



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

*PROYECTO DE ECO-EFICIENCIA EN UNA EMPRESA
PRODUCTORA DE JARABE DE AZÚCAR: ÁREA DE
DESMINERALIZACIÓN*

TESIS

que para obtener el título de:

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA:

Noelia Eugenia Gudiño Reyes



MÉXICO, D.F.

2010



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: María del Carmen Durán Domínguez

VOCAL: Ezequiel Millán Velasco

SECRETARIO: Fulvio Mendoza Rosas

1er. SUPLENTE: Juan José Ruiz López

2° SUPLENTE: Manuel Miguel López Ramos

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: Empresa productora de jarabe de azúcar. Amecameca, Edo. de México.

M. en I. Fulvio Mendoza Rosas
ASESOR DEL TEMA

Noelia Eugenia Gudiño Reyes
SUSTENTANTE

Índice general

Resumen	i
Índice de tablas	ii
Índice de figuras	iv
Glosario	v
Capítulo 1. Introducción	1
Sección 1.1. Objetivo	3
Sección 1.2. Alcances	3
Capítulo 2. Marco teórico	4
Sección 2.1. Factores de competitividad	8
Sección 2.2. Eco-mapa	10
Sección 2.3. Eco-balance	12
Sección 2.4. Costos de ineficiencia	17
Capítulo 3. Empresa dedicada a la fabricación de jarabe de azúcar	21
Sección 3.1. Producto	22
Sección 3.2. Proceso	23
Capítulo 4. Metodología	26
Sección 4.1. Factores de competitividad	26
Sección 4.2. Eco-mapa	27
Sección 4.3. Eco-balance y análisis de los costos de ineficiencia	28
Capítulo 5. Resultados y su análisis	29
Sección 5.1. Factores de competitividad	29
Sección 5.2. Eco-mapa	32
Sección 5.2.1. Descripción del proceso	32
Sección 5.2.2. Selección del área de oportunidad	48
Sección 5.3. Eco-balance y análisis de los costos de ineficiencia	49
Sección 5.3.1. Estimación de costos	49
Sección 5.3.2. Alternativas de solución	56
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones generales	75
Sección 6.1. Conclusiones	75
Sección 6.2. Recomendaciones generales a la empresa	76
Fuentes de información	79
Anexo I. Factores de competitividad	80
Anexo II. Descripción del proceso	82
Anexo III. Claves y características de los temas ambientales	89

Resumen

El sector productivo es considerado como uno de los principales causantes de la contaminación ambiental, debido al gran impacto que supone en este aspecto. En la actualidad algunos organismos gubernamentales se encargan de promover la disminución de generación de contaminantes en la industria. Un programa desarrollado en México con esta finalidad, es el que lleva por nombre Liderazgo Ambiental para la Competitividad. Este programa es impulsado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y propone que sea el mismo personal de la empresa el que se encargue de desarrollar proyectos de mejora, mientras son orientados por expertos en el tema a través de cursos de capacitación. El programa se encuentra basado en el concepto de eco-eficiencia. Ésta se puede definir como la maximización de la productividad de los recursos utilizados, minimizando los desechos, emisiones y descargas y generando, al mismo tiempo ganancias en ámbitos que eleven la competitividad de la empresa. En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un proyecto de eco-eficiencia en una empresa productora de jarabe de azúcar. Este proyecto se llevó a cabo específicamente en el área de desmineralización de jarabe, ya que se encontró que éste es un punto clave dentro del proceso. Se proponen cambios con los que se podrían obtener ahorros de más de 5 millones de pesos anuales así como de ahorros de más de 20 mil m³ de agua y 6 mil kWh de electricidad.

Índice de tablas

Núm.	Título	Página
1	Productos y sus características principales	23
2	Actores interesados en la empresa	29
3	Cálculo de costos de producción: Agua clorada	51
4	Cálculo de costos de producción: Agua filtrada	53
5	Cálculo de costos de producción: Agua desmineralizada	54
6	Cálculo de costos de producción: Salmuera (20 % w/w)	55
7	Cálculo de costos de producción: Vapor de baja presión	56
8	Procedimiento de regeneración: Proveedor	57
9	Procedimiento de regeneración: Real	59
10	Recomendaciones: Desendulzado	60
11	Recomendaciones: Inyección de salmuera	61
12	Recomendaciones: Desplazamiento de salmuera/Retrolavado	62
13	Recomendaciones: Inyección de ácido/Bloqueo de sosa	64
14	Recomendaciones: Inyección de ácido/Inyección de sosa	65
15	Recomendaciones: Desplazamiento de ácido/Inyección de sosa	66
16	Recomendaciones: Desplazamiento de ácido/Desplazamiento de sosa	67
17	Recomendaciones: Enjuague de ácido/Enjuague de sosa	67
18	Recomendaciones: Llenado de unidad/Enjuague final/Pre calentamiento de la cama	69
19	Recomendaciones: Endulzado	70
20	Inversión inicial y ahorros	71
21	Procedimiento de regeneración: recomendado	72
22	Comparación de tiempos y costos involucrados en cada esquema de regeneración	73
23	Ahorros económicos anuales de agua, regenerantes y energía eléctrica	73
II.a	Claves y características de los distintos tipos de agua utilizados en el proceso	82

II.b	Lista de equipo: Tanques y recipientes. Área de proceso	82
II.c	Lista de equipo: Tanques y recipientes. Área de mantenimiento	83
II.d	Lista de equipo: Tanques y recipientes. Área de almacén	83
II.e	Lista de equipo: Bombas, motores y lámparas. Área de proceso	84
II.f	Lista de equipo: Bombas, motores y lámparas. Área de almacén	84
II.g	Lista de equipo: Bombas, motores y lámparas. Área de mantenimiento	85
II.h	Lista de equipo: Filtros y columnas de intercambio iónico	85
II.i	Lista de equipo: Intercambiadores de calor y misceláneos	86
II.j	Parámetros medidos en el laboratorio en cada sección del proceso	86
II.k	Parámetros de control en las unidades decoloradoras	86
II.l	Parámetros de control en las unidades desmineralizadoras	87
II.m	Parámetros que determinan si se realizará lavado de la pipa	87
II.n	Parámetros medidos en cada paso del lavado de pipas	88
II.o	Agentes químicos utilizados en el proceso	88

Índice de figuras y diagramas

Núm.	Título de la figura	Página
1	Programa para mejorar la competitividad de las empresas, generando beneficios tanto económicos como ambientales	8
2	Ejemplo de un eco-mapa y la selección de un área de oportunidad en una tenería	12
3	Secuencia de aplicación de las herramientas en un proyecto de eco-eficiencia	13
4	La eficiencia de un proceso puede observarse también como un valor agregado en los productos y servicios	18
5	Entradas y salidas del sistema de desmineralización	50
6	Entradas y salidas en la producción de agua clorada	51
7	Entradas y salidas de la producción de agua filtrada	52
8	Entradas y salidas en la producción de agua desmineralizada	53
9	Entradas y salidas en la producción de salmuera	54
10	Entradas y salidas en la producción de vapor de baja presión	55

Núm.	Título del diagrama	Página
	Diagrama de flujo de proceso simplificado	33
I	Eco-Mapa 1. Área de proceso	45
II	Eco-Mapa 2. Área de Mantenimiento	46
III	Eco-Mapa 3. Área de almacén	47

Glosario

Término	Definición
ABS	Absorbancia. Parámetro utilizado para la medición indirecta de la concentración de compuestos de color en una muestra.
ADC	Agua desmineralizada con una temperatura de 50°C.
ADD	Agua desmineralizada a temperatura ambiente.
AF	Agua filtrada a temperatura ambiente.
AFC	Agua filtrada de proceso con una temperatura de 50°C.
AIB International	Empresa internacional especializada en salubridad, inocuidad y calidad de los alimentos.
°Bx	Grado Brix. Unidad de medida de cantidad de sacarosa disuelta en un líquido.
CIP	Siglas en inglés: Clean In Place. Método de limpieza del interior de tuberías, tanques, contenedores y equipo en general, en el que no se realiza el desmontaje del mismo.
<i>Disolutor</i>	Nombre que se le da dentro de la empresa en la que se realizó el proyecto al tanque en el que se realiza la disolución del azúcar: Tanque de disolución
<i>Emplayado</i>	<i>Emplayar</i> , palabras que no existen en español y que se utilizan coloquialmente para designar la operación de envolver productos o mercancías sobre una tarima con una película de plástico, para evitar que estos se caigan o separen de la tarima.
EPA	Siglas en inglés: Enviromental Protection Agency. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.
GPM	Galones por minuto. Equivalente a $6.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
HP	Siglas en inglés: Horse power. Caballo de fuerza. Unidad de medida de potencia en el sistema inglés. Equivalente a 735.5 J/s
ICUMSA	Siglas en inglés: International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis. Comisión Internacional de Métodos Uniformes para el Análisis del Azúcar.
IEPS	Impuesto especial sobre producción y servicios
LP	Siglas tomadas del inglés: Liquid propane, traducidas como licuado de petróleo
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

Pellet	Palabra inglesa con la que se denomina genéricamente a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. Del latín <i>pila</i> , pelota o bola. En este caso se refiere a pequeñas porciones de resina.
RPM	Revoluciones por minuto.
<i>Sanitización</i>	Palabra que no existe en español y que se utiliza coloquialmente para designar el tratamiento especial por el cual se elimina la contaminación microbiológica en determinado objeto.
s.g.	Siglas en inglés: Specific gravity. Gravedad específica.
WBCSD	Siglas en inglés: World Business Council for Sustainable Development. Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable.

1. Introducción

El sector productivo es considerado como uno de los principales causantes de la contaminación ambiental, debido al gran impacto que supone en este aspecto. El grado de afectación depende principalmente de las características de las actividades, los productos y procesos que generan o emplean las empresas, de su ubicación geográfica y de la capacidad de controlar, mitigar o prevenir los impactos que afecten al ambiente, reflejo de la gestión ambiental empresarial.

La adopción de esta gestión ambiental como respuesta a la problemática depende, tanto del sector privado como de las instancias y políticas gubernamentales, que tienen origen en los convenios y acuerdos internacionales que distintos países han adoptado durante las últimas décadas. Son estos mismos convenios los que han promovido el desarrollo de una gama de instrumentos que buscan promover la gestión ambiental en el interior de las entidades productivas.

De acuerdo con las disposiciones ambientales acordadas con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, Canadá, Estados Unidos y México crearon en 1994 la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Esta organización tiene el propósito de ocuparse de los asuntos ambientales de preocupación común, contribuir a prevenir posibles conflictos ambientales derivados de la relación comercial, así como

promover la aplicación efectiva de la legislación ambiental. De esta forma se crean programas en los cuales se fomenta la mejora de las empresas. Es el mismo personal el que se encarga de desarrollar proyectos de mejora, mientras son orientados por expertos en el tema a través de cursos de capacitación.

Actualmente, el programa lleva por nombre *Liderazgo Ambiental para la Competitividad* y promueve que pequeñas y medianas empresas proveedoras de grandes compañías, eleven su competitividad a través de ahorros económicos en sus procesos de producción. La mejora de su competitividad se logra al disminuir los consumos de servicios como agua, combustibles y energía eléctrica, así como sus emisiones, residuos y descargas contaminantes, reduciendo también el impacto ambiental de su proceso productivo. Estos beneficios se obtienen como resultados de la aplicación secuencial de un grupo de herramientas de eco-eficiencia, que conducen a la identificación de oportunidades de mejora, el diseño de alternativas y su evaluación técnica y económica. Este programa es impulsado a nivel nacional por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), contando así con el apoyo del sector privado, los gobiernos locales y el gobierno federal.

1.1. Objetivo

Realizar un proyecto de eco-eficiencia en el área de desmineralización de una planta productora de jarabe de azúcar, aplicando la metodología impulsada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el programa *Liderazgo ambiental para la competitividad*.

1.2. Alcances

- Generar el proyecto ejecutivo de eco-eficiencia para su evaluación e implementación.
- Analizar el proceso de desmineralización de jarabe con la aplicación de las herramientas eco-balance y costos de ineficiencia.
- Estimar los costos de los servicios auxiliares utilizados en el proceso de desmineralización de jarabe mediante la aplicación de la herramienta eco-balance.
- Estimar los costos de cada una de las propuestas de solución a las ineficiencias encontradas.

2. Marco teórico

Para la mayoría de las pequeñas y medianas empresas la gestión ambiental no constituye un elemento relevante y prioritario; por una parte debido a la baja capacidad de las autoridades ambientales para ejercer control y lograr el cumplimiento de la normativa ambiental, pero por otro lado, también se debe a que suelen contar con prioridades financieras representadas en sus obligaciones con proveedores y los costos directos de producción, distribución y comercialización de sus productos. Por tal motivo, la inversión que debería destinarse a la mejora de su desempeño ambiental suele quedar en segundo plano frente a otras alternativas, como la necesidad de contar con recursos de capital de trabajo. Esta situación es aún más crítica en la medida en que la inversión en gestión ambiental se percibe como un gasto, desconociendo las oportunidades referentes a la optimización en la eficiencia de los procesos.

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. Dicho sistema de gestión es, a la vez, un "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”¹.

Actualmente, uno de los conceptos más importantes utilizados en el mundo para la promoción de la gestión ambiental enfocada hacia los sectores productivos es la Producción Más Limpia. Ésta nace de la necesidad de incluir la variable ambiental y social en la toma de decisiones económicas, convirtiéndose así en el eje fundamental del desarrollo sostenible. La Producción Más Limpia (o Prevención de la Contaminación) es una estrategia que busca prevenir la generación de la contaminación en la fuente, en vez de controlarla al final del proceso. Este control final incluye una variedad de tecnologías y productos que, en general, no reducen la contaminación sino que disminuyen su toxicidad trasladándola de un medio a otro.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) define la 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 al ambiente asociados con la liberación de tales sustancias, o reduzca o elimine la generación de contaminantes a través de un uso más eficiente de las materias primas

1. Van Hoof, B., Monroy, N. y Saer, A. *Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental*. 2008. Alfaomega Grupo Editor. México.

y la protección de los recursos naturales”². Asimismo, la Sociedad Americana para Materiales de Prueba de los Estados Unidos (American Society for Testing Materials, ASTM) en su Guía para el Desarrollo e Implementación de un Programa para la Prevención de la Contaminación (1994) la define como la reducción o eliminación del uso, liberación o generación de contaminantes (o sus precursores) a través de la reducción en la fuente, el reciclado, la reutilización y mejoras o modificaciones en prácticas existentes³.

Otra forma de gestión ambiental, basada en la Producción Más Limpia, es la Eco-eficiencia. Ésta se puede definir como la maximización de la productividad de los recursos utilizados, minimizando los desechos, emisiones y descargas generando al mismo tiempo ganancias en ámbitos que eleven la competitividad de la empresa. Es este último punto la diferencia esencial entre la Producción Más Limpia y la Eco-eficiencia: un proyecto de eco-eficiencia busca en todo momento mejorar la posición competitiva de la empresa en el mercado.

El término eco-eficiencia fue acuñado por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD, por sus siglas en inglés) en su publicación del año 1992 “Changing Course” (Cambiando el rumbo). De acuerdo con su definición, la eco-eficiencia se alcanza mediante la distribución de “bienes con precios competitivos y servicios que satisfagan las necesidades humanas y brinden calidad de vida a la vez que reduzcan progresivamente los impactos medioambientales de bienes y la intensidad de recursos a través del ciclo de vida entero a un

2. EPA. Environmental Protection Agency, Industrial Ecology / Eco-efficiency and Cleaner Production. 2009. Washington, D.C., E.E.U.U.
3. Pérez-Mireles, A. E. *Problemas, retos y soluciones en la implementación de proyectos de eco-eficiencia en la industria*. 2009. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. México

nivel al menos en línea con la capacidad estimada de llevarla por la Tierra”⁴.

Además de esta primera definición de eco-eficiencia, en la actualidad existen distintas definiciones adoptadas por diversos organismos internacionales y agencias gubernamentales inmersas en la gestión ambiental. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) la define como “la eficiencia con la cual los recursos ecológicos son usados para cubrir las necesidades humanas”, mientras que la Agencia Europea del Ambiente (EEA) la define como la “creación de bienestar para la humanidad al mismo tiempo que se reduce el deterioro de la naturaleza”⁵.

El establecimiento de acciones para lograr la medición de la eco-eficiencia es de suma importancia, ya que ayuda a las empresas contar con un registro de su crecimiento económico, así como de los impactos que provocan al medio ambiente como consecuencia de sus actividades productivas. De esta forma en el programa *Liderazgo ambiental para la competitividad* (Figura 1) se utiliza una metodología en la cual se analizan, en primera instancia, los factores de competitividad de la empresa, para continuar con la elaboración de eco-mapas y eco-balances, finalizando con el análisis de los costos de ineficiencia.

4. Pérez-Mireles, A. E. *Ibidem*.

5. Pérez-Mireles, A. E. *Ibidem*.



Figura 1 – Programa para mejorar la competitividad de las empresas, generando beneficios tanto económicos como ambientales.⁶

Estas herramientas de la eco-eficiencia son instrumentos que permiten definir el estado ambiental de un proceso o producto y, con base en el análisis de estos resultados, establecer objetivos ambientales, apoyar la implementación de los mismos y verificar sus resultados.

2.1. Factores de competitividad

La problemática ambiental se ha convertido en una variable que tiene cada vez más incidencia en las decisiones gerenciales, tanto por la presión ejercida por la autoridad como por la ejercida por las comunidades local e internacional. Bajo esta perspectiva es posible crear valor económico a partir de un manejo estratégico del desempeño ambiental de una empresa.

La posición competitiva de una empresa dentro de su sector está definida por el valor agregado que atribuyan los actores interesados (ya sean clientes, inversionistas, trabajadores, proveedores, etc.) a la empresas y sus productos. Este valor agregado y el poder de negociación sobre el mismo, determinan la fuerza competitiva que

6. SEMARNAT. *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*. 2009. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

tendrá la empresa para contrarrestar las amenazas futuras de aparición de nuevas empresas o de productos sustitutos.

Los diferentes actores del entorno empresarial determinan el contexto competitivo de la compañía. Para el análisis del entorno empresarial se consideran: los mercados más importantes, las tendencias en el mercado, los principales competidores y su impacto en la empresa, los factores de competitividad, la influencia de la gestión ambiental en la competitividad y las limitantes y oportunidades del contexto empresarial.

El contexto de la competitividad de la empresa es el punto de partida para identificar la estrategia a plantear. Los factores de competitividad son aquellas características que permiten a la empresa sobresalir de entre las demás compañías de su gremio. Su definición es de suma importancia en el desarrollo de un proyecto de eco-eficiencia debido a que serán estos factores los que marquen las estrategias de solución a los problemas que se tengan en la empresa.

Otros factores que influyen en el alcance de las alternativas y medidas de la eco-eficiencia en la empresa, son el conjunto de características internas de la misma: la cultura empresarial, el tipo y calidad de la información que se maneja, las fortalezas y debilidades que puedan

facilitar o limitar la realización de alternativas del proyecto y la concepción de lo que es la gestión ambiental.

2.2. Eco-mapa

El eco-mapa es una herramienta cualitativa de diagnóstico, enfocada hacia la entidad como un todo, en el que se identifican las entradas y salidas, los peligros potenciales, etc. (llamados también temas ambientales). El objetivo de esta herramienta es identificar los puntos críticos de la empresa con potencial de mejora, que están asociados a consumos o generaciones significativas de distintos temas ambientales. De esta forma nos muestra qué está pasando y en dónde.

La elaboración de los eco-mapas ayuda a tener una idea inicial de las prioridades ambientales de la empresa sin utilizar mucho tiempo en su realización, conocimientos especializados ni interpretaciones sofisticadas de la información, además puede ser desarrollado por cualquier persona en la empresa.

En el eco-mapa deben identificarse sobre un plano de localización de la empresa (layout) todas las entradas de materiales, energía, insumos y empaques así como las salidas de residuos, efluentes, emisiones, productos y ruido. Puede realizarse un eco-mapa para cada tema ambiental involucrado dentro de la empresa o puede realizarse un único

eco-mapa con todos los temas. Cuando es grande la cantidad de temas involucrados resulta de mucha utilidad la realización de un eco-mapa para cada uno de los temas sobre papel semitransparente, que permita la superposición de éstos para su análisis integral. Para cada tema ambiental debe utilizarse un símbolo de identificación. Es importante resaltar la necesidad de distinguir entre los flujos de materiales peligrosos de los que no lo son; los más costosos, reciclables o reutilizables, y los más críticos para el proceso, con el fin de facilitar la asignación de prioridades en las diferentes áreas de la planta. Así, es necesario distinguir, por ejemplo, entre el agua de proceso, el agua de enfriamiento y la descarga de agua hacia el drenaje. La diferenciación en cuanto a las cantidades e importancia de cada uno de los temas se puede realizar utilizando distintos tamaños o colores de las figuras (Figura 2).

Una vez identificados todos los temas ambientales dentro del plano de localización se seleccionan los puntos críticos o áreas de oportunidad de mejora que se puedan observar en el eco-mapa. Esta selección se realiza tomando en cuenta la cantidad de temas involucrados en un área, así como su importancia e impacto económico, entre otros aspectos.

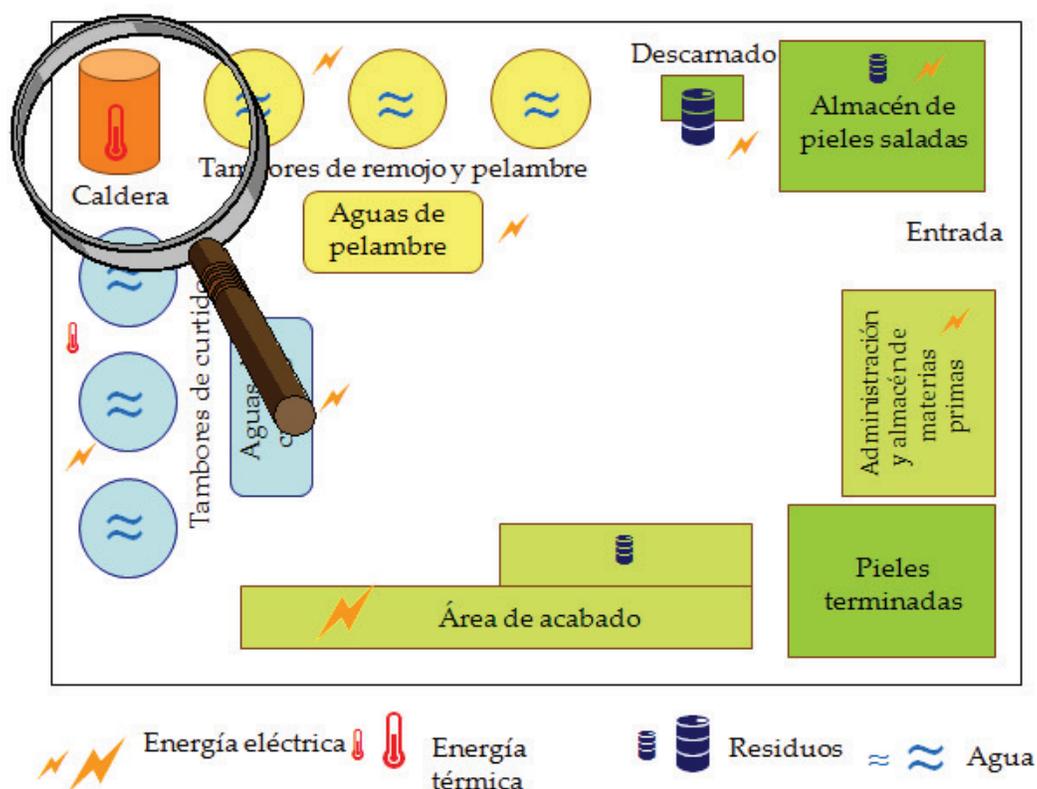


Figura 2 – Ejemplo de un eco-mapa y la selección de un área de oportunidad en una tenería⁷

Cada una de estas áreas será entonces analizada con mayor detalle utilizando otra de las herramientas de la eco-eficiencia: el eco-balance.

2.3. Eco-balance

El siguiente paso en la secuencia de aplicación de las herramientas en un proyecto de eco-eficiencia es el eco-balance (Figura 3). Con éste se buscan cuantificar de la manera más precisa las condiciones del proceso por medio del registro de las cantidades de materias primas y servicios

7. SEMARNAT. *Ibidem*.

utilizados, de residuos, emisiones y subproductos generados; con la finalidad realizar un adecuado análisis de la eficiencia de las operaciones unitarias involucradas dentro del proceso.

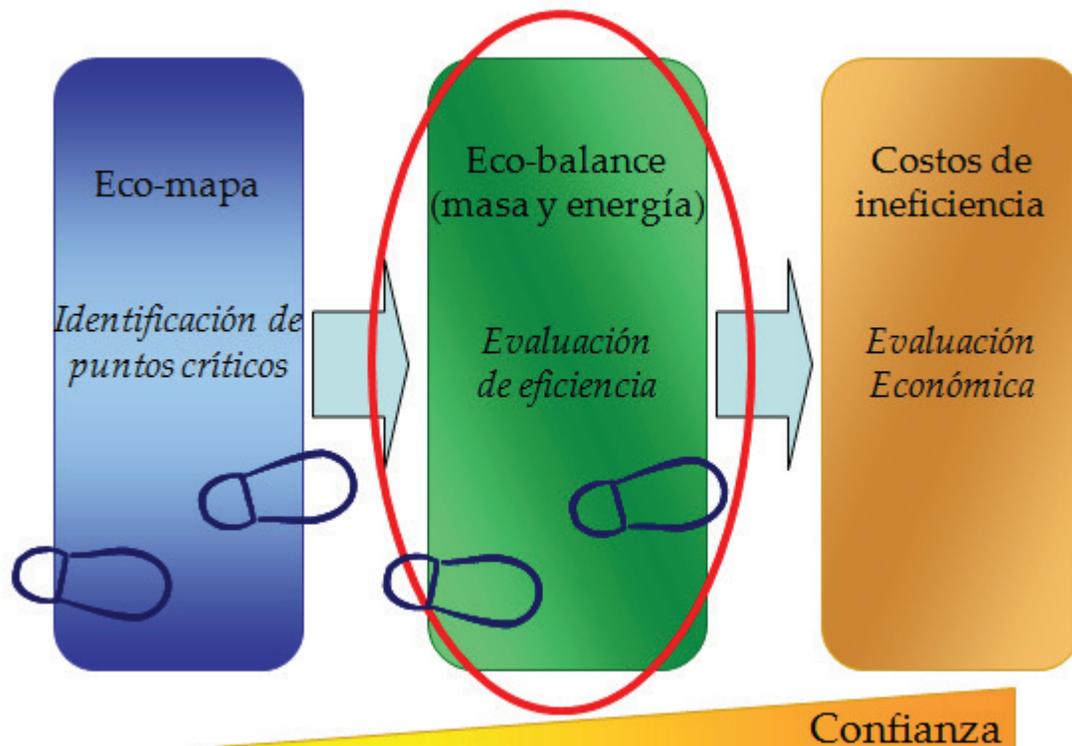


Figura 3 – Secuencia de aplicación de las herramientas en un proyecto de eco-eficiencia⁸

El principio es simple: en una operación del proceso (y en el proceso como un todo) cada uno de los insumos que entran al sistema, sale, ya sea como producto o como residuo. De esta manera, la suma de las masas de lo que entra debe ser igual a la suma de las masas de lo que sale, sucediendo lo mismo con los distintos tipos de energía con los que se cuenta en el proceso.

8. SEMARNAT. *Ibidem*.

La elaboración de un eco-balance parte de la descripción del proceso o del diagrama de flujo del proceso. Es importante definir los límites del sistema que se va a analizar. Una vez que se ha elaborado el diagrama de flujo, se procede a cuantificar las entradas y las salidas, es decir, cada uno de los temas ambientales involucrados. Esta cuantificación se puede llevar a cabo mediante mediciones directas, muestreos y/o estimaciones. También puede recurrirse a la información proporcionada por los proveedores de equipos y materias primas o hasta la incluida en manuales y guías disponibles. Cuando la información no está disponible, la medición de flujos se puede estimar con técnicas conocidas de ingeniería o mediante prácticas sencillas. Por ejemplo, para la medición de flujo de agua a través de una tubería se podría medir el volumen que se desplaza en cierta cantidad de tiempo, o realizar una estimación del caudal utilizando datos de la bomba que la suministra o el diámetro de la tubería.

Es común que, en una primera estimación, las salidas sean menores que las entradas, por lo que siempre es útil hacer una revisión para buscar salidas (y entradas) no consideradas al inicio (como fugas o evaporación). En la medida en que el producto, material o residuo implica mayores costos para la empresa o es crítico para el proceso de producción, el balance debe hacerse con mayor precisión.

Aunque el objetivo del eco-balance es identificar todos los rubros y cantidades de entradas y salidas de las operaciones unitarias del proceso, con la mayor exactitud posible, una diferencia de entre 1 a 3% es considerada tolerable.

Para llevar a cabo de manera adecuada el eco-balance, se requiere una investigación exhaustiva en diversas fuentes de información, como lo pueden ser los registros de compra de materias primas, inventarios de material, especificaciones del producto, registros de operación, procedimientos y manuales de operación, muestreo y análisis de mediciones de productos, residuos y emisiones, facturación de energía eléctrica, agua y combustibles, revisiones bibliográficas, etc.

Una vez obtenido el balance de materia y energía, éste debe ser utilizado como la herramienta básica para proporcionar las respuestas necesarias del ¿Por qué? ¿Dónde? ¿Cuándo? y ¿Cuánto? se generan dichas emisiones y residuos o de cualquier otra situación de interés para el equipo. Con esta base pueden determinarse las variantes que hay que cambiar y/o modificar para lograr una adecuada actividad productiva.

Conociendo las fuentes de generación de residuos y emisiones, así como también las fuentes de desperdicio de materias primas y energéticos, se inicia la búsqueda de medidas correctivas.

Algunos puntos básicos a considerar se presentan a continuación:

- *Cambios en las materias primas:* Esto puede permitir la eliminación de residuos generados, por impurezas de la materia prima. Un cambio de ésta 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:* Estas son modificaciones que se realizarán al proceso con la finalidad de variar las condiciones que promueven una alta generación de residuos y/o emisiones, así como un uso eficiente de materias primas y energéticos.
- *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.
- *Reutilización 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.

Una vez que han sido generadas las opciones de solución, éstas deben ser seleccionadas, de acuerdo con los criterios de factibilidad, costos de implantación, rentabilidad etc.

2.4. Costos de ineficiencia

Como una de las herramientas básicas para la identificación de alternativas que contribuyan a la competitividad empresarial, se define el análisis de los costos de ineficiencia. Gran parte de la contaminación proveniente de los procesos productivos es resultado del manejo inadecuado e ineficiente de los insumos de producción, como son la materia prima, la energía, agua u otras sustancias y los costos del manejo de estos insumos en el caso de no ser aprovechados correctamente. Por otro lado, los costos de ineficiencia se muestran también como costos de oportunidad relacionados con los materiales y productos desperdiciados, que no cumplen con los criterios de calidad requeridos, el pago de multas o penalizaciones causadas por la contaminación, costos relacionados con el riesgo que presenta la contaminación a la imagen, contingencias, entre otros.

Una manera de medir la eficiencia es el grado de aprovechamiento de los recursos requeridos para producir un producto o servicio. Así, los costos de ineficiencia se definen como los gastos que no fueron estrictamente necesarios para obtener los mismos beneficios. Otra manera de definir la ineficiencia es en términos de los desperdicios, residuos, desechos o pérdidas que ocurren durante un proceso de transformación. Adicionalmente, los costos de ineficiencia consideran los rubros involucrados en el manejo ambiental de los mismos desperdicios.

La eficiencia productiva de una empresa se traduce en la capacidad para transformar sus materias primas en producto; varía de acuerdo con la actividad industrial. Reducir la cantidad de materiales desperdiciados es una forma efectiva para mejorar la productividad. A medida que las materias primas entran en un proceso y son transformadas en el producto esperado, además de que los insumos asociados con el proceso de producción cumplan sus objetivos con el menor gasto posible, aumenta la eficiencia del proceso. De igual forma, mientras menor es la cantidad de residuos y contaminantes generados, mayor es el valor agregado que la empresa obtiene de su proceso de producción (Figura 4).

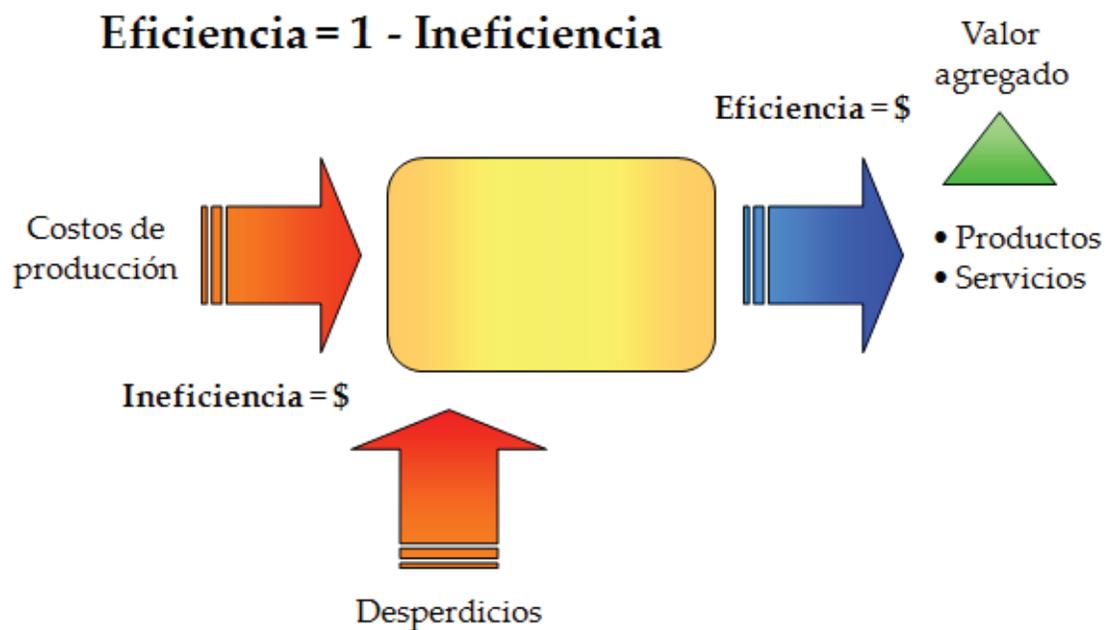


Figura 4 – La eficiencia de un proceso puede observarse también como un valor agregado en los productos y servicios⁹

9. SEMARNAT. *Ibidem*.

La determinación de la eficiencia puede hacerse también para operaciones unitarias específicas; al hacerlo es posible además, identificar cuáles son las partes del proceso con mayor o menor eficiencia y orientar los esfuerzos de mejora hacia aquellas que lo son menos, donde por lo general se encuentran mayores oportunidades y de menor costo.

La información obtenida de la medición de la eficiencia contribuye a identificar oportunidades de mejora y a tomar mejores decisiones sobre los proyectos e inversiones futuros en la empresa. Para la búsqueda de soluciones a las ineficiencias del proceso deben considerarse los siguientes criterios:

- Ⓢ 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
- Ⓢ Potencial para reducir o eliminar los cuellos de botella de producción, donde se genera mayor cantidad de residuos y se tienen mayores pérdidas económicas
- Ⓢ Presupuesto disponible para la realización de las opciones de solución
- Ⓢ Expectativas respecto a la competitividad de la empresa

De esta forma, la contabilización de los desperdicios es una herramienta fundamental para identificar y priorizar alternativas preventivas que realmente contribuyan a la competitividad; además, es el análisis de los costos de ineficiencia la herramienta fundamental para motivar y convencer a los empresarios de que la aplicación de proyectos de eco-eficiencia es un "buen negocio".

3. Empresa dedicada a la fabricación de jarabe de azúcar

El presente proyecto fue realizado en una empresa dedicada a la compra y venta de azúcar granulada y producción de jarabe de azúcar, que abastece a la industria transformadora. Desde 1990, esta empresa se ha dedicado a la comercialización de azúcar granulada. Algunos años después la empresa detectó necesidades especiales en la recepción de la materia prima por parte de la industria transformadora, por lo que se especializó en este sector, inicialmente con la entrega en presentaciones mayores, impulso a las exportaciones, selección de calidad, etc. Sin embargo, el mercado ha seguido en un proceso continuo de maduración y cada vez exigen mayores y mejores estándares, por lo que se ha abocado a cubrir esos requerimientos.

A finales del año 2002 y como consecuencia de la imposición de un impuesto especial —IEPS, a aquellas bebidas que utilizaran un edulcorante distinto al azúcar, se generó una oportunidad impostergable para desarrollar una nueva presentación del azúcar, ahora en estado líquido. El reto a vencer de este producto fue realizar su producción a un costo competitivo para las industrias, por lo que el camino elegido fue partir de azúcar de calidad estándar sometida a un proceso de filtración y decoloración. Con base en la experiencia adquirida en el sector del desarrollo de azúcar líquida se identificaron áreas susceptibles de mejora en el producto y en el proceso, dado que el sistema inicial

resolvía el manejo, inocuidad y color del producto, pero dejaba fuera parámetros como el de cenizas, que es muy sensible para un gran nicho del mercado: el de las bebidas carbonatadas.

Con estos antecedentes se desarrolla un nuevo sistema de elaboración de jarabe de sacarosa refinado sin cenizas, con una inversión de sacarosa máxima de 0.5% partiendo de azúcar granulada de baja calidad; el cual constituye un producto nuevo en el mercado mexicano de edulcorantes, muy utilizado en el proceso de elaboración de bebidas carbonatadas. El objetivo del proceso es entonces, la producción de jarabe de sacarosa refinado de alta calidad partiendo de azúcar granular de una calidad menor.

Este jarabe se ha posicionado rápidamente como una excelente alternativa de edulcorante líquido que cumple con los más altos estándares de calidad requeridos en un amplio nicho de mercado.

3.1. Producto

El producto es jarabe de azúcar producido a partir de azúcares crudos, es el primero y es único en México. Éste permite la disminución de tiempo y costos de producción, así como de personal operativo.

En el proceso de elaboración se pueden controlar diversas variables para ajustar el jarabe a las necesidades del cliente, tales como concentración, color, cenizas, grado de inversión, pH; garantizando al final un edulcorante consistente y homogéneo. De esta forma, la empresa cuenta con los productos que se describen en la Tabla 1.

Tabla 1 – Productos y sus características principales

Producto	Concentración [% masa]	Color [Unidades ICUMSA]	Cenizas [% masa]	pH
45	66.75 – 67.25	45	0.06	6 – 8
140	66.75 – 67.25	140	0.06	6 – 8
180	66.75 – 67.25	180	0.1	6 – 7.5
Cero	66.75 – 67.25	45	0.02	6 – 8

ICUMSA: Siglas en inglés para la Comisión Internacional de Métodos Uniformes para el Análisis del Azúcar.

3.2. Proceso

El proceso tecnológico de elaboración del jarabe de azúcar consiste en las siguientes etapas:

- 1. Disolución.** Para obtener el jarabe, se disuelve primero el azúcar crudo granulado en agua caliente. Se utiliza un tanque agitado con sistema de calentamiento con vapor, mezclando las cantidades requeridas de agua y azúcar para que se obtenga el jarabe a la concentración deseada. En esta etapa el jarabe se encuentra con

una alta concentración de impurezas insolubles, altamente colorido, con elevada turbidez, etc.

2. Filtración. Una vez que obtienen el jarabe, se realiza la separación y remoción de partículas suspendidas en el jarabe, como son bagacillo y otras materias extrañas provenientes de la propia materia prima. Esta remoción de partículas se realiza por filtración, mediante la incorporación en el jarabe de un material de soporte (filtro ayuda). Se mezcla en un tanque con agitador y hacen pasar la mezcla por un filtro a presión de placas verticales. Los sólidos removidos se desechan junto con la torta formada en el filtro y el jarabe filtrado se pasa a la etapa de decoloración primaria. En esta etapa se obtiene un jarabe sin impurezas, filtrado y con menor turbidez que en la etapa de dilución.

3. Decoloración primaria. El jarabe filtrado se somete a un proceso de decoloración primaria, el cual se realiza utilizando resinas de intercambio iónico. En estos materiales se retiene una gran parte de los iones que proporcionan el color ámbar característico al jarabe de azúcar crudo. A la salida de esta etapa se obtiene un jarabe con hasta un 75-80% menos de color con respecto al jarabe de entrada.

4. Desmineralización y decoloración complementaria. El jarabe parcialmente decolorado es pasado enseguida al proceso de

desmineralización y decoloración complementaria mediante el uso de otro tipo de columna de intercambio iónico. El jarabe que pasa por esta columna puede disminuir en un 80% como mínimo el contenido de cenizas y hay una disminución de color de aproximadamente 60%.

5. Pulido. Posteriormente, el jarabe es sometido a un proceso de pulido, consistente en remover las partículas remanentes de sólidos suspendidos orgánicos e inorgánicos que le proporcionan turbidez al jarabe y separar también las pequeñas cantidades de sustancias amínicas provenientes de las resinas. Este proceso se realiza mediante filtración con ayuda de un medio adsorbente. En esta etapa se elimina cualquier olor, sabor y color que pudiera provocar que el jarabe no cumpla con las especificaciones deseadas así como darle un brillo y eliminar la turbidez.

6. Sanitización con rayos ultravioleta. Finalmente, para ayudar a la estabilidad microbiológica del producto, el jarabe pasa a través de un sistema convencional de rayos ultravioletas, para depositarlo finalmente en los recipientes o contenedores previamente lavados y sanitizados en los cuales se distribuirá como producto final.

4. Metodología

La metodología utilizada consiste en la aplicación principalmente de tres herramientas: Eco-mapa, eco-balance y análisis de los costos de ineficiencia. Para la aplicación de estas herramientas se requirió en primera instancia de la definición de los factores de competitividad.

4.1. Factores de competitividad

Siguiendo la metodología del programa *Liderazgo Ambiental para la Competitividad*¹⁰ el primer paso para el desarrollo del proyecto de eco-eficiencia es la definición de los factores de competitividad que tiene la empresa justo en el momento en que se realiza el proyecto.

Para la determinación de estos factores fue necesario, antes que nada, definir cuáles son los actores interesados en la empresa y cuál es el interés que tienen en ella, para realizar una jerarquización de los mismos. Esta definición de los actores interesados, así como la determinación de los factores de competitividad se pudo lograr gracias a una serie de entrevistas realizadas al personal administrativo clave de la empresa en las siguientes áreas: Dirección de operaciones, Investigación y desarrollo, Gerencia general de la planta de producción, Recursos humanos de la planta (Ver cuestionario en el Anexo I).

10. SEMARNAT. *Ibidem*.

4.2. Eco-mapa

Para la realización del eco-mapa se requiere conocer a detalle el proceso de producción, por lo cual surgió la necesidad de elaborar una descripción general del proceso; documento con el que la empresa no contaba como tal. Esta descripción se hizo con base en los manuales de procedimientos de la planta y los manuales de operación de algunos equipos, así como en la información proporcionada por todo el personal que labora en la misma. También se elaboró un diagrama de flujo de proceso simplificado para poder observar con mayor facilidad las entradas y salidas principales del proceso.

Una vez que se contó con la descripción del proceso, se elaboró el plano general de la planta, en el que se muestran todos los equipos y su distribución dentro de la empresa. Posteriormente, se ubicaron en este plano general los insumos utilizados, así como las descargas y desperdicios generados a lo largo del proceso. Se utilizaron distintas figuras para la diferenciación de cada tema ambiental, mientras que para la diferenciación de la intensidad del consumo o desperdicio se utilizaron distintos colores.

Con la elaboración del eco-mapa se logró seleccionar el área de oportunidad: área de desmineralización de jarabe; desarrollándose el resto del proyecto en esta área en específico.

4.3. Eco-balance y análisis de los costos de ineficiencia

Para el desarrollo del eco-balance se determinaron todas las entradas y salidas de la sección de desmineralización de jarabe. Esto se realizó observando a detalle la operación de esta sección, dándose especial énfasis a la etapa de regeneración de las columnas; proceso que se realizó y registró en seis ocasiones.

Asimismo, se estimaron los costos de cada uno de los insumos utilizados, para lo cual también se requirió la realización de balances de materia y energía para los subsistemas existentes dentro de la planta que proveen a la sección de desmineralización: sistemas de producción de agua filtrada y desmineralizada, sistema de aire comprimido, sistema de generación de vapor y sistema de producción de salmuera.

5. Resultados y su análisis

A partir de la metodología antes descrita se obtuvieron los siguientes resultados durante el desarrollo del proyecto de eco-eficiencia.

5.1. Factores de competitividad

Como ya se mencionó, el punto de partida para la definición de los factores de competitividad de una empresa es la determinación de los principales actores interesados en la misma. Según las entrevistas realizadas, se encontraron los actores interesados mostrados en la Tabla 2, enlistados por orden de importancia.

Tabla 2 – Actores interesados en la empresa

Actor interesado	
Empresa refresquera líder mundial	Cliente
Empresa líder nacional en la elaboración de jugos y néctares	Cliente
Empresa líder en la elaboración de bebidas de té	Cliente

La empresa refresquera es el cliente más importante ya que las ventas esperadas a este cliente son de 880 toneladas mensuales en base seca del jarabe de azúcar con mejor calidad.

Para que la empresa fuera aprobada como proveedor oficial de esta empresa refresquera se realizaron cambios en procesos, procedimientos y equipos. Actualmente, las estrategias de la empresa están enfocadas en la satisfacción de este cliente en particular. Esto convierte a la empresa refresquera en el actor interesado de mayor importancia para la empresa, siendo ésta la razón por la cual el proyecto se realizó con base en el producto que se le vende a este cliente.

La competitividad de una empresa está definida por el valor agregado que den los actores interesados al producto y servicios que se les ofrecen. Así, las razones por las que los clientes prefieren los productos de la empresa son las siguientes:

- Disminuye costos de operación, mantenimiento y tiempos en plantas de los clientes.
- El producto es de las características específicas que el cliente requiere.
- El producto se ofrece a un precio competitivo en comparación con los costos de producción de éste en las propias plantas de los clientes.

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. Las oportunidades que se presentaron para la

empresa variaron desde la reducción del consumo de energía y recursos, las ventas del producto en un mercado con requerimientos ambientales y, en caso de aumentar su crecimiento, ser candidato de financiamiento, así como un mejor posicionamiento en el mercado.

Prevenir la contaminación representa un ahorro en los costos y contribuye a la imagen de la empresa. La competitividad se vio reflejada en ser mejores, aumentando el valor agregado y la rentabilidad de la empresa.

Otros factores que podrían influir en la obtención de nuevos clientes y retención de los actuales, son:

- ④ Brindar a sus empleados óptimas condiciones de trabajo.
- ④ Contar con una imagen en el mercado como una empresa innovadora, pionera en la aplicación de tecnologías para intercambio iónico en jarabe de azúcar.
- ④ Contar con una imagen ante la localidad como una empresa superior en cuanto a las condiciones de trabajo y el trato humano con sus empleados.
- ④ Ser una empresa mexicana con certificación en inocuidad alimentaria (AIB International, en inglés)

5.2. Eco-mapa

La descripción del proceso fue fundamental para el entendimiento completo de éste y así poder realizar adecuadamente el eco-mapa y la selección del área de oportunidad. Las líneas principales de éste proceso pueden visualizarse con mayor facilidad en el diagrama de flujo de proceso simplificado que se muestra en el Diagrama de flujo de proceso simplificado, UNAM/FQ-2010/DFP-101.

5.2.1 Descripción del proceso

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 LP como combustible, durante un día de operación se gastan dos tanques de 47 L de gas por los dos montacargas que se utilizan.

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 (Ver claves de equipos en el Anexo II). En el caso de que la materia prima se encuentre aterronada se utiliza el molino SR-101 para triturlarla y cuya salida está conectada directamente 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; se desperdicia aproximadamente 1 kg de azúcar por cada *disolutor* preparado. La temperatura del cuarto es controlada a 20°C utilizando un equipo de aire acondicionado. El laboratorio se encarga de llevar el control de las características del azúcar y el ingenio del cual procede (Ver Anexo II, Tabla j).

Disolución de azúcar

Al tanque *disolutor* vacío se añaden 10 kg de tierra filtrante 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, ver

glosario). Esta operación dura aproximadamente 20 minutos. Cuando se han ingresado 3000 L de agua es encendido el agitador AG-101 a 104 (dependiendo del *disolutor* que se encuentre 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 (Anexo II, Tabla j). En el caso de que la concentración sea menor al 67% en masa, 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.

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_f/cm² y menor a 4 kg_f/cm². En el caso en que la presión sea de 4 kg_f/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. Previamente se añaden 12 kg de celulosa y 10 kg de tierra filtrante. 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.

Decoloración

Pre calentamiento del lecho 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 ésta. Finalmente, el agua es enviada a alguno de los tanques de neutralización FA-125 o FA-126. En este equipo se utilizan dos distintos tipos de resinas aniónicas fuertes, ambas en ciclo Na^+ . 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, son llevados al tanque de desendulzado FA-101. Este procedimiento se lleva a cabo hasta que la concentración de salida sea igual a la de entrada utilizando la bomba GA-107.

Producción: La decoloración de entre 80,000 y 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 (Anexo II, Tablas j y k) 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 tipo AFC (Ver Glosario) hasta que la concentración de salida sea igual a cero. Ésta 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 desmineralizada enviada desde el tanque FA-117 (en adelante el agua con estas características será llamada agua ADC, ver glosario) (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. Ésta se envía a 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 k del Anexo II. 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.

Desmineralización

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 en ciclo OH^- y una resina catiónica débil en ciclo H^+ .

Endulzado: Para retirar el agua utilizada en el precalentamiento 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 son llevados al tanque de desendulzado FA-101.

Producción: La desmineralización de aproximadamente 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 (Anexo II, Tablas j y l) se procede a desendulzar la columna. La operación de cada columna es de aproximadamente 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 hacen circular 23,900 L de agua AFC durante 180 min 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 (Ver glosario) 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, FA-125 y 126.

Regeneración: Aproximadamente 682 L de ácido clorhídrico al 30% en masa y 720 L de hidróxido de sodio al 50% 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, ver glosario).

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 61 cm 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 llega a 15 cm 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 I del Anexo II.

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 enviado a los tanques de producto terminado (Anexo II, Tabla j).

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 está entre 45 y 50°C.

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; ésta es llenada con aproximadamente 34 toneladas de producto. Este procedimiento se encuentra totalmente automatizado.

Lavados

El lavado de equipos es una parte importante que se encuentra fuera de lo que es propiamente el proceso de producción de jarabe de azúcar, pero es una operación en la que se consumen grandes cantidades de agua y, por lo tanto, podría representar gastos considerables. Éstos 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, ésta es enviada al tanque de desendulzado FA-101 junto con los 250 a 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 (Anexo II, Tabla m) 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 n del Anexo II en cada etapa:

- ④ 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.
- ④ Sanitizado: Durante 15 minutos se hacen pasar 400L de agua AF (Ver Glosario) 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.
- ④ Enjuague en frío: Por un periodo de 5 minutos se hace pasar agua AF que posteriormente va a drenaje.

5.2.2. Selección del área de oportunidad

Con la información recopilada en la descripción del proceso se realizó una comparación cualitativa de los consumos y descargas en cada área de la planta, así como los costos asociados a estos. De esta forma se determinó la sección de desmineralización de jarabe como área de oportunidad.

La sección de desmineralización fue seleccionada debido a la gran cantidad de temas ambientales involucrados (Diagramas 1, 2 y 3. Eco-mapas 1, 2 y 3. UNAM/FQ-2009/ECO-101, 102 y 103) así como los altos consumos de agua, agentes químicos, etc., siendo éste el motivo de que las descargas de efluentes sean elevadas y de alto impacto ambiental.

Dados estos altos consumos de agentes químicos y agua, la optimización de esta sección es de suma importancia, tanto económica como con respecto a la calidad del producto, ya que es en ésta donde el producto adquiere algunas de las características específicas que el cliente requiere como la cantidad de cenizas y color del jarabe; teniendo, de esta forma, una relación directa con los factores de competitividad de la empresa.

5. Resultados y su análisis

Las descargas y desperdicios de cada uno de los temas ambientales son denotados con una flecha cruzada sobre la figura.

Consumo	Alto	Medio	Bajo	Mínimo
Color	★	★	★	★

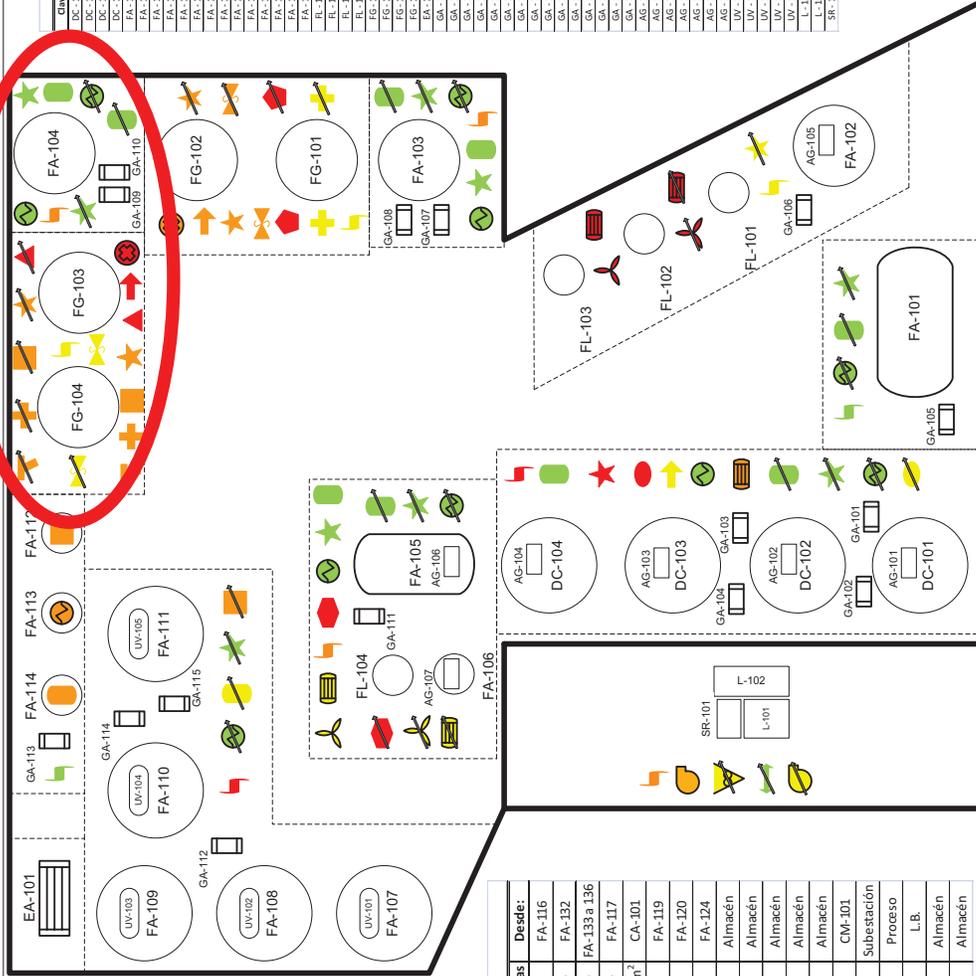


Figura	Clave	Servicio	Características	Desde:
★	AFC	Agua Filtrada de Proceso	T = 70°C	FA-116
★	AF	Agua Filtrada	T ambiente	FA-132
▲	ADD	Agua Desmineralizada	FA-133 a 136	
▲	ADC	Agua Desmineralizada para Decoloración	T ambiente	FA-117
⬇	VBP	Vapor de Baja Presión	P = 4.5 Kg/cm ²	CA-101
⚗	NaOH	Hidróxido de Sodio	Cont = 50%	FA-120
⚗	HCl	Ácido Clorhídrico	Cont = 30%	FA-120
⚗	SL	Salmuera de Cloruro de Sodio	Cont = 20%	FA-124
🧴	DE	Detergente	---	Almacén
🧴	SN	Sanitizante	---	Almacén
🧴	DX	Tierra Filtrante	---	Almacén
🧴	SK	Celulosa	---	Almacén
🧴	C	Carbón Activado	---	Almacén
⚡	A	Aire Comprimido	---	CM-101
⚡	E	Electricidad	220 V	Subestación
👉	JB	Jarabe	67 % w/w	Proceso
👉	AZ	Azúcar	Granular	L.B.
👉	H	Hilos	---	Almacén
👉	CO	Costales	---	Almacén

Clave	Equipo
DC-101	Disolutor 1
DC-102	Disolutor 2
DC-103	Disolutor 3
DC-104	Disolutor 4
FA-101	Tanque de Desacidulado
FA-102	Tanque de Balance 1
FA-103	Tanque de Balance 2
FA-104	Tanque de Pulido
FA-105	Tanque de Pulido
FA-106	Tanque de Pulido 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
FL-101	Filtro 1
FL-102	Filtro 2
FL-103	Filtro de Pulido
FG-101	Columna de Decoloración A
FG-102	Columna de Decoloración B
FG-103	Columna de Desmineralización A
FG-104	Columna de Desmineralización B
GA-101	Enfriador de Producto Terminado 1
GA-102	Enfriador de Producto Terminado 2
GA-103	Bomba de Recirculación de Disolutores 1 y 2
GA-104	Bomba de Jarabe de Disolutores 3 y 4
GA-105	Bomba de Recirculación de Disolutores 3 y 4
GA-106	Bomba de Recirculación de Disolutores 1, 4
GA-107	Bomba de Recirculación de Disolutores 1, 4
GA-108	Bomba de Recirculación de Disolutores 1, 4
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 el lavado de Pilas
GA-113	Bomba de Recirculación de Producto Terminado
GA-114	Bomba de Recirculación de Producto Terminado
GA-115	Bomba de Alimentación para Lavado de Tanques
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 Recarga de Pilas
AG-106	Agitador de Recarga de Pilas
AG-107	Agitador de Recarga del Filtro de Pulido
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 5
L-101	Tolva de Muestreo de Azúcar
L-102	Elevador de Cangilones
SR-101	Molino de Azúcar

UNAM/FQ-2009/ECO-102
Eco-mapa: Área de Mantenimiento

UNAM/FQ-2009/ECO-103
Eco-mapa: Área de Almacén

FECHA
15 Jun 2009
24 Jun 2009
28 Jun 2009
30 Jun 2009
01 Jul 2009

REALIZADA POR
GRNE
COEE GRNE: RTHH
COEE GRNE: RTHH, MRF
COEE GRNE: RTHH, MRF
COEE GRNE: RTHH, MRF

PROYECTO DE ECO-EFICIENCIA

Diagrama 1. ECO-MAPA 1

Área de Proceso

ELABORADO
JUNIO 2009

ESCALA
SIN ESCALA

DOGRAMA NO.
UNAM/FQ-2009/ECO-101

REVISIÓN
4

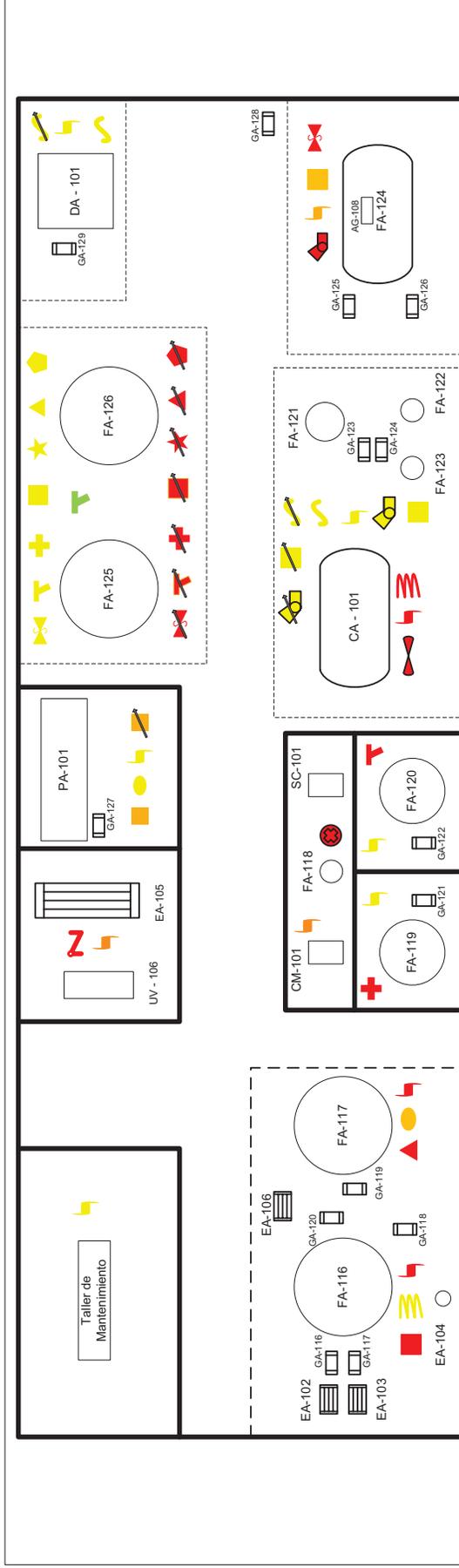


Figura	Clave	Servicio	Características	Desde:
AF	AF	Agua Filtrada	T ambiente	FA-132
AD	AD	Agua Desmineralizada	T ambiente	FA-133 a 136
VBP	VBP	Vapor de Baja Presión	P = 4.5 Kg/cm ²	CA-101
NaOH	NaOH	Hidróxido de Sodio	Conc = 50%	FA-119
HCl	HCl	Ácido Clorhídrico	Conc = 30%	FA-120
DE	DE	Detergente	---	Almacén
SN	SN	Sanitizante	---	Almacén
E	E	Electricidad	220V	Subestación
AE	AE	Agua de Enfriamiento	T = 15 °C	DA - 101
AM	AM	Agua de la Red Municipal de Suministro	T ambiente	L. B.
GLP	GLP	Gas L. P.	---	L. B.
NaCl	NaCl	Cloruro de Sodio	Almacén	Almacén
A	A	Aire Comprimido	---	CM-101
EM	EM	Emissiones de Caldera	CO, CO ₂	CA-101
AFC	AFC	Agua Filtrada de Proceso	T = 70 °C	FA-116
ADC	ADC	Agua Desmineralizada para Decoloración	T ambiente	FA-117
SL	SL	Salmuera de Cloruro de Sodio	Conc = 20%	FA-124

Las descargas y desperdicios de cada uno de los temas ambientales son denotados con una flecha cruzada sobre la figura.

Consumo	Alto	Medio	Bajo	Mínimo
Color	★	★	★	★

Clave	Equipo
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
EA-102	Calentador de Agua Filtrada A
EA-103	Calentador de Agua Filtrada B
EA-104	Boiler
EA-105	Enfriador de Producto para Pipas
EA-106	Enfriador de Agua Desmineralizada
CA-101	Caldera
DA-101	Torre de Enfriamiento
PA-101	CIP de pipas

Clave	Equipo
SC-101	Secador de Aire
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
AG-108	Agitador de Salmuera 20%
M-101	Motor del Ventilador de la Caldera
M-102	Motor del Ventilador de la Torre de Enfriamiento
CM-101	Compresor

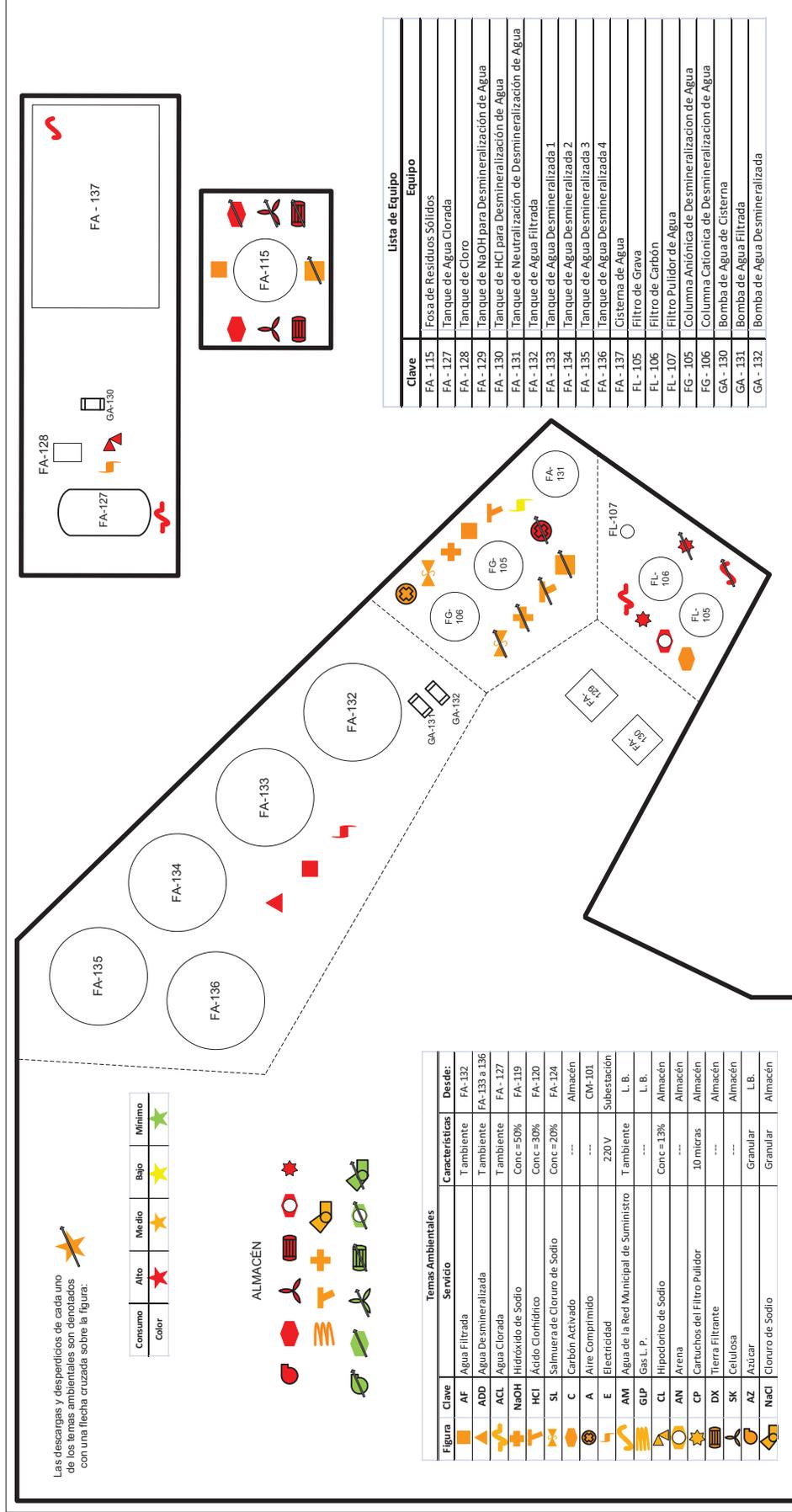



PROYECTO DE ECO-EFICIENCIA
Diagrama 2. ECO-MAPA 2
Área de Mantenimiento

LOCALIZACIÓN	ESCALA	REVISIÓN
AMECAMECA, EDO DE MÉXICO	SIN ESCALA	
ELABORADO	JUNIO 2009	
DISEÑADO	UNAM/FCO-2009/ECO-102	4

No.	DIBUJOS DE REFERENCIA	REVISIÓN	REALIZADA POR	FECHA
UNAM/FCO-2009/ECO-101	Eco-mapa. Área de Proceso	0	GRNE	15/Jun/2009
UNAM/FCO-2009/ECO-103	Eco-mapa. Área de Almacén	1	CSGEE, GRNE, RHH, MRF	24/Jun/2009
		2	CSGEE, GRNE, RHH, MRF	26/Jun/2009
		3	CSGEE, GRNE, RHH, MRF	30/Jun/2009
		4	CSGEE, GRNE, RHH, MRF	01/Jul/2009

5. Resultados y su análisis



No. _____

DIBUJOS DE REFERENCIA

UNAM/FC-2009/ECO-101	Eco-mapa. Área de Proceso	FECHA	15/Jun/2009
UNAM/FC-2009/ECO-102	Eco-mapa. Área de Mantenimiento	15/Jun/2009	24/Jun/2009
		26/Jun/2009	30/Jun/2009
		01/Jul/2009	

REALIZADA POR

REVISIÓN

0	GRNE
1	CGEE, GRNE, RHH, MRF
2	CGEE, GRNE, RHH, MRF
3	CGEE, GRNE, RHH, MRF
4	CGEE, GRNE, RHH, MRF

PROYECTO DE ECO-EFICIENCIA

Diagrama 3. ECO-MAPA 3

Área de Almacén

UNAM/FC-2009/ECO-103

JUNIO 2009

AMECAMECA, EDO DE MÉXICO

UNAM/FC-2009/ECO-103

SIN ESCALA

REVISIÓN

4



5.3. Eco-balance y análisis de los costos de ineficiencia

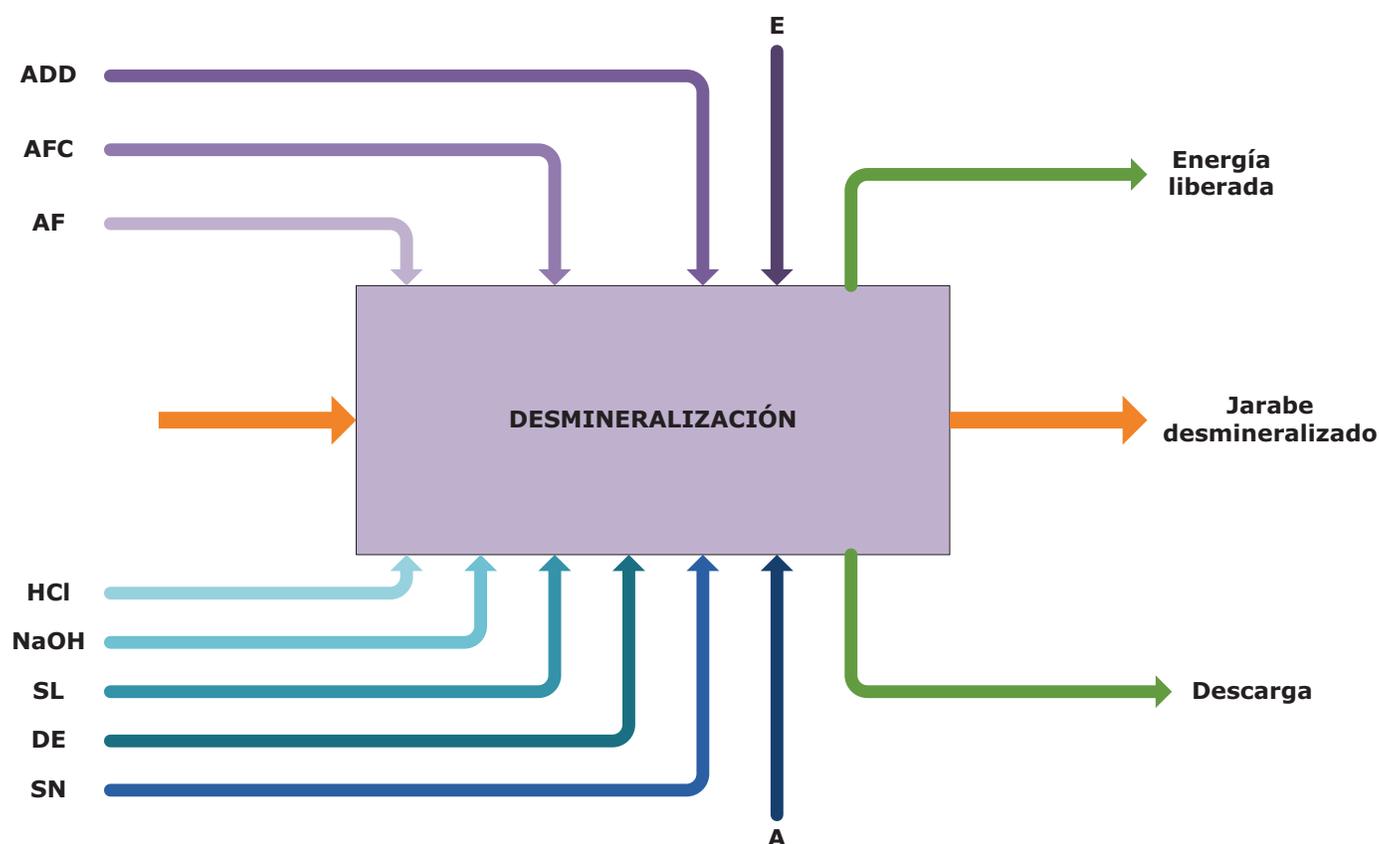
En la sección de desmineralización del jarabe de azúcar se busca principalmente la eliminación de sales como sulfatos y carbonatos, también conocidas como cenizas. Para ello se utilizan columnas de intercambio iónico con lechos mixtos, es decir, columnas con resinas catiónica y aniónica mezcladas en el interior. Se utiliza un sistema de estas características debido a que es lo más recomendado para evitar la inversión de la molécula de sacarosa a fructosa y glucosa; que es promovida por ambientes ácidos o básicos que podrían formarse durante la desmineralización del jarabe.

Una vez que el jarabe producido deja de cumplir con las especificaciones requeridas (más de 30 unidades ICUMSA de color), las columnas deben ser regeneradas para iniciar un nuevo lote de producción. Es en esta parte de la operación (y no en el proceso de producción) donde se utiliza un gran número de temas ambientales y en cantidades bastante significativas, observándose claramente la necesidad de optimizar este procedimiento.

5.3.1. Estimación de costos

Los insumos utilizados en la regeneración de las columnas de desmineralización son, en su mayoría, disoluciones de diferentes características (Figura 5): agua filtrada, agua filtrada de proceso, agua

desmineralizada, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, etc. Para la evaluación de los costos de producción de cada una de ellas se realizaron balances de materia y energía en los siguientes subsistemas. Los costos de estos insumos están basados en los precios promedio manejados por los proveedores de esta empresa durante el año 2009.



**Figura 5 – Entradas y salidas del sistema de desmineralización.
Ver claves de los temas ambientales en el Anexo III**

El agua proveniente de la red municipal de suministro (o generalmente proveniente de pipas de agua que la empresa se ve en la necesidad de comprar) es bombeada desde la cisterna a un tanque de 12.6 m³ de capacidad (FA-127) en el que se inyecta automáticamente la dosis adecuada de hipoclorito de sodio para que la concentración de éste en el agua sea de aproximadamente 5 mg/L (Figura 6). En la Tabla 3 se presenta el cálculo de los costos.

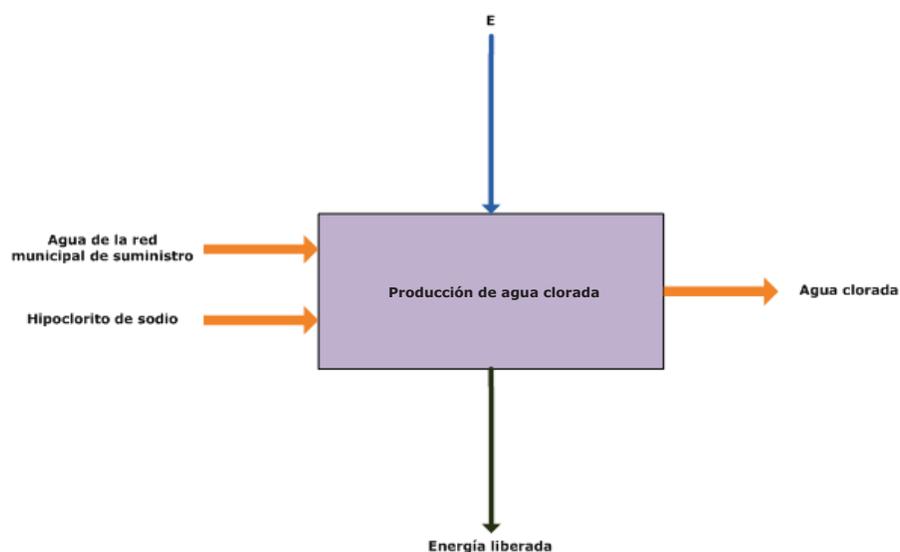


Figura 6 – Entradas y salidas en la producción de agua clorada

Tabla 3 – Cálculo de costos de producción: Agua clorada

Base de producción: 12.6 m³

Costo por m³: \$40.02

<u>Insumos</u>	<u>Costo unitario</u>	<u>Cantidad requerida</u>	<u>Costo de producción</u>
Agua pipas	\$400 / pipa	1.26 pipas	\$504.00
Cloro	\$6 / L	0.04 L	\$0.24
		<i>Total:</i>	\$504.24

Posteriormente el agua clorada es sometida a un proceso de filtración con arena y carbón activado. El agua clorada es bombeada desde el tanque FA-127 hacia los filtros FL-105 y 106 para finalmente ser tratada en el filtro pulidor FL-107 y ser almacenada en el tanque de agua filtrada, FA-132 (Figura 7). La Tabla 4 muestra el cálculo de costos.

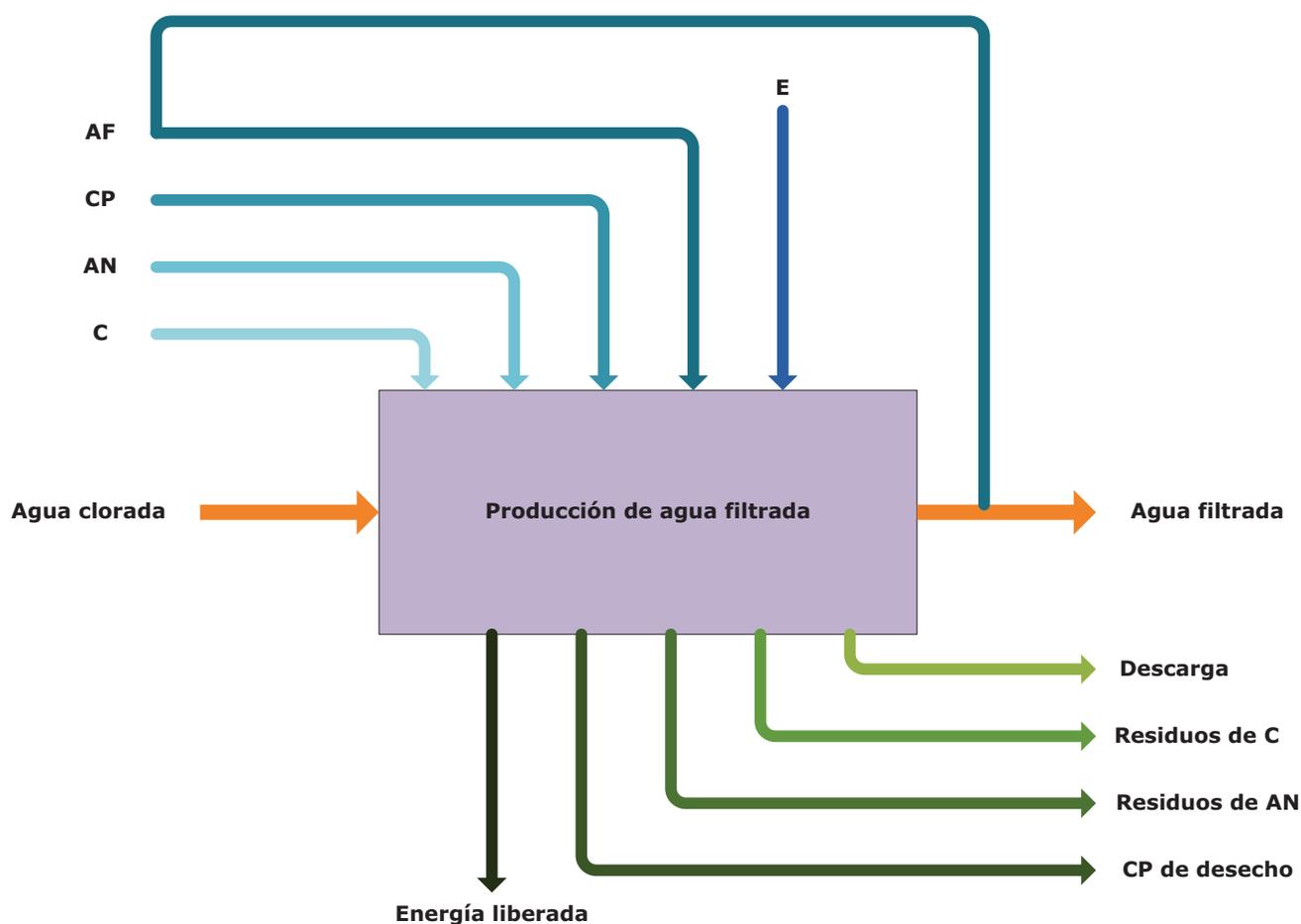


Figura 7 - Entradas y salidas de la producción de agua filtrada

Tabla 4 - Cálculo de costos de producción: Agua filtradaBase de producción: 2289.17 m³**Costo por m³ : \$42.56**

<u>Insumos</u>	<u>Costo unitario</u>	<u>Cantidad requerida</u>	<u>Costo de producción</u>
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

Para la producción de agua desmineralizada, se bombea agua filtrada desde el tanque FA-132 hacia las columnas de desmineralización de agua FG-105 y 106. Una vez llevado a cabo el proceso se almacena el agua en algún tanque de agua desmineralizada, FA-133 a 136 (Figura 8). En la Tabla 5 se presenta la información sobre costos.

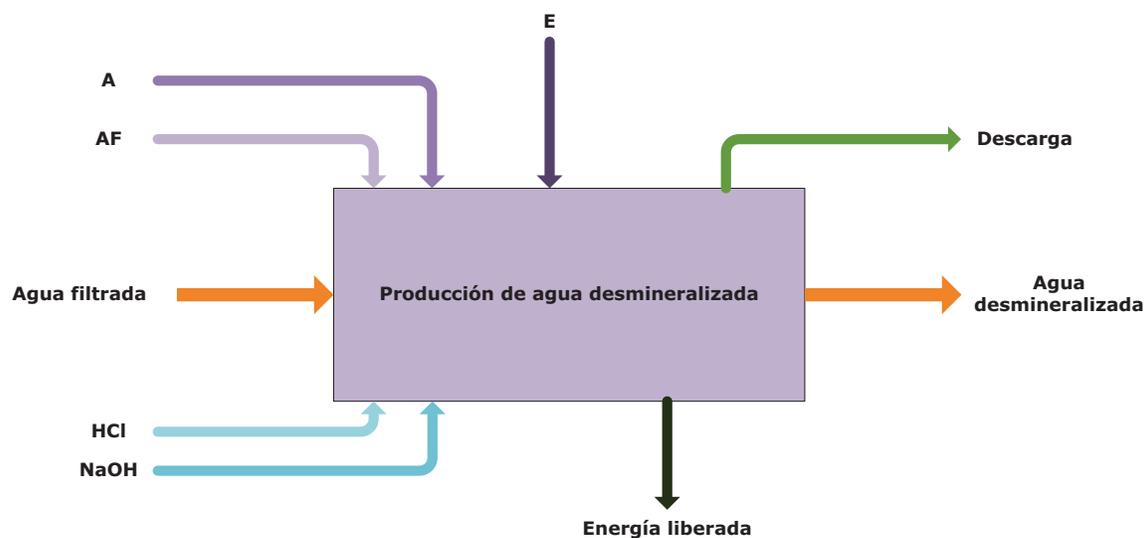
**Figura 8 – Entradas y salidas en la producción de agua desmineralizada**

Tabla 5 - Cálculo de costos de producción: Agua desmineralizadaBase de producción: 350 m³**Costo por m³: \$47.72**

<u>Insumos</u>	<u>Costo unitario</u>	<u>Cantidad requerida</u>	<u>Costo de producción</u>
Agua filtrada (Reg.)	\$42.56 / m ³	13 m ³	\$553.27
HCl [30% masa]	\$2.53 / L	66 L	\$166.98
NaOH [50% masa]	\$9.8 / L	110 L	\$1,078.00
Aire	\$9.74 / L	0.67 h	\$6.50
Agua filtrada (Prod.)	\$42.56 / m ³	350 m ³	\$14,895.86
		<i>Total:</i>	\$16,700.61

Para la producción de salmuera al 20% se utiliza agua filtrada proveniente del tanque FA-132 a la que es añadida cloruro de sodio granular (Figura 9). La mezcla es agitada durante aproximadamente una hora para la homogenización de la misma. En la Tabla 6 se dan los costos de producción.

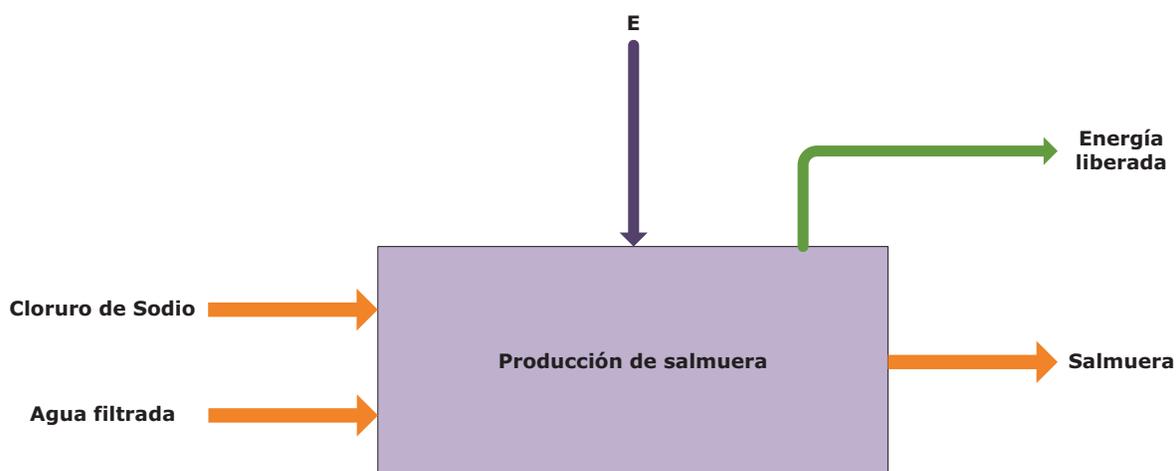
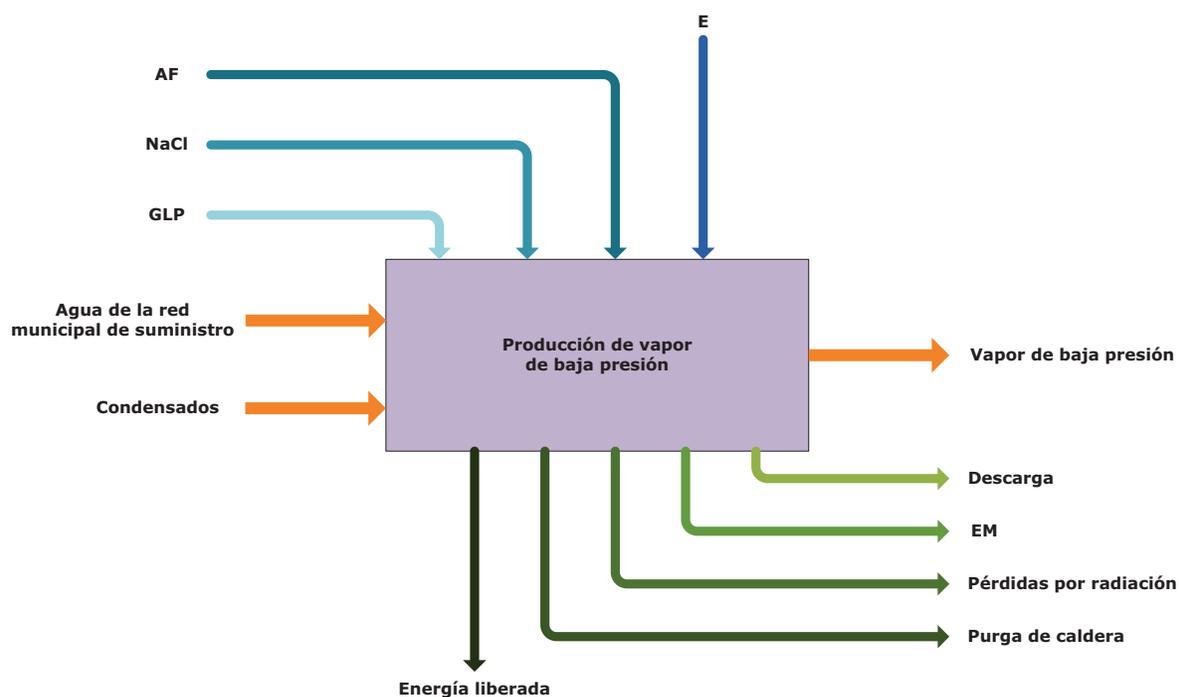
**Figura 9 – Entradas y salidas en la producción de salmuera**

Tabla 6 - Cálculo de costos de producción: Salmuera (20% masa)Base de producción: 8 m³**Costo por m³: \$467.18**

Insumos	Costo unitario	Cantidad requerida	Costo de producción
Agua filtrada	\$42.56 / m ³	8 m ³	\$340.48
NaCl	\$1.94 / kg	1750 kg	\$3,395.00
Energía eléctrica	\$0.8831 / kWh	2.206 kWh	\$1.95
<i>Total:</i>			<i>\$3,737.43</i>

La caldera CA-101 se encarga de la producción de vapor de baja presión (Figura 10).

**Figura 10 – Entradas y salidas en la producción de vapor de baja presión**

Para la determinación del costo de producción del vapor se tomaron en cuenta tanto los consumos de combustible y electricidad como los consumos involucrados en el acondicionamiento del agua que se ingresa en la caldera. La Tabla 7 muestra el cálculo de costos.

Tabla 7 - Cálculo de costos de producción: Vapor de baja presión

Base de producción: 1 h de inyección **Costo por min : \$5.19**

<u>Insumos</u>	<u>Costo unitario</u>	<u>Cantidad requerida</u>	<u>Costo de producción</u>
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 / kg	75.75 L	\$296.92
Agua pipas	\$400 / pipa	0.0084 pipas	\$3.37
Energía eléctrica	\$0.8831 / kWh	11.033 kW	\$9.74
		<i>Total:</i>	\$311.41

5.3.2. Alternativas de solución

Como se mencionó con anterioridad, el proceso en el que se enfocó mayormente el proyecto fue en la regeneración de las columnas de desmineralización. El proveedor del sistema de desmineralización ha propuesto el esquema de regeneración que se muestra en la Tabla 8. En general, la forma en que se llevan a cabo las regeneraciones de las columnas no tiene gran variación en cuanto a los flujos de cada una de las sustancias utilizadas, pero sí existe una diferencia significativa en cuanto a los tiempos que se utilizan, principalmente de los desplazamientos y enjuagues.

Tabla 8 – Procedimiento de regeneración: Proveedor

Paso de la regeneración		Flujo [GPM]	Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	Tiempo [min]	Consumo [m ³ /ciclo]	
Desendulzado		AFC	50	3.15	100	18.93
Inyección de salmuera	AF	32	2.02	30	3.63	
	SL	24	1.51		2.73	
Desplazamiento de salmuera		AF	32	2.02	70	8.48
Retrolavado		AF	90	5.68	20	6.81
Asentamiento		---	---	---	10	---
I-A/B-S	Inyección de ácido	ADD	22	1.39	20	1.67
		HCl	2	0.13		0.15
Bloqueo de sosa		ADD	30	1.89		2.27
I-A/I-S	Inyección de ácido	ADD	22	1.39	45	3.75
		HCl	2	0.13		0.34
	Inyección de sosa	ADD	30	1.89		5.11
		NaOH	1.5	0.09		0.26
D-A/I-S	Desplazamiento de ácido	ADD	20	1.26	55	4.16
		ADD	30	1.89		6.25
	Inyección de sosa	NaOH	1.5	0.09		0.31
D-A/D-S	Desplazamiento de ácido	ADD	22	1.39	60	5.00
	Desplazamiento de sosa	ADD	30	1.89		6.81
E-A/E-S	Enjuague de ácido	ADD	4	0.25	50	0.76
	Enjuague de sosa	ADD	30	1.89		5.68
Drenado 1: a nivel de resina		---	---	---	12	---
Llenado a 24" sobre nivel de resina		ADD	160	10.09	2	1.21
Entrada de aire 1		A	22 ft ³ /min	10.38	10	6.23
Asentamiento		---	---	---	10	---
Drenado 2: 6" sobre nivel de resina		---	---	---	2.5	---
Entrada de aire 2		A	22 ft ³ /min	10.38	10	6.23
Asentamiento		---	---	---	10	---
Llenado de unidad		ADD	160	10.09	3	1.82
Enjuague final		ADD	160	10.09	15	9.08
Precaentamiento de la cama		AFC	50	3.15	40	7.57
Endulzado		JDC	50	3.15	100	18.93

Esto se debe a que los valores de los parámetros que se determinan son difícilmente alcanzados en los tiempos que el proveedor indica. Es por ello que se muestran en la Tabla 9 los flujos y tiempos promedio utilizados realmente durante las regeneraciones. Analizando la forma en que se realiza cada paso y buscando una disminución en la utilización de insumos y descarga de efluentes, se proponen las siguientes modificaciones en el esquema de regeneración de las columnas.

Posibles soluciones en la regeneración de columnas desmineralizadoras

Desendulzado

En este primer paso se busca sacar el jarabe que se encuentra dentro de la columna; para ello se propone la instalación de una bomba que realice el envío de la mayor parte del jarabe (7500 L) al tanque de balance 2, FA-104, y posteriormente se finalice el desendulzado con aproximadamente 8500 L de agua AFC. Esta propuesta requiere una inversión inicial para la instalación de la tubería y la bomba, siendo el tiempo de recuperación menor a un mes. Esto es ya considerando que se utilizará para realizar también el desendulzado de las columnas de decoloración. El costo de operación de esta propuesta es bastante inferior al costo de operación del procedimiento actual ya que se ahorran aproximadamente 10 m³ de agua AFC por regeneración.

Tabla 9 – Procedimiento de regeneración: Real

Paso de la regeneración		Flujo [GPM]	Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	Tiempo [min]	Consumo [m ³ /ciclo]	
Desendulzado		AFC	50	3.15	100	18.93
Inyección de salmuera		AF	32	2.02	30	3.63
		SL	34	2.15		3.86
Desplazamiento de salmuera		AF	34	2.15	110	14.16
Retrolavado		AF	90	5.68	20	6.81
Asentamiento		---	---	---	10	---
I-A/B-S	Inyección de ácido	ADD	22	1.39	20	1.67
		HCl	3.9	0.25		0.30
Bloqueo de sosa		ADD	31	1.96		2.35
I-A/I-S	Inyección de ácido	ADD	22	1.39	45	3.37
		HCl	3.9	0.25		0.66
	Inyección de sosa	ADD	34	2.15		5.79
		NaOH	1.8	0.11		0.31
D-A/I-S	Desplazamiento de ácido	ADD	21.7	1.37	55	4.52
		ADD	34	2.15		7.08
	Inyección de sosa	NaOH	1.8	0.11		0.37
D-A/D-S	Desplazamiento de ácido	ADD	21.7	1.37	80	6.57
	Desplazamiento de sosa	ADD	32.7	32.7		9.90
E-A/E-S	Enjuague de ácido	ADD	9	0.57	65	2.21
	Enjuague de sosa	ADD	100	6.31		24.61
Drenado 1: a nivel de resina		---	---	---	12	---
Llenado a 24" sobre nivel de resina		ADD	160	10.09	2	1.21
Entrada de aire 1		A	22 ft ³ /min	10.38	10	6.23
Asentamiento		---	---	---	10	---
Drenado 2: 6" sobre nivel de resina		---	---	---	2.5	---
Entrada de aire 2		A	22 ft ³ /min	10.38	10	6.23
Asentamiento		---	---	---	10	---
Llenado de unidad		ADD	160	10.09	3	1.82
Enjuague final		ADD	160	10.09	35	21.20
Pre calentamiento de la cama		AFC	50	3.15	40	7.57
Endulzado		JDC	50	3.15	90	17.03

Además, con ella se tiene la ventaja que el jarabe no es diluido, es decir, continua teniendo una concentración cercana 67%, lo que significa también un ahorro económico importante debido a la disminución de la cantidad de jarabe que es reprocesado. Tomando en cuenta que actualmente la disminución de tiempos de producción es de suma importancia para la empresa, también se disminuye el tiempo de esta operación en un 35%.

Cabe mencionar que todos los ahorros anuales están calculados para 350 días de producción al año y se considera que se lleva a cabo la regeneración de una de las columnas al día. No se toman en cuenta 15 días al año por posibles eventualidades, mantenimiento y lavado de los equipos. La Tabla 10 resume los cálculos de costos.

Tabla 10 – Recomendaciones: Desendulzado

	<u>Agua filtrada</u>			
	Proveedor	Real	Recomendado	
Flujo x 10³ [m³/s]	3.15	3.15	6.31	3.15
Tiempo [min]	100	100	20	45
Consumo [m³/ciclo]	18.93	18.93	---	8.52
Conc. salida [% masa]	<< 67	<< 67	67	Aprox. 0
Costo bombeo [\$/Ciclo]	\$6.49	\$6.49	\$1.62	\$2.92
Costo [\$/Ciclo]	\$7,699.90	\$7,699.90	\$1,773.44	
Costo [\$/Año]	\$2,694,966.16	\$2,694,966.16	\$620,702.48	
Ahorro [\$/Año]				\$2,074,263.68
Ahorro [m³/Año]				3,643.46

Inyección de salmuera

Para disminuir el consumo de agua se propone manejar una concentración mayor de la salmuera que ingresa a la columna (12%) ya que el flujo de salmuera al 20% no puede modificarse (este flujo es definido por las características de la bomba que se utiliza para tal efecto, GA-126). Esto se traduce en aproximadamente 1 m³ de agua filtrada ahorrada por ciclo (Tabla 11).

Tabla 11 - Recomendaciones: Inyección de salmuera

		Proveedor	Real	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	AF	2.02	2.02	1.45
	SL	1.15	2.15	2.15
Tiempo [min]		30	30	30
Consumo [m ³ /ciclo]	AF	3.63	3.63	2.57
	SL	2.73	3.86	3.86
Concentración [% masa]		10	10.5	12
Costo bombeo [\$/Ciclo]		\$4.80	\$4.80	\$4.80
Costo [\$/Ciclo]		\$1,431.57	\$1,961.90	\$1,916.99
Costo [\$/Año]		\$501,049.50	\$686,665.00	\$670,946.50
Ahorro [\$/Año]				\$15,718.50
Ahorro [m ³ /Año]	AF			370.97
	SL			0

Desplazamiento de salmuera/ Retrolavado

El objetivo del desplazamiento de salmuera, más allá de sacar la salmuera remanente en la columna, es hacer una limpieza de la resina

quitando específicamente el color atrapado. Asimismo, el objetivo del retrolavado es remover cualquier tipo de suciedad que pudiera quedar atrapada en la columna, además de promover la separación de los *pellets* de resina y que estos se encuentren preparados para recibir los agentes regenerantes. Es por esto que se propone que el desplazamiento de salmuera y el retrolavado se hagan en un mismo paso, en el que se realizará la operación del retrolavado aumentando su tiempo hasta que se alcance el valor del parámetro medido en el desplazamiento de salmuera (s.g. = 1 en aproximadamente 40 min). Al utilizar un flujo alto, el desplazamiento de la salmuera se lleva a cabo con mayor rapidez, mientras que al aumentar el tiempo la resina es limpiada con mayor eficacia. Con esta propuesta se ahorraría aproximadamente 1 m³ de agua filtrada por ciclo (Tabla 12).

Tabla 12 - Recomendaciones: Desplazamiento de salmuera/Retrolavado

	<u>Agua filtrada</u>			
	Proveedor	Real	Retrolavado	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	2.02	2.15	5.68	5.68
Tiempo [min]	70	110	20	40
Consumo [m ³ /ciclo]	8.48	14.16	6.81	13.63
Costo bombeo [\$/ciclo]	\$6.45	\$10.13	\$1.84	\$3.68
Costo [\$/ciclo]	\$367.32	\$612.67	\$291.83	\$583.66
Costo [\$/Año]	\$128,563.52	\$316,574.83		\$204,282.62
Ahorro [\$/Año]				\$112,292.21
Ahorro [m ³ /Año]				2570.3

Asentamiento 1

Para llevar a cabo el asentamiento de la resina, según la velocidad de asentamiento observada, no se requieren más que 5 min de tiempo. Así que este es el tiempo que se propone para llevar a cabo el paso ya que un tiempo mucho mayor implica que la resina se compacte, haciendo que la regeneración se lleve a cabo con mayor dificultad.

Inyección de ácido/ Bloqueo de sosa

Para evitar mayores complicaciones en la operación del equipo, se propone manejar una concentración mayor de ácido clorhídrico (4.5%) y de esta forma disminuir el consumo de agua desmineralizada (ADD) para su dilución, ayudando además a que se tenga una mejor regeneración de la resina. También se propone disminuir el tiempo de este paso a 10 min; teniendo en cuenta que la especificación de la resina es de 30 min de tiempo de contacto mínimo, se hace la propuesta de utilizar 1.5 veces el tiempo mínimo para ambas resinas. Con esta propuesta se ahorrarían aproximadamente 2 m³ de agua ADD por ciclo (Tabla 13).

Tabla 13 – Recomendaciones: Inyección de ácido/Bloqueo de sosa

			Proveedor	Real	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	I-A	ADD	1.39	1.39	1.39
		HCl	0.13	0.25	0.25
	B-S	ADD	1.89	1.96	1.89
Tiempo [min]			20	20	10
Consumo [m ³ /ciclo]	I-A	ADD	1.67	1.67	0.83
		HCl	0.15	0.3	0.15
	B-S	ADD	2.27	2.35	1.14
Concentración [% masa]	I-A		4 - 3.5	4.5	4.5
	B-S		---	---	---
Costo bombeo [\$/Ciclo]			\$3.19	\$3.19	\$1.60
Costo [\$/Ciclo]			\$573.36	\$940.89	\$468.83
Costo [\$/Año]			\$200,676.00	\$329,311.50	\$164,090.50
Ahorro [\$/Año]					\$165,221.00
Ahorro [m ³ /Año]	ADD				715.44
	HCl				51.67

Inyección de ácido/Inyección de sosa

Además de las propuestas realizadas en el paso anterior con respecto a la inyección de ácido, se propone disminuir el flujo de sosa así como la concentración a la que se ingresa a la columna. Se propone utilizar el valor recomendado por el fabricante de la resina (2%). Cabe mencionar que en este caso no se recomienda aumentar la concentración a la que se ingresa a la columna por el elevado costo de la sosa. Con esta

propuesta se ahorrarían aproximadamente 1 m³ de ADD y NaOH por ciclo (Tabla 14).

Tabla 14 – Recomendaciones: Inyección de ácido/Inyección de sosa

		Proveedor	Real	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	I-A	ADD	1.39	22.1
		HCl	0.13	0.25
	I-S	ADD	1.89	1.82
		NaOH	0.09	0.08
Tiempo [min]		45	45	45
Consumo [m ³ /ciclo]	I-A	ADD	3.75	3.76
		HCl	0.34	0.66
	I-S	ADD	5.11	4.91
		NaOH	0.26	0.2
Concentración [% masa]	I-A	4 - 3.5	4.5	
	I-S	3 - 2.5	2	
Costo bombeo [\$/Ciclo]		\$7.67	\$7.67	\$7.67
Costo [\$/Ciclo]		\$3,794.60	\$5,146.63	\$4,103.73
Costo [\$/Año]		\$1,328,110.00	\$1,801,320.50	\$1,436,305.50
Ahorro [\$/Año]				\$365,015.00
Ahorro [m ³ /Año]	ADD			304.06
	HCl			0
	NaOH			310.03

Desplazamiento de ácido/ Inyección de sosa

En este paso también aplica la propuesta realizada en el paso anterior para la inyección de sosa, ahorrándose además 1m³ de ADD y 125 L de NaOH por regeneración (Tabla 15).

Tabla 15 – Recomendaciones: Desplazamiento de ácido/Inyección de sosa

			Proveedor	Real	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	D-A	ADD	1.39	1.37	1.39
	I-S	ADD	1.89	2.15	1.83
		NaOH	0.09	0.11	0.08
Tiempo [min]			55	55	55
Consumo [m ³ /ciclo]	D-A	ADD	4.6	4.52	4.58
	I-S	ADD	6.2	7.08	6
		NaOH	0.3	0.37	0.25
Concentración [% masa]	D-A		---	---	---
	I-S		3 - 2.5	2.5	2
Costo bombeo [\$/Ciclo]			\$5.66	\$5.66	\$5.66
Costo [\$/Ciclo]			\$3,580.65	\$4,229.36	\$2,956.67
Costo [\$/Año]			\$1,253,227.50	\$1,480,276.00	\$1,034,834.50
Ahorro [\$/Año]			\$445,441.50		
Ahorro [m ³ /Año]	ADD		357.06		
	NaOH		43.72		

Desplazamiento de ácido/Desplazamiento de sosa

Para que un desplazamiento se lleve a cabo de forma adecuada y no solo se realice una dilución paulatina de la solución existente dentro de la columna, es necesario aumentar los flujos. Con esto se pretende disminuir el tiempo de este paso, así como el consumo de agua desmineralizada ahorrándose 1 m³ de ésta (Tabla 16).

Tabla 16 – Recomendaciones: Desplazamiento de ácido/Desplazamiento de sosa

		Proveedor	Real	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	ADD	1.39	1.37	2.52
	ADD	1.89	2.06	3.15
Tiempo [min]		60	80	30
Consumo [m ³ /ciclo]	ADD	5	6.57	4.54
	ADD	6.81	9.9	5.68
Costo bombeo [\$/Ciclo]		\$5.53	\$7.37	\$2.76
Costo [\$/Ciclo]		\$556.78	\$790.25	\$488.47
Costo [\$/Año]		\$194,873.00	\$276,587.50	\$170,964.50
Ahorro [\$/Año]				\$105,623.00
Ahorro [m ³ /Año]	ADD			2188.73

Enjuague de ácido/Enjuague de sosa

Al igual que en paso anterior, se busca disminuir los tiempos y consumos de agua desmineralizada aumentando los flujos de entrada. Lográndose un ahorro de aproximadamente 19 m³ de agua desmineralizada por ciclo (Tabla 17).

Tabla 17 – Recomendaciones: Enjuague de ácido/Enjuague de sosa

		Proveedor	Real	Recomendado
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	ADD	0.25	0.57	1.26
	ADD	5.05	6.31	3.15
Tiempo [min]		50	65	30
Consumo [m ³ /ciclo]	ADD	0.76	2.21	2.27
	ADD	15.14	24.61	5.68
Costo bombeo [\$/Ciclo]		\$8.12	\$10.55	\$4.87
Costo [\$/Ciclo]		\$763.66	\$1,285.07	\$382.64
Costo [\$/Año]		\$267,281.00	\$449,774.50	\$133,924.00
Ahorro [\$/Año]				\$315,850.50
Ahorro [m ³ /Año]	ADD			6604.6

Asentamiento 2

Al igual que en el asentamiento 1, se propone disminuir el tiempo de este paso; pero al ser éste sólo un paso intermedio entre inyecciones de aire, se recomienda sólo un asentamiento de 3 min.

Asentamiento 3

En este último asentamiento se propone utilizar también 5 min.

Llenado de unidad/Enjuague final/ Precalentamiento de la cama

En vez de realizar el enjuague con agua desmineralizada fría, se propone la utilización de agua desmineralizada caliente para que se lleve a cabo el precalentamiento del lecho de resina al mismo tiempo. Con esto se pueden ahorrar más de 9 m³ de agua por cada regeneración que se realice (Tabla 18).

Endulzado

Para la etapa del endulzado se propone una solución similar a la del endulzado: la utilización de una bomba que envíe 7500 L del agua contenida en la columna a uno de los tanques de neutralización para que, posteriormente, inicie el ingreso de jarabe decolorado para endulzar la columna. La cantidad de jarabe enviado a barridos es significativamente menor, por lo que los costos de reproceso disminuyen de igual manera (Tabla 19).

Tabla 19 – Recomendaciones: Endulzado

	Jarabe decolorado			
	Proveedor	Real	Recomendado	
Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	3.15	3.15	6.31	3.15
Tiempo [min]	100	90	20	45
Consumo [m ³ /ciclo]	18.93	17.03	---	8.52
Concentración [% masa]	67.0	67.0	---	---
Costo bombeo [\$/Ciclo]	\$4.68	\$4.21	\$1.62	\$2.11
Costo [\$/Ciclo]	\$4,409.45	\$3,968.50	\$241.17	
Costo [\$/Año]	\$1,543,306.95	\$1,388,976.25	\$84,409.50	
Ahorro [\$/Año]				\$1,304,566.75

Se propone la utilización de una bomba centrífuga de acero inoxidable, con una potencia nominal de 7.5HP, 3500 RPM y con capacidad para manejar un caudal de aproximadamente 6.31 L/s (100 GPM) para el jarabe de azúcar. La instalación de la tubería abarca la conexión de cada una de las columnas a la bomba y de esta hacia los tanques de balance 1 y 2, al tanque de barridos y al tanque de neutralización.

El equipo propuesto para esta etapa de la regeneración se podría utilizar también para el paso del desendulzado, tanto para las columnas de desmineralización como para las columnas de decoloración. Con base en esto se calculó la inversión inicial requerida y los ahorros totales que serán consecuencia de esta medida (Tabla 20).

Tabla 20 – Inversión inicial y ahorros

Costo de tubería:	\$100,399.87
Costo de bomba:	\$29,255.34
Instalación:	20%
Inversión total:	\$155,586.25
Ahorros mensuales (Decoloración y desmineralización):	\$307,389.22
Tiempo de recuperación de la inversión:	15 días
Ahorro anual:	\$3,534,976.02

En resumen, se propone el esquema de regeneración mostrado en la Tabla 21.

Tabla 21 - Procedimiento de regeneración: Recomendado

Paso de la regeneración		Flujo [GPM]	Flujo x 10 ³ [m ³ /s]	Tiempo [min]	Consumo [m ³ /ciclo]	
Bombeo de jarabe a barridos		---	100	20	7.57	
Desendulzado		AFC	50	45	8.52	
Inyección de salmuera		AF	23	30	2.61	
		SL	34		2.15	3.86
Desplazamiento de salmuera		AF	---	---	---	
Retrolavado		AF	90	40	13.63	
Asentamiento		---	---	5	---	
I-A/B-S	Inyección de ácido	ADD	22	10	0.83	
		HCl	3.9		0.25	0.15
	Bloqueo de sosa	ADD	30		1.14	
I-A/I-S	Inyección de ácido	ADD	22	45	3.75	
		HCl	3.9		0.25	0.66
	Inyección de sosa	ADD	29		1.83	4.94
		NaOH	1.2		0.08	0.20
D-A/I-S	Desplazamiento de ácido	ADD	22	55	4.58	
		ADD	29		1.83	6.04
	Inyección de sosa	NaOH	1.2		0.08	0.25
D-A/D-S	Desplazamiento de ácido	ADD	40	30	4.54	
	Desplazamiento de sosa	ADD	50		3.15	5.68
E-A/E-S	Enjuague de ácido	ADD	20	30	2.27	
	Enjuague de sosa	ADD	50		3.15	5.68
Drenado 1: a nivel de resina		---	---	12	---	
Llenado a 0.6 m sobre nivel de resina		ADD	160	2	1.21	
Entrada de aire 1		A	22 ft ³ /min	10	6.23	
Asentamiento		---	---	3	---	
Drenado 2: 0.15 m sobre nivel de resina		---	---	2.5	---	
Entrada de aire 2		A	22 ft ³ /min	10	6.23	
Asentamiento		---	---	5	---	
Llenado de unidad		ADD	---	---	---	
Enjuague final		ADC	160	35	21.20	
Pre calentamiento de la cama		AFC	---	---	---	
Bombeo de agua a neutralización		---	100	20	7.57	
Endulzado		JDC	50	45	8.52	

Como se puede observar en la Tabla 22, el esquema de regeneración propuesto genera ahorros considerables tanto en tiempo como en dinero, al igual que en consumos de agua y regenerantes.

Tabla 22 – Comparación de tiempos y costos involucrados en cada esquema de regeneración

	Proveedor	Real	Propuesto	Real - Propuesto
Tiempo requerido	11 h, 14 min	12 h, 40 min	7 h, 35 min	<u>5 h, 5 min</u>
Costo [\$/Ciclo]	\$25,426.80	\$29,452.51	\$14,902.19	<u>\$14,550.32</u>
Costo [\$/m³ de jarabe]	\$269.18	\$354.22	\$179.51	<u>\$174.72</u>

Haciendo ahorros de energía eléctrica que evitan la producción de 4.45 Ton de CO₂ a la atmósfera, lo que equivale a la emisión de este gas por un auto durante todo un año. Además, con el ahorro de agua que se podría lograr mediante la aplicación de estas propuestas se podría abastecer de agua potable a 40 familias mexicanas durante un año (Tabla 23).

Tabla 23 – Ahorros anuales económicos, de agua, regenerantes y energía eléctrica

Agua	20,040.35 m ³
HCl	51.67 m ³
NaOH	353.75 m ³
Energía eléctrica	6808.83 kWh
Ahorros económicos totales	<u>\$5,092,613.21</u>

Producción de jarabe desmineralizado

En el caso del proceso de producción se recomienda que el jarabe entre con menor cantidad de color, ya que éstos son los componentes que saturan la resina con mayor facilidad. Para ello, el jarabe podría ser enviado primero a la sección de pulido o se podría buscar una mayor eficiencia en las columnas decoloradoras. Esta medida significaría aumento en la cantidad de jarabe que las columnas desmineralizadoras pueden tratar y una disminución en la cantidad de veces que se tiene que regenerar las columnas.

Es importante mencionar que, para la aplicación de estas propuestas, se requiere de la realización de pruebas para la determinación definitiva de los flujos y concentraciones que serán utilizadas. Estas propuestas se realizaron con base en la observación de la operación cotidiana de los equipos así como en los datos que se obtienen de los proveedores.

6. Conclusiones y recomendaciones generales

6.1. Conclusiones

Se realizó satisfactoriamente el proyecto de eco-eficiencia en la sección de desmineralización de jarabe de azúcar. La metodología utilizada mostró ser una herramienta de fácil aplicación para el análisis del proceso de desmineralización, dando como resultados beneficios económicos y ambientales de gran importancia: más de 20,000 m³ de agua ahorrados, 4.45 Ton de CO₂ que dejan de emitirse a la atmósfera y más de 5 millones de pesos ahorrados anualmente.

Se lograron estimar cada uno de los costos de los servicios auxiliares utilizados en el proceso de desmineralización, mediante la aplicación de la herramienta eco-balance. Asimismo, se estimaron los costos de cada una de las propuestas de solución a las ineficiencias encontradas.

La mayor parte de los puntos críticos encontrados se deben a la falta de coordinación entre los distintos departamentos en la planta. Con base en el estudio realizado, se observa que se pueden disminuir los consumos de los servicios utilizados en el proceso, realizando tan sólo modificaciones en la operación de los equipos. Es por ello que se debe hacer énfasis en la aplicación de buenas prácticas, ya que son estas las que principalmente reducirán los costos así como las emisiones y descargas generadas durante el proceso, aumentando también el volumen de producción.

Desarrollar periódicamente nuevos proyectos de eco-eficiencia favorecerá la mejora continua tanto del proceso como del producto, aumentando así, la competitividad de la empresa.

6.2. Recomendaciones generales a la empresa

Durante la realización del proyecto se observaron también ciertas deficiencias en la empresa que podrían afectar el buen funcionamiento de la misma. A continuación se hacen algunas recomendaciones generales:

- ② Redefinición de la estructura organizacional de la empresa: Se observó la falta de departamentos específicos para cada una de las áreas de mayor importancia dentro de la empresa. Se propone la generación del departamento de ingeniería que se encargue de 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 además de su supervisión a lo largo de los proyectos 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.

- ④ Realizar mejoras en la organización de la producción: Optimizar 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 adecuado y completo de los datos en bitácoras y formatos, a fin de que los datos sean prácticos, precisos y correspondientes al objetivo planteado.

- ④ Instrumentar adecuadamente las instalaciones: Instalar medidores de flujo, temperatura y otras propiedades de importancia en el proceso. Esto ayudará a tener un mejor control de lo que está sucediendo realmente dentro de los equipos. Poner especial énfasis en el control del flujo y presión dentro de las líneas de vapor. Utilizar válvulas adecuadas para el control de flujos (válvulas de globo). Reparar y dar mantenimiento a los rotámetros de las columnas de intercambio iónico, así como a los instrumentos de medición de concentración. Los instrumentos necesitan ser evaluados por los menos cada 6 meses para que permanezcan siempre calibrados, permitiendo mediciones más exactas.

- ④ Tener mayor control en cuestiones ambientales: Continuar haciendo descargas de efluentes directamente al drenaje podría significar multas cuando la autoridad ambiental realice una inspección a la planta. Dado el gran volumen de descargas que realiza la empresa, se recomienda la búsqueda de opciones para la reutilización y/o reciclado del agua utilizada en el proceso.

- ④ Se recomienda la realización de un análisis de las variables de mayor importancia en la regeneración de las columnas de intercambio iónico: Independientemente de los estudios que haya realizado el proveedor de los equipos de intercambio iónico, se deben realizar estudios por parte de la propia empresa con el fin de corroborar la información dada por el proveedor o realizar las modificaciones pertinentes en el proceso de regeneración. Esta recomendación aplica para todas las columnas de intercambio iónico que se tienen en la planta: Columnas decoloradoras y desmineralizadoras de jarabe, así como las columnas que se utilizan para la desmineralización del agua que se utiliza en el proceso. La definición de estas variables permitirá a los operadores saber si cada uno de los pasos de la regeneración se ha llevado a cabo satisfactoriamente para que de esta forma se pueda continuar con el siguiente paso.

Fuentes de información

Chen, J. C. P. y Chou, Ch.-Ch. *Manual del azúcar de caña - Un manual para los fabricantes del azúcar de caña y sus químicos*. John Wiley & Sons, 12a. edición. Nueva York. 1993.

CMP+L. Centro Mexicano para la Producción Más Limpia, <http://www.cmpl.ipn.mx/>, [Consulta: octubre 2009]

Crane. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. Mc Graw Hill. México. 1987. Pp. 1.6 – 1.10, 1.13.

EPA. Environmental Protection Agency, Industrial Ecology / Eco-efficiency and Cleaner Production, <http://www.epa.gov/>, [Consulta: octubre 2009]

Pérez-Mireles, A. E. *Problemas, retos y soluciones en la implementación de proyectos de eco-eficiencia en la industria*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México. México, 2009.

Perry, R. H. *Perry's chemical engineers' handbook*. Mc Graw Hill. New York. 1984. Pp. 10.25 – 10.27.

SEMARNAT. Liderazgo Ambiental para la Competitividad, <http://liderazgoambiental.gob.mx/>, [Consulta: noviembre 2009]

Van Hoof, B., Monroy, N. y Saer, A. *Producción más limpia. Paradigma de gestión ambiental*. Alfaomega Grupo Editor. México. 2008.

Anexo I – Factores de competitividad

Actores interesados	<p>Clientes:</p> <p>Proveedores:</p> <p>Empleados:</p> <p>Comunidad:</p> <p>Autoridades</p>
Imagen	<p>¿Cómo ven los empleados a la empresa?</p> <p>¿Cómo ven los clientes a la empresa?</p> <p>¿Cómo ven los proveedores a la empresa?</p> <p>¿Cómo ve la comunidad a la empresa?</p> <p>¿Cómo ven las autoridades a la empresa?</p>
Clientes	<p>¿Por qué los clientes prefieren el producto?</p> <p>¿Cuánto tiempo llevan ofreciendo su producto a los clientes actuales?</p> <p>¿Han realizado cambios en procesos o procedimientos para satisfacer al cliente?</p> <p>¿Los clientes tienen conocimiento de los reconocimientos o penalizaciones recibidas?</p> <p>¿A los clientes les interesa que el producto o proceso sea ambientalmente amigable?</p> <p>¿Los clientes tienen conocimiento del nivel de la tecnología utilizada en el proceso?</p> <p>¿Los clientes tienen conocimiento de la ubicación de la planta?</p>
Proveedores	<p>¿Por qué los prefieren como proveedores?</p> <p>¿Por qué creen que ellos los prefieran como clientes?</p> <p>¿Cuál es la antigüedad de los proveedores?</p>
Empleados	<p>¿Cuál es el nivel de escolaridad de los empleados de la planta?</p> <p>¿Cuál es el nivel de escolaridad de los empleados del corporativo?</p> <p>¿Cuál es el tipo de capacitación inicial proporcionada a los empleados?</p> <p>¿Cuál es la frecuencia de capacitación de los empleados?</p> <p>¿Cuál es la antigüedad de los empleados?</p> <p>¿Los empleados de la planta residen cerca de la misma?</p> <p>¿Existe comunicación entre las distintas áreas sobre lo que ocurre en la empresa?</p> <p>¿Los empleados tienen conocimiento de las penalizaciones o reconocimientos recibidos?</p> <p>¿Cuál es la rotación de los empleados?</p> <p>¿Cómo es la convivencia en la planta?</p>

Comunidad	¿La comunidad tiene conocimiento de la existencia de la empresa? ¿La comunidad sabe lo que se realiza en la planta? ¿La comunidad tiene conocimiento de las penalizaciones o reconocimientos recibidos? ¿La comunidad ha presentado quejas de la empresa a las autoridades? ¿La comunidad recibe algún beneficio de parte de la empresa?
Autoridades	¿Qué autoridad los visita con mayor frecuencia? ¿Qué tan frecuentemente son visitados por autoridades? ¿Han recibido reconocimientos de las autoridades? ¿Han recibido penalizaciones de las autoridades?
Tecnología	¿Cuál es el nivel de tecnología de la empresa? ¿Cuál es la antigüedad de la tecnología utilizada? ¿Cada cuánto tiempo se realizan renovaciones en la tecnología?
Gerencia	¿Qué tipo de organización tiene la empresa? ¿Existe una centralización en la toma de decisiones? ¿Existen estímulos para realizar iniciativas propias?

Anexo II – Descripción del proceso

Tabla II.a - 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 II.b – Lista de equipo: Tanques y recipientes. Área de proceso

Clave	Nombre
DC - 101	<i>Disolutor 1</i>
DC - 102	<i>Disolutor 2</i>
DC - 103	<i>Disolutor 3</i>
DC - 104	<i>Disolutor 4</i>
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

Tabla II.c – Lista de equipo: Tanques y recipientes. Área de mantenimiento

Clave	Nombre
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

Tabla II.d – Lista de equipo: Tanques y recipientes. Área de almacén

Clave	Nombre
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 II.e – Lista de equipo: Bombas, motores y lámparas. Área de proceso

Clave	Nombre
GA - 101	Bomba de jarabe de <i>disolutores</i> 1 y 2
GA - 102	Bomba de recirculación de <i>disolutores</i> 1 y 2
GA - 103	Bomba de jarabe de <i>disolutores</i> 3 y 4
GA - 104	Bomba de recirculación de <i>disolutores</i> 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
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
AG - 101	Agitador del <i>disolutor</i> 1
AG - 102	Agitador del <i>disolutor</i> 2
AG - 103	Agitador del <i>disolutor</i> 3
AG - 104	Agitador del <i>disolutor</i> 4
AG - 105	Agitador de precapa de filtros
AG - 106	Agitador del tanque de pulido
AG - 107	Agitador de precapa del filtro de pulido
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
L - 102	Elevador de cangilones
SR - 101	Molino de azúcar

Tabla II.f – Lista de equipo: Bombas, motores y lámparas. Área de almacén

Clave	Nombre
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

Tabla II.g – Lista de equipo: Bombas, motores y lámparas. Área de mantenimiento

Clave	Nombre
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
AG - 108	Agitador de salmuera 20%
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
CM -101	Compresor

Tabla II.h – Lista de equipo: Filtros y columnas de intercambio iónico.

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

Tabla II.i – Lista de equipo: Intercambiadores de calor y misceláneos

Clave	Nombre
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 II.j – Parámetros medidos en laboratorio en cada sección del proceso

Vaciado	Tipo de azúcar, ingenio
Disolución	Disolutor, hora, °Bx barrido, pH barrido, °Bx jarabe, ABS 420F, pH jarabe, cenizas, carbón, temperatura
Filtración	Filtro, hora, °Bx jarabe
Decoloración	Hora, °Bx jarabe, ABS 420F, color, pH, cenizas
Desmineralización	Hora, °Bx jarabe, ABS 420F, color, pH, cenizas
Pulido	Filtro, hora, °Bx jarabe, ABS 420F, color, pH, cenizas
Prod. terminado	Tanque destino, analista, turno, observaciones

Tabla II.k – Parámetros de control en las unidades decoloradoras

	Paso de operación	Parámetros	Valor
Producción	Calentamiento de cama a neutralización	Temperatura de entrada del agua, °C	50
	Endulzado a tanque de recuperación	Temperatura de entrada del jarabe, °C	65
	Servicio	°Brix jarabe de salida	67
		Color, ICUMSA	< 250
Regeneración	Desendulzado a recuperación	Temperatura de entrada del agua, °C	50
		°Brix a la salida de la unidad	0
	Inyección de salmuera alcalina	Temperatura de entrada del agua, °C	50
		Concentración de salmuera a la entrada, %	10
	Desplazamiento de salmuera	Temperatura de entrada del agua, °C	50
		Densidad de salida	1
		Conductividad eléctrica, µS	200-300
Enjuague	Temperatura de entrada del agua, °C	50	

Tabla II.I – Parámetros de control en las unidades desmineralizadoras

	Paso de operación	Parámetros	Valor	
Producción	Calentamiento de cama a neutralización	Temp. de entrada del agua, °C	50	
		Conductividad eléctrica, μS	2 - 10	
		pH	8 - 9	
	Endulzado a tanque de recuperación	Temp. de entrada del jarabe, °C	65	
		°Brix jarabe de salida	67	
		Servicio	°Brix jarabe de salida	67
			Color, ICUMSA	< 30
	Desendulzado a recuperación	Temp. de entrada del agua, °C	50	
		°Brix a la salida de la unidad	0	
	Regeneración	Inyección de salmuera	Conc. de salmuera a la entrada, %	10
Desplazamiento de salmuera		S.G. de salida	1	
Inyección de ácido / Bloqueo de sosa		Conc. de entrada de ácido, %	4 - 3.5	
		Conc. de entrada de ácido, %	4 - 3.5	
Inyección de ácido / Inyección de sosa		Conc. de entrada de sosa, %	2 - 2.5	
		Conc. de entrada de sosa, %	2 - 2.5	
Desplazamiento de ácido / Inyección de sosa		Conc. de entrada de sosa, %	2 - 2.5	
Desplazamiento de ácido / Desplazamiento de sosa		S.G. de salida del colector	1	
Enjuague de ácido / Enjuague de sosa		pH agua de salida del colector	10.5 – 9	
		pH agua de salida	8 – 9	
Enjuague final	Cond. eléctrica de salida, μS	2 - 10		

Tabla II.m – Parámetros que determinan si se realizará lavado de la pipa.

Recepción	Embarque
¿La unidad se encuentra limpia, libre de olores y daños físicos en la parte exterior?	La unidad cuenta con sellos en 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 aseguró 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 aseguró las condiciones de higiene en su persona (limpio, sin malos olores y ropa limpia)?	Se cumple con los puntos anteriores para que salga la unidad de la planta
¿Hay evidencia de soldaduras, picaduras de moho y/o manchas internas?	
¿Se cumple con los puntos anteriores para que se pueda embarcar el producto?	
¿Las mangueras de descarga se encuentran limpias y empleadas?	

Tabla II.n – Parámetros medidos en cada paso del lavado de pipas

Características para liberación de sanitización de las pipas		
Etapa	Parámetro medido	Intervalo de aceptación
1º Enjuague	°Brix	< 10 °Brix
Sanitizado	URL	≤ 150 URL
2º Enjuague	°Brix	0 °Brix

Tabla II.o – 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
Cloruro de sodio	SAL	
Resina de intercambio iónico	AMBERLITE	ROHM AND HAAS
Resina de intercambio iónico	AMBERLITE	ROHM AND HAAS
Resina aniónica	LEWATIT	BAYER
Tierra filtrante	DICAMEX	DICALITE
Carbón activado	CLARIMEX	DICALITE
Hipoclorito de sodio 13%	HIPOCLORITO DE SODIO	ORION/RICHER
Celulosa	SOLKA FLOC 40	DICALITE

Anexo III – 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 = 50°C	FA-117
ADD	Agua desmineralizada	T ambiente	FA-133 a 136
AE	Agua de enfriamiento	T = 15°C	DA - 101
AF	Agua filtrada	T ambiente	FA-132
AFC	Agua filtrada de proceso	T = 50°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 micrómetros	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