



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**Proyecto de Eco-eficiencia en empresa
mexicana productora de jarabe de
azúcar: área de disolución**

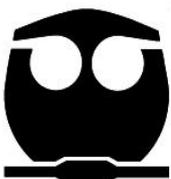
TESIS

que para obtener el título de:

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

Ixtzul Hayde Rubalcava Hernández



MÉXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



JURADO ASIGNADO

Presidente: Alejandro Anaya Durand

Vocal: José Agustín Texta Mena

Secretario: Fulvio Mendoza Rosas

1^{er} Suplente: Juan José Ruiz López

2^{do} Suplente: José Agustín García Reynoso

Sitio donde se desarrolló el tema: Empresa mexicana productora de jarabe de azúcar, Amecameca, Edo. De México.

M. en I. Fulvio Mendoza Rosas

Asesor del Tema

Ixtzul Hayde Rubalcava Hernández

Sustentante



AGRADECIMIENTOS

A Ma. Esther Hernández Zamora y César Jesús Rubalcava Gutiérrez, mis padres, por su inmenso amor, apoyo y confianza es que he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual viviré eternamente agradecida.

A mi hermano César Fernando Rubalcava Hernández a quien quiero profundamente por ser simplemente el mejor hermano del mundo, ¡sólo yo tengo la dicha de tenerte como hermano!

Por todo el cariño con el que me cuidó durante toda su vida, a mi abuelita Ignacia Zamora.

A mi prima Lucía González Hernández, mi tía Alicia Hernández, mi sobrina Miroslava y hasta la bella Sultana del Norte, a mis tíos Gustavo y Abel Rubalcava, Reyna Reyes por siempre brindarme su apoyo y cariño.

Para quienes el tiempo y su apoyo les han dado un merecido lugar como parte de mi familia, mi primo Carlos Alberto Espinosa Pérez y mis tíos José Luis González Gutiérrez y Mario Espinosa.

A mi asesor de tesis Fulvio Mendoza Rosas quien me enseñó a "ver lo que no se ve" brindándome la guía, apoyo y motivación necesaria para elaborar este trabajo.

A mis amigos:

Desde la secundaria Alondra Díaz Martínez y Liliana Salame Casas por todos los años de sincera fraternidad.

Del CCH Oriente: Aleida Gutiérrez, Alicia González Lira, Erika Mendieta Arresú, Mónica Lobera, Ricardo Guijosa Vargas y Sandra Anzures Coyotl con quienes he pasado momentos inolvidables, unidos por una lealtad inquebrantable y que nos hace parte de una hermandad.



De la Facultad de Química: Brenda Barcena Monrroy, Efraín Terán Varga y Jesús Quiroz Licea†(sólo el olvido es la muerte), quienes han sido un gran regalo en mi vida al brindarme cariño, apoyo y confianza en todo momento sin ustedes las experiencias vividas dentro y fuera de la Facultad no hubieran sido tan especiales.

Por quienes los días en la Facultad estuvieron llenos de alegrías: Ahiram Hernández, Alejandro Bustamante, Antonio Monrroy, Constantino Flores, Eunice Valdez López, Jorge Santacruz, Karla M. González Reyes, Mariana Toral Santana, Moisés Nava Montaña, Oscar Cortes Briones, José Miguel Salazar León y Víctor Bustillos.

A Ricardo Castrejón Mayorga, por su bella música y Luis Miguel Valdez López quien en la lejanía del mar siempre ha estado cerca para darme animos.

Para Noelía Gudiño y Elsa Cravioto con quienes compartí la experiencia de realizar este trabajo, por todos esos días en Bofer.

A mis profesores: Alejandro Anaya Durand, Fernando Barragán Arroche, Guillermo Segura, Héctor García Ortega, José Agustín Texta Mena, José María Sáenz, Ricardo Bravo, Ricardo Pérez Camacho, por su ejemplo como seres humanos y profesionistas.

A la empresa BOFER y al personal que en ella labora por darme todas las facilidades para desarrollar este tema de tesis en sus instalaciones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Química por todo lo que aprendí en sus aulas.

Todas estas personas me han brindado retos, amor, enseñanzas, cariño, consejos, recuerdos y valores para ser mejor cada día, para no ver el mundo ...

¡Para cambiarlo!

Con cariño Ixtzul.



RESUMEN

Este proyecto de tesis consistió en desarrollar proyectos de Eco-eficiencia en una empresa mexicana dedicada a la fabricación de jarabe de azúcar específicamente en el área de disolución, utilizando la metodología propuesta por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en su programa “*Liderazgo ambiental para la competitividad*”.

La metodología de trabajo se basa en el concepto de Eco-eficiencia como estrategia para mejorar las condiciones en que operan las empresas desde un punto de vista ecológico, económico y competitivo. Las herramientas de la Eco-eficiencia que se utilizaron para elaborar este proyecto fueron: el Eco-mapa, el Eco-balance y el análisis de los costos de ineficiencia.

Este estudio se realizó dentro de las instalaciones de la planta, durante aproximadamente de 4 meses, lapso en el cual se recopiló información sobre los consumos de agua, energía eléctrica, materia prima, vapor, tiempos de operación de los equipos, etc. y aplicando la metodología antes mencionada, se ubicaron las áreas de oportunidad en la zona de disolución con el objetivo de proponer alternativas para mejorar el proceso.

Finalmente, la estructura de la tesis se divide en dos grandes partes, la primera comprendida por los capítulos II y III en los que se habla conceptualmente sobre qué es la Eco-eficiencia y sus herramientas; y la segunda parte, los capítulos IV y V donde se muestran los beneficios ambientales y económicos así como las conclusiones a las que se llegó del desarrollo práctico de los proyectos de Eco-eficiencia en la planta de la empresa.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo del proyecto.	2
1.2 Alcances	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1 El desarrollo sostenible	4
2.2 La gestión ambiental	8
2.3 La Eco-eficiencia y sus herramientas	11
2.3.1 Herramientas de la Eco-eficiencia.....	16
2.3.2 Eco-eficiencia en México.	23
2.4 Presentación de la empresa.	25
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	29
3.1 Los factores de competitividad.....	30
3.2 El Eco-mapa.....	30
3.3 El Eco-balance.	33
3.4 Los costos de ineficiencia.	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
4.1 Determinación de los factores de competitividad de la empresa.	37
4.2 El Eco-mapa y determinación del área de oportunidad en la empresa.	39
4.3 Determinación del Eco-balance y los costos de ineficiencia.....	44
4.3.1 Tema ambiental: Energía eléctrica utilizada en la agitación.	46



4.3.2 Tema ambiental: Vapor consumido para el calentamiento del agua en los tanques disolutores.	47
4.3.3 Tema ambiental: Ruido generado por los agitadores de los tanques disolutores.	50
4.4 Alternativas de solución.....	53
4.4.1 Tema ambiental: Energía eléctrica utilizada en la agitación.....	53
4.4.2 Tema ambiental: Vapor consumido para el calentamiento del agua en los tanques disolutores.....	55
4.4.3 Tema ambiental: Ruido generado por los agitadores de los tanques disolutores.	56
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS.....	63
GLOSARIO	66
ANEXO I: CUESTIONARIOS	69
ANEXO II: CLAVES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TEMAS AMBIENTALES	72
ANEXO III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	73
ANEXO IV: MEMORIA DE CÁLCULO	86



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Pilares del desarrollo sostenible.</i>	6
<i>Figura 2. Algunos factores de competitividad.</i>	15
<i>Figura 3. Ejemplo de un Eco-mapa indicando el área de oportunidad.</i>	17
<i>Figura 4. Esquema general de un balance de materia.</i>	18
<i>Figura 5. Temas ambientales involucrados en un proceso.</i>	18
<i>Figura 6. Relación entre ineficiencia y valor agregado de un producto</i>	19
<i>Figura 7. Logotipo del programa de Liderazgo ambiental para competitividad</i>	23
<i>Figura 8. Organigrama de la empresa productora de jarabe.</i>	26
<i>Figura 9. Etapas de producción del jarabe de azúcar.</i>	27
<i>Figura 10. Secuencia de aplicación de la metodología.</i>	29
<i>Figura 11. Muestra de un plano general de la planta.</i>	31
<i>Figura 12. Símbolos utilizados para representar</i>	31
<i>Figura 13. Distinción entre temas ambientales de entrada y salida del sistema.</i>	32
<i>Figura 14. Uso de colores para representar cuantitativamente el consumo de un tema ambiental.</i>	32
<i>Figura 15. Eco-mapa indicando las áreas de oportunidad encontradas.</i>	33
<i>Figura 16. Asignación de costos.</i>	35
<i>Figura 17. Actores interesados en la empresa.</i>	37
<i>Figura 18. Factores de competitividad de la empresa.</i>	38
<i>Figura 19. Eco-mapa zona de producción.</i>	41
<i>Figura 20. Eco-mapa zona de almacén.</i>	42
<i>Figura 21. Eco-mapa zona de mantenimiento.</i>	43
<i>Figura 22. Temas ambientales involucrados en el área de disolución.</i>	44
<i>Figura 23. Insumos para la producción de vapor de baja presión.</i>	49



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de las características de las estrategias ambientales.	22
Tabla 2. Diferentes tipos de jarabe y sus características.	27
Tabla 3. Temas ambientales de la zona de disolución.	40
Tabla 4. Temas ambientales involucrados en la disolución del jarabe.	44
Tabla 5. Temas ambientales de mayor ineficiencia en la disolución del jarabe.	45
Tabla 6. Características de la producción.	45
Tabla 7. Costos de operación de los agitadores de cada disolutor.	47
Tabla 8. Costo de producción del vapor de baja presión.	49
Tabla 9. Horario y límite máximo permisible de ruido.	51
Tabla 10. Límites y tiempos máximos de exposición a ruido.	51
Tabla 11. Eco-balance para la zona de disolución de azúcar.	53
Tabla 12. Estimado de costos de aislante térmico.	55
Tabla 13. Propuestas de solución al problema de ruido.	57
Tabla 14. Resumen de las propuestas de solución para cada problemática encontrada.	59

Anexo II

Tabla A. 1- Claves y características de los temas ambientales.	72
---	----

Anexo III

Tabla B. 1- Claves y características de los distintos tipos de agua utilizados en el proceso.	80
Tabla B. 2- Lista de equipo: tanques y recipientes.	80
Tabla B. 3- Lista de equipo: bombas, motores y lámparas.	81
Tabla B. 4- Lista de equipo: filtros, intercambiadores de calor y misceláneos.	83
Tabla B. 5- Parámetros medidos en laboratorio.	83
Tabla B. 6- Lista de parámetros para las unidades decoloradoras.	84
Tabla B. 7- Lista de parámetros para las columnas desmineralizadoras.	84
Tabla B. 8- Parámetros que determinan si se realizará lavado de la pipa.	85
Tabla B. 9- Parámetros medidos en cada paso del lavado de pipas.	85
Tabla B. 10- Agentes químicos utilizados en el proceso.	85

Anexo IV

Tabla C. 1- Variables para el cálculo de calor ganado por el agua.	86
Tabla C. 2- Especificaciones del tanque disolutor.	87
Tabla C. 3- Variables para el cálculo de la cantidad de gas L.P. requerido.	89
Tabla C. 4- Costos de producción para el agua filtrada.	90
Tabla C. 5- Costo de producción del vapor de baja presión.	90
Tabla C. 6- Composición típica del gas L.P.	92



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Según las cifras de la Secretaría de Economía (SE) en 2009 existían en México 5, 144, 056 empresas, de las cuales el 99.8 por ciento son micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyME's)¹. Dadas estas cifras es innegable la importancia que tienen en el desarrollo económico del país.

Como es bien sabido las MiPyME's se enfrentan a grandes problemas de diversa índole, por ejemplo: el financiero, el administrativo, la falta de personal capacitado, mala planeación de la producción, escaso control en los procesos, entre otros. Todos estos factores hacen que operen bajo condiciones poco eficientes, esta situación no sólo resulta perjudicial para el medioambiente y las finanzas de la empresa sino también repercute en su competitividad, dificultando su desarrollo y crecimiento en el mercado.

Ante este panorama surge la iniciativa por hacer uso de la Eco-eficiencia como una manera para resolver estos los problemas. La Eco-eficiencia es una estrategia enfocada a incrementar la competitividad y productividad de la empresa a través del uso eficiente de insumos, energía, equipos, etc., con el fin de minimizar los deshechos, emisiones, riesgos de seguridad, riesgos a la salud humana, medio ambiente, así como reducir los costos de producción.

Esta estrategia es ideal para las MiPyME's ya que está sustentada en una metodología sencilla, perfectamente estructurada y cuyos resultados no sólo brindan beneficios económicos si no también ambientales; por medio de los cuales se pretende incrementar la competitividad desde un punto de vista ecológico.

¹SE. Secretaría de Economía. http://www.economia.gob.mx/swb/es/economia/p_contacto_Py.



1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO.

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar proyectos de Eco-eficiencia en la planta productora de jarabe, específicamente en el área de disolución, aplicando la metodología propuesta por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en su programa “*Liderazgo ambiental para la competitividad*”.

Objetivos específicos:

- Determinar los factores de competitividad de la empresa.
- Identificar las áreas de oportunidad donde se llevarán a cabo los proyectos de Eco-eficiencia.
- Elaborar los balances de materia y energía referentes al área seleccionada.
- Estimar la ineficiencia del proceso desde un punto de vista económico.
- Proponer alternativas de solución a los problemas encontrados junto con su evaluación económica.
- Determinar los beneficios ambientales y económicos.

1.2 ALCANCES.

El trabajo desarrollado tiene como alcance, el elaborar un proyecto ejecutivo que contenga un estimado de los beneficios ambientales y económicos que se pueden obtener como resultado de los proyectos de Eco-eficiencia que se propongan.

Dichos proyectos se realizarán con base en el análisis de la información proporcionada por la empresa en cuanto a la organización interna del personal, características del producto y el proceso, tiempos de operación de los equipos, consumo de materia prima, servicios auxiliares, generación de residuos, etc.



Así mismo la evaluación económica de las propuestas se llevará a cabo con los costos de producción y de los insumos que tengan en la empresa. El estimado de los costos para equipos o materiales que se requerirán como parte de las alternativas de solución se realizará por medio de cotizaciones con los proveedores de la empresa o algún externo.

Finalmente, la implementación de los proyectos de Eco-eficiencia queda fuera del alcance de este trabajo.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Es innegable el impacto que han tenido, tienen y seguirán teniendo las actividades humanas sobre los ecosistemas y que han provocado su deterioro, contaminación y sobreexplotación.

Prueba de ello fue lo ocurrido después de la Segunda Guerra Mundial cuando sobrevino una crisis mundial por los recursos naturales y los energéticos. En consecuencia el 24 de octubre de 1945 se fundó la Organización de las Naciones Unidas (ONU), integrada por 51 países (entre los cuales destaca México) que se comprometieron a mantener la paz y la seguridad internacional, desarrollar relaciones amistosas entre las naciones, promover el progreso social, mejores niveles de vida y los derechos humanos. Debido a su singular carácter internacional, y las competencias de su Carta fundacional, la Organización puede adoptar una decisión sobre una amplia gama de temas y entre los que actualmente destacan el cuidado del medio ambiente².

En las primeras décadas de existencia de la ONU, los asuntos asociados con el medio ambiente apenas figuraban entre las preocupaciones de la comunidad internacional, por tal motivo sus trabajos en esta materia se centraban sólo en el estudio y la utilización de los recursos naturales; particularmente, en tratar de asegurar que los países en desarrollo, administrarán adecuadamente sus propios recursos. En la década de los sesenta se concertaron acuerdos sobre la contaminación marina, especialmente sobre los derrames de petróleo, pero, ante los crecientes indicios de que el medio ambiente se estaba deteriorando a escala mundial, la comunidad internacional se mostró cada vez más alarmada por las

² UN. Naciones Unidas. <http://www.un.org/es/development/>



consecuencias que podía tener sobre el desarrollo económico, el equilibrio ecológico del planeta y el bienestar de la humanidad.

Por tal motivo en 1972 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Estocolmo (Suecia), se incorporó a los temas de trabajo de la comunidad internacional la relación entre el desarrollo económico y la degradación ambiental. Tras la conferencia fue creado el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que hasta el día de hoy sigue siendo el principal organismo mundial en la materia. Desde 1973 se han creado nuevos mecanismos para hallar conocimientos y medidas concretas que sirvan para solucionar los problemas ambientales mundiales.³

En los años ochenta los Estados Miembros mantuvieron negociaciones históricas sobre cuestiones ambientales, por ejemplo, las relativas a los tratados para la protección de la capa de ozono⁴ y aquellas relacionadas con el control del traslado de los desechos tóxicos. Gracias a la labor de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, creada en 1983 por la Asamblea General⁵, se comprendió que era urgente y necesario conseguir un nuevo tipo de desarrollo que asegurara el bienestar económico de las generaciones actuales y futuras, protegiendo al mismo tiempo los recursos ambientales de los que depende todo desarrollo. Por consiguiente, en 1987 la Comisión de la Asamblea General presentó un informe, nombrado y conocido como “Informe Brundtland”, donde se introdujo el concepto de **desarrollo sostenible** con un enfoque alternativo al desarrollo basado simplemente en un crecimiento económico sin restricciones.

Según este informe, el desarrollo sostenible puede definirse como ***“un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”***

³CINU. Conferencias de la ONU sobre el medio ambiente.
http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost/conf.htm

⁴La capa de ozono, u *ozonósfera*, a la zona de la estratosfera terrestre que contiene una concentración relativamente alta de ozono, actúa como filtro o escudo protector, de las radiaciones nocivas, y de alta energía, que llegan a la Tierra permitiendo que pasen otras como la ultravioleta .

⁵La Asamblea General es uno de los principales organismos de la ONU.

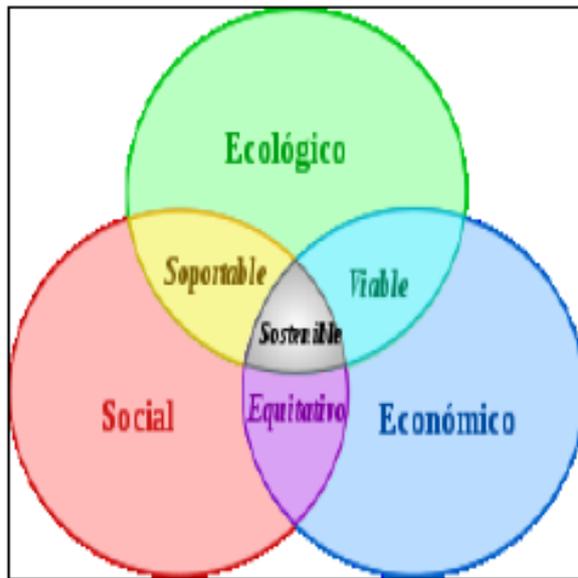


Figura 1. Pilares del desarrollo sostenible.

(Fuente: VEOVERDE, Chile, 2010).

En términos generales el desarrollo sostenible se conforma de tres pilares fundamentales: ecológico, económico y social. El triple resultado es un conjunto de indicadores del desempeño de una sociedad y tal como se aprecia en la figura 1 la conjunción de estos elementos describe las características del desarrollo alcanzado por la misma.

SEOANES⁶ extrae del Informe de Brundtland los puntos más importantes para alcanzar el desarrollo sostenible:

- Racionalizar la producción de energía.
- Racionalizar el consumo de materias primas y de los recursos naturales.
- Establecer acciones preventivas: atacar el deterioro del medio ambiente antes que se produzca, controlando aquellas prácticas o actividades que sean más perjudiciales para el medio ambiente.
- Fomentar el reciclado y la reutilización.
- Modificar las pautas de comportamiento y consumo, implicando a todos los sectores de la sociedad, compartiendo responsabilidades: empresarios, consumidores, ciudadanos, etc.
- Profundizar y ampliar la gama de instrumentos, controlando su correcta aplicación:
 - Legislación.
 - Instrumentos de mercado y otros instrumentos económicos.

⁶ SEOANES Calvo, Mariana et al. **Manual de gestión medioambiental de la empresa: Sistemas de gestión medioambiental auditorías medioambientales, evaluaciones de impacto ambiental y otras estrategias.** Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 1995. Págs.28-29



- Investigación y desarrollo.
 - Información, formación y educación ambiental.
 - Mecanismos de asistencia financiera.
 - Sistemas voluntarios.
-
- Promover campañas de información y concientización medioambiental dirigidas al consumidor, para que asuma sus responsabilidades.

Después de examinar el informe, la Asamblea General convocó a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD). La conferencia fue llamada *Cumbre para la Tierra* y se celebró en Río de Janeiro (Brasil) en 1992.

Dentro de los principales objetivos de la Cumbre se encontraban: lograr un equilibrio justo entre las necesidades económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y futuras; y al mismo tiempo, sentar las bases para formar una asociación mundial entre países desarrollados y países en desarrollo, entre gobiernos y sectores de la sociedad civil. Dichos objetivos debían estar fundamentados en la comprensión de las necesidades e intereses comunes.

En la Declaración de Río de Janeiro se definen los derechos y las obligaciones de los Estados Miembros respecto de principios básicos relacionados con el medio ambiente y el desarrollo. Las siguientes ideas forman parte de la misma:

- En el ámbito científico no ha de demorar la adopción de medidas de protección del medio ambiente.
- Los Estados tienen el "derecho soberano de aprovechar sus propios recursos" pero no han de causar daños al medio ambiente de otros Estados.



- La eliminación de la pobreza y la reducción de las disparidades en los niveles de vida en todo el mundo son indispensables para el desarrollo sostenible (figura 1), etc.⁷

En la actualidad las Naciones Unidas han sido unos de los principales defensores del medio ambiente y uno de los mayores impulsores del desarrollo sostenible, pues, consideran que proteger el medio ambiente debe ser parte de todas las actividades de desarrollo económico y social.

2.2 LA GESTIÓN AMBIENTAL

El sector industrial junto con los sectores del turismo, transporte, energético y agrícola son considerados como los de mayor impacto ambiental y por tal motivo sus progresos repercuten directamente en alcanzar el desarrollo sostenible de una sociedad.

Frente a este panorama el sector industrial ha puesto en marcha diversos mecanismos para amortiguar el impacto de sus actividades sobre el medio ambiente, así es como surge el concepto de **gestión ambiental**.

La gestión ambiental es el *“conjunto planeado y coordinado de acciones administrativas, procedimientos operativos, documentación y registros, implementados por una estructura organizacional específica con competencias, responsabilidad y recursos definidos, con el fin de prevenir efectos ambientales adversos, así como promover acciones y actividades que preservan y/o mejoran la calidad ambiental (PNUMA,2001)”*⁸

En este sentido existe otro término con el que se podría confundir el concepto de gestión ambiental y es el de *manejo ambiental*. La diferencia radica en que el manejo ambiental se limita a la elaboración de un plan operativo que contempla la ejecución de prácticas ambientales a fin de cumplir

⁷Cumbre para la Tierra +5. <http://www.un.org/spanish/conference/s/cumbre&5.htm>.

⁸Tomado de VAN HOFF, Bart *et al.* **Producción más Limpia: paradigma de gestión ambiental**. Alfaomega y Universidad de Los Andes Facultad de Administración. Colombia, 2008. Pág. 45.



con la legislación ambiental, mientras que la *gestión ambiental* responde al "¿qué y cómo hay que hacer? para conseguir el desarrollo sostenible", es decir, para conseguir el equilibrio entre el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del ambiente; por lo que tiene un significado más amplio.

En su libro *Producción más Limpia*, VAN HOOFF explica que "a nivel empresarial la gestión ambiental se entiende como un proceso de toma de decisiones relacionadas con el manejo de la variable ambiental en el diseño e implementación de sistemas de gestión en el interior de las empresas y otras organizaciones"⁹ en consecuencia, este medio puede intervenir directamente en la competitividad y sustentabilidad de la empresa.

En términos generales la gestión ambiental se constituye de tres elementos y que se explican brevemente:

- **Política ambiental:** es el conjunto de acciones orientadas ideológicamente hacia la toma de decisiones para racionalizar los bienes materiales o servicios que provienen del medio ambiente y cuyo objetivo es conseguir el desarrollo sostenible. En el ámbito empresarial es un requisito para lograr las certificaciones ambientales.
- **Legislación ambiental:** es un instrumento que se emplea para establecer los principios y mecanismos de aplicación de la política ambiental, que se traducen en el conjunto de normas y disposiciones legales respecto al medio ambiente a nivel local, regional, nacional e internacional.
- **Administración ambiental:** es el medio que se establece para el manejo material de los recursos naturales, se integra por evaluaciones, controles, autorizaciones y regulaciones, tales como las evaluaciones de impacto ambiental y auditorías ambientales.

⁹ *Ibidem*. Pág. 45.



Con esto en mente se puede definir a los *sistemas de gestión ambiental* (SGA) como los procedimientos que permiten a las empresas disponer adecuadamente de sus recursos con la finalidad de prevenir, reducir y/o menguar los impactos de las actividades de todos sus departamentos (producción, administración, almacenamiento, calidad, ventas, investigación, etc.) sobre el medio ambiente.

Los SGA constituyen instrumentos que permiten la detección, control, documentación, delegación de tareas y recursos, necesarios para solucionar los problemas ambientales de la empresa. Su finalidad es ayudar a alcanzar los objetivos y metas que se establecen según la política y requerimientos legales de la empresa en esta materia.

En términos generales las metodologías de los SGA son similares entre sí, ya que se constituyen por una etapa de planeación, aplicación, revisión, y mejoramiento; a este ciclo se le denominó *mejoramiento continuo* y es una constante en sistemas tan conocidos como los estándares ISO 14 000 y EMAS.

La Organización Internacional para la Estandarización (*International Organization for Standardization*) conocida como ISO¹⁰ es un organismo dedicado al desarrollo y promoción de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales. Tras el éxito que tuvieron las normas para la gestión de la calidad (ISO 9000), a partir de 1996 empezó a publicar una serie de normas para la gestión ambiental, a las que denominó ISO 14 000, siendo una referencia universal en cuanto a la administración, medición, evaluación y auditoría ambiental.

El objetivo de estas normas es facilitar a las empresas, sea cual sea su ramo o tamaño, metodologías adecuadas para la implantación de un SGA y pueda llevar a cabo sus actividades, analizándolas y controlando su impacto sobre el ambiente.

¹⁰ Del griego *isos* que significa "igual".



Por otro lado, el Sistema Comunitario de Gestión y Auditoría Medioambiental (EMAS por sus siglas en inglés *Eco-Management and Audit Scheme*), son una serie de normas voluntarias de la Unión Europea que reconoce a aquellas organizaciones que han implantado un SGA y han adquirido un compromiso de mejora continua, verificado mediante auditorías independientes. Su característica principal es que resalta la importancia de la difusión del desempeño ambiental de la empresa a todos sus accionistas, autoridades, clientes, etc.

Hoy en día, los SGA han cobrado mayor fuerza entre los sectores industriales como mecanismos no sólo para mejorar el desempeño ambiental de las mismas, sino también, para mejorar su posición en el mercado.

2.3 LA ECO-EFICIENCIA Y SUS HERRAMIENTAS

Si bien es cierto que cada día son más los industriales que se preocupan por mejorar su desempeño ambiental, es innegable que en un principio lo hacían principalmente por obligación ante las autoridades que por conciencia, pues consideraban que estas prácticas incrementaban los costos de producción. No obstante, esta forma de pensar ha ido cambiando y los empresarios han comenzado a ver las ventajas de ejercer prácticas amigables con el medio ambiente.

A principios de la década de los 90's el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible¹¹ (*World Business Council for Sustainable Development, WBCSD*) desarrolló el concepto de **Eco-eficiencia** para englobar en una sola palabra la relación entre las actividades empresariales y el desarrollo sostenible.

Bajo estos términos el WBCSD indica que *“la Eco-eficiencia se obtiene por medio del suministro de bienes y servicios con precios competitivos, que*

¹¹ El WBCS es una coalición de aproximadamente 150 empresas internacionales, unidas por un compromiso compartido para el desarrollo sostenible. Los miembros provienen de más de 30 países y 20 sectores industriales.



satisfacen las necesidades humanas y dan calidad de vida, al tiempo que reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de uso de los recursos a lo largo de su ciclo de vida, a un nivel por lo menos acorde con la capacidad de carga estimada de la Tierra. **En pocas palabras, se relaciona con crear más valor con menos impacto.**¹²

El PNUMA la define como “una aplicación continua de una estrategia preventiva e integral en los procesos, los productos y los servicios para reducir los riesgos a los humanos y el medio ambiente”¹³

En este contexto se puede afirmar que la Eco-eficiencia es una estrategia empresarial que consiste en un proceso continuo para maximizar la productividad de los recursos minimizando los deshechos y emisiones, generando al mismo tiempo ganancias en ámbitos que incrementen la competitividad de la empresa.

Son dos los elementos que caracterizan a la Eco-eficiencia, el primero su carácter preventivo y el segundo, su enfoque a incrementar la competitividad de las empresas.

Se dice que tiene un carácter preventivo porque busca eliminar o reducir el problema desde el punto donde este origina, evitando el confinamiento, concentración o transferencia de los contaminantes generados al contrario de como se hace tradicionalmente, sólo planteando alternativas para remediar los problemas al final del proceso, o como coloquialmente se les llama, soluciones de “fin de tubo”. Con ello se planea evitar los problemas antes de que estos surjan, pues de lo contrario la problemática permanecerá constante en el proceso con la única diferencia de que habrá cambiado la etapa donde se

¹² WBCS. World Business Council for Sustainable. **Eco-Efficiency: Creating more value with less impact.** www.wbcscd.org/web/.../eco_efficiency_creating_more_value.pdf. 2000. Pág.

2.

¹³ Tomado de PÉREZ Mireles, Adriana Estefanía. **Problemas, retos y soluciones en la implementación de proyectos de Eco-eficiencia en la industria.** Tesis de licenciatura, UNAM, México, 2009. Pág.9.



encuentra, provocando que en muchas ocasiones sea necesaria la implementación de nuevas tecnologías o procedimientos para resolver el problema, esto además representa costos extraordinarios para la empresa. Un ejemplo claro de esto son las plantas de tratamiento de agua, pues rara vez se buscan alternativas para disminuir la cantidad de efluentes que se generan y por el contrario la primera idea que se viene a la mente es la instalación de la planta.

El segundo aspecto es sin duda lo que la distingue de otras estrategias que ayudan para promover los SGA al interior de las empresas, tal es el caso de **los programas de prevención de la contaminación**¹⁴ como lo es "*Producción más limpia*", que solamente se limitan a reducir la emisión sustancias nocivas que puedan ser perjudiciales al medioambiente en cumplimiento con la normatividad sin considerar los beneficios hacia a empresa; en este sentido la Eco-eficiencia va más allá, pues los proyectos que desarrollan están enfocados en hacer que la empresa no solamente sea amigable con el ambiente, si no que, estos mismos deben hacer que la empresa se vuelva más competitiva.

Hablar de la competitividad de una organización, ya sea privada o pública, con fines de lucro o no, es hacer referencia a las ventajas que a la organización le permiten alcanzar, mantener y/o mejorar su lugar dentro del medio en que se desarrolla. A las características que hacen única a una empresa dentro de su ramo se les llaman **factores de competitividad**.

Dichos factores son los motivos por los que las partes o actores se interesan específicamente en dicha corporación y hacen que los prefieran por sobre sus competidores. Los actores interesados pueden ser clientes,

¹⁴ La Agencia para la Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency* EPA) define a los programas de Prevención de la contaminación como " *cualquier práctica que reduzca la cantidad de cualquier sustancia peligrosa contaminante, que de otra forma sería vertida o liberada en el ambiente, o reduzca los riesgos a la salud y el ambiente asociados con la liberación de tales sustancias, o reduzca u elimine la generación de contaminantes a través del uso más eficiente de materias primas y 2 la protección de los recursos naturales*".



autoridades, proveedores, trabajadores, entre muchos más. Cada uno de ellos influye de manera significativa en la competitividad de la compañía.

Establecer los factores de competitividad es de suma importancia ya que el alcance de la aplicación de los proyectos de Eco-eficiencia en la organización depende en gran medida de dichos factores, pues son el eje directriz de las acciones a tomar para acrecentar la competitividad y sobre salir respecto a los competidores.

VAN HOOFF¹⁵ nos enlista algunos aspectos que pueden influir sobre los factores de competitividad:

- ♦ **Económicos:** aquellos factores que impactan en las adquisiciones de la empresa, tales como, la inflación, el tipo de cambio, etc.
- ♦ **Tecnológicos:** las herramientas tecnológicas con las que se cuentan, por ejemplo medios de comunicación, sistemas automáticos, entre otros.
- ♦ **Legales:** es el cumplimiento de las leyes, normas y reglamentos que las autoridades pidan a la compañía.
- ♦ **Socioculturales:** son los elementos culturales y sociales que determinan la manera de pensar de los actores interesados, tales como, la religión, costumbres, tradiciones, cuestiones éticas, de los clientes por ejemplo.
- ♦ **Ambientales:** son todas las variables que pueden afectar el cometido de la empresa, como lluvias, sequías, etc.

Los factores de competitividad pueden ser diversos, dependen de cada empresa y pueden cambiar el transcurso del tiempo. Algunos ejemplos de ellos pueden ser: los tiempos de entrega, la situación de financiera de la empresa, la tecnología con la que se cuenta, ubicación, etc. Véase la figura 2.

¹⁵ VAN HOFF, Bart. *op cit.* Pág 42.

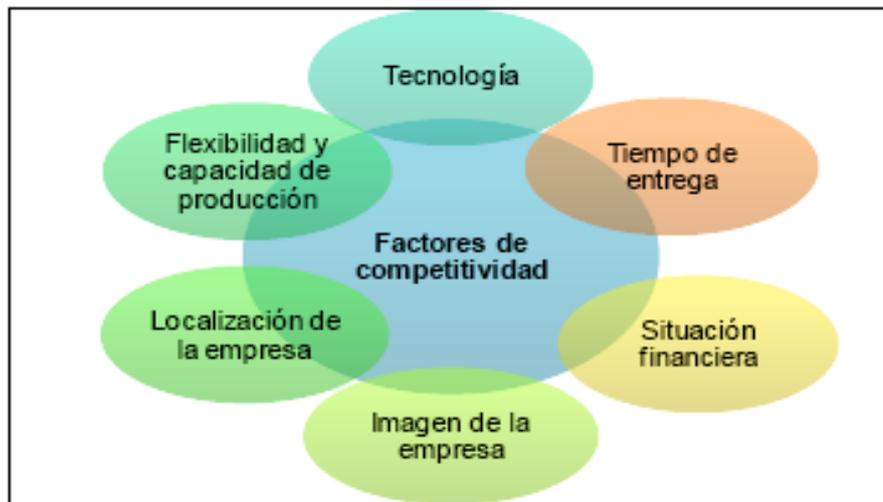


Figura 2. Algunos factores de competitividad.

En este contexto, la Eco-eficiencia hace uso de diversas herramientas para que las organizaciones puedan desarrollar proyectos que los encaminen a elevar su competitividad y eficiencia ambiental. Algunas de las herramientas utilizadas por la Eco-eficiencia son: el análisis de flujo de sustancias, análisis de ciclo de vida, la matriz de materiales, energía y desechos (matriz MED), el Eco-mapa, Eco-balance, el análisis de los costos de ineficiencia, etc. La Eco-eficiencia es, además, una metodología integradora la cual puede valerse de instrumentos usados para la gestión de calidad o seguridad industrial (diagramas de Ishikawa o Pareto) para el desarrollo de los proyectos.

En este trabajo sólo se profundizará en las herramientas del Eco-mapa, Eco-balance y el análisis de los costos de ineficiencia.



2.3.1 HERRAMIENTAS DE LA ECO-EFICIENCIA.

EL ECO-MAPA.

Es una herramienta cualitativa de diagnóstico que cumple con el objetivo de identificar y priorizar las áreas de oportunidad, en función de los factores de competitividad, en donde se pueden elaborar proyectos de Eco-eficiencia dentro de las instalaciones de la empresa.

Para realizar el Eco-mapa no se requiere de conocimientos especializados por lo que el personal de la empresa puede generarlo sin mayor problema y en un lapso relativamente corto. Los resultados que se obtienen con esta herramienta son fácilmente interpretables y proporcionan una muestra visual de lo que está pasando y en dónde, dentro de la empresa.

En éste se identifican los **temas o factores ambientales**, es decir las entradas de materiales, energía, insumos y empaques, así como las salidas de residuos, efluentes, emisiones, productos, ruido, inclusive, se pueden considerar aspectos como mantenimiento a equipos o tiempos muertos; por lo que es indispensable la participación de los operarios para conocer su opinión con respecto a la ubicación de los puntos críticos donde se encuentran áreas de desperdicio, consumo excesivo o contaminación. Estos temas ambientales se ubicarán en el plano general de la planta.

El Eco-mapa se puede elaborar para cada uno de los temas ambientales (agua, energía eléctrica, materia prima, etc.) o bien se puede hacer uno integrando todos los factores. Esto permite analizar de manera conjunta lo que pasa dentro de la planta y así dar prioridad a las áreas donde se encuentren problemas mayores. En la figura 3 se muestra un ejemplo de Eco-mapa con los temas ambientales de cada zona e indica cual es el área de oportunidad.

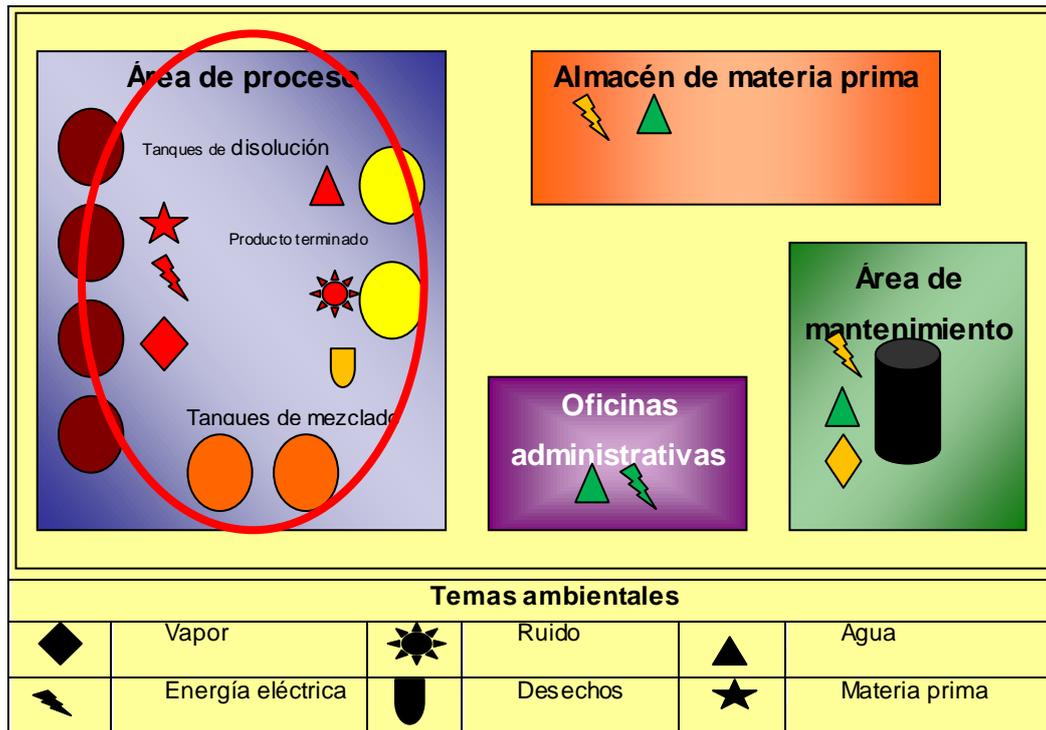


Figura 3. Ejemplo de un Eco-mapa indicando el área de oportunidad.

Con las áreas de oportunidad identificadas, el siguiente paso es elaborar los respectivos Eco-balances.

EL ECO-BALANCE.

Es un instrumento que permite cuantificar las pérdidas y determinar la eficiencia, pero sobretodo, la ineficiencia en las áreas críticas detectadas en el Eco-mapa de la empresa. Tiene la función de ayudar a comprender los pormenores del proceso productivo, como por ejemplo, precisar las entradas y salidas de materia o energía, de tal forma que se facilitará la detección de las áreas con problemas potenciales, ruido o generación de residuos; cuantificando así las pérdidas que se presentan. Con ello se dará pie al estimado de la ineficiencia del proceso y el costo económico que esto acarrea.

El Eco-balance se rige por las leyes de conservación de la materia y la energía, es decir, *“la materia o la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma”*, trasladando este concepto a un proceso, el fundamento es

sencillo: en una operación del proceso todo lo que entra, tiene que salir ya sea como producto o como residuo. De este modo, la suma de las masas de lo que entra debe ser igual a la suma de las masas de lo que sale (o por lo menos muy aproximadas) Figura 4.

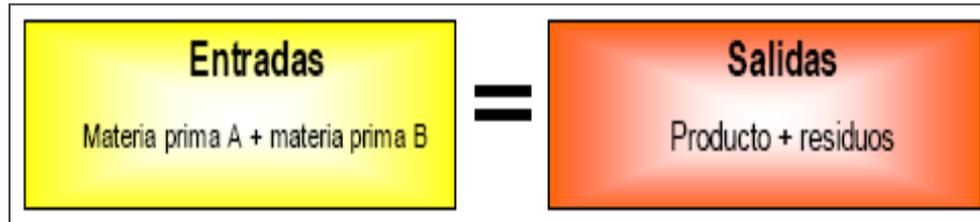


Figura 4. Esquema general de un balance de materia.

Es una herramienta que permite precisar cuál es el proceso o la operación unitaria que está siendo más ineficiente. La importancia de calcular la ineficiencia radica, en el cambio de perspectiva que brinda para evaluar la efectividad con que se aprovechan los recursos dentro de la empresa, pues no es lo mismo hablar de un proceso con una eficiencia de 80% a decir el proceso tiene una ineficiencia del 20%. La figura 5 muestra algunos de los factores ambientales que se deben considerar:

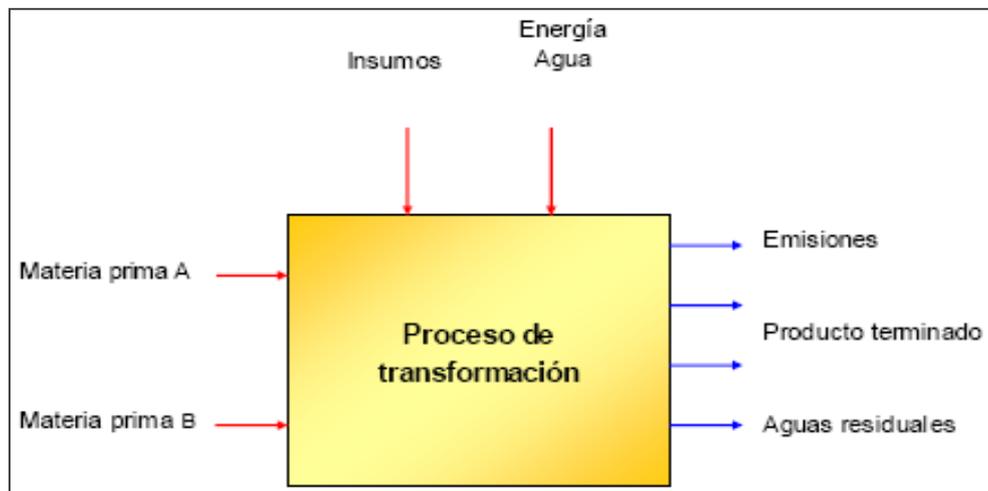


Figura 5. Temas ambientales involucrados en un proceso.

Una vez realizado el Eco-balance, se utiliza para proporcionar las respuestas necesarias del ¿Por qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo? y ¿Cuánto?, etc. Se generan dichas emisiones, residuos o cualquier otra situación de interés para el proyecto. Los datos que se generan son absolutos y detallados además de ser de gran ayuda para el cálculo de los costos de ineficiencia.

LOS COSTOS DE INEFICIENCIA.

Calcular los costos de ineficiencia sirve como un instrumento para la toma de decisiones y tienen el objetivo de analizar desde un punto de vista económico el costo de las ineficiencias en las áreas críticas de la empresa.

Un proceso productivo ineficiente se caracteriza por el manejo inadecuado de los recursos durante el proceso, generando pérdidas de materia prima, insumos, tiempo de producción, altos consumos de energéticos, alta generación de residuos, producto fuera de especificación, ruido, etc. Estas ineficiencias representan un costo ambiental y económico innecesario que impacta directa y negativamente sobre las utilidades de la empresa pues hace que los costos de producción se eleven.

En pocas palabras los costos de ineficiencia se pueden definir como: **“aquellos costos extraordinarios a los que se incurren para elaborar un producto”**. Es de suma importancia valorar e identificarlos adecuadamente ya que con esta información se podrán buscar y fundamentar las alternativas de solución.

En la figura 6 podemos ver que al incrementarse la eficiencia de un proceso se eleva el valor agregado del producto, por el contrario cuando se incrementa la ineficiencia aumentan los desperdicios y los costos.

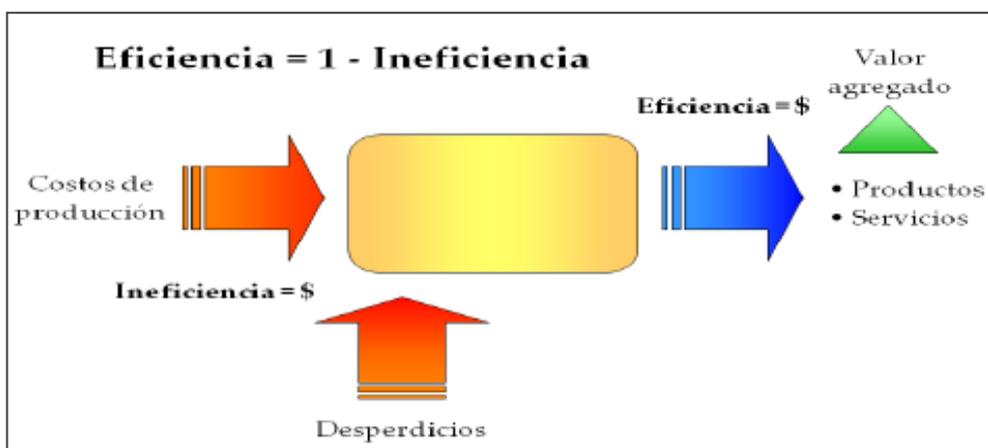


Figura 6. Relación entre ineficiencia y valor agregado de un producto (Fuente: SEMARNAT. Liderazgo ambiental para la competitividad. México, 2009.)



Dentro de los costos de ineficiencia podemos encontrar:

- **Costos convencionales:** son aquellos relacionados con el consumo de energía eléctrica o combustibles, materias primas, pérdida de tiempo de producción, etc.
- **Costos potencialmente escondidos:** estos tienen que ver pérdidas por no utilizar el máximo la capacidad instalada en la planta, por incapacidades laborales, baja productividad laboral, etc.
- **Costos de contingencia:** son los generados por cometer infracciones a las normas o bien por accidentes, incidentes, derrames, fugas, etc.
- **Costos de imagen y relaciones ambientales:** estos agrupan los costos causados por una mala imagen de la empresa o producto, o bien, la relación con las autoridades, clientes y demás actores interesados en la empresa.
- **Costos sociales:** son los costos asociados a resarcir los daños ocasionados a la comunidad o medio ambiente.

Cabe mencionar que el método que se utilice para hacer el cálculo de los costos de ineficiencia puede llevar, ó no, a resultados confiables que permitan hacer un correcto análisis económico de los mismos¹⁶.

Por lo anterior, la efectividad de las herramientas de Eco-eficiencia radican en conocer al detalle el proceso de interés y en la participación activa del personal de diferentes departamentos de la empresa; cada una de ellas tienen un propósito específico y cuando se utilizan en conjunto permiten saber dónde

¹⁶ Ver VAN HOFF, Bart. *op cit.* Capítulo 6.



ocurre el problema, su magnitud y el costo económico que conlleva, así pues, proponer alternativas para resolver el problema resulta mucho más sencillo.

Las alternativas de solución pueden estar planteadas a partir de:

- **Generar buenas prácticas operativas:** Consiste en una optimización de los procedimientos operativos y administrativos, con la finalidad de operar dentro de los parámetros establecidos para reducir o eliminar, residuos, emisiones, uso ineficiente de insumos y tiempos de operación.
- **Cambios en las materias primas:** Esto puede permitir la eliminación de residuos generados, por impurezas de la materia prima. Un cambio de esta puede dar lugar a la producción mediante el uso de otro compuesto el cual al generar el producto reduce la formación de compuestos residuales peligrosos o bien no requiera de un tratamiento.
- **Cambios en las tecnologías:** Consiste en la sustitución de maquinaria, equipos, instrumentos de medición, etc. por nuevas tecnologías diseñadas para el uso eficiente de las materias prima, energéticos y/o minimicen la generación de contaminantes o residuos.
- **Rediseño:** Estas son modificaciones que se realizan al proceso con la finalidad de variar las condiciones de operación que promueven una alta generación de residuos y/o emisiones, así como un uso eficiente de materias primas y energéticos.
- **Reuso y reciclaje en planta:** La atención dada a estas dos actividades puede dar lugar a una recuperación de materias útiles y a la localización de nuevos factores que promuevan el uso adecuado de materias primas, reduciendo así los gastos innecesarios de ellas.



En resumen, los proyectos que se generan a partir de aplicar la Eco-eficiencia y sus herramientas van más allá que los generados a partir de otras estrategias ambientales como la Producción más limpia (ver tabla 1); buscan convencer a los empresarios de las enormes ventajas que resultan de su ejecución, entre las que sobresalen: la reducción de costos, avances tecnológicos, mejoras en la seguridad, condiciones de trabajo de sus trabajadores, imagen corporativa y sobretodo el incremento de su competitividad.

Tabla 1. Comparación de las características de las estrategias ambientales.

COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS AMBIENTALES		
	ECO-EFICIENCIA	PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA
Definición	*Estrategia preventiva e integral en los procesos, los productos y los servicios para maximizar la productividad de los recursos minimizando los desechos y emisiones con la finalidad de generar beneficios económicos y ambientales que incrementen la competitividad de la empresa	*Estrategia preventiva e integral que busca controlar la emisión sustancias nocivas que puedan ser perjudiciales al medioambiente en cumplimiento con la normatividad ambiental.
Criterio para toma de decisiones	*Los factores de competitividad de la empresa.	*Cumplimiento con la normatividad ambiental.
Principales herramientas utilizadas	*Eco-mapa. *Eco-balance. *Costos de ineficiencia.	*Evaluación del impacto ambiental. *Evaluación de tecnología ambiental. *Auditoría ambiental. *Auditoría de riesgos.
Contribución a la competitividad	SI	NO

2.3.2 ECO-EFICIENCIA EN MÉXICO.

En nuestro país la SEMARNAT junto con instituciones académicas, cámaras y asociaciones, gobiernos estatales y municipales y el sector privado, han puesto en marcha el programa "*Liderazgo ambiental para la competitividad*", este programa es la iniciativa que hoy en día impulsa con mayor fuerza el uso de la Eco-eficiencia como estrategia para mejorar el desempeño ambiental y competitivo de las PYME's en México (figura7).



Figura 7. Logotipo del programa de Liderazgo ambiental para competitividad
(Fuente SEMARNAT).

El programa se basa y desarrolla a partir de la experiencia de proyectos para mejorar el desempeño de proveedores de grandes empresas realizados con anterioridad en México y otros países de América, particularmente del Programa de Cadenas Competitivas de Proveedores de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) y los de la Organización para el Desempeño Empresarial Sostenible (ODES) en Colombia¹⁷.

"*Liderazgo ambiental para la competitividad*" tiene como objetivo generar proyectos de Eco-eficiencia en las empresas participantes a partir de la identificación de sus factores de competitividad y la aplicación de las herramientas Eco-mapa, Eco-balance y el análisis de los costos de ineficiencia; Con ello se pretende promover que pequeñas y medianas empresas, proveedoras de grandes empresas, eleven su competitividad a través de ahorros económicos en sus procesos de producción al reducir el consumo de agua, energía y materias primas, así como sus emisiones, residuos y descargas de contaminantes.

¹⁷ SEMARNAT. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Liderazgo ambiental para la competitividad. <http://liderazgoambiental.gob.mx>.



Otros beneficios potenciales que las empresas participantes en la iniciativa pueden obtener incluyen la reducción de costos de transacción, mayor capacidad de respuesta, reducción de inventarios, mejores relaciones con sus clientes y proveedores, reconocimiento, mayor flujo de efectivo, y reducción de riesgos y accidentes ambientales.

Hasta la fecha han participado alrededor de 650 empresas en este programa y los resultados ambientales y económicos han obtenido en conjunto son de gran importancia, por lo que vale la pena mencionarlos:

Beneficios económicos:

- Estas empresas han obtenido ahorros anuales estimados de 923 millones de pesos.
- Promedio de recuperación de la inversión de 6 meses y medio.

Beneficios ambientales:

- Dejar de usar 2.2 millones de m³ de agua por año, lo que equivale a suministrar agua para 4,346 familias permanentemente.
- Ahorro de energía eléctrica de 200.38 millones de kWh al año, equivalente al suministro eléctrico anual para 69,062 hogares mexicanos.
- Dejar de emitir 221,791 toneladas de bióxido de carbono por año, equivalente a las emisiones anuales de 43,178 autos compactos.
- Dejar de generar 77,336 toneladas de residuos por año, equivalente a los residuos generados por la Ciudad de Monterrey (Nuevo León), en 2 meses y una semana. ¹⁸

¹⁸ <http://liderazgoambiental.gob.mx>



2.4 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.

El proyecto se realizó en una empresa 100% mexicana dedicada a la compra-venta de sacarosa (de en adelante se denominará simplemente azúcar) en todas sus variantes y presentaciones, así como, a la producción de jarabe de azúcar *Sucroliq®*.

Fue fundada hace 20 años, el 26 de febrero de 1990, y es una de las principales empresas proveedoras de azúcar en México, comercializando cerca del 7% de la producción nacional a compañías nacionales y trasnacionales pertenecientes a la industria alimenticia, primordialmente. Entre sus principales clientes se encuentran Pepsico, Bottling Group, Jumex, Arizona, La Costeña, Unifoods, Chupa Chups, etc.

La empresa tiene sus oficinas corporativas en el sur poniente de la Ciudad de México, adicionalmente cuenta con oficinas en Guadalajara, dos plantas productoras de jarabe de azúcar y una bodega para azúcar granulada en Amecameca y Toluca, Estado de México. En un futuro se planea construir una tercera planta en el norte del país.

En el año de 2003 surge la idea de comercializar azúcar ya no en forma granulada, sino ahora como una disolución, esto como consecuencia de la imposición de un impuesto a finales del año 2002, el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS), que gravaba el uso de edulcorantes en bebidas. Es por ello que se decidió crear una nueva compañía con la finalidad de elaborar el nuevo producto en sus instalaciones.

Las instalaciones de la planta se encuentran ubicadas el municipio de Amecameca Estado de México. Cuenta con una superficie aproximada de 2,400 m² y está dividida en 3 áreas: proceso, mantenimiento y almacén de materia prima; opera siete días a la semana en dos turnos, en ella laboran aproximadamente 40 personas incluyendo al personal administrativo, de producción, mantenimiento, calidad y limpieza.

La estructura organizacional está integrada por: la gerencia general, la dirección de operaciones, los departamentos de investigación y desarrollo, producción, mantenimiento, sanidad y servicios, administración, calidad, recursos humanos, adquisiciones y el laboratorio (figura 8).

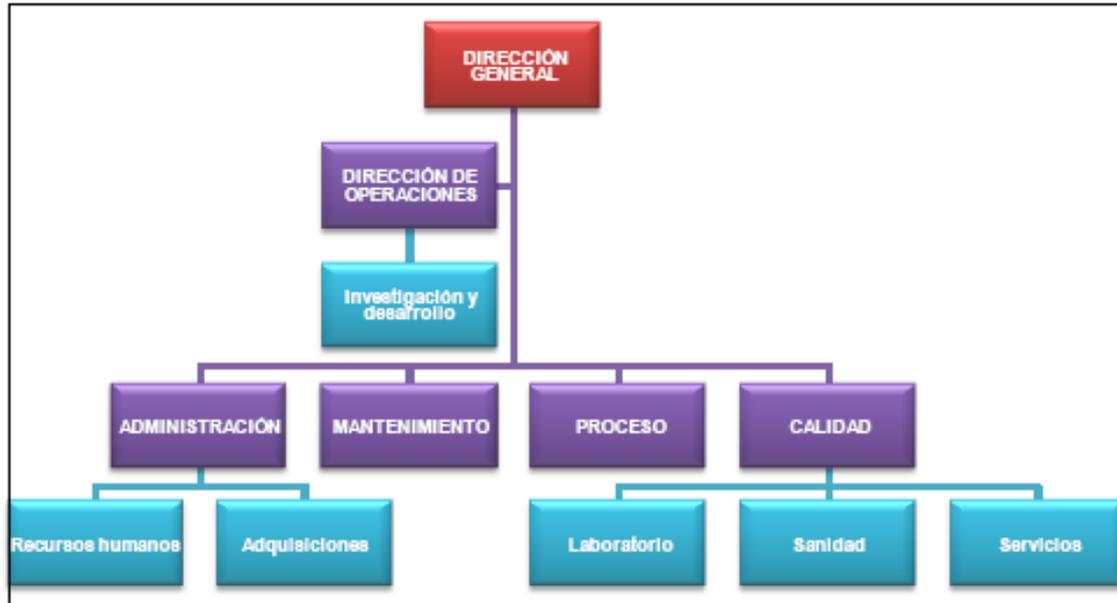


Figura 8. Organigrama de la empresa productora de jarabe.

Actualmente, en la planta se producen alrededor de 39, 200,000 litros de jarabe por año. Al jarabe se le denomina comercialmente como *Sucroliq®* y se comercializa en cuatro presentaciones: *Sucroliq® cero*, *Sucroliq® 45*, *Sucroliq® 140* y *Sucroliq® 180* (Ver la tabla2). Este producto se elabora a partir de la disolución de azúcar (sacarosa) granular de baja calidad y posteriormente se somete a un proceso de purificación mediante el cual se aseguran las especificaciones que el cliente requiere en cuanto a color, cenizas, pH, concentración, grado de inversión, turbidez, etc.

Tabla 2. Diferentes tipos de jarabe y sus características.

Tipo de jarabe	Concentración [% masa]	Color [Unidades ICUMSA ¹⁹]	Cenizas [% masa]	pH
45	66.75-67.25	45	0.06	6-8
145	66.75-67.25	140	0.06	6-8
180	66.75-67.25	180	0.01	6-8
0	66.75-67.25	45	0.02	6-8

Dependiendo de las características del jarabe, el proceso puede involucrar más o menos etapas para su elaboración. Para producir el jarabe de mayor pureza, *Sucroliq® cero*, el proceso consta de las siguientes etapas (figura 9):

- **Disolución:** en esta etapa se prepara la mezcla de agua y azúcar granular con forme a la concentración que el cliente pida. En esta etapa el jarabe contiene un alto grado de impurezas, coloración y turbiedad.
- **Filtración:** una vez disuelto el jarabe se agrega un material de soporte (filtro ayuda) para pasar al filtro de placas y eliminar las partículas suspendidas, como el bagacillo²⁰ y otras impurezas.
- **Decoloración primaria:** después de ser filtrado el jarabe se pasa a un sistema de intercambio iónico con la finalidad de reducir entre 75 y 80% el color ámbar de la disolución del azúcar.

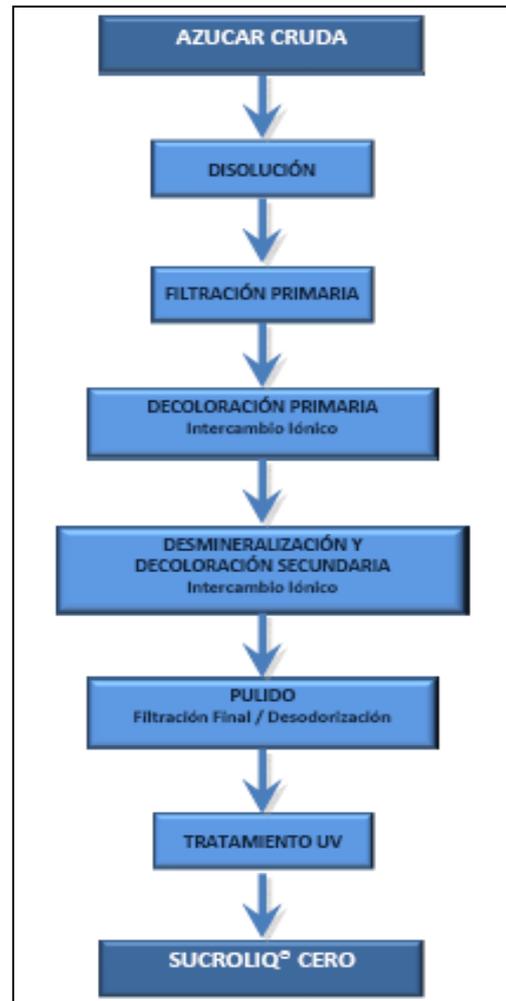


Figura 9. Etapas de producción del jarabe de azúcar.

¹⁹ ICUMSA, siglas en inglés de la Comisión Internacional de Métodos Uniformes para el Análisis del Azúcar.

²⁰ Bagacillo es el diminutivo de bagazo y es el material sobrante al exprimir la caña.



- **Desmineralización y decoloración secundaria:** en esta etapa se elimina un 80% de las cenizas y 60% del color restante de la etapa anterior y también se emplea un sistema de intercambio iónico.
- **Pulido:** esta etapa sirve para eliminar olores, sabores, las pequeñas cantidades de sustancias amínicas procedentes de las resinas de intercambio iónico, dar brillo al jarabe y eliminar la turbidez. Se hace utilizando un material adsorbente.
- **Sanitización²¹ con rayos ultra violeta:** Antes de pasar a los tanques contenedores de producto terminado el jarabe pasa por un sistema de rayos ultravioletas para cumplir con los requerimientos de sanidad y control microbiológico.

Por sus precio competitivo, calidad e innovación en el proceso productivo, el jarabe se ha posicionado rápidamente dentro del mercado de los edulcorantes por lo que la empresa espera incrementar su presencia en el mercado.

²¹ La palabra sanitización, no existe en el español, sin embargo se utiliza coloquialmente para describir el proceso mediante el cual se elimina la contaminación microbiológica en un área, objeto u equipo.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Elaborar un proyecto de Eco-eficiencia con éxito requiere de la selección adecuada de herramientas que permitan identificar y priorizar las áreas de oportunidad, establecer la ineficiencia de los procesos y evaluar económicamente las ineficiencias y propuestas de solución, todo ello desde la perspectiva de los factores de competitividad de la empresa.

Por tal motivo, los proyectos de Eco-eficiencia se generaron usando la metodología desarrollada por la SEMARNAT en su programa de “*Liderazgo ambiental para la competitividad*”. Esta metodología se basa en el concepto de Eco-eficiencia, es decir, en **hacer a la empresa más competitiva desde un punto de vista ambiental y económico**.

Con esto en mente, las herramientas seleccionadas para desarrollar los proyectos son: el Eco-mapa, el Eco-balance y los costos de ineficiencia. La secuencia para aplicar las herramientas (ver figura10) permite recopilar información y datos confiables que al final servirán para facilitar la toma de decisiones e implementación de los proyectos.



Figura 10. Secuencia de aplicación de la metodología.



En las siguientes secciones se presenta una descripción detallada acerca del proceso de elaboración de cada una de las herramientas anteriormente mencionadas.

3.1 LOS FACTORES DE COMPETITIVIDAD.

Los factores de competitividad no son propiamente una herramienta de la Eco-eficiencia pero fueron de suma importancia para desarrollar los proyectos. La manera en que se determinaron los factores de competitividad fue por medio de una encuesta que se aplicó al personal de distintas áreas de la empresa, sus clientes y sus proveedores. De esta forma fue posible conocer la percepción que cada uno de los actores interesados tienen sobre la empresa. Una vez conocidas estas opiniones fue posible jerarquizar a los actores interesados de la organización.

Para este trabajo los aspectos sobre los cuales se realizaron los cuestionarios y que son importantes para determinar los factores de competitividad de la empresa son: la imagen, los clientes, la organización y comunicación interna, la situación financiera, la tecnología con que se cuenta, entre otros. El cuestionario que se elaboró para este fin se encuentra en el Anexo I.

Una vez que se contó con dicha información resultó mucho más fácil enfocar las decisiones hacia los aspectos que se deben mejorar y así cumplir las expectativas de los actores interesados.

3.2 EL ECO-MAPA.

El Eco-mapa es una herramienta cualitativa cuya función es indicar dónde se están consumiendo los temas ambientales implicados en el proceso productivo, con su uso se identifican las áreas de oportunidad en las instalaciones de la planta. Por tales motivos, es la primera herramienta de Eco-eficiencia que se utiliza. A continuación se presenta el procedimiento que se siguió para elaborar los respectivos Eco-mapas.

1. **Elaborar un plano general de la planta.** Este plano si bien puede ser sencillo, debe estar actualizado e indicar, por lo menos, los principales equipos localizados en cada área de la planta. Véase la figura 11.

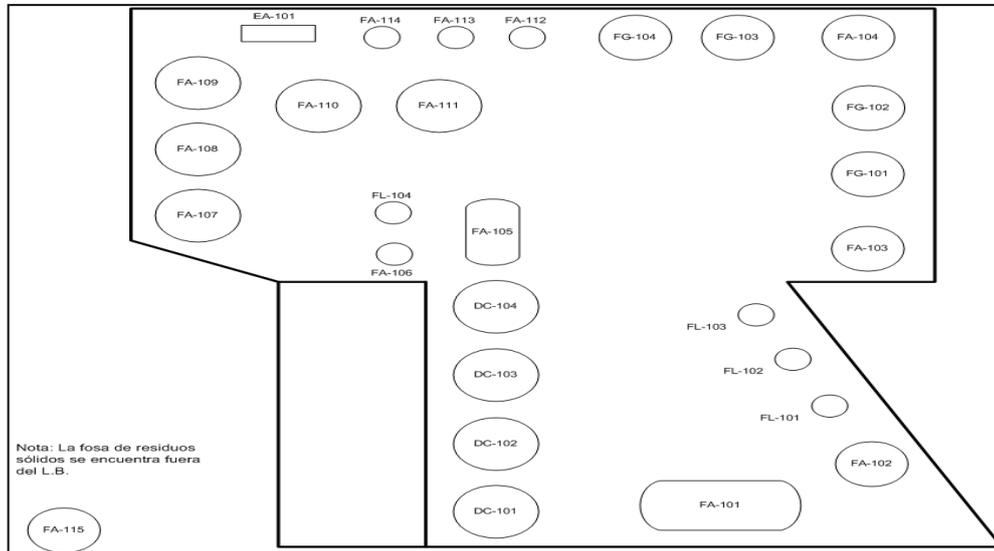


Figura 11. Muestra de un plano general de la planta.

2. **Asignar un símbolo para cada tema ambiental.**

Símbolo	Clave	Tema ambiental
	AFP	Agua filtrada de proceso
	AZ	Azúcar
	C	Carbón activado
	VBP	Vapor de baja presión

Como se mencionó en el capítulo II, un tema ambiental representa a la materia prima, algún tipo de energía consumida, residuos generados, emisiones a la atmósfera, ruido, etc. por lo que se estableció un distintivo para cada uno de los temas.

Figura 12 .Símbolos utilizados para representar los temas ambientales.

La asignación de estos símbolos puede estar basada en normas, reglamentos o bien se escogen arbitrariamente. Para este trabajo se eligieron arbitrariamente, en la figura 12 se muestran sólo unos ejemplos de los símbolos utilizados. El anexo II contiene la lista completa de los temas ambientales y sus características.

Una vez que cada tema ambiental está representado por un símbolo se hizo una distinción entre los íconos del mismo tema ambiental cuando este entra y/o sale del sistema. En este trabajo se usó una flecha para tal finalidad (figura 13).

Tema ambiental	Entrada	Salida
AFP- Agua filtrada de proceso	★	★➔

Figura 13. Distinción entre temas ambientales de entrada y salida del sistema.

Finalmente se usaron colores para identificar la magnitud de las cantidades en que se consume o desperdicia cada factor ambiental. Por ejemplo: si el consumo de agua es poco se utiliza el color verde, si se considera un consumo medio color anaranjado y si es alto rojo. Esto con el fin de apreciar a simple vista cual es la zona donde los consumos son mayores. Ver la figura 14.

Tema ambiental	Consumo			
	Alto	Medio	Bajo	Mínimo
AFP- Agua filtrada de proceso	★	★	★	★

Figura 14. Uso de colores para representar cuantitativamente el consumo de un tema ambiental.

3. **Obtener información de los operadores.** La participación del personal es muy importante ya que son ellos los que conocen las cantidades y los periodos de consumo de todo lo que se requiere por área de proceso, por lo que esta información ayudó a ubicar los temas ambientales los sobre el plano general de la planta.

4. **Definir las áreas críticas de mejora.** Una vez que se terminó el Eco-mapa, las áreas de mayor consumo o desperdicio quedan expuestas a simple vista, con ello se identificaron las áreas de oportunidad donde se pueden generar proyectos de Eco-eficiencia. Figura 15.



- 3. Establecer una base de cálculo.** La base de cálculo es la referencia que se elige para cuantificar las entradas y salidas con una unidad de producción única. Puede ser en masa, tiempo de producción, volumen, lotes de producción, etc. Por ejemplo, si se establece como base de cálculo 100 kg de producto terminado, los cálculos deben estar relacionados a las cantidades de materia prima, energéticos, desperdicios, etc. involucrados en la producción de los 100 kg de producto terminado.
- 4. Equilibrar las cantidades de entradas y salidas.** Esto es, hacer el balance de materia y energía entre lo que se está consumiendo y lo que se debería de consumir teóricamente, para los temas ambientales que se seleccionaron.
- 5. Calcular la eficiencia e ineficiencia del proceso o área productiva.** Con los datos de los balances de materia y energía, se calculó la eficiencia (η) como la relación entre la energía o materia que entra al sistema y la energía o materia que se consumió.

$$\eta = \text{salidas} / \text{entradas}$$

Con la eficiencia se puede calcular la ineficiencia como la diferencia entre 1 y la eficiencia.

$$\text{Ineficiencia} = 1 - \eta$$

Finalmente, los datos obtenidos de los balances se utilizaron en gran medida para determinar los costos de ineficiencia asociados.

3.4 LOS COSTOS DE INEFICIENCIA.

Los costos de ineficiencia son la herramienta que nos dice cuánto dinero está involucrado en un proceso y cuánto nos cuestan las ineficiencias. Las etapas que se siguieron para hacer la asignación de los costos de ineficiencia relacionados con el proceso de disolución están basadas en sistemas generales de contabilidad (figura 16) y fueron calculados con los precios de materias primas, insumos, energéticos, etc., a los cuales la empresa adquiere dichos bienes o servicios. El procedimiento fue el siguiente:

1. **Usar el Eco-mapa y el Eco-balance.** Estas dos herramientas se utilizaron para determinar el área de oportunidad así como las entradas y salidas de los temas ambientales relacionados con la misma.
2. **Identificar los tipos de costos.** Una vez que se tuvieron claras las actividades que generan ineficiencias en el proceso se identificaron los tipos de costos asociados a ellas, como son los costos convencionales, potencialmente escondidos, por contingencia, imagen, etc.
3. **Calcular integralmente los costos de ineficiencia.** Para ello se cuantificaron costos de las materias primas, insumos, energía eléctrica, mano de obra y uso de equipos manejo de residuos, servicios auxiliares, etc. Con esto se generaron los indicadores de costos, más conocidos por su nombre en inglés **cost-drivers**²², correspondientes a cada actividad relacionada con los procesos del área de oportunidad seleccionada.

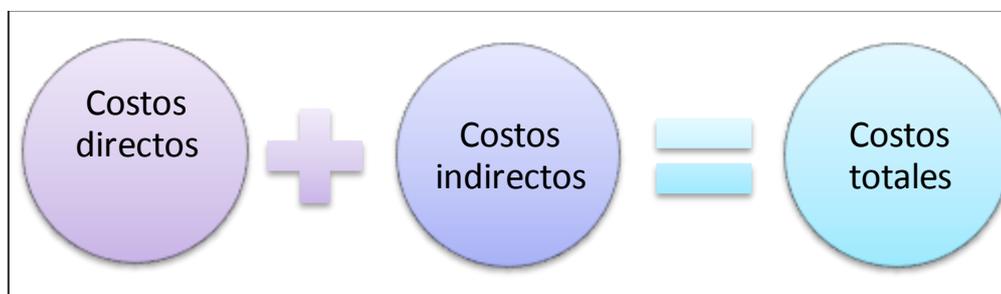


Figura 16. Asignación de costos.

²² Los *cost-drivers* son todos los costos asociados a una actividad, proceso o servicio requerido para producir una unidad del producto final. Por ejemplo, para elaborar una pieza manufacturada, los costos asociados pueden incluir: la maquinaria, operador de la máquina(s), espacio ocupado, energía consumida y la cantidad de residuos y / o salida rechazada.



Con el estudio de los costos de ineficiencia, se evaluaron económicamente los puntos críticos, donde se encontraron ahorros potenciales y se propusieron las alternativas de solución considerando aspectos como:

- Etapas de mayor generación de residuos y emisiones.
- Etapas con mayores pérdidas económicas.
- Costo de las materias primas y de los servicios auxiliares.
- Cumplimiento con los reglamentos y normas presentes.
- Costos por la administración de residuos y emisiones.
- Riesgo de seguridad para el personal y el entorno.
- Expectativas respecto a la competitividad de la empresa.

Una vez que se generaron las opciones de solución, estas se seleccionan de acuerdo a los criterios de factibilidad, costos de implantación, rentabilidad, productividad, entre otros más, que representen mayores beneficios para la empresa.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Haciendo uso de la metodología anteriormente descrita se llegó a los siguientes resultados.

4.1 DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE COMPETITIVIDAD DE LA EMPRESA.

Para la determinación de los factores de competitividad antes que nada, se definieron los actores interesados en la empresa, y el interés que tienen en ella, para jerarquizarlos. En la figura 17 se enlistan los 3 actores interesados según el orden de importancia:



Figura 17. Actores interesados en la empresa.

La empresa internacional líder en producción de refresco, resultó el actor más importante ya que las ventas a este cliente son alrededor de 880 toneladas mensuales en base seca del jarabe tipo *Sucroliq[®] cero*, adicionalmente, para que la empresa fuera aprobada como proveedor oficial de la refresquera, ésta solicitó cambios en procesos, procedimientos y equipos. Actualmente, las estrategias de la empresa están enfocadas en la satisfacción de este cliente en particular, por lo cual el proyecto se realizó con base al producto que se le vende a este cliente estratégico para el crecimiento de la empresa.

La competitividad de una empresa está definida por el valor agregado que ven los actores interesados en el producto y/o servicios que se les ofrecen. Así, los factores de competitividad por los cuales los clientes de la empresa prefieren sus productos son los siguientes (figura 18):

- **Elaboración de un producto único.**
- **Bajo precio de venta.** El producto se ofrece a un precio competitivo en comparación a los costos de producción de éste en las propias plantas de los clientes.
- **Calidad única.** El producto se prepara según las características específicas que el cliente requiere en cuanto a concentración y grado de purificación.
- **Disminución de costos en procesos.** La adquisición del producto representa una disminución en el costo de operación, mantenimiento y tiempo en plantas de los clientes.

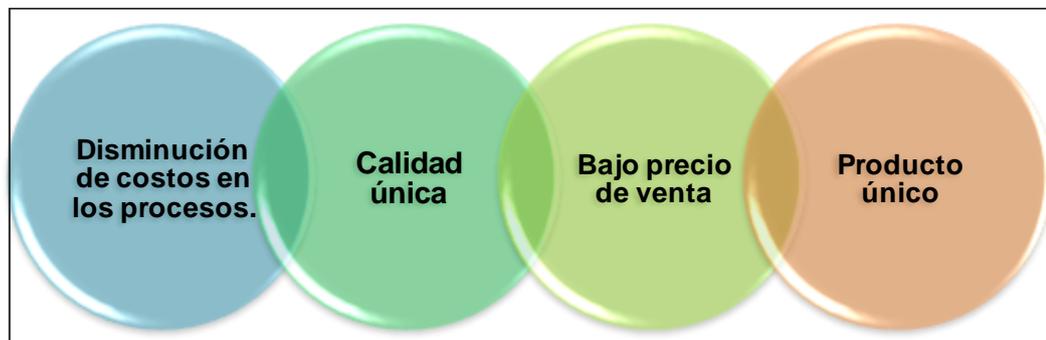


Figura 18. Factores de competitividad de la empresa.

Los factores de competitividad anteriormente mencionados son los más importantes para la empresa, sin embargo ésta cuenta con otras fortalezas que pueden influir de manera positiva para ganar nuevos clientes y retención de los actuales inclusive en un futuro se pueden convertir en factores de competitividad. Estas son:

- Imagen en el mercado como una empresa innovadora, pionera en el uso de tecnologías de intercambio iónico en jarabes.



- Imagen ante la localidad como una empresa superior en cuanto a las condiciones de trabajo y el trato humano con sus empleados.
- Empresa mexicana con certificación en inocuidad alimentaria por parte de *AIB International*²³.
- Las prestaciones que ofrecen a sus empleados.

Dados estos factores de competitividad, el proyecto se enfocó en la reducción de los costos de producción sin afectar en lo más mínimo la calidad del producto.

4.2 EL ECO-MAPA Y DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE OPORTUNIDAD EN LA EMPRESA.

Para poder elaborar el Eco-mapa se requirió conocer al detalle el proceso de producción del jarabe tipo *Sucroliq[®] cero*, que es el producto de mayor venta en la empresa, por lo cual surgió la necesidad de elaborar una descripción general del proceso. Ésta descripción se hizo con base en los manuales de procedimientos de la planta, los manuales de operación de algunos equipos e información proporcionada por el personal que labora en la empresa. En el anexo III, se encuentra la descripción del proceso y las listas de equipo.

Con la información recopilada en la descripción del proceso se realizó una comparación cualitativa de los consumos, descargas y los costos asociados a esto, con ello se elaboraron tres Eco-mapas, uno para la zona de producción (figura 19), almacenamiento (figura 20) y mantenimiento (figura 21). Para la empresa la zona de producción es fundamental en su plan de crecimiento por lo que se hizo énfasis especial en esta zona.

²³ *AIB International* es una empresa dedicada a la certificación en sanidad dentro de la rama alimenticia.



Dentro del sitio de producción, **la zona de disolución del jarabe** se determinó como área de oportunidad ya que representa el primer eslabón para la producción de cualquier variedad de jarabe dentro de la plata, al mismo tiempo, en ésta se ven involucrados una gran cantidad de temas ambientales como puede observarse en el Eco-mapa del área de producción (figura 19), teniendo un alto consumo aquellos que representan un mayor costo económico como: vapor de baja presión, energía eléctrica, agua (tabla 3).

Tabla 3. Temas ambientales de la zona de disolución.

Clave	Tema
AFC	Agua filtrada de proceso
AZ	Azúcar (materia prima)
DE	Detergente
DX	Tierras filtrantes
E	Energía eléctrica
JB	Jarabe
RU	Ruido
SN	Sanitizante
VBP	Vapor de baja presión

Dado el alto costo que representan estos consumos es de gran importancia buscar alternativas para optimizar el consumo de insumos, operación de equipos, y control del proceso de esta zona, pues repercuten directamente en la competitividad de la empresa. Estas razones son las que motivaron la generación de proyectos de Eco-eficiencia en la zona.



Proyecto de Eco-eficiencia en empresa mexicana productora de jarabe de azúcar: área de disolución

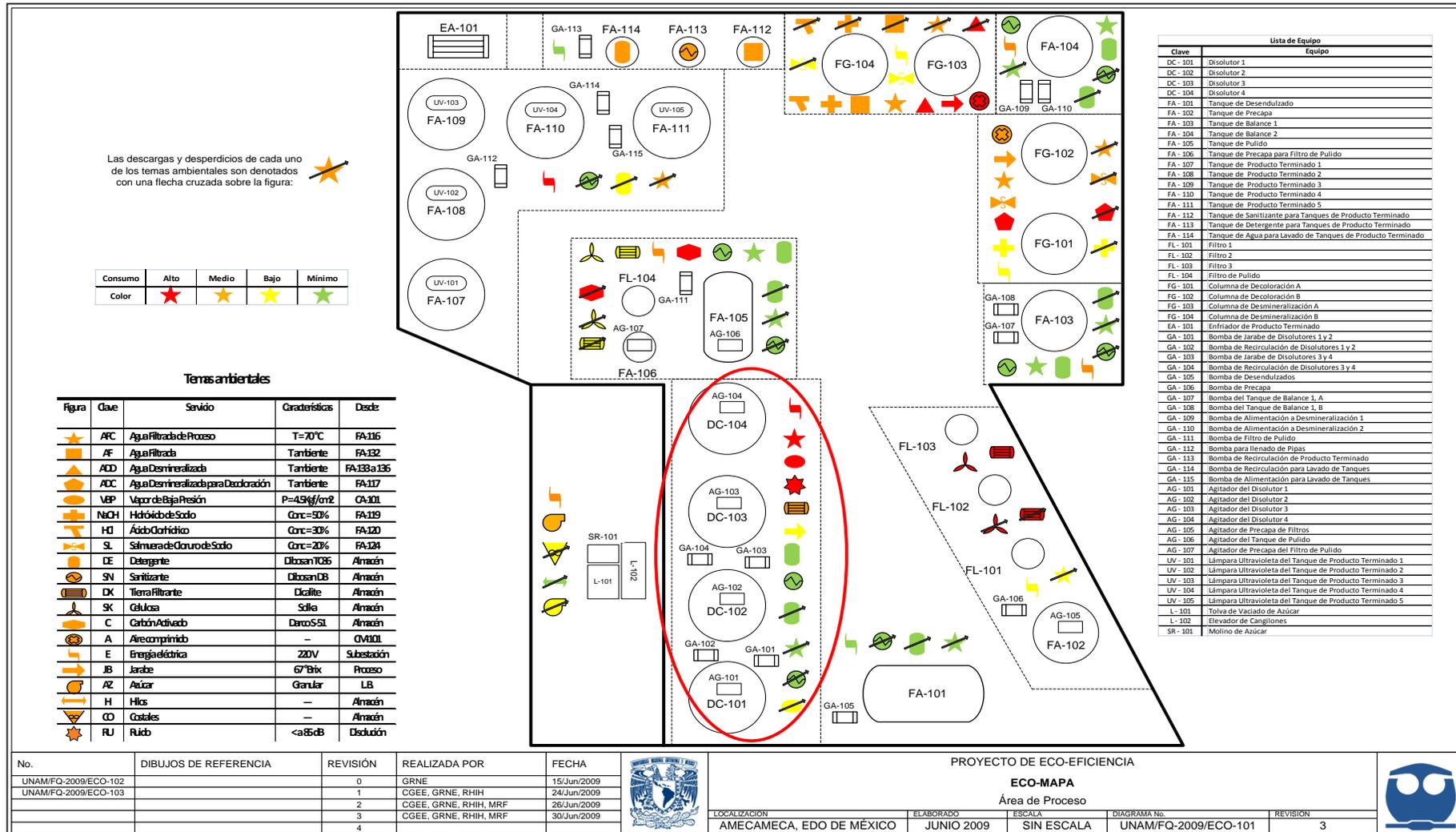


Figura 19. Eco-mapa zona de producción.

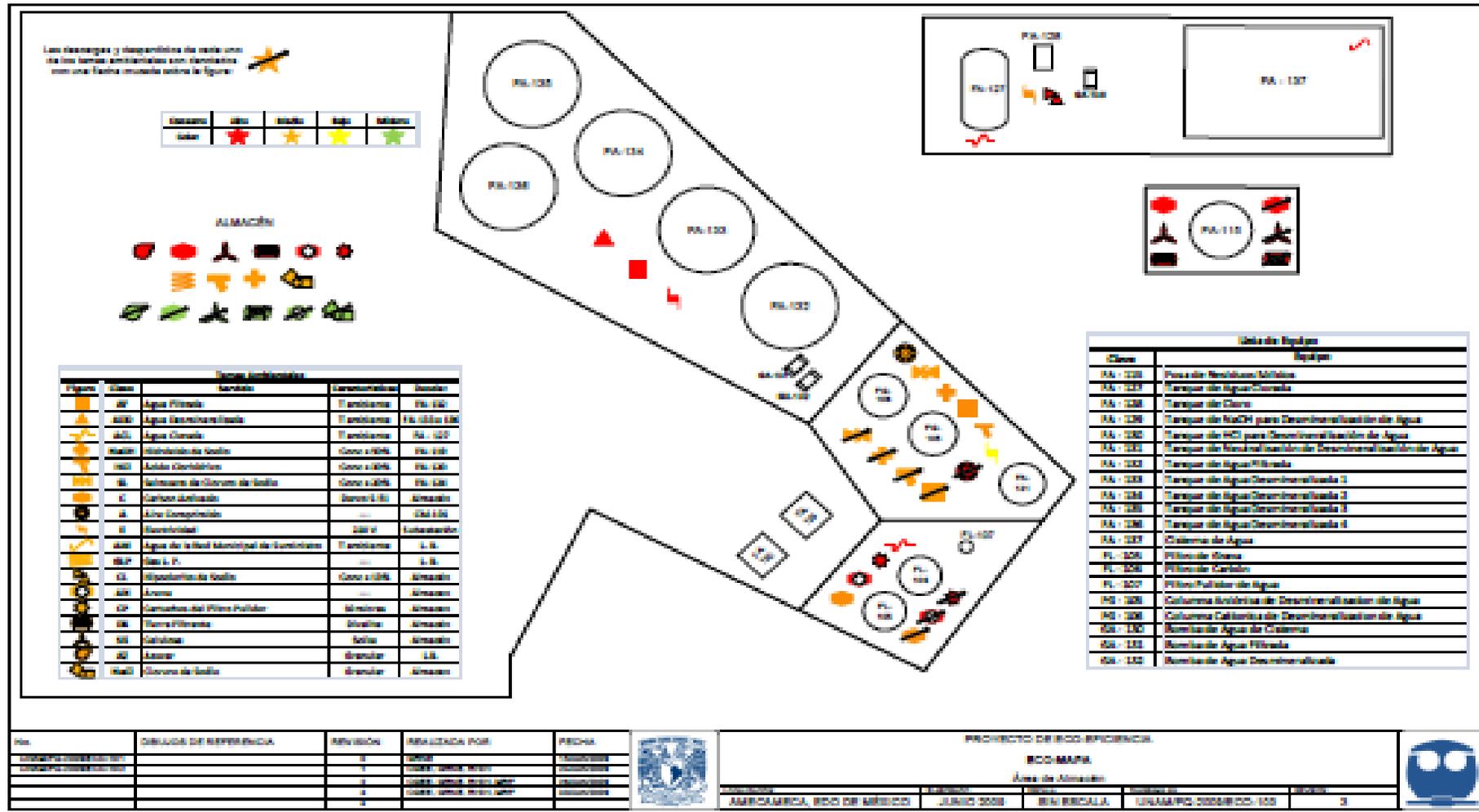


Figura 20. Eco-mapa zona de almacén.

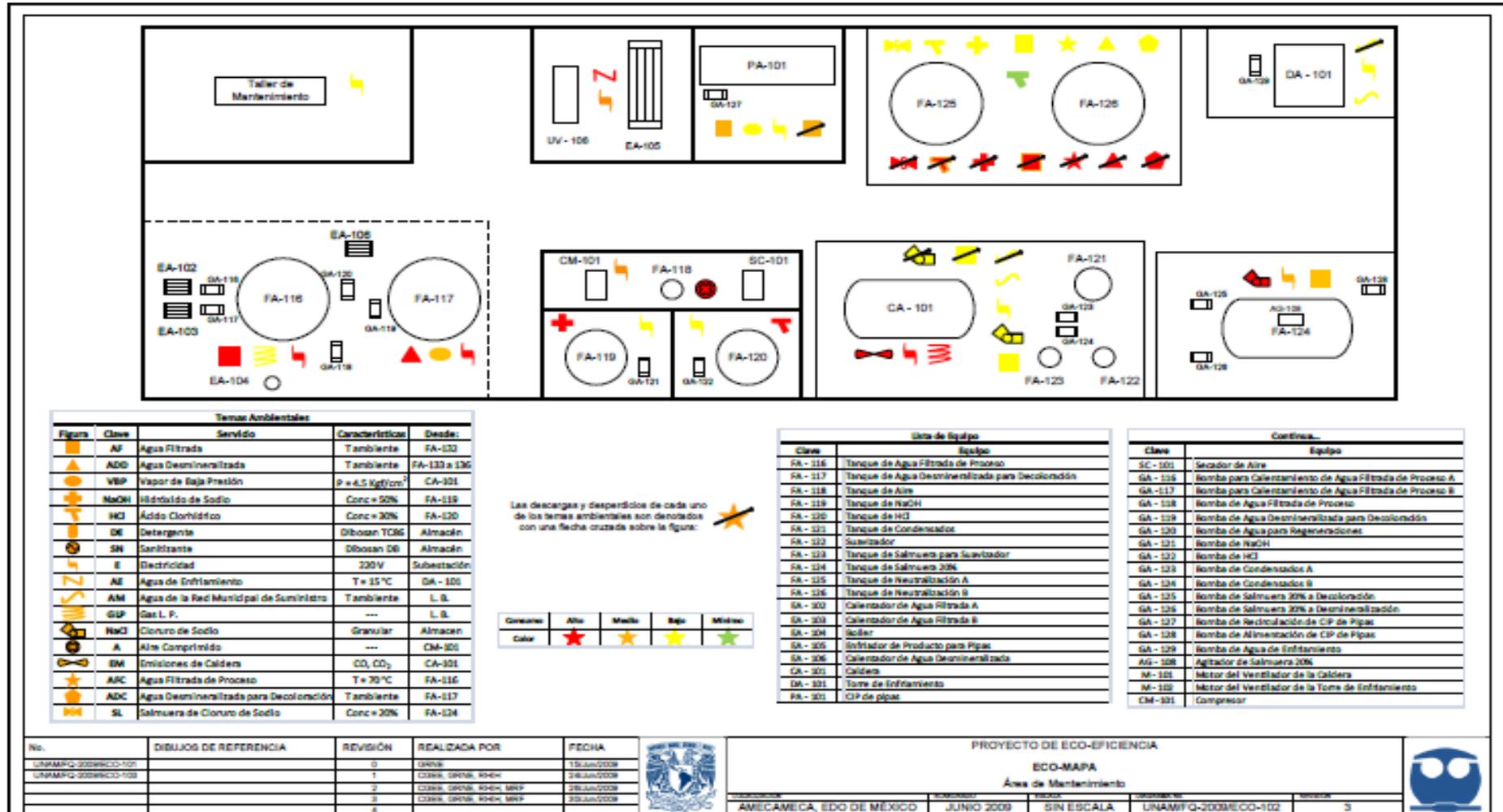


Figura 21. Eco-mapa zona de mantenimiento.

4.3 DETERMINACIÓN DEL ECO-BALANCE Y LOS COSTOS DE INEFICIENCIA.

El proceso de disolución consiste en un fenómeno físico, para el cual se requiere el calentamiento del agua donde se disolverá el azúcar y así producir una mezcla homogénea. El jarabe se prepara con 14 toneladas de azúcar y 16,000 litros de agua filtrada de proceso, además la mezcla debe hacerse a una temperatura de 65 °C para asegurar las características de inocuidad del producto.

Como podemos observar en el Eco-mapa de la zona de producción (figura 22), los principales temas ambientales involucrados para la producción del jarabe de azúcar son los siguientes (tabla 4):

Tabla 4. Temas ambientales involucrados en la disolución del jarabe.

Entran al proceso	Salen del proceso
<ul style="list-style-type: none"> ● Vapor de baja presión para el calentamiento del agua filtrada de proceso. ● Consumo de energía eléctrica, para agitación del jarabe, bombeo y recirculación ● Tierras filtrantes ● Agua filtrada de proceso. ● Materia prima (azúcar). 	<ul style="list-style-type: none"> ● Energía perdida en forma de calor. ● Tierras filtrantes ● Jarabe ● Ruido

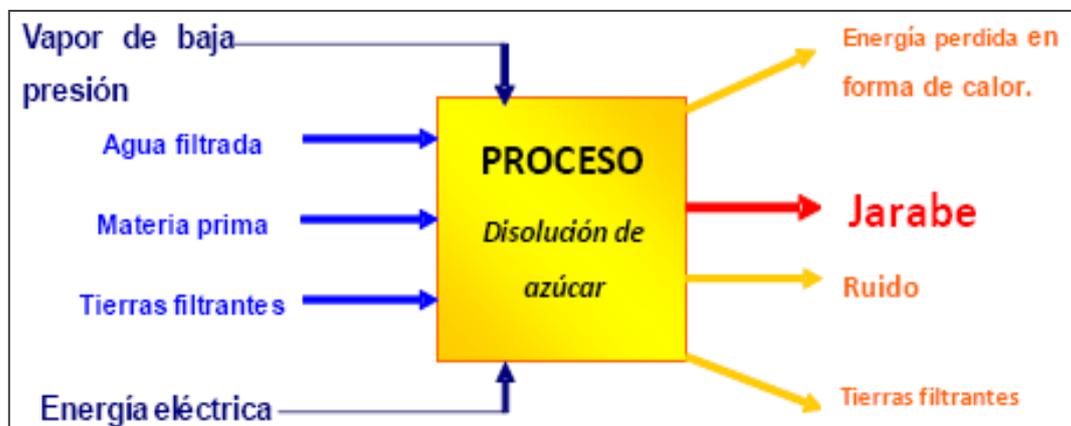


Figura 22. Temas ambientales involucrados en el área de disolución.



Tras un seguimiento detallado del proceso de disolución del jarabe se llegó a la conclusión de que los factores ambientales que mostraban las mayores ineficiencias son: la energía eléctrica, vapor de baja presión y el ruido. Ver la tabla 5.

Tabla 5 Temas ambientales de mayor ineficiencia en la disolución del jarabe.

Tema ambiental	Ineficiencias que pueden ser evitadas	Causas de las ineficiencias
Energía eléctrica.	Alto consumo de energía eléctrica para la agitación del jarabe.	Uso de los agitadores durante tiempo no requerido.
Vapor de baja presión.	Alto consumo de vapor por pérdidas de calor en los tanques disolutores ²⁴ durante el calentamiento del agua para jarabe.	Falta de aislamiento térmico.
Ruido	Alta generación en el área de disolutotes.	El funcionamiento de los agitadores en los tanques disolutores.

A continuación se muestran los respectivos Eco-balances para cada factor ambiental analizado, considerando la producción actual promedio de la planta y las características del jarabe (tabla 6).

Tabla 6. Características de la producción.

Características de la producción	Características del jarabe
<ul style="list-style-type: none"> • Producción promedio diaria: 7 disolutores 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración: 67 °Bx
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad del tanque disolutor: 16,000 L 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura: 65 °C
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de operación de los tanques: 18 h/día 	
<ul style="list-style-type: none"> • Días de producción anuales: 350 	
<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de producción anual: 39,200, 000 L jarabe/año 	

²⁴ Un tanque *disolutor* o simplemente *disolutor* es el nombre que se le da dentro de la empresa productora de jarabe al tanque en el que se realiza la disolución del azúcar.



4.3.1 Tema ambiental: Energía eléctrica utilizada en la agitación.

Descripción del problema.

Para la disolución del azúcar es necesario el uso de agitadores, el tiempo promedio de agitación para disolver el azúcar y preparar un tanque disolutor con 16 000 litros de jarabe es de 45 minutos aproximadamente. Se observó que el jarabe se mantiene en continua agitación hasta que se envía a los tanques de filtrado. El tiempo de espera para filtrar el jarabe de un disolutor puede llegar a ser más de 6 horas, lapso durante el cual los agitadores están prendidos innecesariamente.

Se ha estimado que el periodo durante el cual que se encuentra encendido el agitador de un disolutor es en suma de 18 horas por día, mientras que la producción total por día de jarabe es de 7 disolutores en promedio.

Los cálculos para el Eco-balance y los costos se muestran a continuación:

$$\text{Consumo eléctrico}_{\text{por agitador}} = (HP_{\text{del motor}}) \left(\frac{0.75 \text{ kW}}{1 \text{ HP}} \right) \left(\frac{\text{horas de trabajo}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{\text{días}}{1 \text{ año}} \right) = \frac{\text{kWh}_{\text{consumidos}}}{\text{año}}$$

$$\text{Consumo eléctrico}_{\text{por agitador}} = (7.5 \text{ HP}) \left(\frac{0.75 \text{ kW}}{1 \text{ HP}} \right) \left(\frac{18 \text{ hora}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{350 \text{ día}}{1 \text{ año}} \right) = \frac{35,437.50 \text{ kWh}}{\text{año}}$$

Para el cálculo del consumo eléctrico se consideró un precio de \$0.88 por kWh para una tarifa HM en horario de demanda media²⁵. Los resultados de estos cálculos se encuentran en la tabla 7.

$$\text{Costo consumo eléctrico} = \left(\frac{\text{kWh}_{\text{consumidos}}}{1 \text{ año}} \right) \left(\frac{\$}{1 \text{ kWh}} \right) = \$/\text{año}$$

$$\text{Costo consumo eléctrico} = \left(\frac{35,437.50 \text{ kWh}}{1 \text{ año}} \right) \left(\frac{0.88 \$}{1 \text{ kWh}} \right) = 31,185.00 \$/\text{año}$$

²⁵CFE. Comisión Federal de Electricidad.

<http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>.



Tabla 7. Costos de operación de los agitadores de cada disolutor.

Equipo	HP	kWh	Tiempo típico operación (h/día)	kWh año	Costo de operación (\$/año)
Agitador AG-101	7.5	5.63	18	35,437.50	\$31,185.00
Agitador AG-102	7.5	5.63	18	35,437.50	\$31,185.00
Agitador AG-103	7.5	5.63	18	35,437.50	\$31,185.00
Agitador AG-104	7.5	5.63	18	35,437.50	\$31,185.00
Consumo total				141,750.00	124,740.00

Sin embargo el consumo de energía eléctrica que se debería consumir para producir 7 disolutores es estrictamente de 5.25 horas (45 minutos por cada disolutor), bajo estas circunstancias el consumo eléctrico debería ser de:

$$\text{Consumo eléctrico}_{\text{requerido}} = (7.5\text{HP}) \left(\frac{0.75\text{kW}}{1\text{HP}} \right) \left(\frac{5.25\text{h}}{1\text{día}} \right) \left(\frac{350\text{días}}{1\text{año}} \right) = \frac{10,335.93\text{kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Costo consumo eléctrico} = \left(\frac{10,335.93\text{kWh}}{1\text{año}} \right) \left(\frac{0.88\$}{1\text{kWh}} \right) = 9,095.61\$/\text{año}$$

Por lo tanto el monto económico por la ineficiencia en el uso de la energía eléctrica es de **115,644.39 \$/ año**.

4.3.2 Tema ambiental: Vapor consumido para el calentamiento del agua en los tanques disolutores.

Descripción del problema.

En la zona de disolución se desconoce cuál es el consumo real de vapor empleado para calentar los 16 000 L de agua que se utilizan para preparar el jarabe. La falta de aislamiento térmico de los tanques disolutores provoca pérdidas de calor y por lo tanto un consumo extra de gas L.P.



Es importante mencionar que los equipos y tuberías cuyas temperaturas en la superficie sean mayores a 60° C representan un riesgo potencial para la seguridad del trabajador aunado a ello la temperatura ambiente de esta zona provoca estrés térmico a los trabajadores, condición que se evaluó con un cuestionario (ver anexo I) y cuyos resultados manifiestan la incomodidad y problemas de salud por los cambios de temperatura a los cuales se enfrentan los trabajadores de la planta.

A continuación se muestran los resultados de los cálculos para el Eco-balance donde se estima el consumo de vapor y gas L.P. requeridos para la calentar el agua, los detalles de estos cálculos están en el anexo IV.

Vapor requerido

Para preparar un disolutor con jarabe se requiere calentar aproximadamente 16, 000 L de agua a una temperatura de 20 °C y hasta 70 °C para ello se utiliza vapor saturado a un presión de 4.5 kg/cm²

Balance de energía

$$Q_{\text{cedido por el vapor}} = Q_{\text{ganado por el agua}} + Q_{\text{ganado por el tanque}} + Q_{\text{pérdidas de calor}}$$

$$Q_{\text{ganado por el agua}} = m_1 C_{P_{H_2O}} (T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{ganado por el tanque}} = m_{\text{acero}} C_{P_{\text{acero}}} (T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{pérdidas de calor}} = 5\% \text{ del calor ganado por el agua y el tanque}$$

Por lo que el balance de energía queda:

$$Q_{\text{cedido vapor}} = 16,000 \text{ kg} \left(1.00125 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + (852.45 \text{ kg}) \left(0.11 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{cedido vapor}} = 810,488.48 \text{ kcal}$$

Considerando estos requerimientos, entonces el vapor consumido anualmente es de:

$$\text{Vapor} = 1,603.04 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{h}} * \left(\frac{1 \text{ h}_{\text{devapor}}}{1 \text{ disolutor}} \right) \left(\frac{7 \text{ disolutores}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{350 \text{ días}}{1 \text{ año}} \right) = 3,927,448 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{1 \text{ año}}$$

Costo para la producción del vapor de baja presión.

En la figura 23 se muestran los insumos involucrados en la producción del vapor de baja presión y en la tabla 8 se encuentra el cálculo del indicador de costo (*cost driver*) para esta misma actividad.

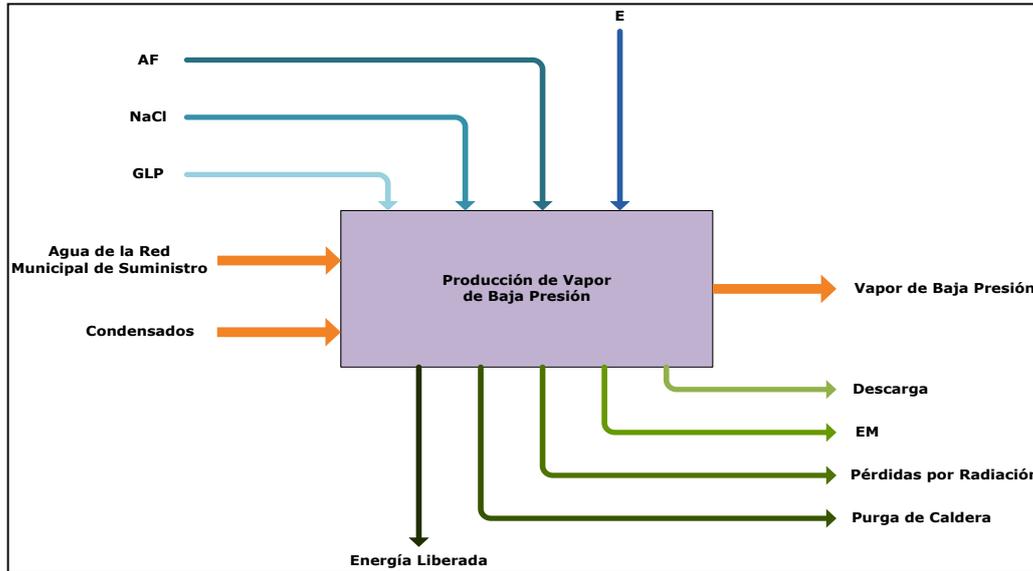


Figura 23. Insumos para la producción de vapor de baja presión.

Tabla 8. Costo de producción del vapor de baja presión.

Base de Producción: 1 hora de inyección de vapor.			
<u>Insumos</u>	<u>Costo unitario</u>	<u>Cantidad requerida</u>	<u>Costo de producción</u>
Agua Filtrada²⁶	\$42.56 / m ³	0.0007 m ³	\$0.03
NaCl	\$1.94 / kg	0.694 kg	\$1.35
Gas LP	\$3.92 / L	203.31 L	\$796.97
Agua Pipas	\$400 / pipa	0.0084 pipas	\$3.37
Energía Eléctrica	\$0.8831 / kWh	11.033 kWh	\$9.74
Costo total de producción:			\$811.43/hora

Con el indicador del costo para la producción de vapor se calcula que el costo anual por el vapor requerido es de:

$$Costo\ del\ vapor = \left(\frac{811.43\$}{1h_{vapor}} \right) \left(\frac{1h_{vapor}}{1disolutor} \right) \left(\frac{7disolutores}{1día} \right) \left(\frac{350días}{1año} \right) = 1,988,003.50 \frac{\$}{año}$$

²⁶ En la tabla C.4 del Anexo IV se encuentra el cálculo para determinar el costo del agua filtrada.



Pérdidas de calor en el tanque.

Se considera que las pérdidas de calor en un tanque cilíndrico de acero inoxidable sin aislamiento térmico pueden representar entre un 5 y 20 % del calor requerido²⁷ lo cual implica un mayor consumo de vapor para el calentamiento y por ende mayor gasto de combustible requerido.

Bajo este criterio se considerara que las pérdidas de calor mínimas son del cinco por ciento del vapor requerido para el calentamiento del agua filtrada en el tanque disolutor.

$$Q_{\text{perdido}} = 5\% \text{ del vapor requerido por año}$$

$$Q_{\text{perdido}} = (0.005) \left(3,927,448 \frac{\text{Kg}_{\text{vapor}}}{\text{año}} \right) = 196,372 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{año}}$$

El costo de ineficiencia en el uso del vapor es aproximadamente de:

$$\text{Costo de ineficiencia} = (0.005) (1,988,003.50 \frac{\$}{\text{año}}) = 99,400.17 \frac{\$}{\text{año}}$$

4.3.3 Tema ambiental: Ruido generado por los agitadores de los tanques disolutores.

Descripción del problema.

Al poner en funcionamiento los agitadores de los tanques disolutores para disolver el azúcar se genera contaminación del ambiente por ruido. El ruido es molesto y perjudica la capacidad para trabajar al ocasionar tensión y perturbación de la concentración. Así mismo, puede ocasionar accidentes al dificultar la comunicación entre los trabajadores y señales de alarma.

En esta materia la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente es muy clara y en el capítulo VIII artículo 155 está expresamente señalado que *“Quedan prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen*

²⁷ CONUEE. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Estimación de Pérdidas de Energía Térmica. www.conae.gob.mx.



los límites máximos establecidos en las normas oficiales mexicanas que para ese efecto expida la Secretaría²⁸...”

Los niveles máximos permisibles de emisión de ruido quedan establecidos en las normas oficiales mexicanas:

- **NOM-081-SEMARNAT-1994-** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición (tabla 9).

Tabla 9. Horario y límite máximo permisible de ruido.

Horario	Límite máximo permisible
6:00 a 22:00	68 dB(A)
22:00 a 6:00	65 dB(A)

Por su parte la Ley Federal del Trabajo en el Título noveno artículo 513 considera como una enfermedad profesional a la hipoacusia²⁹ causada por la exposición condiciones fuera de los límites máximos permisibles indicados en las normas oficiales mexicanas.

- **NOM-011-STPS-2001-** Que establece las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido (tabla 10).

Tabla 10. Límites y tiempos máximos de exposición a ruido

Límites máximos de exposición	Tiempo máximo de exposición
90 dB(A)	8 horas
93 dB(A)	4 horas
96 dB(A)	2 horas
99 dB(A)	1 hora
102 dB(A)	30 minutos
105 dB(A)	15 minutos

²⁸ **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.** Capítulo VIII. Ruido, vibraciones, energía térmica y luminica, olores y contaminación visual. 2010

²⁹ La hipoacusia es una enfermedad profesional que consiste en la disminución de la capacidad auditiva.



El método que se utilizó para evaluar el nivel de ruido en la zona de disolución consiste en:

“Si un trabajador al ponerse a una distancia de 50 cm de un compañero, no puede hablar en tono normal y tiene que gritar para comunicarse con él, quiere decir que el nivel de ruido en el lugar de trabajo es mayor de 85 dB.”³⁰

Adicionalmente se aplicó un cuestionario para evaluar los efectos del ruido sobre los trabajadores de la planta (ver anexo I) y cuyos resultados arrojaron que:

- 53% de los trabajadores tienen problemas para comunicarse a distancias mayores de 50 cm.
- 59% consideran molesto el ruido en el área de producción y
- A pesar de no manifestar malestar físico o falta de concentración debido al ruido, si hacen la sugerencia para usar protección acústica.

El no reducir las emisiones de ruido o proveer de equipo de seguridad a los trabajadores puede traer consecuencias económicas importantes para la empresa, tales como el pago de incapacidades por riesgos o enfermedad laboral, ya que la disminución de la capacidad auditiva se considera como una enfermedad profesional. Por tal motivo se hizo necesario evaluar el impacto que tiene sobre la productividad de los trabajadores y calcular los costos potencialmente escondidos que conlleva esta situación.

Para el cálculo anual se hicieron las siguientes consideraciones:

- 14 trabajadores en producción
- 15 días de incapacidad anuales por trabajador.
- 150 pesos por día de trabajo.

$$\text{Costo por incapacidades} = \left(\begin{array}{c} \text{Número de} \\ \text{trabajadores} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{días de} \\ \text{incapacidad} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{salario} \\ \text{por día} \end{array} \right)$$

³⁰ Método propuesto por la Organización Internacional del Trabajo, en su colección de módulos “La salud y la seguridad en el trabajo: El ruido en el lugar de trabajo”. http://training.ilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/noise/noiseat.htm.



$$Costo_{incapacidad} = \left(\frac{14}{trabajadores} \right) \left(\frac{15 \text{ días de incapacidad}}{1 \text{ año}} \right) \left(\frac{15000\$}{1 \text{ día}} \right) = 31,500\$ / \text{año}$$

La siguiente tabla es una recopilación de los Eco-balances realizados, donde se aprecian los datos de los consumos, la ineficiencia en el uso de los recursos y el costo que implica (tabla 11).

Tabla 11. Eco-balance para la zona de disolución de azúcar.

Tema ambiental	Consumo anual	Consumo requerido anual	Pérdidas anuales	Ineficiencia	Costos de ineficiencia [\$/año]
Energía eléctrica utilizada en la agitación	141,750.00 kWh/año	10,335.93 kWh/año	131,414.07 kWh/año	99.26%	115,644
Vapor consumido para el calentamiento del agua	4,123,820 kg _{vapor} /año	3,927,448 kg _{vapor} /año	196,372 kg _{vapor} /año	5%	99,400
Ruido generado por los agitadores	Superior a 85 dB		31,500	100%	31,500

4.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

4.4.1 Tema ambiental: Energía eléctrica utilizada en la agitación.

El alto consumo de energía eléctrica empleado durante la disolución del jarabe se puede reducir si se implementa una buena práctica de operación.

Esta sencilla práctica consiste en apagar los agitadores durante el tiempo que no se requiere, es decir, una vez que el azúcar este completamente disuelto es innecesario que los agitadores sigan encendidos hasta que el jarabe pase a la siguiente etapa de proceso, por lo cual se sugiere que se agite solo 15 minutos antes para homogenizar la mezcla del jarabe y las tierras filtrantes que se le agregan para pasar la etapa de filtración. Con esto el tiempo de operación de los agitadores es de una hora por cada disolutor que se produce.



Por lo tanto si se producen en promedio 7 disolutores por día y los agitadores se mantienen encendidos una hora por cada uno de ellos, entonces el consumo de energía eléctrica es de:

$$\text{Consumo eléctrico}_{\text{requerido}} = 7.5 \text{HP} \left(\frac{0.75 \text{kWh}}{1 \text{HP}} \right) \left(\frac{7 \text{horas de operación}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{350 \text{ días}}{1 \text{ año}} \right) = \frac{13,781.25 \text{ kWh}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro energía eléctrica} = \left(\text{consumo}_{\text{eléctrico}} \right) - \left(\text{consumo}_{\text{requerido}} \right)$$

$$\text{Ahorro energía eléctrica} = 141,750.00 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} - 13,781.25 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} = 127,968.75 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

El beneficio económico de esta solución es inmediato ya que no requiere de ningún tipo de inversión

$$\text{Costo consumo eléctrico} = \left(\frac{13,781.25 \text{kWh}}{1 \text{ año}} \right) * \left(\frac{0.88 \$}{1 \text{kWh}} \right) = 12,127.50 \$ / \text{año}$$

$$\text{Ahorro} = \left(\text{Costo de kWh}_{\text{consumidos}} / \text{año} \right) - \left(\text{Costo de kWh}_{\text{requeridos}} / \text{año} \right)$$

$$\text{Ahorro} = \frac{124,740.00 \$}{1 \text{ año}} - \frac{12,127.50 \$}{1 \text{ año}} = 112,612.50 \$ / \text{año}$$

Al mismo tiempo los beneficios ambientales que conlleva esta medida radican en la disminución emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera equivalentes a los kWh que se dejarían de consumir.

$$\text{kg CO}_2 = 127,968.75 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * \left(\frac{0.6539 \text{kg CO}_2}{1 \text{kWh}} \right) = 83,678.76 \text{kg CO}_2 \quad 31$$

Es decir 83.67 Toneladas de CO₂ equivalentes a las emisiones de 16 autos compactos recorriendo una distancia anual promedio de 30,000 km³².

³¹ El factor de conversión fue consultado en la herramienta “calculadora ambiental” perteneciente al programa de Liderazgo ambiental para la competitividad, SEMARNAT, 2009.

³² ECOVEHÍCULOS. Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. <http://www.ecovehiculos.gob.mx/buscaclase2.php>.



4.4.2 Tema ambiental: Vapor consumido para el calentamiento del agua en los tanques disolutores.

Las pérdidas de calor por falta de aislamiento térmico en los tanques disolutores se pueden reducir si se recubre la superficie de los tanques con un aislante térmico. A continuación se muestra un estimado del costo que podría tener la inversión para la colocar el aislante en cada tanque (tabla12).

Tabla 12. Estimado de costos de aislante térmico.

Producto	Especificación	Costo
Colcha de Fibra de Vidrio	Dimensiones: 1.22 x 15.24mts largo Presentación: Caja con un rollo. Densidad:3 lb	\$11,620.38
Recubrimiento externo	- Efecto Curvo - Espesor: 350 mm - Ancho: 1200 mm - Longitud: 25 mts por Rollo	\$8,774.55
Accesorios para colocación	Remachadora Recta/angular, Remaches Plásticos en bolsa adhesivos	\$1,313.31
Instalación de Revestimiento Térmico en Tanque	Instalación de 2" de espesor en tanque metálico de día 2.9 x 2.5 m	\$7,600.00
Total		\$29,309.24
Total por los 4 disolutores		\$117,236.96

Bajo estas condiciones, el tiempo de recuperación de la inversión (TRI) es de aproximadamente de 14 meses.

$$TRI = \frac{\text{costo de la inversión}}{\text{ahorro anual}} = \frac{117,236.96 \$}{99,400.50 \$/\text{año}} = 1.17 \text{ años}$$



Se debe considerar que el aislamiento térmico también evitaría circunstancias inseguras para los trabajadores así como también disminuiría las emisiones de ruido y mejoraría las condiciones de comodidad para los trabajadores, disminuyendo la tensión que las altas temperaturas de la zona de disolución les provoca.

Esta medida también genera el beneficio ambiental de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) pues al disminuir las pérdidas de calor se disminuye el consumo de gas L.P.

Durante la operación de agitación en los disolutores el consumo de vapor y gas L.P. se incrementa debido a las pérdidas de calor por la falta del aislante térmico. Estas pérdidas representan un consumo de 13,449, 27 kg de gas L.P. cantidad que al quemarse es igual a 25,866.4 kg CO₂/año, por lo tanto la ganancia ambiental es de 25.86 toneladas de CO₂ que se dejarían de emitir a la atmósfera anualmente y que son equivalentes a las emisiones de 5 autos compactos recorriendo una distancia anual promedio de 30,000 km³³. En el anexo IV se muestra el cálculo completo para determinar la cantidad de CO₂ que se dejaría de emitir.

4.4.3 Tema ambiental: Ruido generado por los agitadores de los tanques disolutores.

Existen alternativas para disminuir las molestias del ruido en el propio trabajador, como lo es el uso protección auditiva. Esta alternativa implica un gasto para la empresa, por lo cual se evaluaron económicamente dos propuestas (ver la tabla 13), una utilizando tapones desechables y la otra usando tapones reutilizables:

³³ ECOVEHÍCULOS. *Op cit.*



Tabla 13. Propuestas de solución al problema de ruido.

Producto	Consideraciones	Costo por pieza
Tapones reutilizables para oídos.	Cambio del par de tapones mínimo una vez por mes	\$65.00
Tapones desechables para oídos con cuerda	Cambio del par de tapones uno por día	\$6.60

$$\text{Costo anual tapones} = \left(\frac{\text{precio del tapón}}{1 \text{ par}} \right) \left(\frac{\text{número de trabajadores}}{2 \text{ turnos}} \right) \left(\frac{\text{días trabajados}}{\text{por año}} \right)$$

$$\text{Costo anual tapones desechables} = \left(\frac{\$6.60}{1 \text{ par}} \right) \left(\frac{14 \text{ personas}}{2 \text{ turnos}} \right) \left(\frac{350 \text{ días}}{\text{año}} \right) = 32,340 \$ / \text{año}$$

$$\text{Costo anual tapones reusables} = \left(\frac{\$65}{1 \text{ par}} \right) \left(\frac{14 \text{ personas}}{2 \text{ turnos}} \right) \left(\frac{12 \text{ meses}}{\text{año}} \right) = 10,920 \$ / \text{año}$$

Sin embargo la mejor manera para disminuir el ruido es hacerlo desde el origen de la fuente. En este caso se sugiere la instalación de un aislante acústico. Hay que recordar que anteriormente se propuso la colocación de un aislante térmico en los tanques disolutores, este aislante ayudaría a disminuir hasta en un 50% las emisiones de ruido sin algún costo extra, por lo que se ahorraría el tener que comprar los tapones para los oídos.

El no reducir las emisiones de ruido o proveer de equipo de seguridad a los trabajadores puede traer consecuencias económicas importantes para la empresa, tales como el pago de incapacidades por riesgos o enfermedad laboral, ya que la disminución de la capacidad auditiva se considera como una enfermedad profesional. Estos costos ya fueron calculados como parte de los costos potencialmente escondidos y se estiman en una pérdida de 31, 500 \$/ año.

En el caso de optar por la compra de tapones reutilizables para los oídos el ahorro sería:



$$\text{Ahorro} = \left(\text{Costo por incapacidad} \right) - \left(\text{Costo de bs tapones para oídos} \right)$$

$$\text{Ahorro} = 31,500 \frac{\$}{\text{año}} - 10,920 \frac{\$}{\text{año}} = 20,580 \frac{\$}{\text{año}}$$

$$\text{TRI} = \frac{\text{costo de los tapones}}{\text{ahorro}} = \frac{10,920 \frac{\$}{\text{año}}}{20,580 \frac{\$}{\text{año}}} = 0.53 \text{ años}$$

Por su parte si se pone el aislante térmico a los tanques el ahorro sería directamente de 31,500 \$/año y no habría necesidad de hacer algún tipo de inversión.

Por último, en la tabla 14 se muestra un resumen de los problemas que se encontraron por cada tema ambiental crítico, las causas, las pérdidas económicas y la evaluación económica de las alternativas de solución junto con los potenciales beneficios ambientales y económicos.



Tabla 14 Resumen de las propuestas de solución para cada problemática encontrada.

Tema ambiental crítico	Causa	Pérdidas [\$/año]	Alternativa de solución	Inversión [\$]	TRI	Ahorro [\$/año]	Beneficios ambientales	
							[kWh/ año]	[TonCO ₂ /año]
Pérdidas de calor en los tanques disolutores.	Falta de aislamiento térmico	99,400.50	Poner un recubrimiento que sirva como aislante térmico	117,237.00	14 meses	99,400.50	39,547.33	25.86
Alta generación de ruido en el área de los tanques disolutores	El funcionamiento de los agitadores en los tanques disolutores.	31,500.00	Poner aislamiento termo- acústico a los tanques disolutores	No requiere inversión	Inmediato	31,500.00	Cumplimiento con las normas: *NOM-011-STPS-2001, y *NOM-081-SEMARNAT-1994	
		31,500.00	Proporcionar a los trabajadores tapones para oídos reutilizables	109,20.00	7 meses	20,580.00		
Alto consumo de energía eléctrica en los agitadores	Uso de los agitadores durante tiempo no requerido.	112,612.50	Apagar los agitadores mientras no se usen	No se requiere	No aplica	112,612.50	127,968.75	83.67
TOTAL						\$243,513.00³⁴	167,516.08	108.86

³⁴ Considerando instalar el recubrimiento termo-acústico y la buena práctica de operación.



CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de este trabajo se desarrollaron tres proyectos de Eco-eficiencia en la zona de disolución de la empresa productora de jarabe, haciendo uso de la metodología propuesta por la SEMARNAT en su programa de *“Liderazgo ambiental para la competitividad”*.

El uso de herramientas como el Eco-mapa, Eco-balance y los costos de ineficiencia demostraron ser de gran efectividad para la detección, ubicación y análisis de problemas, cálculo de costos y evaluación de propuestas de solución a las ineficiencias detectadas durante el proceso de disolución del jarabe y cuyos beneficios económicos y ambientales están direccionados a mejorar la competitividad de la empresa.

Como parte de los beneficios ambientales y económicos para la empresa productora de jarabe se estiman ahorros potenciales de: 243,500 pesos por año, disminución en el consumo eléctrico en 167,500 kWh por año, 24, 900 litros de gas L.P. y cerca de 109 toneladas de dióxido de carbono dejadas de emitir a la atmósfera anualmente equivalentes a las emisiones generadas por 21 autos compactos recorriendo una distancia anual de 30,000 km.

Sumado a lo anterior, la competitividad de la empresa se ve beneficiada, no sólo por reducir costos de producción, sino también, al mejorar su imagen dentro de un mercado con exigencias ambientales cada día mayores lo cual se verá reflejado en el incremento en las ventas, de su valor agregado y rentabilidad.

Finalmente, los resultados de este trabajo son un claro ejemplo de la eficacia de la Eco-eficiencia como una estrategia para implementar acciones a favor del medio ambiente y al mismo tiempo incrementar la competitividad de las empresas. Por la sencillez de la metodología y las soluciones basadas en la prevención y buenas prácticas, es ideal en el sector de las micro, pequeñas y



medianas empresas del país para desarrollar periódicamente proyectos que favorezcan la mejora continua de las empresas sin la necesidad de hacer fuertes inversiones de capital.

Recomendaciones.

Durante la elaboración de los proyectos se observaron ciertas circunstancias que podrían mermar el desempeño de la empresa productora de jarabe de azúcar, por lo cual se hacen las siguientes recomendaciones:

- **Redefinición de la estructura organizacional de la empresa:** Se propone la creación del *departamento de ingeniería* para que a su cargo queden actividades como: verificar el correcto funcionamiento de la planta así como del control, optimización y mejora continua del proceso de producción. Este departamento también se encargaría de la selección técnica de los proveedores de los servicios requeridos y la su supervisión a lo largo de los proyectos para los que se contraten. Asimismo se recomienda incluir dentro del personal, profesionistas especializados en cada área del proceso, para el manejo adecuado de las operaciones unitarias requeridas, sin dejar de tomar en cuenta la necesidad de una capacitación constante dentro de la empresa y la clara definición de las actividades del personal de cada departamento.

- **Realizar mejoras en la organización de la producción:** Mejorar la programación de los planes de producción para reducir tiempos muertos y aumentar la producción. Rediseñar adecuadamente los formatos de recopilación de datos de producto en proceso para controlar los parámetros de mayor importancia y contar siempre con los antecedentes que se requieran en caso de presentarse algún problema. Hacer énfasis en el registro veraz, adecuado y completo de los datos en bitácoras y



formatos, a fin de que los datos sean prácticos, precisos y correspondientes al objetivo planteado.

- **Instrumentar adecuadamente las instalaciones:** Instalar medidores de flujo, temperatura y presión, con el fin de llevar un mejor control de lo que está sucediendo en la etapa de disolución. Utilizar válvulas adecuadas para el control de flujos (válvulas de globo). Instalar un sistema de pesado del azúcar a granel para asegurar que la cantidad de azúcar sea la indicada. Los instrumentos necesitan ser checados por los menos cada 6 meses para que permanezcan siempre calibrados, permitiendo mediciones más exactas.
- **Mejorar las condiciones ambientales en el área de producción:** las condiciones actuales de temperatura y ruido en el área de producción podría disminuir la productividad de los trabajadores u ocasionar agravios a sus salud.

Por último se sugiere adoptar como parte de la política de la empresa la estrategia de la Eco-eficiencia para la evaluación y generación de proyectos futuros.



REFERENCIAS

- CFE. Comisión Federal de Electricidad.
<http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>.
[Consulta: junio 2010]
- CINU. Conferencias de la ONU sobre el medio ambiente
http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost/conf.htm.
[Consulta: agosto 2010]
- CONUEE. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.
Estimación de Pérdidas de Energía Térmica. www.conae.gob.mx.
[Consulta: junio 2010]
- CRANE. Flujo de fluidos en válvulas accesorios y tuberías. Mc Graw Hill. México. 1987.
- CUMBRE PARA LA TIERRA +5.
<http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>.
[Consulta: agosto 2010]
- ECOVEHÍCULOS. Indicadores de Eficiencia Energética y Emisiones Vehiculares. <http://www.ecovehiculos.gob.mx/buscaclase2.php>.
[Consulta: junio 2010]
- FLORES Puebla, Hugo. Notas del curso de Energéticos I. Facultad de Química, UNAM, México, 2008.
- KERN, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. CECSA, México, 1987.



- OIT. Organización Internacional del Trabajo. “La salud y la seguridad en el trabajo: El ruido en el lugar de trabajo”.
http://training.ilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/noise/noiseat.htm.
[Consulta: junio 2010]
- PÉREZ Mireles, Adriana Estefanía. **Problemas, retos y soluciones en la implementación de proyectos de Eco-eficiencia en la industria.**
Tesis de licenciatura, UNAM, México, 2009.
- SE. Secretaría de Economía.
http://www.economia.gob.mx/swb/es/economia/p_contacto_py.
[Consulta: septiembre 2010]
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Liderazgo ambiental para la competitividad.
<http://liderazgoambiental.gob.mx>.
[Consulta: septiembre 2010]
- SEOANES Calvo, Mariana et al. **Manual de gestión medioambiental de la empresa: Sistemas de gestión medioambiental auditorías medioambientales, evaluaciones de impacto ambiental y otras estrategias.** Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 1995.
- UN. Naciones Unidas. <http://www.un.org/es/development/>.
[Consulta: agosto 2010]
- VAN HOFF, Bart *et al.* **Producción más Limpia: paradigma de gestión ambiental.** Alfaomega y Universidad de Los Andes Facultad de Administración. Colombia, 2008.
- VEOVERDE. <http://www.veoverde.com/2009/01/desarrollo-sustentable/>. [Consulta: agosto 2010]



- WBCS. World Business Council for Sustainable.
Eco-Efficiency: Creating more value with less impact.
www.wbcsd.org/web/.../eco_efficiency_creating_more_value.pdf
[Consulta: julio 2010]

LEGISLACIÓN CONSULTADA

- **Ley Federal del Trabajo.** México 2010
- **Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.**
México 2010.
- **NOM-081-SEMARNAT-1994-** Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- **NOM-011-STPS-2001-** Que establece las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.ç



GLOSARIO

- **Análisis de ciclo de vida** Es una herramienta que permite evaluar todos los impactos ambientales de una empresa y/o industria desde el origen del producto hasta su destino final. De esta forma se estudia el sistema del producto de manera amplia en todos los procesos y actividades que conforman su ciclo de vida, y sus efectos sobre los problemas ambientales.
- **Análisis de flujo de sustancias** Es una evaluación de cómo las sustancias son producidas, y cómo es su paso por diferentes etapas, desde la entrada de materia prima al sistema de producción, durante su transformación y hasta que termina como producto.
- **Auditoría ambiental** Es una herramienta administrativa que comprende una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de cómo la empresa, su administración y su equipo se conducen con el objetivo de salvaguardar al medio ambiente.
- **Bagacillo** La palabra bagacillo es el diminutivo de bagazo. Se denomina **bagazo** al residuo de materia después de extraído su jugo.
- **Buenas prácticas de manufactura** Conjunto de medidas orientadas a la gestión y organización adecuadas de la empresa para la optimización de recursos económicos, humanos y materiales con el fin de mejorar el desempeño económico y ambiental de la empresa.
- **Cenizas** En el análisis de alimentos también se conoce con el nombre de **cenizas** al conjunto de minerales que no arden ni se evaporan.
- **CIP** Siglas en inglés: *Clean in Place*. Método de limpieza del interior de tuberías tanques, contenedores y equipo en general, en el que no es necesario el desmonte del mismo.
- **Costos de ineficiencia** En un proceso de producción de bienes y/o servicios, son aquellos gastos innecesarios a los que se incurre para obtener los bienes y/o servicios. Su origen está en la ineficiencia del proceso.
- **Disolutor** Nombre que se le da dentro de la empresa productora de jarabe al tanque en el que se realiza la disolución del azúcar: Tanque de disolución.
- **Eco-balance** Es una herramienta que permite cuantificar las entradas y salidas de materiales y energía en los procesos de producción o del ciclo de vida de los productos que afectan al ambiente. Consiste en recopilar y organizar datos para evaluar estrategias de eco-eficiencia y contribuye a la toma de decisiones.



• Ecoeficiencia	Es una estrategia empresarial que consiste en un proceso continuo para maximizar la productividad de los recursos minimizando los deshechos y emisiones, generando al mismo tiempo ganancias en ámbitos que incrementen la competitividad de la empresa.
• Eco-mapa	Es una herramienta que permite hacer un diagnóstico cualitativo orientado a la organización como un todo, en él se representan en el plano de la empresa factores como el agua, la energía eléctrica, los residuos, el ruido y las características más importantes de la planta.
• HP	Siglas en inglés: <i>Horse Power</i> . Caballo de fuerza. Unidad de medida de potencia en el sistema inglés, equivalente a 735.5 J/s.
• Inversión del azúcar.	O azúcar invertido es el producto de la hidrólisis del azúcar (sacarosa) en glucosa y fructuosa.
• L.P.	Siglas tomadas del inglés: <i>Liquid propane</i> traducidos como licuado de petróleo. Gas L.P gas licuado de petróleo.
• ° Brix	Grado Brix. Unidad para medir la cantidad de sacarosa disuelta en un líquido.
• pH	El pH (Potencial de hidrógeno) es una medida de la acidez alcalinidad de una solución y se mide según la concentración de iones hidronio $[H_3O^+]$ presentes en determinadas sustancias. Un pH entre 0-6 indica acidez, entre 8-14 basicidad y neutralidad.
• Producción más limpia	Estrategia ambiental preventiva e integrada, enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios, a fin de reducir costos, incentivar innovaciones tecnológicas y reducir los riesgos relevantes al ser humano y al medio ambiente.
• Rayos UV	Son ondas electromagnéticas de corta longitud que se sitúan aproximadamente entre los 400 y 10 nanómetros. Comúnmente se usan como una forma de esterilización.
• Sacarosa	(Del lat. <i>saccharum</i> , del gr. <i>sakkharos</i> “azúcar” y -osa). Nombre científico de lo que comúnmente llamamos azúcar. La sacarosa es un disacárido compuesto por una molécula de D-gucosa y D-fructuosa.
• Turbidez	Se entiende por turbidez o turbiedad a la falta de transparencia de un fluido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, más alta será la turbidez. La turbidez es considerada un parámetro para determinar la calidad de un líquido.
• Valor agregado	Es el valor que un determinado proceso productivo adiciona al valor ya plasmado en la materia prima y el capital fijo (bienes intermedios) o desde el punto de vista de un productor, es la diferencia entre el ingreso, los costos de la materia prima y el capital fijo.



SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- **CCA** Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte.
- **CNUMAD** Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- **COPROBAMEX** Comercializadora de Productos Básicos de México, S.A. de C.V.
- **EMAS** Por sus siglas en inglés: *Eco-Management and Audit Scheme*. Sistema Comunitario de Gestión y Auditoría Medioambiental.
- **EPA** Por sus siglas en inglés: *Environmental Protection Agency*. Agencia para la Protección Ambiental.
- **ISO** Por sus siglas en inglés: *International Organization for Standardization*. Organización Internacional para la Estandarización.
- **MiPYME's** Micro, pequeñas y medianas empresas.
- **ODES** Organización para el Desempeño Empresarial Sostenible.
- **ONU** Organización de las Naciones Unidas.
- **PNUMA** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- **PYME's** Pequeñas y medianas empresas.
- **SE** Secretaría de Economía.
- **SEMARNAT** Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- **SGA** Sistemas de gestión ambiental.
- **TRI** Tiempo de Recuperación de la Inversión.
- **WBCSD** Por sus siglas en inglés: *World Business Council for Sustainable Development*. Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible.



ANEXO I: CUESTIONARIOS

CUESTIONARIO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE COMPETITIVIDAD DE LA EMPRESA

¿Quiénes son los actores interesados?	
<ul style="list-style-type: none">• Clientes:• Proveedores:• Empleados:• Comunidad:• Autoridades:	
Imagen	
<ol style="list-style-type: none">1. ¿Cómo ven los empleados la empresa?2. ¿Cómo ven los clientes la empresa?3. ¿Cómo ven los proveedores la empresa?4. ¿Cómo ven la comunidad la empresa?5. ¿Cómo ven las autoridades la empresa?	
Clientes	
<ol style="list-style-type: none">1. ¿Por qué los clientes prefieren el producto?2. ¿Cuánto tiempo tienen ofreciendo su producto a los clientes actuales?3. ¿Han realizado cambios en procesos o procedimientos para satisfacer al cliente?4. ¿Los clientes tienen conocimiento de los reconocimientos o penalizaciones recibidas?5. ¿A los clientes les interesa que el producto o proceso sea ambientalmente amigable?6. ¿Los clientes tienen conocimiento del nivel de la tecnología utilizada en el proceso?7. ¿Los clientes tienen conocimiento de la ubicación de la planta?	
Proveedores	
<ol style="list-style-type: none">1. ¿Por qué los prefieren como proveedores?2. ¿Por qué los prefieren como cliente?3. ¿Cuál es la antigüedad de los proveedores?	
Empleados	
<ol style="list-style-type: none">1. ¿Cuál es el nivel de escolaridad de empleados en planta?2. ¿Cuál es el nivel de escolaridad de empleados en el corporativo?3. ¿Cuál es el tipo de capacitación inicial proporcionada a los empleados?4. ¿Cuál es el tipo de capacitación inicial proporcionada a los empleados en planta?5. ¿Cuál es la frecuencia de capacitación de los empleados en planta en el corporativo?6. ¿Cuál es la antigüedad de los empleados?7. ¿Cuál es la rotación de los empleados?8. ¿Los empleados de la planta residen cerca de la misma?9. ¿Existe comunicación entre las distintas áreas sobre lo que ocurre en la	



<p>empresa?</p> <p>10. ¿Los empleados tienen conocimiento de los reconocimientos o penalizaciones recibidas?</p> <p>11. ¿Cómo es la convivencia en la planta?</p>
Comunidad
<p>1. ¿La comunidad tiene conocimiento de la existencia de la empresa?</p> <p>2. ¿La comunidad sabe lo que se realiza en la planta?</p> <p>3. ¿La comunidad tienen conocimiento de los reconocimientos o penalizaciones recibidas?</p> <p>4. ¿La comunidad ha presentado quejas de la empresa a las autoridades?</p> <p>5. ¿La comunidad recibe algún beneficio de parte de la empresa?</p>
Autoridades
<p>1. ¿Qué autoridad los visita con mayor frecuencia?</p> <p>2. ¿Qué tan frecuentemente son visitados por autoridades?</p> <p>3. ¿Han recibido reconocimientos de las autoridades?</p>

CUESTIONARIO SOBRE LAS CONDICIONES AMBIENTALES EL ÁREA DE PRODUCCIÓN Y SUS RESULTADOS

Este cuestionario forma parte de un proyecto en el que se busca determinar los efectos de las condiciones ambientales de trabajo en el área de producción. Agradeceríamos que respondan las siguientes preguntas de la forma más detallada posible.

1. ¿Cuál es su puesto en el área de producción?

Personal de producción

2. ¿Cuánto tiempo dura su jornada de trabajo?

En general de 8 a 12 horas

3. ¿Cuánto tiempo lleva trabajando en el área de producción?

La mayoría de los actuales trabajadores llevan laborando aproximadamente entre 6 y 12 meses.

Marque con una X la respuesta por favor.	SI	NO
4. ¿Tiene que gritar para comunicarse con su compañero de trabajo cuando están a una distancia de un brazo (50 cm aproximadamente)?	<u>53%</u>	47%
5. ¿Considera molesto el ruido en el área de producción?	<u>59%</u>	41%
6. ¿El ruido le causa mal estar (dolor de cabeza, cansancio, etc.) para realizar su trabajo?	18%	82%



7. ¿El ruido lo desconcentra al realizar su trabajo?	12%	88%
8. ¿Se ha acostumbrado al ruido en su área de trabajo?	<u>88%</u>	12%
9. ¿Siente que habla más alto o que ya no escucha igual que antes?	19%	81%
10. ¿Le incomoda la temperatura de su área de trabajo?	<u>59%</u>	41%
11. ¿Alguna vez se ha enfermado por los cambios de temperatura?	<u>76%</u>	24%
Observaciones o comentarios: <p><i>En general los trabajadores manifestaron que las condiciones de temperatura y ruido provocan cierto grado de incomodidad por lo que sugieren mejorar la ventilación del área de disolución y el uso de protección auditiva.</i></p> <p><i>Gracias por su colaboración</i></p>		



ANEXO II: CLAVES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TEMAS AMBIENTALES

Tabla A. 1 Claves y características de los temas ambientales.

Clave	Servicio	Características	Desde:
A	Aire Comprimido	---	CM-101
ACL	Agua Clorada	T ambiente	FA - 127
ADC	Agua Desmineralizada para Decoloración	T ambiente	FA-117
ADD	Agua Desmineralizada	T ambiente	FA-133 a FA-136
AE	Agua de Enfriamiento	T = 15 °C	DA - 101
AF	Agua Filtrada	T ambiente	FA-132
AFC	Agua Filtrada de Proceso	T = 70 °C	FA-116
AM	Agua de la Red Municipal de Suministro	T ambiente	L. B.
AN	Arena	---	Almacén
AZ	Azúcar	Granular	L.B.
C	Carbón Activado	Darco S-51	Almacén
CL	Hipoclorito de Sodio	Conc = 13%	Almacén
CO	Costales	---	Almacén
CP	Cartuchos del Filtro Pulidor	10 micras	Almacén
DE	Detergente	Dibosan TC86	Almacén
DX	Tierra Filtrante	Dicalite	Almacén
E	Electricidad	220 V	Subestación
EM	Emisiones de Caldera	CO, CO ₂	CA-101
GLP	Gas L. P.	---	L. B.
H	Hilos	---	Almacén
HCl	Ácido Clorhídrico	Conc = 30%	FA-120
JB	Jarabe	67 °Brix	Proceso
NaCl	Cloruro de Sodio	Granular	Almacén
NaOH	Hidróxido de Sodio	Conc = 50%	FA-119
SK	Celulosa	Solka	Almacén
SL	Salmuera de Cloruro de Sodio	Conc = 20%	FA-124
SN	Sanitizante	Dibosan DB	Almacén
VBP	Vapor de Baja Presión	P = 4.5 Kgf/cm ²	CA-101



ANEXO III: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1.- Recepción y almacenaje de materia prima.

La materia prima llega al área de almacén en costales que son descargados y apilados en tarimas manualmente. Los costales son aspirados para evitar la presencia de larvas, polvo y basura en general. Al ser descargados parte del azúcar sale de los costales, lo que provoca pérdidas de materia prima de aproximadamente 2 kg por descarga de 27 toneladas de azúcar. Los costales esperan dentro del almacén para ser transportados por medio de un montacargas al área de vaciado en el momento que se requiera. Los montacargas utilizan gas L.P. como combustible, durante un día de operación se gastan dos tanques de 47 L de gas por los dos montacargas que se utilizan.

2.- Vaciado de azúcar.

Se colocan 280 costales de azúcar dentro del área de vaciado y se vierte el contenido de cada saco dentro de la tolva L - 101. En el caso de que la materia prima se encuentre aterronada se utiliza el molino SR – 101 para triturlarla y es enviada también a la tolva. Una vez en la tolva, el elevador de cangilones L – 102 se encarga de llevar el azúcar a uno de los disolutores DC – 101 a 104, en aproximadamente 50 minutos. Para la preparación de un disolutor se utilizan inicialmente 14 Toneladas de azúcar.

El cuarto de vaciado es un lugar cerrado en el que se realiza únicamente esta operación, y se desperdicia aproximadamente 1 kg de azúcar por cada disolutor preparado. La temperatura del cuarto es controlada a 20 °C utilizando aire acondicionado.

El laboratorio se encarga de llevar el control del tipo de azúcar, características y del ingenio del cual procede (tabla B.5).



3.- Disolución de azúcar.

Al disolutor vacío se añaden 10 Kg de tierra filtrante Dicalite® y se comienza a llenar el disolutor con agua filtrada a una temperatura de 50 °C proveniente del tanque de agua filtrada de proceso FA – 116 (el agua con estas características será llamada en adelante AFC), esta operación dura aproximadamente 20 minutos. Cuando se han ingresado 3000 L de agua es encendido el agitador AG – 101 a 104 (dependiendo el disolutor en operación) y al alcanzar los 7200 L se comienza a añadir el azúcar hasta obtener 16000 L de jarabe, esta operación dura aproximadamente 50 minutos, tiempo durante el cual el agitador se mantiene encendido. Una vez alcanzado este volumen, se hace circular vapor por el serpentín para tener una temperatura de 65 °C y eliminar microorganismos patógenos que pudieran estar presentes.

Después de una hora de operación del disolutor, el laboratorio de calidad toma una muestra en la que se mide la concentración de azúcar (tabla B.5). En el caso de que la concentración sea menor a 67 °Brix, se añadirá la cantidad de azúcar necesaria que sea indicada por el laboratorio, y se esperan entre 10 y 15 min para tomar una nueva muestra. Al alcanzar la concentración y temperatura requeridas, el jarabe es enviado a la zona de filtrado con la bomba GA – 101 si se trata de los disolutores 1 y 2 o con la bomba GA – 103 si se utilizan los disolutores 3 y 4. El bombeo tiene una duración de 50 min aproximadamente.

4.- Filtración.

El jarabe es filtrado en uno de los equipos FL – 101 a 103 durante una hora aproximadamente y almacenado en el tanque de balance 1, FA – 103. La presión de filtrado debe ser mínimo de 1 Kg/cm² y menor a 4 kgf/cm². En el caso en que la presión sea de 4 kgf/cm² o mayor, se le añaden más tierras filtrantes. Al ocurrir esto aproximadamente 4 veces, el filtro sale de operación y es lavado. Para la adición de las tierras filtrantes se vierten 2,000 L de jarabe en el tanque de precapa FA – 102 además añadiéndose, primero 12 kg de



celulosa Solka® y posteriormente 10 kg de tierra filtrante Dicalite®. Al agregar cada una, el jarabe es recirculado durante 20 minutos a través del tanque de precapa y el filtro que se encuentre en operación utilizando la bomba GA – 106. Una vez finalizado este proceso se realiza la filtración del resto del jarabe.

5.- Decoloración primaria.

- **Pre calentamiento de resina:** A las columnas de decoloración FG – 101 y FG – 102 se introducen aproximadamente 4,000 L de agua AFC (35 GPM durante 30 min) por la parte inferior del equipo para que se empiece a calentar la resina y poder introducir el jarabe, disminuyendo la posibilidad de que ocurra un choque térmico en esta. Finalmente el agua es enviada a alguno de los tanques de neutralización FA – 125 o FA – 126. En este equipo se utilizan dos resinas aniónicas fuertes: Amberlite FPA 98 CI y FPA 90 CI. Estas resinas son cambiadas aproximadamente cada año.
- **Endulzado:** Para retirar el agua utilizada en el pre calentamiento y que la columna quede completamente llena de jarabe a la concentración requerida, se circulan entre 8,000 y 9,000 L de jarabe desde el tanque de balance 1 FA – 103, que posteriormente es llevado al tanque de desendulzado FA – 101. Este procedimiento se lleva a cabo hasta que los °Brix de salida sean igual a los de entrada utilizando la bomba GA – 107.
- **Producción:** La decoloración de 80,000 a 112,000 L de jarabe se lleva a cabo a una velocidad de 2 L/s aproximadamente. Una vez que el jarabe decolorado deja de tener la calidad requerida (tablas B.5 y tabla B.6) se procede a desendulzar la columna. Esto ocurre aproximadamente después de 48 horas de operación.
- **Desendulzado:** Para retirar los residuos de jarabe que se encuentren en la columna, se hacen circular 1,360 L de agua desmineralizada enviada desde el tanque FA – 117 (en adelante el agua con estas características será llamada agua ADC) hasta que los °Brix de salida sean igual a cero.



Esta se envía al tanque de desendulzado FA – 101 utilizando la bomba GA – 108.

- **Regeneración:** Se utiliza salmuera alcalina que consta de 10% de cloruro de sodio y 0.2% de hidróxido de sodio. Estas concentraciones de la salmuera alcalina son alcanzadas al mezclar la solución de salmuera proveniente del tanque de salmuera al 20%, FA – 124 (4,315 L) y solución de hidróxido de sodio al 50 % proveniente del tanque FA – 119 (123 L) con agua ADC (4,997 L).

Se realiza el desplazamiento de la salmuera con 10,900 L de agua ADC durante 30 min, mientras que el enjuague de la columna se realiza con 22,200 L durante 35 min, esta se envía al los tanques de neutralización FA – 125 y FA – 126.

Para determinar que la resina de intercambio iónico se encuentra regenerada se analizan los parámetros indicados en la tabla B.7. El proceso de regeneración tiene una duración aproximada de 4 horas.

- **Lavado con aire:** Después de 4 regeneraciones se realiza un lavado con aire comprimido por aproximadamente 20 minutos (CM – 101) para mantener los pellets de resina separados.

6.- Desmineralización y decoloración secundaria.

- **Pre calentamiento de resina:** A las columnas de desmineralización FG – 103 y FG – 104 se introducen 5,300 L de agua AFC por la parte inferior del equipo para empezar a calentar la resina y poder introducir el jarabe evitando que ocurra un choque térmico, ésta es enviada al tanque de neutralización FA – 125 o FA – 126. En estas columnas se utiliza un lecho mixto de resinas las cuales son una resina aniónica fuerte FPA 90 OH, y una resina catiónica débil, IMAC HP 336 H
- **Endulzado:** Para retirar el agua utilizada en el pre calentamiento y que la columna quede completamente llena de jarabe a la concentración requerida, se circulan 18,000 L de jarabe desde el tanque de balance 2



FA – 104 utilizando la bomba GA –110 que posteriormente es llevado al tanque de desendulzado FA – 101.

- **Producción:** La desmineralización de 90,000 L de jarabe se lleva a cabo a una velocidad de 1.8 L/s aproximadamente. Una vez que el jarabe desmineralizado deja de tener la calidad requerida (tablas B.5 y B.7) se procede a desendulzar la columna. La operación de cada columna es de 16 horas antes de que se requiera realizar la regeneración de las resinas.
- **Desendulzado:** Para retirar los residuos de jarabe que se encuentren en la columna se hace circular 35 GPM de agua AFC durante 180 min (23,900 L) que posteriormente es enviada al tanque de desendulzado.
- **Inyección y Desplazamiento de Salmuera:** Se añaden 2,725 L de salmuera al 20% y 3,634 L de agua AF para terminar de agotar la resina. Posteriormente, con 14,500 L de agua AF es retirada la salmuera y descargada directamente al drenaje.
- **Separación de resina:** Se hacen circular 6,360 L de agua AF para que, por densidad, los dos tipos de resinas sean separadas. La resina aniónica queda en la parte superior, mientras que la catiónica queda en la parte inferior de la columna. El agua utilizada es descargada a los tanques de neutralización.
- **Regeneración:** Aproximadamente 682 L de ácido clorhídrico y 720 L de sosa son ingresados en la columna para llevar a cabo la regeneración de las resinas, utilizándose además 27,000 L de agua desmineralizada proveniente de los tanques FA – 134 a 136 (en adelante el agua con estas características será llamada agua ADD).
- **Enjuague y Mezclado de Resinas:** Después de la regeneración, se hacen circular por la columna 23,700 L de agua ADD para desplazar el ácido y sosa remanentes. La columna es llenada con 1,212 L de agua ADD hasta 24” sobre el nivel de la resina y es inyectado aire comprimido (CM – 101) desde la parte inferior de la columna para mezclar ambas resinas. Después de 10 minutos de inyección de aire el agua es drenada



hasta que llegar a 6" sobre el nivel de la resina y se inyecta aire por otros 10 minutos.

- **Enjuague Final:** Por último se realiza un enjuague con 9,100 L de agua ADD durante 15 minutos que es descargada al tanque de neutralización. El agua de este enjuague debe satisfacer los intervalos de los parámetros indicados en la tabla B.7.

7.- Pulido

La última fase del proceso es la eliminación del olor y color adquiridos por las resinas durante la decoloración y la desmineralización. Esto se realiza dentro del tanque de pulido FA – 105, en el cual además del jarabe, se introducen de 5 a 10 kg de carbón activado y 1 kg de tierra filtrante por cada kg de carbón activado, dependiendo del olor y color del jarabe a la salida de las columnas de intercambio iónico. El jarabe es recirculado con la bomba GA-111 dentro del tanque de pulido y enviado directamente al filtro FL – 104 para remover el carbón activado utilizando tierra filtrante y celulosa. El procedimiento de operación y mantenimiento de este filtro es igual al de los filtros FL – 101, FL – 102 y FL - 103. El laboratorio analiza el producto para permitir que sea llevado a los tanques de producto terminado (tabla B.5).

8.- Almacenamiento en tanques de producto terminado.

Los tanques de almacenamiento de producto terminado FA – 107 a 111 son llenados en aproximadamente 2 horas cada uno, (cuando el tanque se llena a un nivel de 13,000 o 14,000 litros el jarabe es recirculado entre el tanque y el enfriador de producto terminado EA – 101 utilizando la bomba GA – 114. Cuando el tanque se llena completamente se recircula durante una hora más.

El intercambiador de calor funciona con agua filtrada que viene del tanque FA – 132 y va hacia el tanque de agua filtrada de proceso FA – 116. La temperatura final del jarabe es entre 45 y 50 °C.



9.- Llenado de pipas.

El jarabe es entonces bombeado (GA – 112) a la zona de llenado de pipas en donde es enfriado hasta 25 °C en el intercambiador de calor EA – 105 que utiliza agua enviada desde la torre de enfriamiento DA – 101. Finalmente el producto es sometido a radiación de luz ultravioleta con la lámpara UV – 106 mientras es llevado a la pipa para eliminar la posible carga microbiana, esta es llenada con aproximadamente 34 toneladas de producto. Este procedimiento se encuentra totalmente automatizado.

10.- Lavados.

El lavado de equipos es una parte importante que se encuentra fuera del proceso, pero en el que se consumen grandes cantidades de agua y por lo tanto podría representar gastos considerables. Estos se pueden dividir en tres tipos dependiendo de los equipos:

- **Lavado de tanques y recipientes:** Para el lavado cada uno de los disolutores DC – 101 a 104 se agregan, primero, alrededor de 200 L de agua AFC y posteriormente esta es enviada al tanque de desendulzado FA – 101 junto con los 250-300 L de jarabe que no son sacados del disolutor durante el proceso para evitar problemas de bombeo. Posteriormente el disolutor es lavado con 1600 L de agua AFC, utilizando además 3 L de detergente y 750 mL de sanitizante. Esta mezcla es descargada directamente al drenaje.

Se sigue el mismo procedimiento para el lavado de los tanques de balance FA – 103 y FA – 104, y el tanque de pulido FA – 105.

Para el lavado de los tanques de producto terminado FA – 107 a 111 se utilizan 5000 L de agua filtrada por cada tanque, estos lavados se encuentran automatizados.

- **Lavado de Filtros:** Los filtros son lavados aproximadamente después de que se lleven a cabo 4 procedimientos de precapa, esto es alrededor de una vez al día. El lavado se lleva a cabo con 2000 L de agua AFC, las



tierras filtrantes que ya no serán utilizadas son enviadas a la fosa de residuos sólidos FA – 115. Estos residuos son aproximadamente 82 Kg.

- **Lavado de Pipas:** Antes de cargar el producto se hace una inspección por parte del departamento de calidad que evalúa algunos parámetros (tabla B.8) de la pipa que será cargada y con base en ellos determina si es necesario el lavado de la misma.

El lavado de las pipas consta de tres etapas, evaluándose los parámetros indicados en la tabla B.9 en cada etapa:

- a) **Enjuague inicial:** Se utiliza un volumen promedio de 200 L de agua AF que es calentada por el paquete de lavado de pipas PA – 101 a una temperatura de 40 °C, que es recuperada posteriormente en el tanque de desendulzados FA - 101.
- b) **Sanitizado:** Durante 15 minutos se hace pasar 400L de agua AF que es calentada por el paquete de lavado de pipas PA – 101 a una temperatura de 82 °C que se mantiene en recirculación con la bomba GA – 128 para después ser descargada al drenaje.
- c) **Enjuague en frio:** Por un periodo de 5 minutos se hace pasar agua AF que posteriormente va a drenaje.

Tabla B. 1- Claves y características de los distintos tipos de agua utilizados en el proceso.

Clave	Nombre	Origen	Temperatura [°C]
AFC	Agua Filtrada de Proceso	FA – 116	50
AF	Agua Filtrada	FA – 132	Ambiente
ADC	Agua Desmineralizada para Decoloración	FA – 117	60
ADD	Agua Desmineralizada	FA – 133 a 136	Ambiente

Tabla B. 2- Lista de equipo: tanques y recipientes.

Clave	Nombre
DC - 101	Disolutor 1
DC - 102	Disolutor 2
DC - 103	Disolutor 3
DC - 104	Disolutor 4
FA - 101	Tanque de Desendulzado
FA - 102	Tanque de Precapa
FA - 103	Tanque de Balance 1
FA - 104	Tanque de Balance 2



FA - 105	Tanque de Pulido
FA - 106	Tanque de Precapa para Filtro de Pulido
FA - 107	Tanque de Producto Terminado 1
FA - 108	Tanque de Producto Terminado 2
FA - 109	Tanque de Producto Terminado 3
FA - 110	Tanque de Producto Terminado 4
FA - 111	Tanque de Producto Terminado 5
FA - 112	Tanque de Sanitizante para Tanques de Producto Terminado
FA - 113	Tanque de Detergente para Tanques de Producto Terminado
FA - 114	Tanque de Agua para Lavado de Tanques de Producto Terminado
FA - 115	Fosa de Residuos Sólidos
FA - 116	Tanque de Agua Filtrada de Proceso
FA - 117	Tanque de Agua Desmineralizada para Decoloración
FA - 118	Tanque de Aire
FA - 119	Tanque de NaOH
FA - 120	Tanque de HCl
FA - 121	Tanque de Condensados
FA - 122	Suavizador
FA - 123	Tanque de Salmuera para Suavizador
FA - 124	Tanque de Salmuera 20%
FA - 125	Tanque de Neutralización A
FA - 126	Tanque de Neutralización B
FA - 127	Tanque de Agua Clorada
FA - 128	Tanque de Cloro
FA - 129	Tanque de NaOH para Desmineralización de Agua
FA - 130	Tanque de HCl para Desmineralización de Agua
FA - 131	Tanque de Neutralización de Desmineralización de Agua
FA - 132	Tanque de Agua Filtrada
FA - 133	Tanque de Agua Desmineralizada 1
FA - 134	Tanque de Agua Desmineralizada 2
FA - 135	Tanque de Agua Desmineralizada 3
FA - 136	Tanque de Agua Desmineralizada 4
FA - 137	Cisterna de Agua

Tabla B. 3- Lista de equipo: bombas, motores y lámparas.

Clave	Nombre
GA - 101	Bomba de Jarabe de Disolutores 1 y 2
GA - 102	Bomba de Recirculación de Disolutores 1 y 2
GA - 103	Bomba de Jarabe de Disolutores 3 y 4
GA - 104	Bomba de Recirculación de Disolutores 3 y 4
GA - 105	Bomba de Desendulzados
GA - 106	Bomba de Precapa
GA - 107	Bomba del Tanque de Balance 1, A
GA - 108	Bomba del Tanque de Balance 1, B



Proyecto de Eco-eficiencia en empresa mexicana productora de jarabe de azúcar: área de disolución



GA - 109	Bomba de Alimentación a Desmineralización 1
GA - 110	Bomba de Alimentación a Desmineralización 2
GA - 111	Bomba de Filtro de Pulido
GA - 112	Bomba para llenado de Pipas
GA - 113	Bomba de Recirculación de Producto Terminado
GA - 114	Bomba de Recirculación para Lavado de Tanques
GA - 115	Bomba de Alimentación para Lavado de Tanques
GA - 116	Bomba para Calentamiento de Agua Filtrada de Proceso A
GA -117	Bomba para Calentamiento de Agua Filtrada de Proceso B
GA - 118	Bomba de Agua Filtrada de Proceso
GA - 119	Bomba de Agua Desmineralizada para Decoloración
GA - 120	Bomba de Agua para Regeneraciones
GA - 121	Bomba de NaOH
GA - 122	Bomba de HCl
GA - 123	Bomba de Condensados A
GA - 124	Bomba de Condensados B
GA - 125	Bomba de Salmuera 20% a Decoloración
GA - 126	Bomba de Salmuera 20% a Desmineralización
GA - 127	Bomba de Recirculación de CIP de Pipas
GA - 128	Bomba de Alimentación de CIP de Pipas
GA - 129	Bomba de Agua de Enfriamiento
GA - 130	Bomba de Agua de Cisterna
GA - 131	Bomba de Agua Filtrada
GA - 132	Bomba de Agua Desmineralizada
AG - 101	Agitador del Disolutor 1
AG - 102	Agitador del Disolutor 2
AG - 103	Agitador del Disolutor 3
AG - 104	Agitador del Disolutor 4
AG - 105	Agitador de Precapa de Filtros
AG - 106	Agitador del Tanque de Pulido
AG - 107	Agitador de Precapa del Filtro de Pulido
AG - 108	Agitador de Salmuera 20%
UV - 101	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 1
UV - 102	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 2
UV - 103	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 3
UV - 104	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 4
UV - 105	Lámpara Ultravioleta del Tanque de Producto Terminado 4
UV - 106	Lámpara de Luz Ultravioleta de CIP de Pipas
M - 101	Motor del Ventilador de la Caldera
M - 102	Motor del Ventilador de la Torre de Enfriamiento
L - 102	Elevador de Cangilones
SR - 101	Molino de Azúcar
CM -101	Compresor



Tabla B. 4- Lista de equipo: filtros, intercambiadores de calor y misceláneos.

Clave	Nombre
FL – 101	Filtro 1
FL – 102	Filtro 2
FL – 103	Filtro 3
FL – 104	Filtro de Pulido
FL – 105	Filtro de Grava
FL – 106	Filtro de Carbón
FL – 107	Filtro Pulidor de Agua
FG – 101	Columna de Decoloración A
FG – 102	Columna de Decoloración B
FG – 103	Columna de Desmineralización A
FG – 104	Columna de Desmineralización B
FG – 105	Columna Aniónica de Desmineralización de Agua
FG – 106	Columna Catiónica de Desmineralización de Agua
EA – 101	Enfriador de Producto Terminado
EA – 102	Calentador de Agua Filtrada A
EA – 103	Calentador de Agua Filtrada B
EA – 104	Boiler
EA - 105	Enfriador de Producto para Pipas
CA - 101	Caldera
DA – 101	Torre de Enfriamiento
PA – 101	CIP de pipas
SC – 101	Secador de Aire
L – 101	Tolva de Vaciado de Azúcar

Tabla B. 5- Parámetros medidos en laboratorio.

Vaciado	Disolución	Filtración	Decoloración	Desmineralización	Pulido	Prod.Terminado
Tipo de Azúcar	Disolutor	# Filtro	Hora	Hora	# Filtro	Tanque destino
Ingenio	Hora	Hora	°Bx Jarabe	°Bx Jarabe	Hora	Analista
	°Bx Barrido	°Bx Jarabe	ABS 420 F	ABS 420 F	°Bx Jarabe	Turno
	pH de Barrido		Color	Color	ABS 420 F	Observaciones
	°Bx Jarabe		pH	pH	Color	
	ABS 420 F		Cenizas	Cenizas	pH	
	pH de Jarabe				Cenizas	
	Cenizas					
	Carbón [kg]					
	T [°C]					



Tabla B. 6- Lista de parámetros para las unidades decoloradoras.

Columnas Decoloradoras		
Paso de operación	Parámetros	Valor
Producción		
1	Calentamiento de cama a neutralización	Agua de calentamiento 50 °C
2	Calentamientos a cama de recuperación	Agua de calentamiento 50 °C
3	Endulzado a tanque de neutralización	
4	Endulzado a tanque de recuperación	Jarabe de entrada 65 °C
		°Brix Jarabe de salida 67
5	Servicio	Color
6	Desendulzado a producto	
7	Desendulzado a recuperación	Agua desendulzado 50 °C
		°Brix a la salida de la unidad 0
Regeneración		
1	Inyección de salmuera alcalina	Agua de dilución 50 °C
		Concentración de salmuera a la entrada 10%
2	Desplazamiento de salmuera	Agua de desplazamiento 50 °C
		Densidad agua de salida 1
		Conductividad $300 \leq \mu\text{S} \leq 200$
3	Enjuague	Agua de desplazamiento 50 °C
		Conductividad $30 \leq \mu\text{S} \leq 20$

Tabla B. 7- Lista de parámetros para las columnas desmineralizadoras.

Columnas Desmineralizadoras		
Paso de operación	Parámetros	Valor
Producción		
1	Entrada de agua caliente	Agua de entrada 50 °C
		Conductividad de salida $10 \leq \mu\text{S} \leq 2$
		pH a la salida 8-9
2	Endulzado	°Brix Jarabe de salida 67
3	Servicio	
Regeneración		
1	Desendulzado a recuperación	Agua desendulzado 50 °C
		°Brix a la salida de la unidad 0
2	Inyección de salmuera alcalina	Concentración de salmuera a la entrada 10%
3	Desplazamiento de salmuera	Densidad agua de salida 1
4	Inyección de ácido / Bloqueo de sosa	% concentración a la entrada de ácido 4 - 3.5
5	Inyección de ácido / Inyección de sosa	% concentración a la entrada de ácido 4 - 3.5
		% concentración a la entrada de sosa 2 - 2.5
6	Desplazamiento de ácido / Inyección de sosa	% concentración a la entrada de sosa 2 - 2.5
7	Desplazamiento de ácido / Desplazamiento de sosa	Densidad agua de salida del colector 1



8	Enjuague de ácido / Enjuague de sosa	pH agua de salida del colector	10.5 – 9
9	Enjuague final	pH agua de salida de la columna	9 – 8
		Conductividad a la salida de la columna	$10 \leq \mu S \leq 2$

Tabla B. 8- Parámetros que determinan si se realizará lavado de la pipa.

Inspección visual de las pipas	
Recepción	Embarque
¿La unidad se encuentra limpia, libre de olores y daños físicos en la parte exterior?	La unidad cuenta con sellos en la escotilla y en la válvula de descarga
¿El interior está libre de cualquier tipo de plaga, objetos u objetos extraños?	La numeración de los sellos coincide con la numeración establecida en el comprobante de
¿La unidad está libre de abejas?	¿El operador de la unidad asegura las condiciones de higiene en su persona (limpio, sin malos olores y ropa limpia)?
¿La válvula de descarga viene bien protegida, limpia y con capuchón y codo de acero inoxidable?	Las mangueras que se usan para la descarga de los materiales están limpias y se mantuvieron los registros de limpieza
¿El operador de la unidad asegura las condiciones de higiene en su persona (limpio, sin malos olores y ropa limpia)?	Se cumple con los puntos anteriores para que salga limpia la unidad de la planta
¿Hay evidencia de soldaduras, picaduras de moho y/o machas internas?	
¿Se cumple con los puntos anteriores para que se pueda embarcar el producto?	
¿Las mangueras de descarga se encuentran limpias y emplayadas?	

Tabla B. 9- Parámetros medidos en cada paso del lavado de pipas.

Características para liberación de sanitización de las pipas		
Etapas	Parámetro medido	Intervalo de aceptación
1º Enjuague	°Brix	$< 10^\circ \text{Brix}$
Sanitizado	URL	$\leq 150 \text{ URL}$
2º Enjuague	°Brix	0°Brix

Tabla B. 10- Agentes químicos utilizados en el proceso.

AGENTE	NOMBRE COMERCIAL	MARCA
Desinfectante a base de yodo para CIP	DIVONSAN MH	JOHNSON DIVERSEY
Desinfectante terminal para CIP	DIVONSAN DB	JOHNSON DIVERSEY
Detergente ácido clorado	DIVONSAN TC 86	JOHNSON DIVERSEY
Sanitizante (Dimetil Cloruro de Amonio)	BIO HATCH	CHEMLAND
Sal (NaCl)	SAL	
Resina de intercambio iónico		ROHM AND HAAS
Resina de intercambio iónico	AMBERLITE	ROHM AND HAAS
Resina aniónica	LEWATIT	BAYER
Tierra filtrante	DICAMEX	DICALITE
Carbón activado		CLARIMEX/ CLARISORB
Hipoclorito de sodio 13%	HIPOCLORITO DE SODIO	ORION/RICHER
Celulosa	SOLKA FLOC 40	



ANEXO IV: MEMORIA DE CÁLCULO

1- CÁLCULO PARA ESTIMAR EL VAPOR REQUERIDO.

Para preparar un disolutor con jarabe se requiere calentar aproximadamente 16, 000 L de agua a una temperatura de 20 °C y hasta 70 °C para ello se utiliza vapor saturado a un presión de 4.5 kg/cm².

BALANCE DE ENERGÍA

$$Q_{\text{cedido por el vapor}} = Q_{\text{ganado por el agua}} + Q_{\text{ganado por el tanque}} + Q_{\text{pérdidas de calor}}^{35}$$

$$Q_{\text{ganado por el agua}} = m_1 C_{p_{H_2O}} (T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{ganado por el tanque}} = m_{\text{acero}} C_{p_{\text{acero}}} (T_2 - T_1)$$

$$Q_{\text{pérdidas de calor}} = 5\% \text{ del calor ganado por el agua y el tanque}$$

A) Para calcular el calor ganado por el agua.

$$Q_{\text{ganado por el agua}} = L_1 C_{p_{H_2O}} (T_2 - T_1)$$

Tabla C. 1- Variables para el cálculo de calor ganado por el agua.

VARIABLES	VALOR	UNIDADES
$P_{\text{atm Amecameca}}$	627.5	mmHg
ρ_{Agua}	1	Kg/L
T_1	20	°C
T_2	70	°C
m	16,000	kg
$C_{p_{H_2O}}^{20^\circ C}$	0.9995	kcal/kg°C
$C_{p_{H_2O}}^{70^\circ C}$	1.003	kcal/kg°C

Se usara el Cp promedio entre el agua a 20 °C y 70 °C

$$C_{p_{promH_2O}} = \left(\frac{0.9995 \text{ kcal/kg}^\circ C + 1.003 \text{ kcal/kg}^\circ C}{2} \right) = 1.00125 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ C}$$

$$Q_{\text{ganado por el agua}} = (16,000 \text{ kg}) \left(1.00125 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ C} \right) (70^\circ C - 20^\circ C) = 80,1000 \text{ kcal}$$

³⁵ Ver más adelante.



B) Para calcular el calor ganado por el tanque.

$$Q_{\text{ganado por el tanque}} = m_{\text{acero}} C_{p_{\text{acero}}} (T_2 - T_1)$$

Tabla C. 2- Especificaciones del tanque disolutor.

Datos del tanque disolutor	Datos del serpentín
Material= Acero inoxidable 316	Longitud= 20 m
Diámetro= 2.9 m	Diámetro= 0.0381 m, 1 1/2 in
Altura= 2.5 m	Espesor = 0.00368 m
Capacidad= 16,500 L	
Espesor= 0.003 m	
Radio= 1.45 m	
Densidad del acero= 7,850 kg/m ³	

La masa de acero es la suma de la masa del tanque y la del serpentín de calentamiento que se encuentra en su interior.

Volumen de acero que forma el tanque = Espesor (superficie de las tapas + superficie del tanque)

$$V_{\text{acero del tanque}} = 0.003m[(2\pi * 1.45^2 m) + (\pi * 2.9m * 2.5m)] = 0.1079m^3$$

Masa de acero del tanque = (volumen del acero)*(densidad del acero)

$$m_{\text{del tanque}} = (0.1079m^3) \left(7,850 \frac{kg}{m^3} \right) = 847.01kg$$

Volumen de acero del serpentín = Espesor (longitud del serpentín * ancho del serpentín)

$$V_{\text{acero serpentín}} = 0.003m (20m * \pi * 0.00368m) = 0.000693m^3$$

Masa de acero del serpentín = (volumen del acero)*(densidad del acero)

$$m_{\text{acero serpentín}} = (0.000693m^3) \left(7,850 \frac{kg}{m^3} \right) = 5.44kg$$

∴ Masa total del acero = m tanque + m serpentín

$$Masa_{\text{total}} = 847.01kg + 5.445kg = 852.45kg$$



De tal forma que el calor ganado por el tanque disolutor es:

$$Q_{\text{tanque}} = m_{\text{acero}} C_{p_{\text{acero}}} (T_2 - T_1)$$

Donde:

- $M_{\text{acero}} = 852.45 \text{ kg}$
- $C_{p_{\text{acero}}} = 503.9 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$
- $T_1 = 20^\circ\text{C}$
- $T_2 = 70^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{tanque}} = (852.45 \text{ kg}) \left(0.11 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 4,688.47 \text{ kcal}$$

Por lo que el balance de energía queda:

$$Q_{\text{cedido vapor}} = (16,000 \text{ kg}) \left(1.00125 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + (852.45 \text{ kg}) \left(0.11 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{cedido vapor}} = 810,488.48 \text{ kcal}$$

2- CÁLCULO PARA DETERMINAR EL FLUJO MÁSIICO DE VAPOR REQUERIDO.

Considerando que calentar el agua requiere el suministro de vapor de baja presión (4.5 kg/cm^2) por aproximadamente una hora, el flujo másico de vapor requerido para llevar a cabo esta actividad se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{\text{abs vapor}} = 4.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + \left(460 \text{ mmHg} * \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}} * \frac{101325 \text{ Pa}}{1 \text{ atm}} * \frac{1.0197 \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2}{1 \text{ Pa}} \right) = 5.125 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$G_{\text{vapor}} = \frac{Q_{\text{cedido por el vapor}}}{(H_v - H_c) * t}$$

Las entalpías para vapor saturado a una presión de $5.125 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ son:

- $H_c = 153.48 \text{ kcal/kg}$
- $H_v = 656.08 \text{ kcal/kg}$.



De esta forma:

$$G_{vapor} = \frac{16,000 \text{ kg} \left(1.00125 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + (852.45 \text{ kg}) \left(0.11 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (70^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{\left(65608 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} - 15348 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) (1h)} = 1,603.04 \frac{\text{kg}_{vapor}}{h}$$

Por lo tanto, el vapor consumido anualmente es de:

$$Vapor = 1,603.04 \frac{\text{kg}_{vapor}}{h} * \left(\frac{1h_{devapor}}{1disolutor} \right) \left(\frac{7disolutores}{1día} \right) \left(\frac{350días}{1año} \right) = 3,927,448 \frac{\text{kg}_{vapor}}{1año}$$

3- CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE GAS L.P. REQUERIDO PARA GENERAR EL VAPOR

Para determinar la cantidad de gas L.P se utilizo la siguiente ecuación³⁶:

$$F = \frac{G_v * H_v}{\eta * PCI_{G.L.P}}$$

Donde:

Tabla C. 3- Variables para el cálculo de la cantidad de gas L.P. requerido.

VARIABLES	VALOR	UNIDADES
Poder calorífico inferior del gas L.P (PCI _{G.L.P})	11,974	kcal/kg _{combustible}
Flujo másico del vapor requerido (G _v)	1,603.04	kg _{vapor} /h
Entalpía del vapor a una presión de 4.5 Kg/cm ² (H _v)	656.08	kcal/kg _{vapor}
Eficiencia de la caldera (η)	0.80	Adimensional
Densidad del gas L.P (ρ _{G.L.P})	0.54	kg/L
Flujo másico de Combustible (F)	Por determinar	kg _{combustible} /h

$$F = \frac{\left(1,603.04 \frac{\text{kg}_{vapor}}{h} \right) \left(656.08 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{vapor}} \right)}{(0.8) \left(11,974 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}_{combustible}} \right)} = 109.79 \frac{\text{kg}_{combustible}}{h}$$

$$F_{anual} = 109.79 \frac{\text{kg}}{1h} * \left(\frac{1h}{1disolutor} \right) \left(\frac{1L_{Combustible}}{0.54kg} \right) = 203.31 \frac{L_{combustible}}{disolutor}$$

³⁶ Ecuación tomada de FLORES Puebla, Hugo. Notas del curso de Energéticos I. Facultad de Química, UNAM, México, 2008.



Consumo anual de combustible requerido

$$F_{anual} = \left(\frac{109.79 \text{ kg}_{combustible}}{1 \text{ disolutor}} \right) \left(\frac{7 \text{ disolutores}}{1 \text{ día}} \right) \left(\frac{350 \text{ días}}{1 \text{ año}} \right) = 268985.5 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$F_{anual} = 268985.5 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \left(\frac{1 \text{ L}_{Combustible}}{0.54 \text{ kg}} \right) = 498121.29 \frac{\text{L}}{\text{año}}$$

4- CÁLCULO PARA DETERMINAR EL COSTO DE PRODUCCIÓN DEL VAPOR DE BAJA PRESIÓN.

A continuación se encuentran los costos de producción (*cost drivers*), tabla C.5 se muestran los insumos involucrados en la producción del agua filtrada que se usa para generar el vapor de baja presión y en la tabla C.4 los relacionados con la producción de vapor.

Tabla C. 4- Costos de producción para el agua filtrada

Base de Producción:	2289.17 m ³	Costo por m ³ :	\$42.56
Insumos	Costo unitario	Cantidad requerida	Costo de producción
Agua Clorada	\$40.02 / m ³	2289.17 m ³	\$91,610.32
Carbón	\$61 / kg	19.23 kg	\$1,173.08
Arena	\$3 / kg	19.23 kg	\$57.69
Cartuchos pulidores	\$149.5 / pieza	21 piezas	\$3,139.50
Agua Filtrada	\$42.56 / m ³	1 m ³	\$42.50
Energía Eléctrica	\$0.8831 / kWh	1588.68 kWh	\$1,402.96
Total:			\$97,426.06

Tabla C. 5- Costo de producción del vapor de baja presión.

Base de Producción: 1 hora de inyección de vapor.			
Insumos	Costo unitario	Cantidad requerida	Costo de producción
Agua Filtrada	\$42.56 / m ³	0.0007 m ³	\$0.03
NaCl	\$1.94 / kg	0.694 kg	\$1.35
Gas LP	\$3.92 / L	203.31 L	\$796.97
Agua Pipas	\$400 / pipa	0.0084 pipas	\$3.37
Energía Eléctrica	\$0.8831 / kWh	11.033 kW	\$9.74
Costo total de producción:			\$811.43/hora



Con el indicador del costo para la producción de vapor se calcula que, el costo anual por el vapor requerido es de:

$$\text{Costo}_{\text{vapor}} = \left(\frac{811.43\$}{1h_{\text{vapor}}} \right) \left(\frac{1h_{\text{vapor}}}{1\text{disolutor}} \right) \left(\frac{7\text{disolutores}}{1\text{día}} \right) \left(\frac{350\text{días}}{1\text{año}} \right) = 1,988,003.50 \frac{\$}{\text{año}}$$

5- CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN EL TANQUE

Se considera que las pérdidas de calor en un tanque cilíndrico de acero inoxidable sin aislamiento térmico pueden representar entre un 5 y 20 % del calor requerido³⁷ lo cual implica un mayor consumo de vapor para el calentamiento y por ende mayor gasto de combustible requerido.

Bajo este criterio se considerara que las pérdidas de calor mínimas son del cinco por ciento del vapor requerido para el calentamiento del agua filtrada en el tanque disolutor.

$$Q_{\text{perdido}} = 5\% \text{ del vapor requerido por año}$$

$$Q_{\text{perdido}} = (0.005) \left(3,927,448 \frac{\text{Kg}_{\text{vapor}}}{\text{año}} \right) = 196,372 \frac{\text{kg}_{\text{vapor}}}{\text{año}}$$

∴ Masa de combustible (gas L.P) consumido por las pérdidas de calor

$$M_{\text{combustible}} = (0.005) \left(268,985.5 \frac{\text{kg}_{\text{combustible}}}{\text{año}} \right) = 13,449.27 \frac{\text{kg}_{\text{combustible}}}{\text{año}}$$

El volumen de combustible (gas L.P) consumido por las pérdidas de calor

$$V_{\text{combustible}} = (0.005) \left(498121.29 \frac{\text{L}_{\text{combustible}}}{\text{año}} \right) = 24,906.06 \frac{\text{L}_{\text{combustible}}}{\text{año}}$$

³⁷ CONUEE. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Estimación de Pérdidas de Energía Térmica. www.conae.gob.mx.



6- CÁLCULO DEL COSTO DE INEFICIENCIA EN EL USO DEL VAPOR.

El costo de ineficiencia debido a la falta de aislamiento térmico en los tanques disolutores es el equivalente al 5% del consumo de vapor anual.

$$\text{Costo de ineficiencia} = (0.005) (1,988,003.50\$/\text{año}) = 99,400.17 \frac{\$}{\text{año}}$$

7- CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CO₂ QUE SE DEJA DE EMITIR A LA ATMÓSFERA.

Durante la operación de los disolutores el consumo de vapor y gas L.P. se incrementa debido a las pérdidas de calor por la falta del aislante y equivalen a un consumo anual de:

El combustible utilizado para el funcionamiento de la caldera es el gas L.P. y cuya composición se muestra en seguida (tabla C.6):

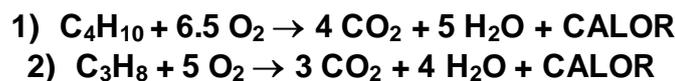
Tabla C. 6- Composición típica del gas L.P.

	BUTANO (C ₄ H ₁₀)	PROPANO (C ₃ H ₈)
Fracción	65%	35%
Peso molecular	58 kg/kmol	44 kg/kmol

$$\text{Fracción}_{\text{butano}} = \left(13,449.27 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) (0.65) = 8,742.02 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$\text{Fracción}_{\text{propano}} = \left(13,449.27 \frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) (0.35) = 4,707.24 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Reacción de combustión del gas L.P.



$$\# \text{ moles } \text{C}_4\text{H}_{10} = (8,742.02 \text{kg}) \left(\frac{1 \text{ kmol } \text{C}_4\text{H}_{10}}{58 \text{ kg}} \right) = 150.72 \text{ kmol } \text{C}_4\text{H}_{10}$$



$$\# \text{ moles } C_3H_8 = (4,70724 \text{ kg}) \left(\frac{1 \text{ kmol } C_3H_8}{44 \text{ kg}} \right) = 10698 \text{ kmol } C_4H_{10}$$

Por la estequiometría de las reacciones y considerando que la reacción se lleva a cabo con un rendimiento de 100%:

$$\# \text{ kmol } CO_2 = (150.72 \text{ kmol } C_4H_{10}) \left(\frac{4 \text{ kmol } CO_2}{1 \text{ kmol } C_4H_{10}} \right) = 60289 \text{ kmol } CO_2$$

$$\# \text{ kmol } CO_2 = (10698 \text{ mol } C_4H_{10}) \left(\frac{3 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } C_4H_{10}} \right) = 32094 \text{ mol } CO_2$$

$$\# \text{ kmol } CO_2 \text{ totales} = (60286 + 32094) = 92380 \text{ kmol } CO_2$$

$$\text{Masa } CO_2 \text{ generada} = \# \text{ kmol } CO_2 * PM_{CO_2}$$

$$\text{Masa } CO_2 \text{ generada} = (92380 \text{ kmol } CO_2) \left(\frac{28 \text{ kg}}{\text{kmol } CO_2} \right) = 25,8664 \text{ kg } CO_2$$

Por lo tanto la cantidad de CO_2 generada por el gas consumido en los cuatro disolutores es equivalente a **25.86** toneladas de CO_2 menos emitidas a la atmósfera anualmente.