ancho	profundidad	altura
HTK 220	1300- 2200	600	600	600	220,0	2200	2200	2600

Valor total de la inversión: **\$ 600 000,00**

ANEXO 12. Datos de Oferta de la firma EMISON para baños de limpieza ultrasónica. (Emison, 2007)

Modelo: 100

Medidas interiores de los baños (mm): 450x450x500

Potencia instalada: 2,3 kW.


Volumen útil de los baños: 80 L.

Consumo de Detergente: 3 840 L/año.

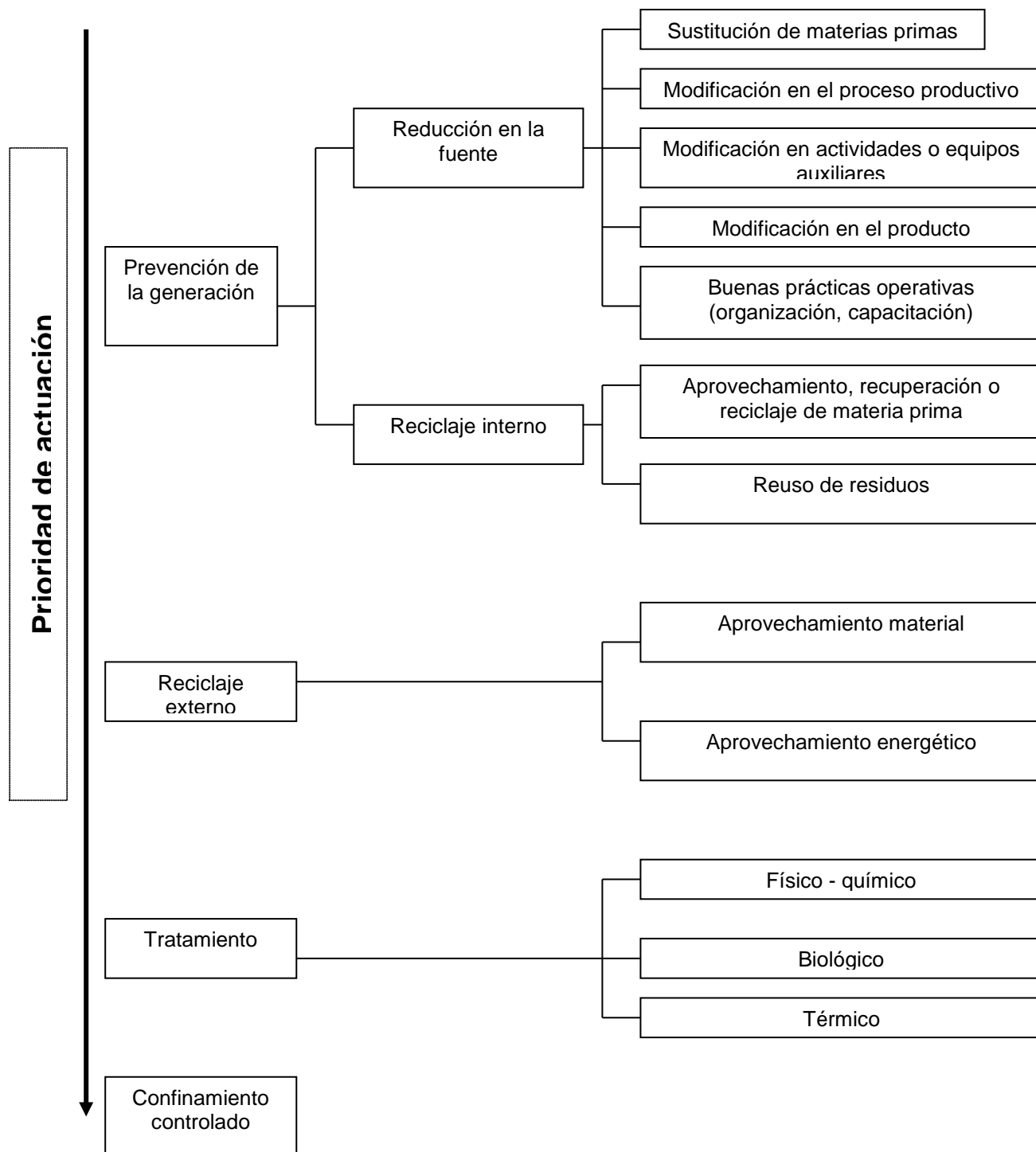
Costo de la Unidad: € 2 320,00.

ANEXO 13. Planilla de observaciones de la inspección realizada al taller de tratamiento térmico

RC 0431 Versión 2		PLANILLA DE OBSERVACIONES	
UB: UBSP		Área: Tratamiento térmico	Normas de Referencia: NC 229:05.
No	Observaciones detalladas	Fecha/ hora	Notificado a:
1.	El responsable del almacén de productos químicos no conoce las características de los materiales, no comprende la información de las etiquetas de los recipientes de embalaje.		Jefe taller térmico
2.	Los trabajadores que manipulan los productos químicos (operarios de almacén, jefe de equipo, tecnólogo, operarios de tratamiento térmico) no tienen acceso a las fichas de datos de seguridad de los productos.		Jefe taller térmico
3.	Están establecidos las especificaciones de calidad para los productos químicos, pero no existe un control adecuado de la calidad en la recepción de los mismos, demostrándose al no presentar el registro <i>RC.3622. Registro de inspección de entrada</i> , donde se verifica la conformidad de los materiales usados en el proceso.		Jefe taller térmico
4.	Los productos químicos no están correctamente almacenados, el jefe de equipo plantea que no tiene los recipientes tapados ni condiciones para eliminar los derrames al piso, ya que la manipulación dentro del local es manual.		Jefe taller térmico
5.	Se registra la ocurrencia de los derrames, pero no se identifican los gastos ocurridos ni se establecen acciones preventivas para eliminar riesgos de posibles repeticiones. Esto se comprueba al no presentar el jefe de taller evidencia del control de los gastos ni de la notificación de los derrames mediante los documentos que se establecen por el SGC.		Jefe taller térmico
6.	No está establecido un sistema de gestión de los residuos, no se registran los residuos generados ni su destino final; se recolectan junto a otros residuos del taller y el destino final es enterramiento en el vertedero.		Jefe taller térmico
7.	No están establecidos en el sistema de gestión del Taller el control de los indicadores de consumo de los productos químicos ni de la generación de los desechos.		Director técnico UBSP
8.	La construcción de los crisoles y los refractarios es de mala calidad, se detectan problemas con la soldadura y fundición del refractario.		Jefe taller térmico

RC 0431 Versión 2		PLANILLA DE OBSERVACIONES	
UB: UBSP		Área: Tratamiento térmico	Normas de Referencia: NC 229:05.
No	Observaciones detalladas	Fecha/ hora	Notificado a:
9.	En el horno de sales (Cloruro de Potasio), no se utiliza el Fluoruro de magnesio como desoxidante, como está establecido en la documentación del proyecto		Jefe taller térmico
10.	El régimen productivo es muy bajo y cíclico: Tratamiento a herramientas solo cuatro veces en el año 2008 y en cantidades muy pequeñas, por lo que el proceso es poco productivo y altamente ineficiente. (El 6,19 % de la producción del taller provoca el 36,19 % de los gastos de productos químicos)		Director técnico UBSP
11.	Se realiza mantenimiento periódico a los sistemas eléctricos, en el caso de los crisoles es deficiente el mantenimiento preventivo; no se presentan evidencias de la realización de trabajos de mantenimiento preventivo, solo de cambios y reparaciones por averías.		Director técnico UBSP
12.	Son importantes las pérdidas que se generan debido a roturas de los crisoles (en los hornos de sales por no utilizar revestimiento interno los crisoles se rompen por las soldaduras con alta frecuencia de ocurrencia).		Jefe taller térmico
13.	No están establecidas medidas de manejo de los residuos, no se evalúan acciones de minimización ni de eficiencia del proceso, no se gestionan los residuos peligrosos de acuerdo a la Resolución 87/99		Jefe taller térmico
14.	El trabajo es muy peligroso para la salud de los trabajadores, por las altas temperaturas a que se trabaja y la generación de gases nocivos inherentes a los materiales utilizados.		Jefe taller térmico
Auditor: Ing. Ricardo O. Bautista Zayas		Firma: 	Fecha: 24.02.09

ANEXO 14. Esquema de gestión de los residuos.



ANEXO 15. Resumen de las medidas propuestas para mejora de desempeño ambiental

No	Medidas propuestas	Indicador de desempeño ambiental	Valor del ID (2.2.6)		Evaluación de la acción de mejora			Prioridad
			Valor actual	Objetivo propuesto	Aspectos técnicos	Aspectos ambientales	Aspectos económicos	
1.1	Utilizar la máquina de limpieza por polvo abrasivo instalada en el taller en la operación de limpieza antes del tratamiento térmico.	Índice de residuos generados (Irsales)	214,10	171,28	Consumo de Energía: + 1.52 MW/año Consumo de Polvo abrasivo: +1179 kg/año Consumo de sales fundidas: - 520 kg/año Existe capacidad instalada en el taller.	Disminuye generación de residuos de sales: 290 kg/año Aumenta generación de residuos de polvos abrasivos: 770 kg/año	Flujo de caja: -860 \$/año. (negativo)	No procede
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,04	285,69				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	579,71				
1.2	Adquirir equipo de limpieza ultrasónica, para utilizar en todas las limpiezas realizadas en el taller.	Índice de residuos generados (Irsales)	214,10	171,28	Consumo de energía: -12 MWh/año Ahorro en productos químicos: 5 771 \$/año. (limpieza química y mecánica) Se puede utilizar el sistema de suministro y transformación de energía existente en el taller. Riesgo: no está contratada la compra ni aprobado presupuesto.	Residuales líquidos: - 4788 m³/año Disminuye generación de residuos de sales: 290 kg/año	Costo de la inversión: \$ 5640,00 Flujo de caja: + 4 944,70 \$/año VAN: \$ 18 432,87 TR: 1,14 años	1
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,04	285,69				
		Índice de gastos total de productos químicos (lgpqt)	320,36	137,53				

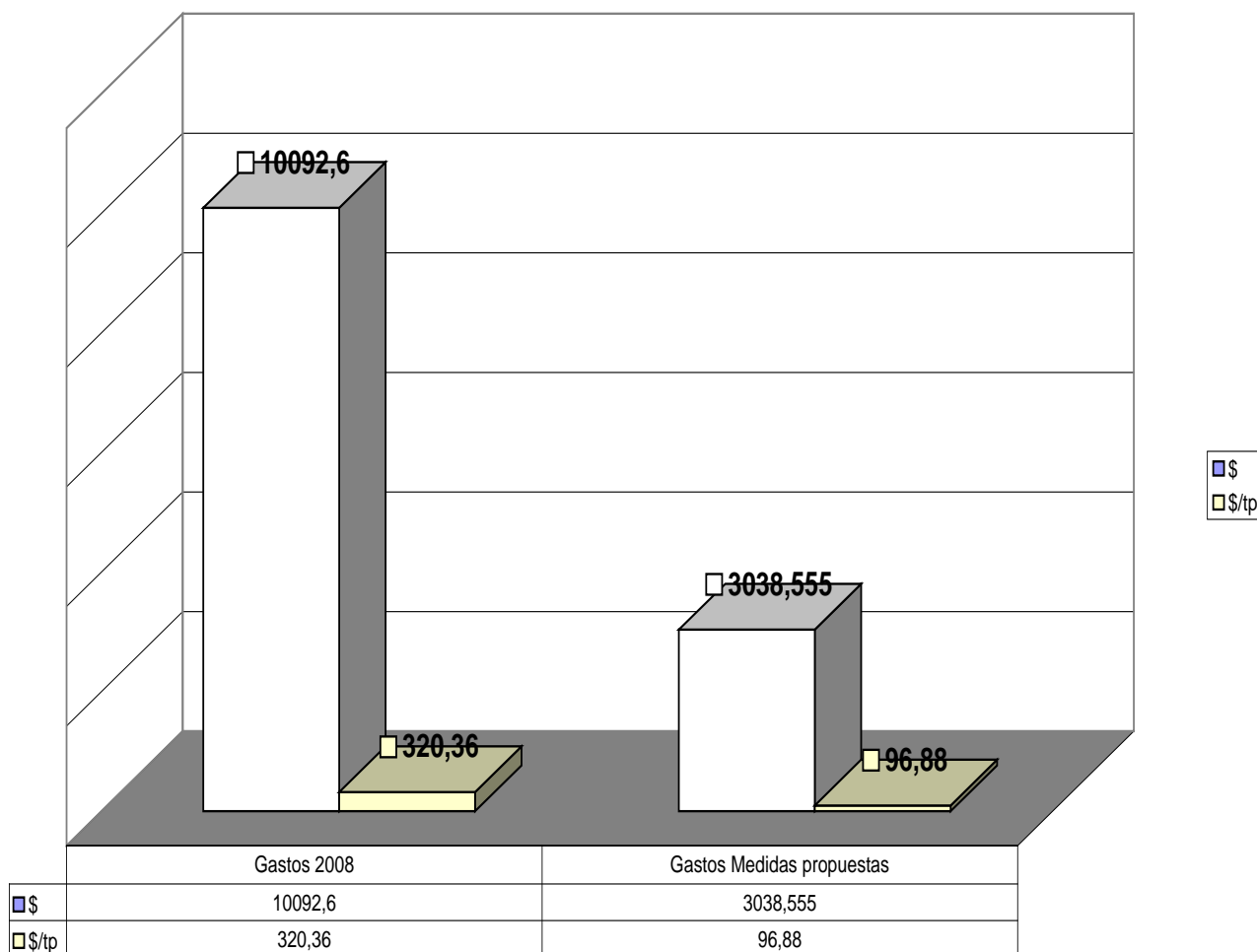
No	Medidas propuestas	Indicador de desempeño ambiental	Valor del ID (2.2.6)		Evaluación de la acción de mejora			Prioridad
			Valor actual	Objetivo propuesto	Aspectos técnicos	Aspectos ambientales	Aspectos económicos	
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	579,71				
2	Utilizar el cloruro de magnesio por el Bórax en los hornos de sales como elemento antioxidante.	Índice de residuos generados (lrsales)	214,10	190,87	La disminución de cloruro de bario es de 520 kg./año. Riesgo: No existencia de un suministrador estable del producto.	Residuos peligrosos - 250 kg/año	Flujo de caja positivo: + 520 \$/año.	2
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	313,88				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	507,25				
3	Reparación de los hornos, rellenando la parte interior con el material refractario.	Índice de residuos generados (lrsales)	214,10	187,97	Ahorro en consumo de productos químicos : 513,00 \$/año	Residuos peligrosos - 315 kg/año.	Gasto de la inversión \$ 3024,00 Flujo de caja total : 513,00 \$/año TR: 5,89 años VAN : – \$ 526,50 (negativo)	1
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	314,44				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	724,64				
4	Cambios en criterios tecnológicos de desecho de los hornos de sales.	Índice de residuos generados (lrsales)	214,10	188,22	Disminución en consumo de cloruro de bario: 450 kg/año	Residuos peligrosos - 312 kg/año.	Flujo de caja debido al Ahorro en productos químicos: 795,75 \$/año	2

No	Medidas propuestas	Indicador de desempeño ambiental	Valor del ID (2.2.6)		Evaluación de la acción de mejora			Prioridad
			Valor actual	Objetivo propuesto	Aspectos técnicos	Aspectos ambientales	Aspectos económicos	
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	291,00				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	507,25				
5	Adquirir una línea de hornos de cámara con calentamiento por radiación para el tratamiento térmico a herramientas.	Índice de residuos generados (lrsales)	214,10	0,00	Ahorro en energía: 61,32 MWh/año Ahorro en productos químicos: 4028,50 kg/año	Los residuos peligrosos se eliminan totalmente: 2580 kg/año de residuos de sales fundidas.	Valor total de la inversión: \$ 52 000,00 Flujo de caja: + 12321,10 \$/año. VAN: \$ 7984 TR: 4,22 años	5
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	0,00				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	0,00				
6	Adquirir horno al vacío para los procesos de tratamiento térmico	Índice de residuos generados (lrsales)	214,10	0,00	El consumo de energía es similar. Ahorro importante en el uso de productos químicos. Se requiere especialización del personal y capacitación para uso de nueva tecnología. Mejora calidad del producto.	Los residuos peligrosos se eliminan totalmente: 2 580 kg/año de residuos de sales fundidas. Los residuales líquidos se eliminan: 41 368,32 m³/año.	Valor de la inversión: \$ 600 000,00 El flujo de caja debido a la disminución de los gastos es 50 405,42 \$/año El valor del VAN es – 408 923	No procede
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	0,00				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	0,00				

No	Medidas propuestas	Indicador de desempeño ambiental	Valor del ID (2.2.6)		Evaluación de la acción de mejora			Prioridad
			Valor actual	Objetivo propuesto	Aspectos técnicos	Aspectos ambientales	Aspectos económicos	
7	Confinar los residuos generados en los hornos de sales junto con los residuos galvánicos (confinamiento controlado)	Índice de residuos generados (Irsales)	214,10	214,10	Se utiliza el mecanismo establecido para la gestión de los residuos galvánicos peligrosos.	Se realiza una acción de confinamiento (ubicación controlada de los residuos); no interviene en la generación		3
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	357,11				
		Índice de consumo de Cloruro de bario (lccb)	724,64	724,64				
8	Medidas organizativas (capacitación, control operacional, gestión de residuos)	Índice de residuos generados (Irsales)	214,10	192,60	Se mantienen los criterios de calidad del producto; no se requieren cambios en tecnología ni en proceso. Disminuye consumo de materiales	Disminuye generación de residuos peligrosos	Ahorros determinados por disminución en consumo de materiales.	4
		Índice de costo de productos químicos. (lgpq)	357,11	321,40				

ANEXO 16. Evaluación de los gastos en los hornos de sales con el Programa de mejoras.

Análisis de los gastos para el programa de mejoras



ANEXO 17. Horno al vacío.



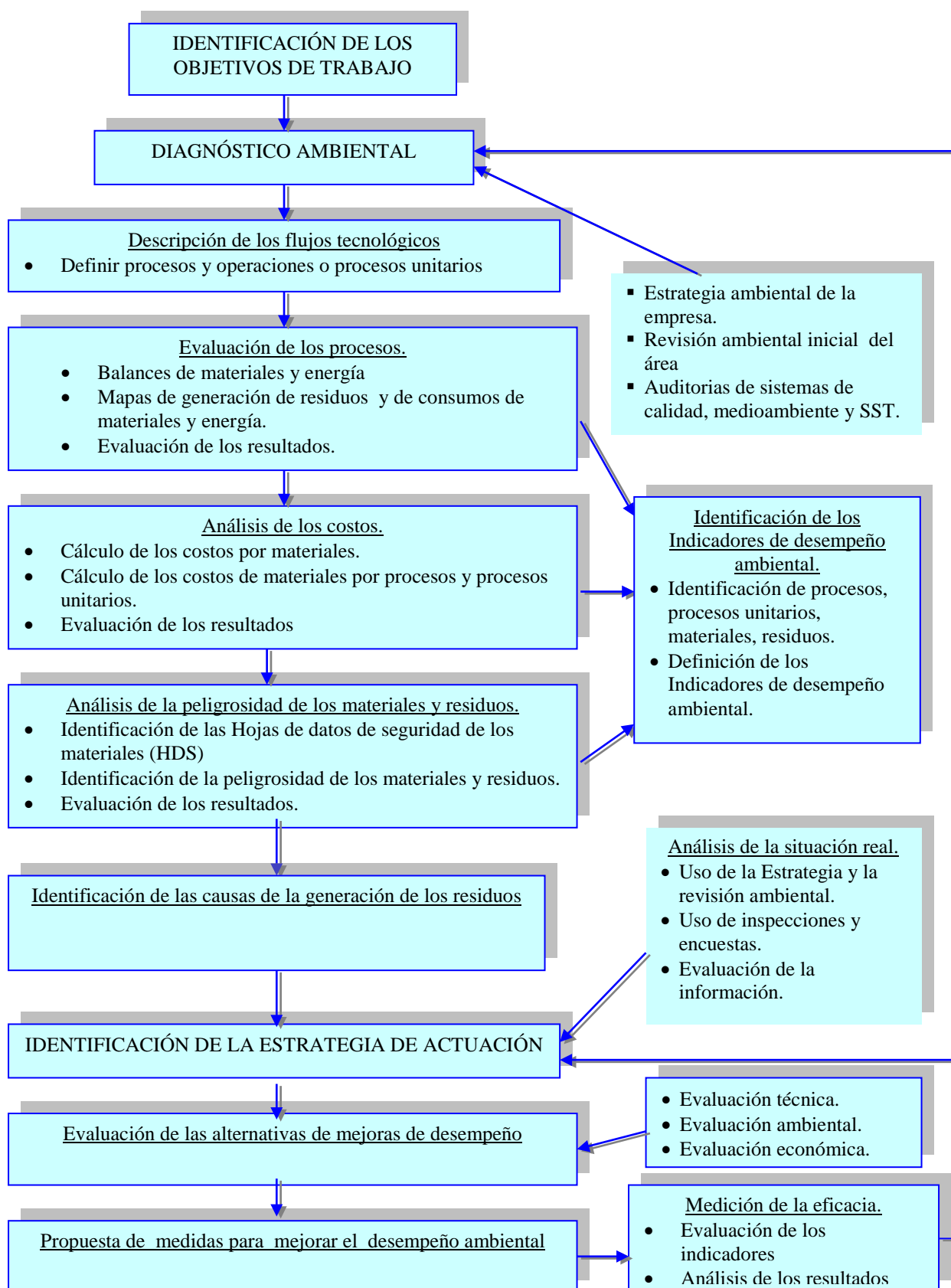
ANEXO 18. Horno de cámara por radiación



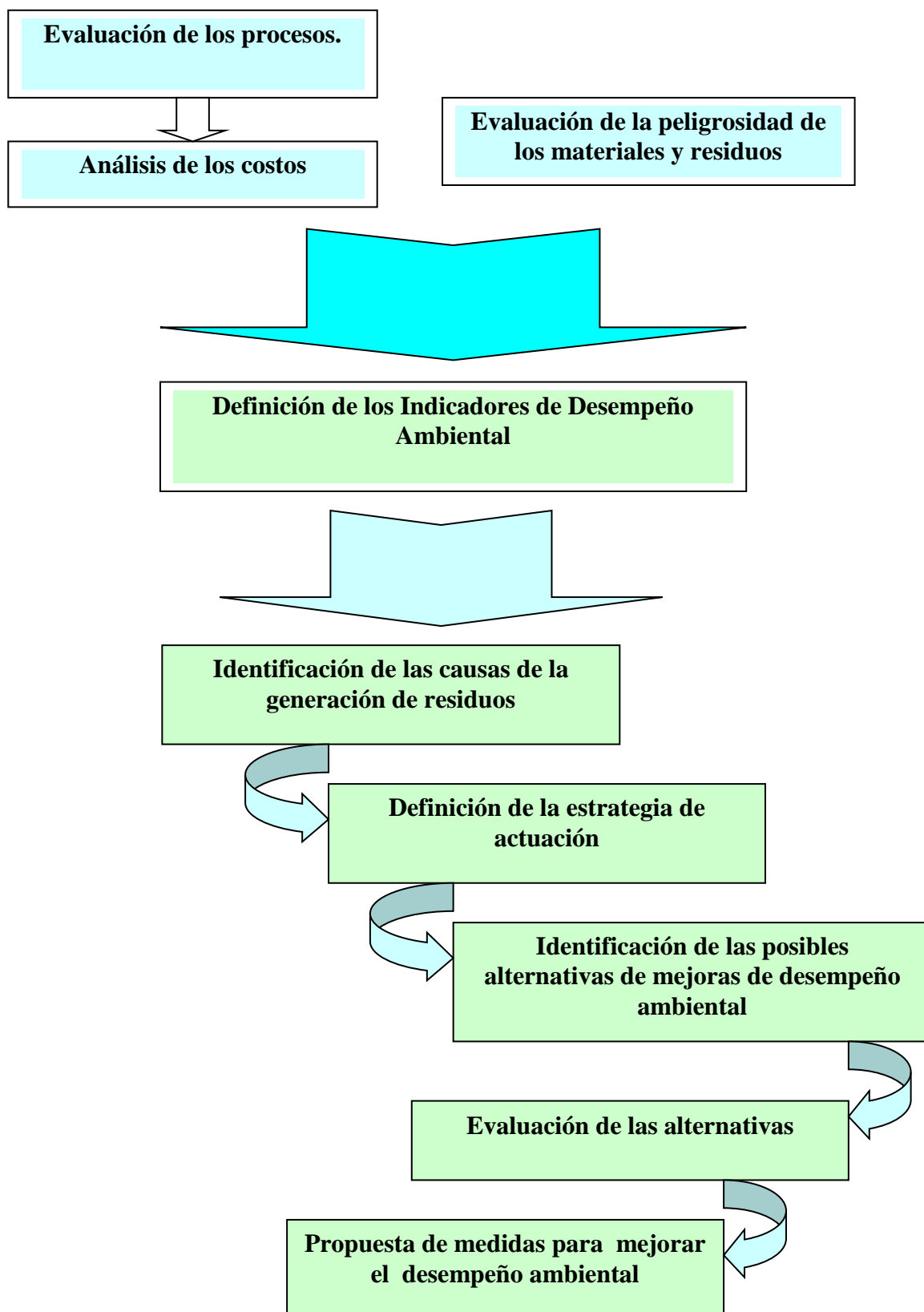
ANEXO 19. Hornos de Sales fundidas



ANEXO 20: Estrategia de trabajo para identificar el programa de mejoras de desempeño ambiental.



ANEXO 20 (Continuación)



ANEXO 21: Matriz de priorización de las alternativas de mejoras de desempeño ambiental.

Alternativas	Máximo valor	A 1.2 - 2 - 4	A 1.2 - 2 - 3 - 4	A 1.1	A 1.2	A 5	A 6	A 2 -- 3 -- 4
Evaluación	100,0	64,3	66,5	30,9	59,5	64,1	48,3	34,5
TÉCNICA	30,0	23,4	22,8	20,1	23,1	22,2	23,1	23,4
CONSUMOS	6,6	4,2	4,5	2,4	4,2	5,1	7,2	2,4
Consumo de materiales	2,4	1,2	1,5	0,3	1,2	1,8	2,4	0,9
Consumo de energía	2,4	1,2	1,2	0,3	1,2	2,1	2,4	0,9
Consumo de agua	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,2	2,4	0,6
CALIDAD DEL PRODUCTO	2,4	2,4	2,4	2,1	2,4	2,1	2,4	2,4
Calidad del producto	2,4	2,4	2,4	2,1	2,4	2,1	2,4	2,4
CORRECCIÓN DEL PROBLEMA	1,8	1,5	1,5	0,6	1,2	1,8	1,8	0,9
Estimado de la corrección del problema	1,8	1,5	1,5	0,6	1,2	1,8	1,8	0,9
RECURSOS HUMANOS	2,4	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	0,6	2,4
Especialización	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,3	1,2
Colaboración	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,3	1,2
RIESGOS	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,5	4,5	4,8
Afectación a otros procesos	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Características del producto	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,1	2,1	2,4
FACILIDAD DE APLICACIÓN	10,2	8,1	7,2	7,5	8,1	6,9	6,3	9,0
Líneas de vapor	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Servicio de agua.	1,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Servicio de energía	1,8	1,2	1,2	0,9	1,2	0,9	0,9	0,9
Monitoreo y control.	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,2	0,6	1,8
Mantenimiento	1,8	1,5	0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8
Logística	1,8	0,9	0,6	0,9	0,9	0,6	0,3	1,8
TIEMPO REQUERIDO DE APLICACIÓN	1,8	0,6	0,6	0,9	0,6	0,3	0,3	1,5
Tiempo para la aplicación	1,8	0,6	0,6	0,9	0,6	0,3	0,3	1,5
AMBIENTAL	30,0	17,7	20,1	10,8	15,6	23,1	25,2	11,1

REDUCCIÓN DE DESECHOS	10,2	6,9	7,2	4,5	6,0	7,2	9,3	4,2
Emisiones gaseosas	3,0	1,5	1,5	0,9	1,2	2,1	2,7	1,2
Residuos sólidos	3,6	2,4	2,7	0,6	1,8	3,3	3,3	1,5
Residual líquido	3,6	3,0	3,0	3,0	3,0	1,8	3,3	1,5
RESIDUOS PELIGROSOS	6,0	2,4	3,3	1,5	1,8	5,4	5,4	1,5
Residuos peligrosos (S,L,G)	6,0	2,4	3,3	1,5	1,8	5,4	5,4	1,5
REDUCCIÓN DE CONSUMOS	13,8	8,4	9,6	4,8	7,8	10,5	10,5	5,4
Consumo de materiales	3,0	1,5	2,1	0,6	1,5	2,4	2,7	0,9
Productos químicos	3,6	2,1	2,7	1,2	1,5	3,0	3,3	1,2
Consumo de energía	3,6	1,8	1,8	1,2	1,8	2,7	1,5	1,2
Consumo de agua	3,6	3,0	3,0	1,8	3,0	2,4	3,0	2,1
ECONÓMICA	40,0	23,2	23,6	0,0	20,8	18,8	0,0	0,0
AHORROS	16,0	8,0	8,0	5,6	7,2	8,4	9,2	5,2
Compras de materiales	3,6	2,4	2,4	1,2	2,0	2,8	3,2	1,6
Gastos energéticos	3,6	2,4	2,4	1,2	2,0	2,8	2,0	1,6
Gastos en tratamiento de residuales	3,6	3,2	3,2	3,2	3,2	2,0	3,2	2,0
Reducción mano de obra	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0
Venta de desechos	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EVALUACIÓN	24,0	15,2	15,6	0,0	13,6	10,4	0,0	0,0
Gastos de Inversión	6,0	2,0	2,4	4,0	2,4	1,2	0,0	4,4
Gastos Operativos	6,0	3,6	4,0	0,0	2,8	4,0	4,0	2,0
Período de retorno de inversión	6,0	4,4	3,6	0,0	4,0	1,2	0,0	0,0
Valor actual neto (VAN)	6,0	5,2	5,6	0,0	4,4	4,0	0,0	0,0

ANEXO 21 (Continuación)

Alternativas	A 1.2 - 2 - 4	A 1.2 - 2 - 3 - 4	A 1.1	A 1.2	A 5	A 6	A 2 -- 3 -- 4
Evaluación	64,3	66,5	30,9	59,5	64,1	48,3	34,5
TÉCNICA	23,4	22,8	20,1	23,1	22,2	23,1	23,4
CONSUMOS	4,2	4,5	2,4	4,2	5,1	7,2	2,4
CALIDAD DEL PRODUCTO	2,4	2,4	2,1	2,4	2,1	2,4	2,4
CORRECCIÓN DEL PROBLEMA	1,5	1,5	0,6	1,2	1,8	1,8	0,9
RECURSOS HUMANOS	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	0,6	2,4
RIESGOS	4,8	4,8	4,8	4,8	4,5	4,5	4,8
FACILIDAD DE APLICACIÓN	8,1	7,2	7,5	8,1	6,9	6,3	9,0
TIEMPO REQUERIDO DE APLICACIÓN	0,6	0,6	0,9	0,6	0,3	0,3	1,5
AMBIENTAL	17,7	20,1	10,8	15,6	23,1	25,2	11,1
REDUCCIÓN DE DESECHOS	6,9	7,2	4,5	6,0	7,2	9,3	4,2
RESIDUOS PELIGROSOS	2,4	3,3	1,5	1,8	5,4	5,4	1,5
REDUCCIÓN DE CONSUMOS	8,4	9,6	4,8	7,8	10,5	10,5	5,4
ECONÓMICA	23,2	23,6	0,0	20,8	18,8	0,0	0,0
AHORROS	8,0	8,0	5,6	7,2	8,4	9,2	5,2
EVALUACIÓN	15,2	15,6	0,0	13,6	10,4	0,0	0,0

<i>Criterios de evaluación</i>	A 1.2 - 2 - 4	A 1.2 - 2 - 3 - 4	A 1.1	A 1.2	A 5	A 6	A 2 -- 3 -- 4
	64	67	31	60	64	48	35
TÉCNICA	23	23	20	23	22	23	23
AMBIENTAL	18	20	11	16	23	25	11
ECONÓMICA	23	24	0	21	19	0	0

ANEXO 21 (Continuación)

Microsoft Excel - 0567372032Matriz Térmico

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana Herramientas del estudiante ? Adobe PDF

Arial 10 75% Arial 10

Responder con cambios... Terminar revisión...

D31
$$= (C31 / \$C\$28 * 100) * \$D\$28 / 100$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	%		Máximo valor		1.2 - 2 - 4		1.2 - 2 - 3 - 4		1.1		1.2		5		6		2 -- 3
3	100		100,0		64,3		68,5		30,9		53,5		64,1		48,3		34,
22	Servicio de energía	6	1,8	4	1,2	4	1,2	3	0,9	4	1,2	3	0,9	3	0,9	3	0,9
23	Monitoreo y control.	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	6	1,8	4	1,2	2	0,6	6	
24	Mantenimiento	6	1,8	5	1,5	3	0,9	4	1,2	5	1,5	5	1,5	6	1,8	6	
25	Logística	6	1,8	3	0,9	2	0,6	3	0,9	3	0,9	2	0,6	1	0,3	6	
26	TIEMPO REQUERIDO DE APLICACIÓN	6	1,8	2	0,6	2	0,6	3	0,9	2	0,6	1	0,3	1	0,3	5	
27	Tiempo para la aplicación	6	1,8	2	0,6	2	0,6	3	0,9	2	0,6	1	0,3	1	0,3	5	
28	30 AMBIENTAL	100	30,0	53	17,7	67	20,1	36	10,8	52	15,6	77	23,1	84	25,2	37	
29	REDUCCIÓN DE DESECHOS	34	10,2	23	6,9	24	7,2	15	4,5	20	6,0	24	7,2	31	9,3	14	
30	Emissiones gaseosas	10	3,0	5	1,5	7	2,1	3	0,9	4	1,2	7	2,1	8	2,7	4	
31	Residuos sólidos	7	2,1	7	2,1	7	2,1	7	2,1	6	1,8	11	3,3	11	3,3	5	
32	Residual líquido	0	0,0	0	0,0	10	3,0	10	3,0	10	3,0	6	1,8	11	3,3	5	
33	RESIDUOS PELIGROSOS	3	0,9	5	1,5	6	1,8	18	5,4	18	5,4	18	5,4	18	5,4	5	
34	Residuos peligrosos (S,L,G)	20	6,0	8	2,4	11	3,3	5	1,5	6	1,8	18	5,4	18	5,4	5	
35	REDUCCIÓN DE CONSUMOS	46	13,8	28	8,4	32	9,6	16	4,8	26	7,8	35	10,5	35	10,5	18	
36	Consumo de materiales	10	3,0	5	1,5	7	2,1	2	0,6	5	1,5	8	2,4	9	2,7	3	
37	productos químicos	12	3,6	7	2,1	9	2,7	4	1,2	5	1,5	10	3,0	11	3,3	4	
38	Consumo de energía	12	3,6	6	1,8	6	1,8	4	1,2	6	1,8	9	2,7	5	1,5	4	
39	Consumo de agua	12	3,6	10	3,0	10	3,0	6	1,8	10	3,0	8	2,4	10	3,0	7	
40	40 ECONÓMICA	100	40,0	58	23,2	58	23,6	6	0,0	52	20,8	47	18,8	6	0,0	6	
41	AHORROS	40	16,0	20	8,0	20	8,0	14	5,6	18	7,2	21	8,4	23	9,2	13	
42	Compras de materiales y combustibles	9	3,6	6	2,4	6	2,4	3	1,2	5	2,0	7	2,8	8	3,2	4	
43	Gastos operativos	9	3,6	6	2,4	6	2,4	3	1,2	5	2,0	7	2,8	8	3,2	4	

Factibilidad 1/2/3 / cálculo económico / cálculo económico (2)

Celda B31 comentada por CALIDAD-2

NUM

Inicio 2 Explor... EndNote... Microsoft... Anexos t... ES Escritorio 13:37

Proyecto de mejora de desempeño ambiental en proceso de tratamiento térmico en Planta Mecánica Camaguey
