



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA  
A LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE FRUTAS Y  
VERDURAS”**

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el  
grado de

Maestro en

Ciencias Ambientales

Presenta

Ing. Silvano Ramírez Atonal

Querétaro, Qro. Junio del 2009.



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencias Ambientales

**“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA  
A LOS PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE FRUTAS Y  
VERDURAS”**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias Ambientales

**Presenta:**

Ing. Silvano Ramírez Atonal

**Dirigido por:**

Dra. Maricela González Leal

**SINODALES:**

Dra. Maricela González Leal  
Presidente

M. en C. Gustavo Pedraza Aboytes  
Secretario

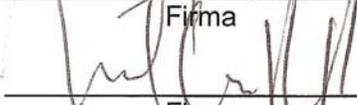
M. en C. Miguel Angel Rico Rodríguez  
Vocal

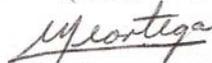
M. en C. Ma. Eugenia Ortega Morín  
Suplente

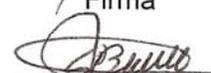
Dr. Mamadou Moustapha Bah  
Suplente

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

  
Firma

Q.B. Magali Elizabeth Aguilar Ortiz  
Director de la Facultad de Química

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario,  
Querétaro, Qro.  
Junio del 2009  
México

## RESUMEN

Desde 1990, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), ha conducido un programa intensivo y pro – ambiental, acompañado de una campaña de información y entrenamiento para promover tecnologías limpias o ambientalmente menos contaminantes. El programa se diseñó para incrementar la eficiencia y productividad al reducir la contaminación ambiental y contempla convenios internacionales del cambio climático como la agenda 21 y el factor X; programas nacionales como la de producción más limpia, responsabilidad integral y eco- eficiencia. La producción más limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, productos y servicios, para reducir los riesgos a los seres humanos y al ambiente. La aplicación de ésta consta de cinco fases y cada una de ellas incluye varias actividades como son: planeación y organización, elaboración de diagramas de flujo de los procesos, establecer metas específicas, evaluación cuantitativa de las entradas y salidas de los productos e insumos utilizados, residuos y emisiones generadas en los procesos, estudio de factibilidad, en donde se evaluaron los beneficios ambientales, técnicos y económicos. Esta metodología se aplicó a una empresa procesadora de frutas y verduras, partió de un diagnóstico de la situación ambiental de la Compañía que incluyó los procesos y los productos que generan mediante una auditoria. Con los datos recabados durante la auditoria, se realizaron balances de materiales y el flujo de los materiales durante los procesos desde las materias primas hasta el producto terminado y se revisaron las prácticas usadas durante el procesamiento de sus productos en todas las áreas de la empresa. Con la ayuda de herramientas como los economapas y balances de materiales, se localizaron opciones de producción más limpia que ayudó a disminuir el consumo de agua y energía. La aplicación de la metodología de la producción más limpia en una industria que procesa alimentos de frutas y verduras demostró que es posible encontrar beneficios ambientales, técnicos y económicos, como son: el aumento en la productividad, optimización de los procesos y la reducción de la contaminación al ambiente por efecto del aprovechamiento en el consumo de materia prima, agua y energía.

Palabras claves: Producción más limpia, ambiente, balance de materiales, frutas, vegetales, contaminación.

## SUMMARY

Since 1990, the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) has led an intensive and pro-environment program, accompanied by an information and training campaign to promote clean or less environmentally polluting technologies. The program was designed to increase efficiency and productivity by reducing environmental pollution and provides for international agreements on climate change, such as Agenda 21 and the X factor, as well as cleaner national production programs, integrated responsibility and eco-efficiency. Cleaner production is the continuous application of a preventive and integrated environmental strategy for productive processes, products and services in order to reduce risks to humans and the environment. The implementation of this strategy consists of five phases, each including various activities such as: planning and organization, preparation of flow charts for processes, establishment of specific goals, quantitative evaluation of the input and output of the products and elements used, waste and emissions generated during the processes, and feasibility study in which environmental, technical and economic benefits are evaluated. This methodology was applied to a fruit and vegetable processing plant by means of an audit and was based on an assessment of the company's environmental situation which included the processes and products generated. With the data collected during the audit, material balances and the flow of materials during the processes, from the raw materials to the finished product, were carried out. Practices used during the processing of products in all areas of the company were reviewed. With the help of tools such as econo-maps and material balances, options were found for cleaner production which aided in decreasing the consumption of water and energy. The application of a cleaner production methodology in a fruit and vegetable processing industry demonstrated that it is possible to find environmental, technical and economic benefits such as: increased productivity, process optimization and the reduction of environmental pollution, all leading to advantages in the consumption of raw materials, water and energy.

**(Key words:** Cleaner production, environment, material balance, fruits, vegetable, pollution)

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo esta dedicado a mi esposa Mary Carmen Moreno García por su apoyo y orientación que me impulsaron a seguir adelante y culminar mi trabajo de tesis. Y por todas las enseñanzas de vida que día con día me muestra con su fortaleza, amor y dedicación a nuestra familia.

A mi hijo Maximiliano por su comprensión durante el desarrollo de la tesis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a quienes me apoyaron en la elaboración de este trabajo de investigación, en especial a mi Maestra y Directora de Tesis, la Dra. Maricela González L. por su apoyo y orientación.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por permitirme realizar la maestría y poder cumplir uno de mis objetivos profesionales.

A mis maestros que me apoyaron en la revisión de este trabajo:

M. en C. Gustavo Pedraza Aboytes  
M. en C. Ma. Eugenia Ortega Morín  
M. en C. Miguel Ángel Rico Rodríguez  
Dr. Mamadou Moustapha Bah

Agradezco al personal directivo de la Facultad de Química de la UAP, en funciones durante el período 2000 – 2006, por el apoyo brindado durante mis estudios.

Y todas aquellas personas (familiares, maestros y amigos) que de diferente forma me apoyaron y compartieron su sabiduría en cada momento.

## INDICE

	Página
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatorias	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de cuadros	ix
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 LA EMPRESA	3
2.1.1 Ubicación geográfica	3
2.1.2 Misión	3
2.1.3 Antecedentes	3
2.1.4 Organigrama	4
2.2 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS	5
2.2.1 Procesos de Industrialización de Frutas y Verduras	6
2.2.1.1 Operaciones preliminares	8
2.2.1.2 Limpieza y preparación preliminares	8
2.2.1.3 Selección e inspección	9
2.2.1.4 Escaldado	10
2.2.1.5 Trozado, deshuesado, eliminación de fallas y cortado	11
2.2.1.6 Pelado	11
2.2.1.7 Molienda y colado	12

2.2.1.8	Formulación	12
2.2.1.9	Inspección final y envasado	12
2.2.1.10	Proceso térmico	14
2.2.1.11	Etiquetado y empaçado	15
2.2.1.12	Refrigeración	16
2.3	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES	16
2.3.1	Consumo de agua	17
2.3.2	Consumo de energía	19
2.3.2.1	Energía térmica	19
2.3.2.2	Energía eléctrica	20
2.3.3	Fuentes y caracterización de los residuos líquidos	24
2.3.4	Fuentes y caracterización de los residuos sólidos	28
2.3.5	Principales impactos ambientales generados por el sector	29
2.4	PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA	30
2.4.1	Objetivo de la Producción más Limpia	32
2.4.2	Herramientas de Producción más Limpia	33
2.4.2.1	Reducción de la fuente	33
2.4.2.2	Recirculación de materiales y energía	34
2.4.2.3	Reciclaje y valorización	34
2.4.3	Estrategias de Producción más Limpia	35
2.4.4	Bases para la práctica de la Producción más Limpia	36
2.4.5	Pasos para implantar la Producción más Limpia	39
2.4.5.1	Planeación y organización	40
2.4.5.2	Evaluación previa	42
2.4.5.3	Evaluación	44
2.4.5.4	Estudio de factibilidad	49
2.4.5.5	Implantación	52
2.4.6	Producción más limpia y los Sistemas de Gestión Ambiental	55
2.4.7	Beneficios de la Producción más Limpia	56



6.4	Fase IV	86
6.5	Fase V	90
VII.	DISCUSION DE RESULTADOS	110
VIII.	CONCLUSIONES	112
IX.	BIBLIOGRAFIA	115
X.	ANEXOS	120

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Usos de agua en la industria procesadora de frutas y verduras.	18
2	Efectos de los gases de combustión en la salud y el medio ambiente.	20
3	Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la Industria de frutas.	25
4	Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la Industria de verduras.	27
5	Generación de desechos de las unidades de procesamiento de frutas y verduras, (%).	28
6	Residuos Sólidos provenientes de la industria de conservas de frutas y verduras en Estados Unidos.	29
7	Similitudes de los sistemas de gestión ambiental.	56
8	Entradas, Salidas y condiciones de operación del sistema de potabilización de agua.	75
9	Entradas, salidas y condiciones de operación del sistema del Proceso de elaboración de purés de frutas.	79
10	Entradas, salidas y condiciones de operación del sistemas del Proceso de elaboración de purés de verduras.	80
11	Resumen de opciones de Producción más Limpia.	85
12	Evaluación de beneficios ambientales, técnicos y económicos de las opciones de Producción más Limpia en agua.	87
13	Evaluación de beneficios técnicos, económicos y ambientales de las opciones de Producción más Limpia en aire.	88
14	Evaluación de beneficios técnicos, económicos y ambientales de las opciones de Producción más Limpia en residuos.	88
15	Evaluación de beneficios técnicos, económicos y ambientales de las opciones de Producción más Limpia en energía eléctrica.	89

16	Resultado de análisis de emisiones a la atmósfera con el uso de combustóleo.	104
17	Resultado de análisis de emisiones a la atmósfera con el uso de gas natural.	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Organigrama de la empresa.	4
2	Diagrama de flujo general de procesos de industrialización de frutas y verduras.	7
3	Aspectos e impactos ambientales en el sector alimenticio	17
4	Esquema del uso de agua en el proceso de transformación de frutas y verduras.	18
5	Fuentes y usos de la energía en una planta de alimentos.	19
6	Principales destinos de la energía eléctrica por sector y tecnología.	21
7	Herramientas de producción más limpia.	33
8	Criterio jerárquico en la gestión ambiental.	35
9	Enfoque del manejo piramidal de efluentes.	39
10	Componentes típicos de un balance de masas.	44
11	Equipo de trabajo para la Producción más Limpia.	69
12	Diagrama de flujo del proceso de potabilización.	74
13	Diagrama de flujo básico de elaboración de purés de frutas.	77
14	Diagrama de flujo básico del proceso de elaboración de purés de verduras.	78
15	Balance cuantitativo de entradas y salidas en los procesos de potabilización.	82
16	Balance cuantitativo de entradas y salidas en los sistemas del Proceso de elaboración de purés de frutas.	83
17	Balance cuantitativo de entradas y salidas del proceso de Elaboración de productos a base de verduras.	84
18	Condición anterior de la operación de los suavizadores.	92
19	Condición de actual de la operación de los suavizadores.	93
20	Condición anterior de la operación de la osmosis inversa.	95
21	Condición actual de la operación de la osmosis inversa.	95
22	Condición anterior del sistema de esterilización de producto.	97

23 Condición actual del sistema de esterilización de producto.	76
24 Situación anterior producción de vapor con combustóleo.	108
25 Situación actual producción de vapor con gas natural.	109

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Pág
1 Gráfica para determinar el factor de ajuste por desbalanceo de voltaje.	121
2 Gráfica para determinar el factor de ajuste por diferencia de voltaje.	122
3 Gráfica de pérdida de eficiencia por reembobinado de motores.	123
4 Croquis de la planta de transformadores de frutas y verduras.	124
5 Eco - mapa de agua potable.	125
6 Eco- mapa de descargas de aguas residuales.	126
7 Tabla de datos de volúmenes de osmosis inversa.	127
8 Límites de emisión de contaminantes en Fuentes fijas.	128
9 Factores de emisión de diferentes combustibles.	129
10 Contaminantes y sus métodos de evaluación para fuentes fijas y Métodos equivalentes .	130
11 Poder calórico de diferentes combustibles.	131
12 Factores de emisión para generación de electricidad en México (COMBUSTOLEO Y DIESEL).	132
13 Factores de emisión para generación de electricidad en México (GAS NATURAL).	133
14 Método para realizar balances de masa, balances de energía, cálculos de consumos y descargas específicas	134

## I. INTRODUCCIÓN

Por mucho tiempo se ha visto como un ideal el hecho de que la producción de bienes y servicios no tenga una producción simultánea de residuos y desechos, pero no es algo que los planificadores tomen muy en serio. Siempre se consideró la idea como antieconómica y existía suficiente espacio disponible donde depositar los materiales no deseables.

Durante las últimas décadas, el mundo ha sufrido profundos cambios económicos y sociales, que han venido acompañados de un creciente deterioro en el medio ambiente y reducción de los recursos naturales. Afortunadamente, la concepción de desarrollo basada en el crecimiento de la economía ha ido cambiando y ahora se reconoce el valor del capital natural como un elemento indispensable para lograr un crecimiento sustentable (PNUMA, 1999).

La sustentabilidad empresarial que se refleja en el nivel de competitividad, depende del equilibrio de tres variables: manejo adecuado de recursos, manejo social de los empleados y la comunidad y el desarrollo económico de la empresa. El manejo entre estas tres variables se logrará a través de un proceso de mejoramiento continuo buscando garantizar un mejor valor agregado para las partes interesadas (inversionistas, trabajadores, clientes y comunidad) presentes y futuras. Por esto, La Producción Más Limpia (PML) es una estrategia empresarial para alcanzar el objetivo general del desarrollo sostenible (Gutowski y col., 2003).

La PML enfrenta el tema de la contaminación industrial de manera preventiva, concentrando la atención en los procesos productivos, productos y servicios, la eficiencia en el uso de las materias primas e insumos, para identificar mejoras que se orienten a conseguir niveles de eficiencia que permitan reducir o eliminar los residuos, antes de que éstos sean generados. La experiencia internacional comparada ha demostrado que, a largo plazo, la PML es más efectiva desde el punto de vista económico y más coherente desde el punto de vista ambiental, con relación a los métodos tradicionales de tratamiento “al final del proceso”. Las técnicas de PML pueden aplicarse a cualquier proceso de producción y contempla,

desde simples cambios en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores que impliquen la sustitución de materias primas, insumos o líneas de Producción Más Limpias y eficientes (Christie y Rolfe, 1995; Gutowski y col., 2003).

En consecuencia, la inversión en sistemas de tratamiento sigue representando un costo para la empresa sin mayores beneficios desde el punto de vista productivo; sin embargo la inversión en PML, conlleva un importante potencial de beneficios económicos a través de una mayor eficiencia en los procesos productivos. Por lo tanto, una consecuencia inmediata y cuantificable para la empresa al implementar medidas de PML, se puede observar a través de la reducción en costos de tratamiento de los desechos y consumos de materia prima y/o insumos al lograr una reducción de los desechos y las mermas, facilitando el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes (Fiksel, 1997; Zackrisson, 2003).

La PML de bienes y servicios es esencial para que el concepto de desarrollo sostenible se vuelva realidad (PNUMA, 1999).

Es una estrategia para producir eco-eficientemente que generalmente encamina a las empresas por un camino necesario pero no suficiente hacia una economía sostenible (CNPML, 2005).

La aplicación de la metodología de La PML en una industria que procesa alimentos de frutas y verduras demostró que es posible encontrar beneficios técnicos, económicos y ambientales, como son: el aumento en la productividad, optimización de los procesos y la reducción de la contaminación al medio ambiente por efecto del aprovechamiento en el consumo de materias primas, agua y energía. Es por ello que esta investigación determinó la disminución en el consumo de agua, gas natural y energía eléctrica. Además, se logro una disminución de la carga hidráulica en el influente de la planta de tratamiento de aguas residuales y costos de operación.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 LA EMPRESA

#### 2.1.1 Ubicación Geográfica

La Empresa que procesa frutas y verduras en la que se desarrolló la presente investigación, se encuentra ubicada en la Ciudad de Querétaro.

#### 2.1.2 Misión

Producir y comercializar conservas de frutas y verduras de alta calidad cuidando de sus procesos con personal capacitado.

#### 2.1.3 Antecedentes

La industria que procesa frutas y verduras ha pasado a ser una de las principales actividades agrícolas en México. Esta industria ha incrementado su producción en los últimos 15 a 30 años, debido al aumento en la superficie plantada y a la obtención de mejores rendimientos, logrados a través de mejoramientos en las técnicas de producción e introducción de nuevas especies.

El tiempo que tiene la Empresa en el mercado es de más de 30 de años en la ciudad de Querétaro. Esta planta ocupa actualmente una extensión de 18 hectáreas. En base a la calidad de sus productos, se ha posicionado como una de las mejores en México en su ramo, además exporta productos a otros países de Latinoamérica.

Al principio, se elaboraban sólo algunas variedades en lata y se importaban otras de los Estados Unidos, mismas que se fueron suprimiendo paulatinamente,

mientras que el volumen de producción se consolidaba y aumentaba hasta fabricarse más de 35 variedades en la planta de nuestro país.

La Empresa elabora productos de la más alta calidad, para satisfacer las necesidades nutrimentales de los consumidores. Por tal motivo, el proceso de elaboración es llevado a cabo con responsabilidad y con el más estricto control de calidad para proporcionar productos sanos y totalmente seguros. Los productos que se elaboran a base de frutas y verduras son jugos, néctares y purés.

#### 2.1.4 Organigrama

El organigrama de la Compañía está conformado como lo muestra la Figura 1.

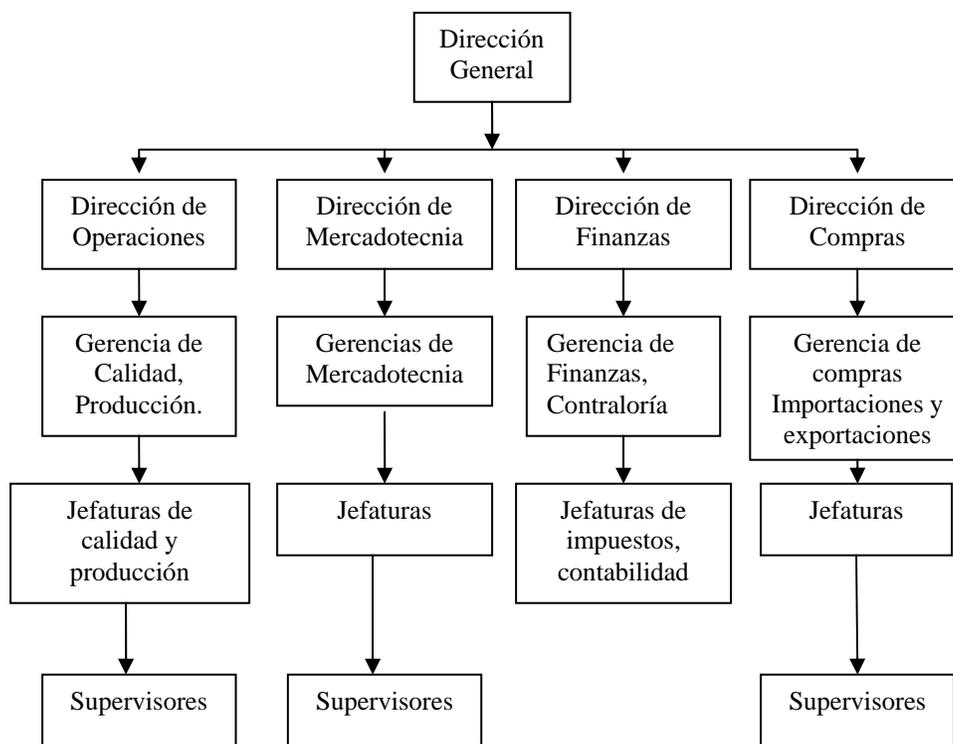


Figura 1. Organigrama de la Empresa.

Actualmente se trabaja en 4 turnos contando con una plantilla de 400 empleados, de los cuales 250 son personal de confianza y 150 obreros.

Los turnos se distribuyen de la siguiente manera:

7:00 a 15:30 hrs

15:30 a 00:00 hrs

00:00 a 07:00 hrs

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS**

Para cada tipo de frutas y verduras hay uno o más procesos de industrialización, cada uno de los cuales presenta problemas específicos en relación al control y generación de residuos. Es posible, sin embargo, identificar algunos procesos unitarios básicos, que se repiten en los diferentes métodos de industrialización y que tiene características similares (Santiago, 1998; Espinal, 2005).

Dependiendo de su uso final, las frutas y verduras frescas pueden ser sometidas a diversos procesos industriales, resumidos a continuación:

- Conservación de frutas y verduras
- Deshidratación de frutas y verduras
- Elaboración de jugos clarificados concentrados de frutas
- Elaboración de pulpas y mermeladas de frutas y de pastas de verduras.
- Congelación de frutas y verduras
- Sulfatado y confitado de frutas
- Acetificación y/o fermentación de verduras

De acuerdo con el estándar internacional propuesto por Códex Alimentarius, que establece claras diferencias entre jugos, néctares, pulpas azucaradas y refrescos de frutas, a continuación se describe cada una de ellas:

**Concentrado de frutas:** Es el producto elaborado mediante la extracción parcial del agua de constitución al jugo o a la pulpa de frutas.

**Jugo de frutas:** Es el líquido obtenido al exprimir frutas frescas, maduras y limpias, sin diluir, concentrar o fermentar. También se consideran jugos los productos obtenidos a partir de jugos concentrados, clarificados, congelados o deshidratados a los cuales se les ha agregado solamente agua en cantidad tal que restituya la eliminada en su proceso.

**Pulpa azucarada de frutas:** Es el producto elaborado con pulpas o concentrados de frutas con un contenido mínimo de 60% de fruta y adicionado con azúcar.

**Pulpa de frutas:** Se define como pulpa o puré de frutas el producto no fermentado pero fermentable obtenido mediante la desintegración y el tamizado de la parte comestible de frutas frescas, o preservadas adecuadamente, sanas limpias, sin remover el jugo.

**Refresco de frutas:** Es el producto elaborado con jugos o pulpas de frutas frescas o concentrados de frutas reconstituidos, adicionados con agua, saborizantes y colorantes. Son productos elaborados de la misma manera que los néctares, pero cuyo contenido de frutas es aún menor.

**Bebidas de frutas:** Son bebidas con un contenido muy bajo de frutas, menor que el de los néctares y el de los refrescos, a las cuales se les adiciona azúcar u otro edulcorante, agua y aditivos como vitamina C, colorantes y saborizantes artificiales (Espinal, 2005).

A continuación se describen los procesos de industrialización de frutas y verduras.

### 2.2.1 Procesos de industrialización de frutas y verduras:

En la Figura 2 se presenta un diagrama general de procesos de industrialización de frutas y verduras.

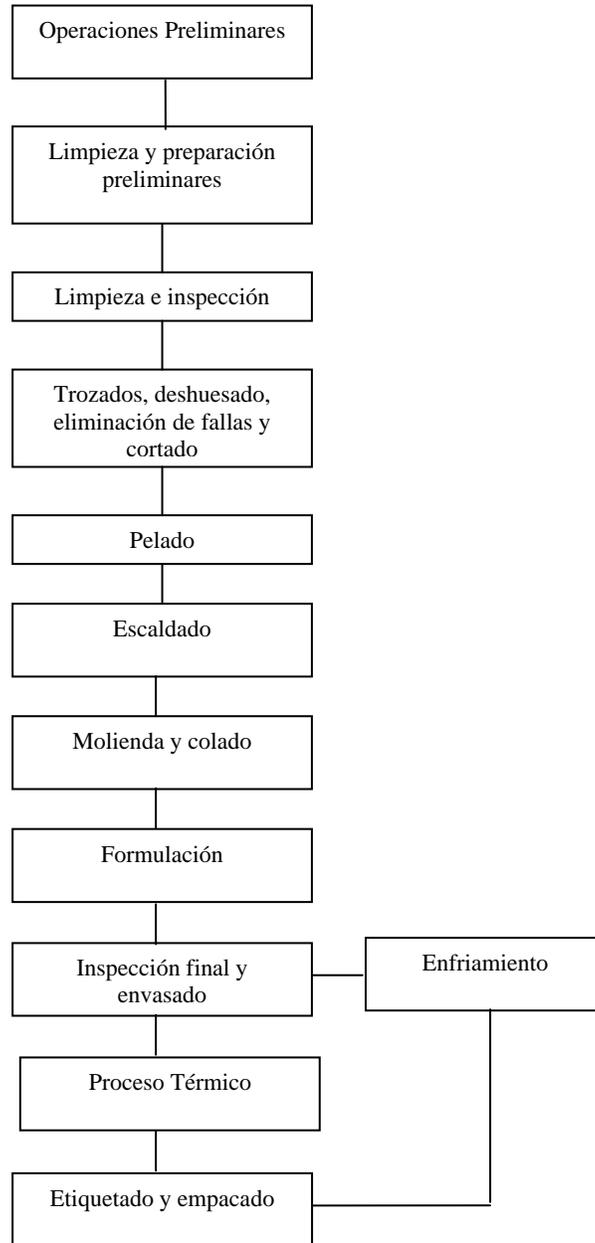


Figura 2. Diagrama de flujo general de procesos de industrialización de frutas y verduras (Santiago, 1998; UNEP, 2002).

### 2.2.1.1 Operaciones preliminares

La calidad de los productos comienza por la selección de los proveedores de materias primas. Las frutas y verduras son supervisadas por un grupo de personas especializadas que visitan a los agricultores en sus huertas y campos de cultivo, donde se verifica que las características sensoriales (sabor, color, olor, tamaño y consistencia) de la fruta y los verduras sean las adecuadas.

Los departamentos de control de calidad y compras, trabajan en conjunto para orientar y apoyar a los agricultores en el manejo de cultivos, métodos de siembra, sistemas de riego, control de plagas y técnicas de cosecha, así como fomentar las buenas prácticas en el manejo de las frutas y verduras.

Una vez que las frutas y verduras han sido autorizadas por el departamento de control de calidad, éstas son ingresadas a la planta donde se almacenan en enormes cámaras de refrigeración. En el caso de que a la planta lleguen verduras que no hayan alcanzado su madurez, estos se envían a cámaras de maduración donde permanecen hasta alcanzar su punto óptimo y puedan utilizarse (Santiago, 1998).

En cuanto llegan las materias primas, ingredientes y componentes de empaque son inspeccionados antes de ser recibidas para asegurar que son aptos para ser procesadas. Las materias primas deberán ser recibidas en áreas separadas de las de proceso para evitar cualquier contaminación microbiológica (López, 1987 a).

### 2.2.1.2 Limpieza y preparación preliminares

La limpieza es una operación preliminar que separa los contaminantes de las materias primas que pueden ser de origen mineral (tierra, arena, metales, etc.), vegetal (ramas, tallos, cáscaras, etc.) animal (excreciones, pelos, etc.), químicos (residuos de fumigantes y fertilizantes ) y microbiano ( microorganismos y subproductos) (De León y Mendoza.,1979).

Todas las frutas y verduras a ser procesadas deben ser liberadas de la tierra adherida, jugo seco, insectos y residuos químicos. Esto se realiza en baños de agua y aspersión a presión, mientras la materia prima se traslada en cintas transportadores o se pasa a través de tamices agitados, los productos son inspeccionados para asegurar la calidad (Santiago, 1998).

Algunas veces es utilizado un tipo de lavado por flotación para remover materiales extraordinarios. En algunos casos los procedimientos de limpieza preliminares pueden ejercer efectos sobre las materias primas, el blanqueo o escaldado pueden tener como propósito adicional la limpieza de los alimentos.

Para cada operación han sido desarrolladas maquinarias especiales que pueden manejar grandes cantidades de producto rápidamente. La temporada de procesamiento es usualmente corta, por lo que se requiere de maquinaria suficiente, instalada para asegurar los requerimientos (López, 1987a ).

Se utilizan tanto procesos secos como húmedos, así como operaciones mecánicas y manuales. Por ejemplo, los sistemas secos son: la agitación manual, tamices, chorros de aire, cintas y rodillos transportadores, los métodos húmedos son: la aspersión de agua, flotación, inmersión y arrastre en canales (Santiago, 1998; Espinal, 2005).

#### 2.2.1.3 Selección e inspección

Después de someter la fruta y verdura a limpieza para remover materias extrañas y material dañado, se efectúa una clasificación según tamaño, madurez, peso, calidad u otras características (Santiago, 1998).

La selección por peso puede llevarse a cabo pesando unitariamente o bien empleando maquinaria especializada, la selección por tamaño se hace utilizando tamices de apertura fija o variable (De León y Mendoza, 1979).

Todos los productos deben ser inspeccionados antes de que entren al proceso. Las modernas maquinas son muy eficientes, pero la inspección personal es aún necesaria para asegurar la calidad, libre de imperfecciones. Normalmente las inspecciones son realizadas después del proceso de lavado sobre una banda transportadora (López, 1987a).

#### 2.2.1.4 Escaldado

El término escaldado es considerado propiamente cuando el proceso usado en la preparación de alimentos es para su deshidratación (Ranken y Kill, 1993).

Al emplear las técnicas de pelado en las que intervienen las temperaturas elevadas se logra también el escaldado (De León y Mendoza, 1979).

Esta operación expone el producto a una alta temperatura por un período breve. Se utiliza agua caliente para verduras enlatadas y vapor para hortalizas congeladas y deshidratadas. El principal propósito de este proceso es inactivar o retardar la acción de bacterias y enzimas que provocan una rápida pérdida de calidad. Efectos secundarios positivos del escaldado son la eliminación de aire y gases del producto, fijación del color natural de la fruta o vegetal, eliminación de microorganismos y reblandecimiento de los tejidos, lo cual facilitará el manejo de los vegetales en pasos posteriores. Después del escaldado, el producto se enfría rápidamente para prevenir el deterioro del sabor y del color (PP, 2008).

### 2.2.1.5 Trozado, deshuesado, eliminación de fallas y cortado

Algunas materias primas deben trozarse en tamaños específicos; los sobrantes pueden utilizarse o descartarse, éste proceso se realiza habitualmente en forma manual. El deshuesado, eliminación de fallas y cortado, son normalmente procesos mecánicos.

### 2.2.1.6 Pelado

La remoción de la cáscara puede ser manual, mecánica o química. Esta última se utiliza para los productos más frágiles (Santiago, 1998).

A continuación se describen los tipos de pelado que se pueden llevar a cabo:

*Pelado al vapor:* los productos son expuestos al vapor con presión en una cámara, la cual gira despacio y mezcla los vegetales con la rotación.

*Pelado abrasivo:* en un cilindro vibrador con abrasivos químicos peladores en toda la superficie por donde se hacen pasar los vegetales, después los residuos del pelado son removidos con agua en una zona de espreas.

*Peladores mecánicos:* son usados especialmente con fruta. El equipo es diseñado para cada tipo de fruta. Ejemplo para manzanas y peras.

*Peladores de flama:* Usados casi exclusivamente para el pelado de pimientos.

*Peladores de piel:* Los agentes activos en el pelado de piel consisten en una solución de agua con sosa cáustica. Es uno de los materiales alcalinos fuertes comúnmente disponibles. Temperatura, concentración y agitación de la solución cáustica deberán ser controladas todo el tiempo (López, 1987a ; Ranken y kill. 1993).

### 2.2.1.7 Molienda y colado

Posteriormente, las frutas y verduras pasan a través de diferentes molinos y coladores mecánicos hasta alcanzar el tamaño de partícula requerido por las especificaciones (PP, 2008).

Dependiendo del tipo de producto se pueden utilizar uno o más de dos coladores (López, 1987a).

### 2.2.1.8 Formulación

Una vez que se obtiene el puré de frutas y verduras con las características adecuadas, se envía al área de formulación en un tanque bach, donde según el producto que se esté elaborando, se mezcla con agua y otros ingredientes como harinas, azúcar, vitaminas, minerales, etc., previamente pesados. En esta área, el control es muy estricto y supervisado por personal altamente capacitado, puesto que de aquí se derivan las características nutrimentales esenciales de los productos (PP, 2008).

La adición de algunos ingredientes puede ser efectuada o no, dependiendo de la formulación y tipo de producto que se desea elaborar (López, 1987a).

### 2.2.1.9 Inspección final y envasado

Una vez realizada la inspección final, los productos se envasan en latas metálicas o botellas de vidrio. Después del llenado, el exterior de los envases se lava habitualmente con agua caliente y posteriormente con agua fría, este proceso es denominado cooler (Santiago, 1998).

La exactitud y uniformidad en el llenado de los alimentos son necesarias para mantener el espacio uniforme entre el producto y la tapa, y mantener un peso constante del producto.

El termino “vacío” es usado en la industria de los alimentos envasados y es un indicador de la cantidad de aire presente entre el producto y la tapa del alimento. No todo el aire es eliminado en los alimentos envasados.

Hay varias razones por la que se debe obtener vacío en los alimentos envasados, los cuales son: mantener los envases en posición cóncava durante su almacenamiento normal, reducción de oxígeno y prevención de la distorsión permanente de los envases durante el proceso térmico. Un bajo contenido de oxígeno en los alimentos envasados es deseado para minimizar cambios químicos adversos en el producto, como la oxidación de grasas o vitaminas para prevenir decoloración de algunos productos, para prevenir corrosión interna de los productos envasados y crear condiciones anaeróbicas en el interior del contenedor (López, 1987a).

La eliminación del aire se puede lograr por medios mecánicos como son las cerradoras al vacío y con inyección de vapor, o bien el calentamiento del producto antes de cerrar. El espacio libre se define como la distancia vertical medida del borde del recipiente hasta el nivel del producto que contiene y presenta aproximadamente el 6% del volumen de recipiente medido a la temperatura de cierre. El termino vacío usado en la industria alimentaria se refiere a la diferencia entre la presión interna y externa del recipiente y se mide en pulgadas de mercurio. El vacío es producido por el desplazamiento del aire del espacio libre con vapor y por la contracción del producto al ser enfriado (De León y Mendoza.,1979).

#### 2.2.1.10 Proceso térmico

Luego del llenado y sellado, las latas son calentadas a alta temperatura para esterilizar su contenido.

El tratamiento térmico de los alimentos envasados es uno de los procesos más efectivos para la conservación de los mismos, y sigue siendo ampliamente utilizado para atender la creciente demanda a nivel mundial. La esterilización térmica en la industria envasadora involucra normalmente el uso de altas temperaturas por periodos de tiempo de diversa duración, para así asegurar la inocuidad del alimento (AMIDIQ, 2005).

Durante esta etapa, la canasta metálica conteniendo las latas selladas se introduce en una autoclave, la cual es cerrada y calentada con vapor a 104 °C durante 22 minutos. Concluido este tiempo, se espera que la temperatura interior disminuya a 90°C para proceder a su apertura e inmediato retiro de las canastas conteniendo las latas (SAIC, 1999).

La preservación de los alimentos envasados se hace normalmente por calor para destruir bacterias que son capaces de contaminar con esporas el alimento (López, 1987a).

Los microorganismos pueden estar presentes en las materias primas que se utilizan como ingredientes en condiciones normales, pero no pueden vivir bajo condiciones ambientales adversas y mueren si su medio es modificado. Una que se puede regular o modificar más fácilmente en sus condiciones ambientales es la temperatura a través de la esterilización. Otros agentes químicos o la alta radiación de energía pueden ser usados (Canned Food, 1988).

El objetivo del proceso de esterilización, es asegurar la esterilidad comercial en alimentos envasados. “Lo que significa alcanzar las condiciones por la aplicación de

calor en el alimento quedando libre de formas viables de microorganismos, dando seguridad significativa a los consumidores ( López, 1987a).

La esterilización es el proceso donde se eliminan todos los microorganismos que puedan causar algún daño a la salud o al producto y que son capaces de reproducirse bajo condiciones normales a temperatura ambiente durante su almacenaje y distribución. La esterilización comercial se realiza por tres métodos: intercambiadores de calor, inyección de vapor directo y por autoclaves. Los dos primeros se realizan antes de que el producto sea envasado.

La esterilización por intercambiador de calor se aplica principalmente a los jugos. En este proceso, el producto será sometido a altas temperaturas durante un tiempo definido con lo que se asegura una esterilidad comercial, en este caso el producto no está en contacto directo con el vapor.

El segundo método es por inyección de vapor directo, el cual se aplica a fruta principalmente, en este caso el vapor es aplicado directamente al producto, y tiene la ventaja de elevar la temperatura rápidamente y así mismo reducir la posibilidad de que el producto pierda sus características organolépticas.

El tercer método de esterilización es conocido por “autoclaves”, las cuales son como “ollas express”, donde los frascos ya cerrados se introducen y reciben un tratamiento de calor y presión durante un tiempo definido, para posteriormente enfriarlo en cuestión de minutos. Este método se aplica principalmente a los vegetales. Con este tratamiento se asegura la esterilización comercial (PP, 2008).

#### 2.2.1.11 Etiquetado y empackado

Como paso final, el frasco es etiquetado mediante etiquetadoras mecánicas. Esta operación es supervisada por personal calificado que se encarga de verificar que la etiqueta sea la adecuada y que quede colocada en perfectas condiciones.

El producto después de ser etiquetado es empacado en charolas de cartón y enviado a los almacenes, donde tiene un periodo de cuarentena en el cual se verifica que no sufra ningún deterioro. Una vez que el producto ha tenido una estancia de cuarentena exitosa se emite un documento donde se comunica que el producto se puede liberar y está listo para su venta (PP, 2008).

#### 2.2.1.12 Refrigeración

El principal uso de la refrigeración en las empresas de procesamiento de productos de frutas y verduras es el almacenamiento, bien sea de materia prima o de productos terminados. El control de la temperatura adecuada de almacenamiento es esencial para mantener la calidad de los productos (ANAM, 2005).

### **2.3 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES**

Los aspectos ambientales significativos en las empresas del sector agroindustrial están dados por los altos consumos de agua y energía, la generación de grandes volúmenes de vertimientos con altos contenidos de materia orgánica y sólidos, siendo de menor importancia la contaminación atmosférica y la acústica. Al tratarse de una industria de tipo estacional, la producción de residuos, así como sus características, dependen del tipo de verduras o frutas procesadas, (ver la Figura 3).

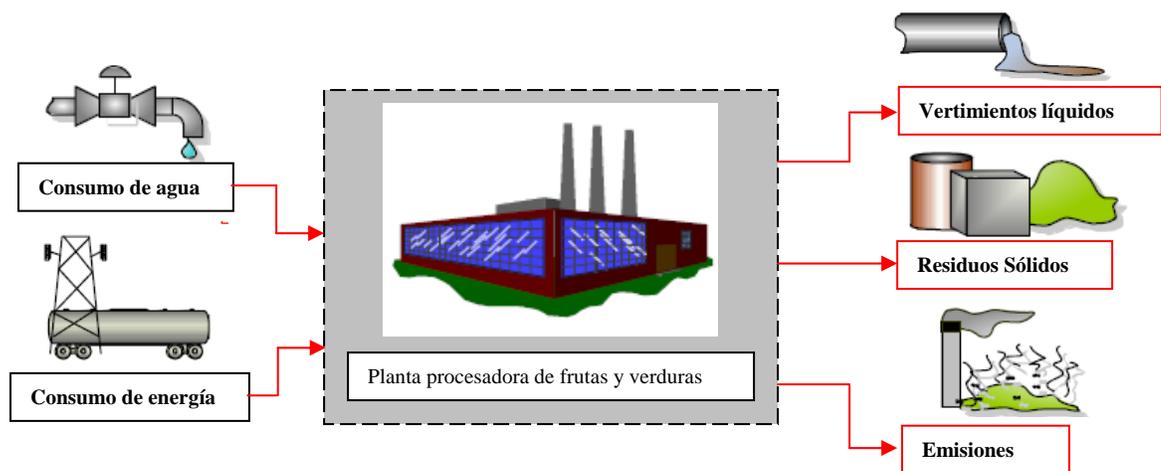


Figura 3. Aspectos e impactos ambientales en el sector alimenticio.

### 2.3.1 Consumo de agua

El consumo de agua de los lavados de fruta y verduras varía enormemente dependiendo tanto del tipo de producto como del tipo de industria. En algunos casos, alcanza al 50% del agua total usada en la industria, pudiendo variar desde 0,2 hasta 10 m<sup>3</sup>/ton de producto (Ecoomopoulus ., 1993).

Las fuentes principales de abastecimiento son de pozos profundos y la red municipal. En la Figura 4 se ilustra un esquema del uso de agua en el proceso de transformación de frutas y verduras.

Actualmente muchas plantas procesadoras de alimentos están literalmente tirando sus ganancias hacia el drenaje. Estas industria típicamente utilizan grandes cantidades de agua para procesar los alimentos y limpieza de equipos en planta, por consecuencia desechan grandes cantidades de agua que deben ser tratadas, lo que repercute ambientalmente y económicamente (Carawan y Waynick, 1996).

Un buen manejo de agua debe de ser adoptado, para disminuir tanto como sea posible los consumos de agua utilizados en el proceso de frutas y verduras presentados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Usos de agua en la industria procesadora de frutas y verduras.

Categoría del producto	Uso de agua (m <sup>3</sup> /ton de producto)
Frutas emvasadas	2.5- 4.0
Verduras emvasadas	3.5 – 6.0
Verduras congeladas	5.0 – 8.5
Jugo de frutas	6.5
Mermeladas	6.0
Alimento para bebes	6.0 – 9.0

(World Bank Group, 1998)

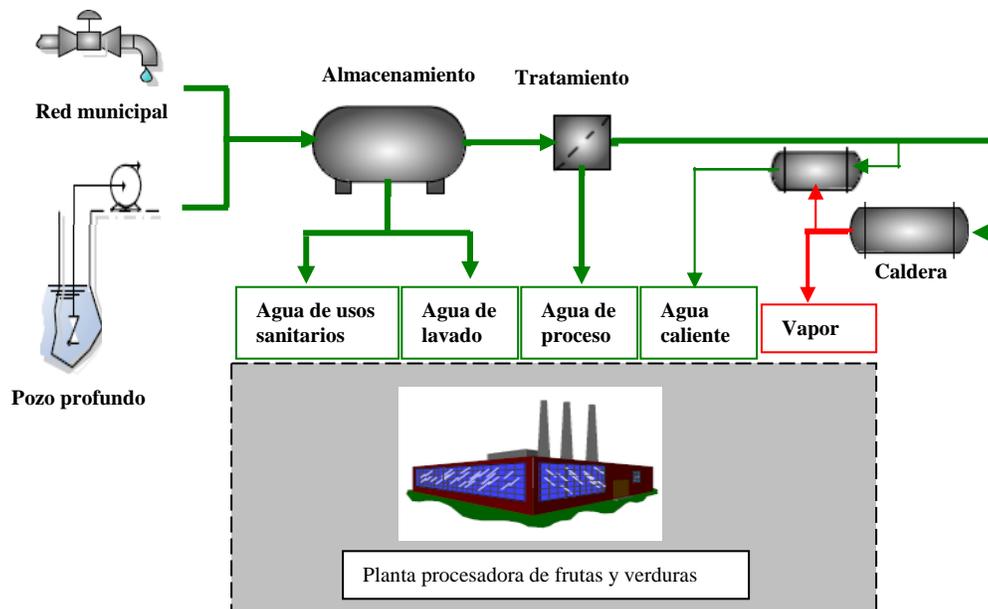


Figura 4. Esquema del uso de agua en el proceso de transformación de frutas y verduras.

### 2.3.2 Consumo de Energía

La fuente energética más importante en el sector agroindustrial es la energía eléctrica, la cual se utiliza en los equipos de proceso, iluminación, acondicionamiento de aire y refrigeración. La otra fuente es la energía térmica obtenida por la combustión del gas natural para la generación de vapor de caldera. En la Figura 5 se muestra un esquema con las fuentes y usos de energía.

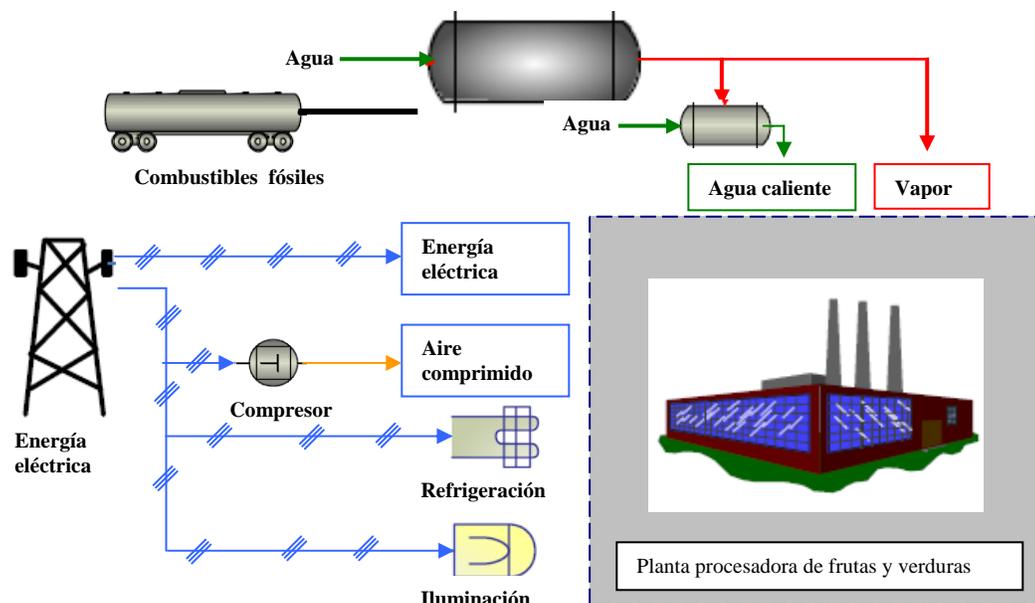


Figura 5. Fuentes y usos de la energía en una planta de alimentos.

#### 2.3.2.1 Energía térmica

El uso de combustibles fósiles como fuentes de energía térmica implica la generación de emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero, gases tóxicos, material particulado, humo y hollín, los cuales manejados incorrectamente tienen efectos nocivos sobre la salud y el medio ambiente (Cuadro 2); en las empresas del sector de los alimentos, el principal uso de la energía térmica es la

generación de vapor. Las ineficiencias en su generación, transporte y uso implican mayores consumos de combustibles (mayores costos de operación), así como mayores impactos a la calidad del aire.

Cuadro 2. Efectos de los gases de combustión en la salud y el medio ambiente.

Emisión	Causa	Efectos
Gas carbónico (CO <sub>2</sub> )	Combustión	Calentamiento global
Monóxido de carbono(CO)	Combustión incompleta	Afecta el transporte de oxígeno en la sangre
Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> )	Presencia de azufre en el combustible	Lluvia ácida, irritación de mucosas y ojos; deficiencias cardiovasculares
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )		
Material particulado (MP)	Combustión a alta temperatura	Smog, irritación de mucosas y ojos; engrosamiento de los bronquios
Hidrocarburos no consumidos	Usos del carbón y derivados del petróleo	Deficiencias respiratorias Efectos tóxicos, cancerígenos y teratogénicos

(ANAM, 2005).

### 2.3.2.2 Energía eléctrica

La energía eléctrica de la que se surte la compañía en estudio es de la Comisión Federal de Electricidad. El consumo de la energía eléctrica dentro de la empresa afecta sensiblemente los costos de producción.

Las ineficiencias en el uso de la energía eléctrica tienen causas diversas como sus aplicaciones, abarcando acometidas, motores, compresores de aire, refrigeradores y sistemas de iluminación (ANAM, 2005).

## Motores de alta eficiencia

**Motor:** Es una maquina rotatoria que convierte energía eléctrica en energía mecánica.

**Motor Estándar:** Se define como equipo con eficiencia menor a la establecida en la normatividad vigente (NOM-016-Ener- 2002).

**Motor de Alta Eficiencia:** Se define como un equipo con eficiencia igual o mayor a la establecida en la normatividad vigente (NOM-016-Ener- 2002).

Se considera que los motores eléctricos son el elemento motriz de la industria, considerando que consumen alrededor de 60 al 70% del gasto de energía eléctrica de una planta Industrial. En México se comercializan más de 100,000 motores de alta eficiencia por año en su rango más común de aplicación industrial que va desde 1 hasta 500 HP, convirtiéndose en un gran consumidor de energía eléctrica. En la Figura 6 se muestran los principales destinos de la energía eléctrica por sector y tecnología.

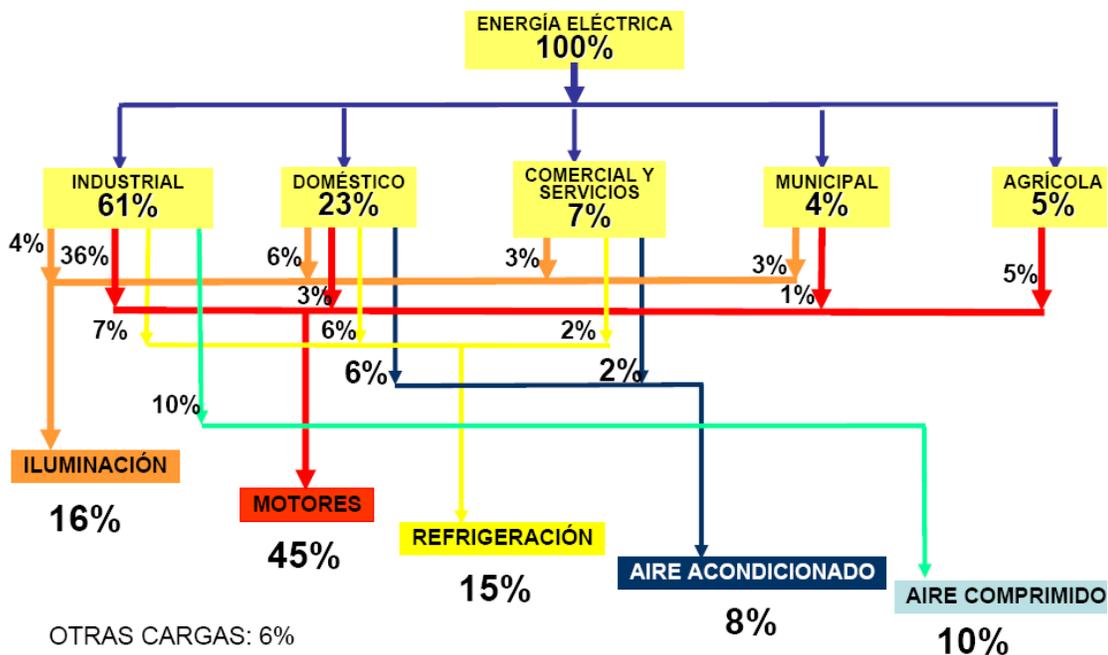


Figura 6. Principales destinos de la energía eléctrica por sector y tecnología.

## **Análisis de la sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia**

Metodología de evaluación para el ajuste de la eficiencia de un motor trifásico  
Factores que afectan a la eficiencia nominal.

- **Desbalanceo de voltaje.**

$$\text{DESB. DE VOLTAJE} = \frac{\text{Max. Dif. Respecto al Voltaje Promedio}}{\text{Voltaje Promedio}} \times 100$$

Donde la Máxima diferencia al voltaje promedio es: Más Dif. = Voltaje Máximo – Voltaje Promedio - Voltaje Mínimo, lo que resulte mayor.

Conociendo este porcentaje, se recurre a la gráfica del anexo 1 para determinar el factor de ajuste por desbalanceo de voltaje.

- **Diferencia de voltaje**

$$\text{DIFERENCIA DE VOLTAJE} = \left( \frac{\text{Voltaje Medido}}{\text{Voltaje de placa}} - 1 \right) \times 100$$

Conociendo este porcentaje, recurrimos a la gráfica del anexo 2 para determinar el factor de ajuste por diferencia de voltaje.

- **Factor de Carga**

El factor de carga se determina midiendo la potencia real entre la nominal, debido a que es prácticamente posible medir la potencia real entregada. El factor de carga se calcula dividiendo la potencia real demanda entre la potencia nominal demanda.

$$\text{FACTOR DE CARGA} = \frac{\text{Potencia Medida}}{\text{Potencia de placa/ Eficiencia a plena carga}} \times 100$$

- **Factor por rebobinado**

Siempre que un motor se rebobina, aunque se realice en un taller de calidad, se produce una disminución en la eficiencia del motor, ya que sus elementos se ven sometidos a sobre calentamiento, golpes, sobre esfuerzos mecánicos, mala calidad de la refacciones, etc.

Se puede asegurar que cuando un motor se repara en un taller adecuado, su eficiencia disminuye hasta el 2%, mientras que si se realiza en un taller de mala calidad, puede disminuir hasta un 6%. Sin embargo, es común que se considere un 1.5% de disminución de eficiencia por cada rebobinado realizado al motor. En el anexo 3 se muestra la gráfica para hacer el ajuste de pérdida de eficiencia por rebobinado.

Los valores de ajuste antes descritos se utilizan tanto para el motor actualmente instalado, como para el motor de alta eficiencia, pero sin considerar el factor de ajuste por rebobinado, para el motor nuevo.

Por lo que considerando estos ajustes, se tiene:

Eficiencia Ajustada = Eficiencia de placa X factor de ajuste total

Factor de ajuste total = Factor de ajuste por factor de carga X factor de ajuste por diferencia del voltaje X factor de ajuste por desbalanceo de voltaje X factor de ajuste por rebobinados ( Ortega, 2006).

### 2.3.3 Fuentes y caracterización de los residuos líquidos

Las principales fuentes de generación de residuos líquidos en la industria procesadora de frutas y verduras, son los procesos de lavado. Estos se realizan tanto a las frutas y verduras como también a las maquinarias y equipos de la línea de producción.

Los residuos líquidos generados en el lavado de frutas y verduras, se caracterizan por contener principalmente sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta. También es común encontrar pesticidas, insectos, lechada soluble y jugos provenientes de la materia prima, hojas, tallos y otras partes de las plantas (Santiago, 1998).

Típicamente, la industria de frutas y verduras genera grandes volúmenes de efluentes y desechos sólidos. El efluente contiene grandes cantidades de materia orgánica, agentes limpiadores y blanqueadores, sales y sólidos suspendidos como fibras y partículas de tierra. También puede contener residuos de pesticidas procedentes de los lavados de las materias primas. Los principales sólidos de desecho son materia orgánica, incluyendo desechos de frutas y verduras. Problemas de olor pueden ocurrir con el poco manejo de los desechos sólidos y efluentes, cuando los ajos son procesados y cuando las comidas son preparadas (WBG, 1998).

Respecto de las aguas de lavado de equipos, éstas se caracterizan por sufrir bruscas variaciones de pH con picos ácido y básico. A su vez, es común encontrar detergentes y materia orgánica disuelta.

Adicionalmente, existen procesos característicos generadores de residuos líquidos, entre ellos destaca el proceso de pelado, donde se generan importantes cantidades de aguas con alto contenido orgánico soluble y sólidos suspendidos. Las aguas del

proceso de blanqueado y del proceso de evaporación también tienen alto contenido de materia orgánica soluble.

La cantidad y calidad de todos los efluentes combinados de la industria de frutas y verduras están muy relacionadas con el proceso. En los Cuadros 3 y 4, se recogen valores de contenidos de residuos determinados en un estudio efectuado por la OMS (Santiago, 1998).

En el Cuadro 5 se enlistan las cantidades estimadas de aguas residuales, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Suspendidos (SS) de los pasos de los procesamiento de frutas y verduras expresada en por ciento de la cantidad total generada. Estos datos fueron estimados por personas con experiencia en la industria y no son valores medidos (Jones, 1973).

Hay una tendencia en la industria alimenticia que depende de las tecnologías probadas para el procesamiento y para el tratamiento de aguas residuales. Los costos de procesamiento, materiales crudos, mano de obra, materiales de empaque, energía, agua y tratamiento están aumentando de manera rápida, y estos aumentos son reflejados en los precios de los alimentos pasados al consumidor. Por lo tanto, los métodos para reducir estos costos se han hecho más y más importantes dentro de la industria alimenticia debido a la competencia amplia. El reciclar el agua dentro de los procesos de producción es un método considerado e implementado para servir al propósito de conservar recursos y reducir costos (Montgomery, 1981).

Cuadro 3. Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la industria de frutas.

<b>PROCESAMIENTO DE FRUTAS</b>	<b>VOLUMEN DE RESIDUOS (m<sup>3</sup>/ton materia prima)</b>	<b>DBO (Kg/ton materia prima)</b>	<b>SST (Kg/ton materia prima)</b>
<b>Manzana:</b>			
Todos los productos	3.7	5	0.5
Todos excepto jugos	5.4	6.4	0.8
Jugos	2.9	2	0.3
Cítricos	10.1	3.2	1.3
<b>Cerezas:</b>			
Cerezas dulces	7.8	9.6	0.6
Cerezas ácidas	12	17.2	1.0
Arándanos	12.3	10.0	1.4
Fruta seca	13.3	12.4	1.9
<b>Uva:</b>			
En conserva	72.1	10.7	1.2
Prensado	1.7	1.9	0.4
<b>Duraznos:</b>			
En conserva	13.0	14.0	2.3
Congelados	5.4	11.7	1.8
Peras	11.8	21.2	3.2
Piñas	13.0	10.3	2.7
Ciruelas	5.0	4.1	0.3
Fresas	13.1	5.3	1.4
<b>Tomates:</b>			
Pelados	8.9	4.1	6.1
Procesados	4.7	1.3	2.7

(Ecoomopoulos, 1993)

Cuadro 4. Carga de los residuos líquidos de diversos procesos de la industria de verduras.

<b>PROCESAMIENTO DE FRUTAS</b>	<b>VOLUMEN DE RESIDUOS (m<sup>3</sup>/ton materia Prima)</b>	<b>DBO (Kg/ton materia Prima)</b>	<b>SST (Kg/ton materia prima)</b>
Espárragos	68.8	2.1	3.4
Brócolis	45.6	9.8	5.6
Repollo Bruselas	36.3	3.4	10.8
Zanahorias	12.1	19.5	12.0
Coliflores	89.4	5.2	2.7
<b>Maíz</b>			
En conserva	4.5	14.4	6.7
Congelado	13.3	20.2	5.6
<b>Deshidratados</b>			
Cebollas y ajos	19.9	6.5	5.9
<b>Otras hortalizas</b>	22.1	7.9	5.6
Habas	27.1	13.9	10.3
Callampas	22.4	8.7	4.8
<b>Cebolla en conserva</b>	23.0	22.6	9.3
Congeladas	14.5	18.3	4.9
Pimientos	28.8	27.2	2.9
<b>Papas:</b>			
Todos los productos	10.3	18.1	15.9
Productos congelados	11.3	22.9	19.4
Productos deshidratados	8.8	11.0	8.6
Espinacas			
En conserva	37.6	8.2	6.5
Congeladas	29.2	4.8	2.0
Camote	4.1	30.1	11.5

(Ecoomopoulus, 1993)

Cuadro 5. Generación de desechos de las unidades de procesamiento de frutas y verduras, (%).

Producto	Limpieza	Pelado	Cortado	Pulpado	Llenado	Llenado y cocinado	Blanqueo
Manzana:							
Agua	20-30	5-20	10-25	10	-	40-65	-
DQO	5-10	10-40	5-40	70	-	10-80	-
SS	2-15	15-40	15-40	85	-	10-80	-
Cereza:							
Agua	20-95	-	5-40	-	15-15	-	-
DQO	20-20	-	40-55	-	15-30	-	-
SS	30	-	40	-	20	-	-
Melocotón:							
Agua	15-20	-	3-6	-	10	-	-
DQO	5-10	-	80	-	5-10	-	-
SS	5-10	-	60	-	5	-	-
Pera:							
Agua	30-60	-	7-30	-	10-13	-	-
DQO	50-78	-	10-40	-	5-10	-	-
SS	45-83	-	10-45	-	5-5	-	-
Espárragos:							
Agua	20-40		10-20	-	-	15-40	25-30
DQO	20		10	-	-	10	60
SS	50		10	-	-	10	30
Frijol:							
Agua	30-40	-	0-40	-	-	20-50	10-45
DQO	10-60	-	0-20	-	-	0-20	40-60
SS	30-80	-	0-30	-	-	0-10	20-30
Zanahorias:							
Agua	12-30	30-40	20-28	-	-	15-20	0-5
DQO	16-20	50-60	20-21	-	-	0-3	0-10
SS	10-18	40-65	15-40	-	-	0-2	0-10

(Jones, 1973)

### 2.3.4 Fuentes y caracterización de los residuos sólidos

Los residuos sólidos provienen generalmente de las etapas de limpieza, lavado, corte, deshuesado, pelado y descorazonado. En la etapa de pretratamiento (rejas y tamices), se generan restos de frutas y verduras que deben ser eliminados antes de pasar a las otras etapas del proceso de tratamiento. Por otra parte, en el

tratamiento primario y secundario de los residuos industriales líquidos se generan sólidos orgánicos, que pueden ser reutilizados.

Entre los residuos sólidos más comunes generados por este tipo de industria, encontramos restos de fruta en mal estado, huesos, envases y embalajes. Sin embargo, la gran mayoría de ellos son reutilizados como suplemento alimenticio para animales o como mejorador de suelo.

En el Cuadro 6 se muestran los datos de la cantidad de residuos sólidos generados por producto en EE.UU.; además se indican los porcentajes de posibles utilizaciones de estos residuos sólidos, principalmente como alimento para animales o fertilizantes orgánicos (Santiago, 1998).

**Cuadro 6.** Residuos sólidos provenientes de la industria de conservas de frutas y verduras en Estados Unidos.

<b>PRODUCTOS</b>	<b>RESIDUOS SÓLIDOS PUTREFACTIBLES (Kg/ton producto)</b>	<b>UTILIZACIÓN COMO SUBPRODUCTO %</b>	<b>MANEJO COMO DESECHO SÓLIDO</b>
Manzanas	280	68	32
Cítricos	390	98	2
Maíz	660	94	6
Aceitunas	140	86	14
Duraznos	270	33	67
Peras	290	31	69
Papas	330	88	33
Tomates	80	25	75
Hortalizas	220	41	59

(Ecoomopoulus, 1993)

### 2.3.5 Principales impactos ambientales generados por el sector

Las descargas de residuos líquidos de la industria de procesamiento de productos hortofrutícolas sin tratamiento, pueden provocar una importante contaminación de las aguas receptoras. Dado que el material orgánico constituye el principal

componente contaminante, los problemas de contaminación de aguas se relacionarán principalmente con la descomposición de dicho material orgánico, o que puede traducirse en una disminución del oxígeno, muerte de peces, producción y emisión de biogas y formación de una capa de material flotante. Si las descargas líquidas tienen una alta concentración de sólidos, puede formarse una capa de sedimento en el fondo de las aguas receptoras, donde se puede producir una degradación anaeróbica, con la consecuente formación de gases que producen malos olores.

La disposición inadecuada de los residuos sólidos puede dar origen a la contaminación del aire (generación de malos olores), del agua (subterránea y superficial) y del suelo. La contaminación tiene relación principalmente con la putrefacción de material orgánico, generando malos olores y lixiviación de contaminantes hacia el suelo y las aguas superficiales y subterráneas. Por otra parte, la disposición de estos residuos en rellenos sanitarios, puede provocar serios problemas de operación en el relleno (debido al alto contenido de humedad que presentan los residuos). También pueden provocar molestias (olores) a la población aledaña al relleno.

La contaminación atmosférica es generalmente un problema menor en estas industrias, sin embargo en algunos casos se pueden producir problemas de olores producto del inadecuado manejo de los residuos sólidos. La producción de vapor con calderas que usan combustibles contaminantes puede dar origen a superar las normas locales de emisión de material particulado y otros contaminantes regulados (Santiago, 1998).

## **2.4 PML**

Desde 1990, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), ha conducido un programa intensivo y pro – ambiental, acompañado de una campaña de información y entrenamiento para promover tecnologías limpias o

ambientalmente amigables. El programa se diseñó para incrementar la eficiencia y productividad al reducir la contaminación ambiental (Staff y col., 2003).

La sustentabilidad empresarial que se refleja en el nivel de competitividad depende del equilibrio de tres variables: manejo adecuado de recursos, manejo social de los empleados y la comunidad y el desarrollo económico de la empresa. El manejo entre estas tres variables se logrará a través de un proceso de mejoramiento continuo buscando garantizar un mejor valor agregado para las partes interesadas (inversionistas, trabajadores, clientes y comunidad), presentes y futuras. Por esto, la PML (eco – eficiencia ) es una estrategia empresarial para alcanzar el objetivo general del desarrollo sostenible (Gutowski y col., 2003).

La PML es en esencia una estrategia preventiva encaminada a la reducción, total o parcial, de las emisiones contaminantes, la optimización de los procesos y a la reutilización, reciclaje y valorización de los residuos o subproductos. Es así como su implementación dentro de un proceso productivo se refleja en un menor impacto ambiental, menor cantidad de emisiones, eliminación de los desperdicios de materias primas, ahorro de agua y energía, mayor calidad de los productos y menores costos de producción, que dan como resultado una mayor competitividad. Por lo tanto, cuando se trata de manejar los impactos ambientales relacionados con un proceso, la PML es la alternativa más conveniente, por encima de los tratamientos al final del tubo (ANAM, 2005).

La PML es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva, integrada para los procesos y los productos, con el fin de reducir los riesgos al ser humano y medio ambiente ( Bravo, 2002).

La PML enfrenta el tema de la contaminación industrial de manera preventiva, concentrando la atención en los procesos productivos, productos y servicios, la eficiencia en el uso de las materias primas e insumos, para identificar mejoras que se orienten a conseguir niveles de eficiencia que permitan reducir o eliminar los

residuos, antes que éstos sean generados. La experiencia internacional comparada ha demostrado que, a largo plazo, la PML es más efectiva desde el punto de vista económico y más coherente desde el punto de vista ambiental, con relación a los métodos tradicionales de tratamiento “al final del proceso”. Las técnicas de PML pueden aplicarse a cualquier proceso de producción y contempla, desde simples cambios en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores que impliquen la sustitución de materias primas, insumos o líneas de PMLs y eficientes (Christie y Rolfe, 1995; Gutowski y col., 2003; WBCSD y UNEP, 1998; USAID, 2003; Montaña, 2002).

En consecuencia, la inversión en sistemas de tratamiento sigue representando un costo para la empresa sin mayores beneficios desde el punto de vista productivo; sin embargo, la inversión en PML conlleva un importante potencial de beneficios económicos a través de una mayor eficiencia en los procesos productivos. Por lo tanto, una consecuencia inmediata y cuantificable para la empresa al implementar medidas de PML, se puede observar a través de la reducción en costos de tratamiento de los desechos y consumos de materia prima o insumos al lograr una reducción de los desechos y las mermas, facilitando el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes (Fiksel, 1997; Zackrisson, 2003).

En este sentido, debe entenderse que la PML no es simplemente un sistema de gestión ambiental, sino una estrategia integral, económica y ambiental, que busca elevar la competitividad y el desempeño económico de un proceso a través del mejoramiento ambiental, dado su carácter como elemento armonizador de la relación existente entre el sector productivo y el medio ambiente (ANAM, 2005).

#### 2.4.1 Objetivo de la PML

El objetivo de la PML es estimular y trabajar el proceso de desarrollo sostenible. Para estimular este proceso se había mencionado que, existen diferentes programas internacionales como los convenios del cambio climático, la agenda 21,

el factor X y algunos nacionales como el programa de PML, responsabilidad integral, eco – eficiencia y otros programas ambientales. Estos programas se caracterizan por ser voluntarios y tener como objetivos principal promover la gestión ambiental e intercambiar experiencias. Algunos de estos programas son de carácter específico para sectores y otros son de carácter general (Fiksel, 1997).

#### 2.4.2 Herramientas de PML

Las herramientas empleadas para el logro de la PML se ilustran en orden jerárquico en la Figura 7.



Figura 7. Herramientas de PML (ANAM, 2005).

##### 2.4.2.1 Reducción de la fuente

Consiste esencialmente en la prevención de la contaminación, a través de la minimización de impactos y residuos originados en los procesos. Esta alternativa puede lograrse mediante la adopción de medidas simples, de baja inversión, o mediante la adquisición de nuevas tecnologías y bienes de capital.

#### 2.4.2.2 Recirculación de materiales y energía

Las materias primas e insumos que ingresan a un proceso productivo, en muchas ocasiones no son totalmente consumidos o mantienen su calidad, de tal modo que descartarlos es un verdadero desperdicio, éstos pueden ser reutilizados en otra etapa del mismo proceso o en otro proceso bien sea dentro de la misma empresa o en otra.

Con relación a la energía, los procesos de intercambio de calor por lo general ofrecen corrientes con energía residual que puede utilizarse para proporcionar calor a otros procesos o recircularse en ciclos de generación de vapor o de enfriamiento, con impactos económicos importantes; un ejemplo es el caso de los condensados que pueden ser realimentados a la caldera reduciendo los consumos de combustible y agua.

#### 2.4.2.3 Reciclaje y valorización

Los residuos pueden ser en la mayoría de los casos, subproductos más aprovechados en los procesos productivos o de servicios, como sucede en empresas de procesamiento de alimentos. Muchos residuos son susceptibles de ser valorizados mediante procesos simples en algunos casos, complejos en otros, que aumentan el valor del subproducto inicialmente obtenido del proceso principal, a la vez que aumentan los ingresos de la empresa.

Los materiales inertes o no putrescibles (papel, cartón, vidrio, metales) pueden ser reciclados dentro de la misma empresa o vendidos a centros de acopio encargados de recibirlos y disponerlos para su reciclaje, éstos generan beneficios económicos que están relacionados estrechamente con el mejoramiento ambiental de la empresa (ANAM, 2005).

### 2.4.3 Estrategias de PML

El enfoque de PML requiere la aplicación de un criterio jerárquico en las prácticas de gestión ambiental (Figura 8). El orden de preferencias en la toma de decisiones sobre diseño y explotación es como sigue:

- Prevención de la generación de residuos y emisiones
- Reciclaje
- Tratamiento
- Eliminación segura

Las alternativas de reciclaje interno se deben usar sólo cuando se hayan puesto en práctica plenamente las técnicas de prevención. El tratamiento de los residuos se debe considerar sólo cuando los residuos se hayan reciclado tanto como sea posible. El empleo del reciclaje externo y de las tecnologías “al final de tubo” sólo se deben emplear después de haber agotado los métodos de prevención de la contaminación o de PML.

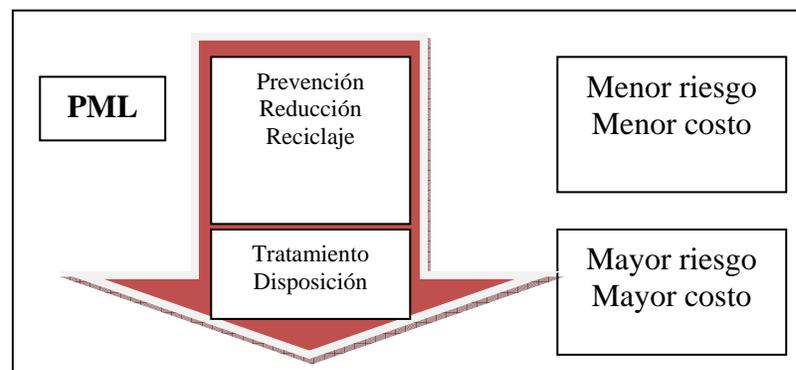


Figura 8. Criterio jerárquico en la gestión ambiental

Las estrategias de PML debidamente implementadas pueden tener dos tipos de impactos:

Siempre:

- Reducen las responsabilidades a largo plazo que las empresas pudiesen enfrentar luego de muchos años de estar generando contaminación.

Usualmente:

- Incrementan la rentabilidad.
- Reducen los costos de producción.
- Aumentan la productividad.
- Generan una rápida recuperación de capital sobre cualquier inversión que haya sido necesaria.
- Aumentan la competitividad y por ende el mercado de un producto.
- Conllevan un uso más eficiente de la energía y la materia prima.
- Mejoran la calidad del producto.
- Aumentan la motivación del personal.
- Motivan la participación activa del trabajador quien aporta ideas y contribuye en su implementación.
- Reducen los riesgos del consumidor.
- Reducen el riesgo de accidentes ambientales.
- Son apoyadas por los empleados, las comunidades locales, clientes y el público en general.

A menudo:

- Evitan los costos por incumplimiento de las leyes.
- Disminuyen el costo de los seguros.
- Hacen más factible recibir financiamiento de instituciones financieras y otros prestamistas.
- Son rápidas y fáciles de implementar
- Requieren una mínima inversión de capital (CET PERU, 2005).

#### 2.4.4 Bases para la práctica de la PML

Para poner en práctica la PML, se deben considerar las siguientes bases:

- *Buenas prácticas operativas*: Segregar los flujos de residuos, a fin de facilitar su reducción, reuso, reciclaje o, en último caso, cuando no hay más alternativa, su tratamiento final como desechos; mejorar las operaciones y el mantenimiento de equipos; mejorar el orden y las operaciones de limpieza; mantener control de inventarios, y de balances de masa y energía; prevenir derrames y fugas; y realizar otras prácticas de reducción de residuos y de uso eficiente de energía, que no impliquen cambios significativos en los procesos o en los equipos.
- *Sustitución de materias primas*: Reemplazar una materia utilizada en un proceso por otra materia que genere menor cantidad de residuos y el mejor aprovechamiento de las materias primas (CPTS, 2003).

Utilizar insumos menos tóxicos, materiales renovables, materiales auxiliares que aporten un tiempo de vida más largo en producción (CET PERU, 2005).

- *Modificación de proceso:* Rediseñar los procesos; mejorar los controles de las operaciones; efectuar modificaciones en los equipos o cambios tecnológicos que permitan reducir la generación de residuos y el mejor aprovechamiento de las materias primas (CPTS, 2003).

Mejores condiciones de operación, equipo de producción e instalaciones de manera que los procesos se hagan con mayor eficiencia y se generan menores residuos y emisiones (CET PERU, 2005).

- *Reformulación del producto:* Modificar las características de un producto final por otras características similares, que requieren de insumos no peligrosos o menos peligrosos en los procesos de producción; o cuyo uso y/o disposición final sea menos dañino para el medio ambiente y/o para la salud (CPTS, 2003).
- *Producción de subproductos útiles:* Transformación del residuo en un subproducto que puede ser vendido como insumo para empresas en diferentes sectores del negocio (CET PERU, 2005).
- *Las tres R's:* Reducir, reusar y/o reciclar residuos, a fin de minimizar los derechos.

Como se observa en la Figura 9, que esquematiza el denominado “Enfoque piramidal para el manejo de efluentes”, la PML está constituida por prácticas de prevención de la contaminación, eficiencia energética y las 3R's (reducción, reuso y reciclaje), las que generalmente producen beneficios económicos y ambientales significativos, con bajos niveles de inversión (CPTS, 2003; DNRE, 1996).

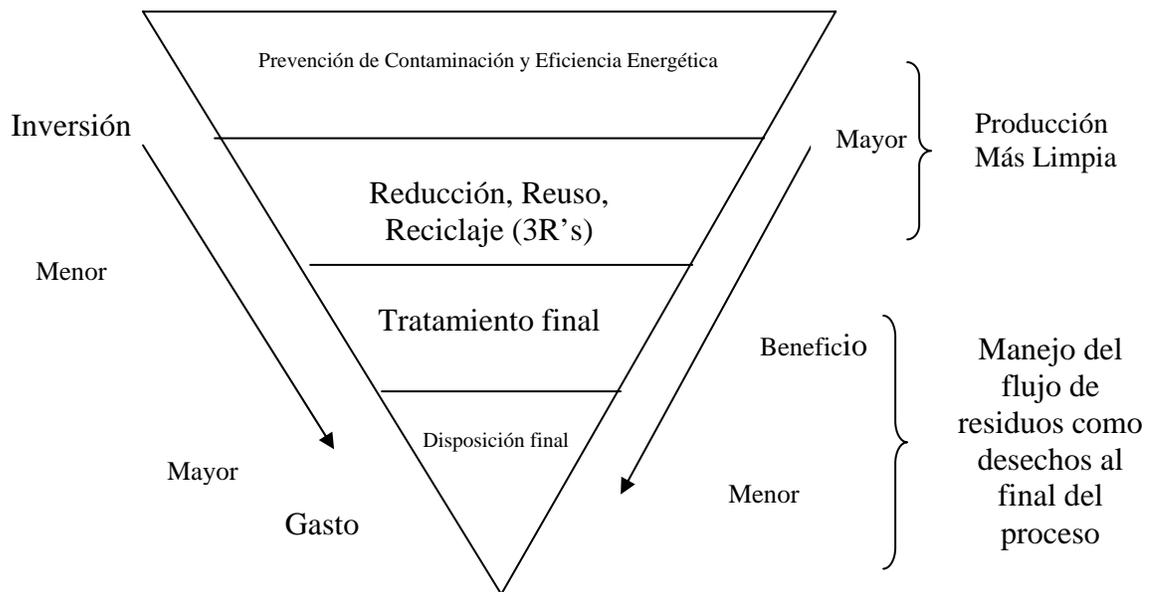


Figura 9. Enfoque del manejo piramidal de efluentes (CPTS, 2003).

#### 2.4.5 Pasos para implementar la PML

La metodología de PML está integrada por cinco fases y cada una de ellas contemplan varias actividades:

- Planeación y organización
- Evaluación previa
- Evaluación
- Estudio de factibilidad
- Implantación

Antes de iniciar una evaluación, es recomendable que los evaluadores potenciales tengan idea del concepto de PML, ya que esto puede ayudar a establecer dichas metas en la empresa (CMPL, 1997; CMPL, 2004).

#### 2.4.5.1 Planeación y organización

- *Involucrar y obtener el compromiso de la Gerencia:* El compromiso de la Gerencia es la fuerza impulsora para el desarrollo de un proyecto de PML, pues implica disponer de recursos materiales, humanos y financieros para lograr los objetivos que espera la gerencia (CMPL, 2004).

Es importante señalar que, para que la alta gerencia sea conciente de la necesidad de implantar un programa de esta naturaleza, ésta debe estar informada de los beneficios que pueden lograr las medidas de PML.

Son responsabilidades de la alta Gerencia:

- Constituir un comité de PML que sea responsable de la implementación y coordinación de las actividades del programa.
  - Nombrar como responsable del comité a una persona que tenga la jerarquía y la autoridad suficiente para garantizar la realización del programa.
  - Garantizar los recursos económicos y humanos necesarios para el apoyo del programa.
  - Difundir las metas del programa en la planta y en las oficinas de la empresa, y estimular la participación y el interés de todos los empleados (CET PERU, 2005).
- *Establecer el equipo conductor del proyecto:* Todos los departamentos afectados por la evaluación de PML, deberán involucrar al menos un representante en el equipo de trabajo. El tamaño del equipo estará conformado según la estructura organizacional de la empresa (CMPL, 2004).

Requisitos de los miembros del Comité de PML:

- Conocimientos adecuados sobre los procesos de PML
- Capacidad y creatividad para desarrollar y evaluar medidas de ahorro de energía y de prevención de la contaminación.
- Autoridad para implementar cambios en la empresa.
- Proactividad

El comité de PML puede incluir, entre otros, a miembros de la gerencia de la empresa, gerentes de producción, ingenieros, químicos y a responsables de líneas de producción, mantenimiento o control de calidad. Generalmente, la participación de los consultores externos, expertos en temas de prevención de la contaminación o de ahorro de energía, se concentra principalmente en las actividades del diagnóstico de PML y, en algunos casos, en la evaluación técnica detallada de las medidas identificadas durante la auditoría.

El responsable del Comité de PML es generalmente elegido por la Gerencia. Entre sus funciones se encuentran:

- Coordinar las actividades del programa
- Actuar como enlace entre el Comité y los niveles ejecutivos y operativos de la empresa.
- Tomar la responsabilidad de la aplicación de las medidas y del logro de las metas del programa (CET PERU, 2005).
- *Establecer las metas de la PML:* Las metas deben ser ambiciosas para motivar a realizar un esfuerzo significativo dentro del proyecto de PML y a la vez, deben de ser realistas para asegurar el éxito al llevarlas a cabo (CMPL, 2004).

Algunos criterios a considerar en la selección de estas metas se presentan a continuación:

- Efectos en la salud
- Metodología de disposición final de residuos
- Incremento en la productividad
- Emisiones contaminantes al aire, agua y/o suelo
- Costos por confinamiento o disposición de residuos y/o remisiones
- Condiciones de operación y Proceso.
- Costos por consumo de materias primas y energéticos (CET PERU, 2005).
- *Identificar barreras y soluciones:* Las principales barreras que pueden encontrarse son: una actitud pesimista del personal y de la Gerencia, falta de comunicación Inter departamental, tipo de organización, problemas económicos y carencia de información tecnológica (CMPL, 2004).
  - Actitud pesimista del personal y de la Gerencia frente a posibles cambios en los procesos de producción.
  - Falta de recursos económicos para comprar nuevos equipos o mejorar instalaciones.
  - Falta de comunicación interdepartamental y de trabajo en equipo
  - Falta de personal técnico adecuado para implementar cambios de procesos
  - Tipo de organización
  - Carencia de información tecnológica.

Algunas actividades recomendadas para superar las barreras y obstáculos que surgen en la implementación de un proyecto de PML son:

- Sensibilización del personal usando para ello los beneficios económicos y ambientales.
- Integración de los miembros de la empresa como un equipo que mejorará las condiciones de producción de la misma.
- Presentar estudios de caso de proyectos anteriores y los éxitos conseguidos con ellos
- Recopilación e innovaciones tecnológicas de otras empresas del mismo sector
- Presentación de resultados de evaluaciones económicas y ambientales de las actuales condiciones de Producción en la empresa (CET PERU, 2005).

#### 2.4.5.2 Evaluación previa

- *Desarrollo del diagrama de flujo del proceso:* Para conocer como está trabajando la empresa, es muy importante desarrollar el diagrama de flujo de ella; con ésta, se detectan aquellas etapas del proceso que requieran de una atención especial. Este diagrama debe ser lo más claro y sencillo posible para que cualquier miembro del equipo lo interprete correctamente.
- *Medir las entradas y salidas:* En esta etapa, el equipo desarrolla y ejecuta un plan para lograr cuantificar de la manera más precisa las condiciones del proceso, por medio del registro de las cantidades de materias primas y energéticos consumidos, de residuos, emisiones y subproductos generados, con la finalidad de realizar un adecuado análisis de la eficiencia de las operaciones unitarias involucradas dentro del proceso.

- *Seleccionar las metas de PML:* Habiendo obtenido la cuantificación de la planta, las metas antes definidas pueden detallarse de una manera más precisa (CMPL, 2004).

#### 2.4.5.3 Evaluación

- *Elaborar el balance de materiales:* Este balance sirve para estimar los costos de operación del proceso o bien determinar las entradas y salidas no cuantificadas. Al detectar este tipo de costos, el equipo tiene otro factor a su favor para convencer a la gerencia de la planta para que realice una inversión inmediata en este proyecto de PML (CMPL, 2004).

El balance de masa y energía tiene como finalidad, cuantificar y detectar las áreas donde hay alguna situación anómala, por ejemplo cuando se tienen emisiones fugitivas, una elevada generación de residuos, un elevado consumo de materias primas y una elevada generación de desperdicio, etc.

Los posibles ingresos que deben cuantificarse para hacer un balance de masa, se presentan en la Figura 10.

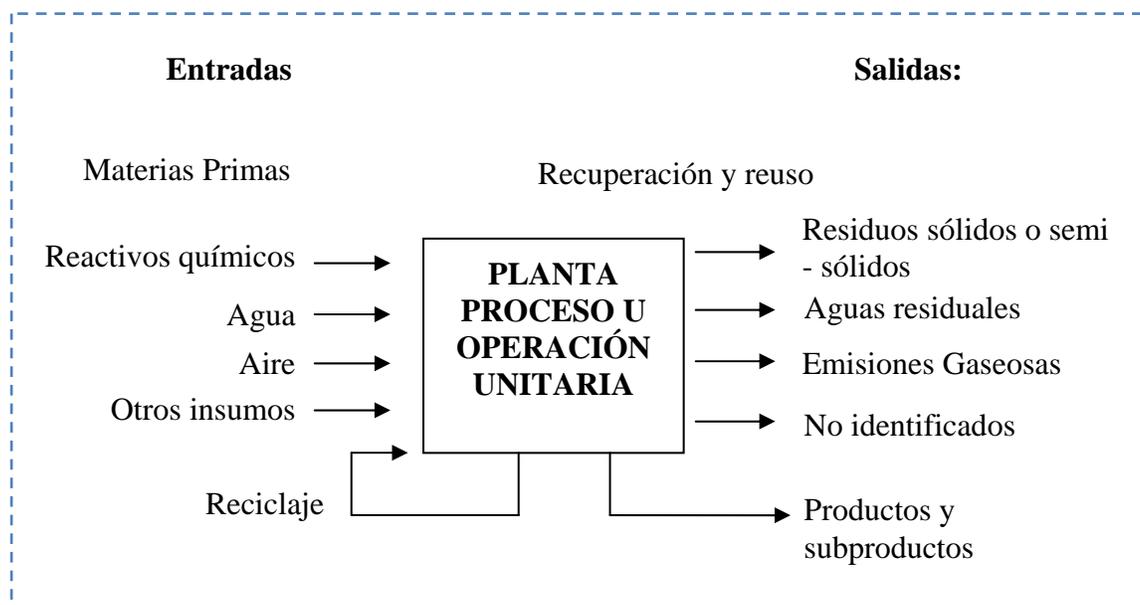


Figura 10. Componentes típicos de un balance de masas.

Este balance sirve para estimar los costos de operación del proceso o bien determinar las entradas y salidas no cuantificadas. Al detectar este tipo de costos, el equipo auditor tiene otro factor a su favor para convencer a la gerencia de la planta a realizar una inversión inmediata en el proyecto de PML.

Fuentes de Información para elaborar el balance de materiales:

- Registros de comparación de materias primas.
- Inventarios de material y emisiones.
- Registro de composición de lotes.
- Especificaciones de producto.
- Registros de operación.
- Procedimientos de operación estándar y manuales de operación.
- Muestreo y análisis de mediciones de materias prima, materiales de suministro, productos, residuos y emisiones.
- Facturación de energía eléctrica, agua, combustible.
- Limpieza de equipo y procedimientos de operación.
- Referencias bibliográficas, apoyo de consultoría y lluvia de ideas del personal de planta.

En el Anexo 14, se presenta un método para realizar el balance de masa y balance de energía, herramientas importantes para identificar pérdidas, encontrar oportunidades de PML y, obtener una mayor eficiencia productiva. El Anexo, detalla cómo evaluar las mejoras mediante el uso de indicadores de consumo específico y descarga específica (CET PERU, 2005).

- *Evaluar las causas:* Una vez obtenido el balance de materia y energía, se puede determinar qué variantes hay que cambiar para lograr una adecuada actividad productiva (CMPL, 2004).

Los balances de materia y energía de los procesos unitarios prioritarios, deben de ser utilizados como la herramienta básica para identificar las causas de la generación de emisiones y residuos.

Con esta base puede determinarse qué variables hay que cambiar y/o modificar para lograr una adecuada actividad productiva. Estas variables pueden deberse a diversos factores tales como:

1. Causas relacionadas con la materia prima que afecta la actividad productiva:
  - Calidad de materias primas
  - Escasez de materiales
  - Sistema de administración de compras
  - Inadecuado almacenamiento
2. Causas relacionadas con la tecnología:
  - Falta de mantenimiento e inadecuada operación
  - Mal diseño del proceso o del equipo
  - Mala disposición de las instalaciones
  - Tecnología obsoleta
3. Causas relacionadas con las prácticas operativas:
  - Falta de personal calificado
  - Desmotivación de los empleados

#### 4. Causas relacionadas con los residuos

- No se tiene un programa de reuso o reciclaje
- No se tiene una estimación de costos por el concepto de generación de residuos.

Para lograr un buen entendimiento de las causas de las ineficiencias en cada operación unitaria, el equipo auditor tendrá que consultar e involucrar en esta evaluación a los operadores, técnicos y los supervisores de producción. De esta manera, se puede tener la certeza que las opciones de mejora serán factibles y aceptada (CET PERU, 2005).

- *Generar opciones de PML:* Conociendo las fuentes de generación de residuos y emisiones; así como también las fuentes de desperdicio de materias primas e insumos, se inicia la búsqueda de medidas correctivas. Esta generación de opciones será de mayor riqueza si se consideran las sugerencias de todos los miembros del equipo de PML (CMPL, 2004; Berkel, 1995).

Algunos puntos básicos a considerar al generar las opciones de PML se presentan a continuación:

- Cambios en las materias primas
- Cambios y modificaciones en las tecnologías.
- Generar buenas prácticas operativas
- Reuso y reciclaje en planta.

Cambios en las materias primas:

Mediante un cambio en las materias primas, se puede reducir la generación de residuos en general y/o la formación de residuos o compuestos residuales peligrosos originados por la presencia de impurezas en las materias primas

inadecuadamente seleccionadas; con lo cual se puede conseguir también eliminar la necesidad de un tratamiento al “ final del tubo”. Igualmente se puede reemplazar un compuesto peligroso o contaminante por otro más inocuo.

Cambios en las tecnologías:

Estas son modificaciones que se realizarán en el proceso o en los equipos 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 energía.

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.

Reuso y reciclaje en planta:

La atención dada a estas dos actividades puede dar lugar a una recuperación de materias útiles y a la localización de nuevos factores que promueven el uso adecuado de materias primas, reduciendo así los gastos innecesarios (CET PERU, 2005).

- *Seleccionar las opciones de PML:* Una vez que han sido generadas las opciones de PML, éstas deben ser seleccionadas, de acuerdo a los criterios de factibilidad, costo de implantación, rentabilidad etc. En esta etapa no debe eliminarse ninguna opción a menos que sea obviamente NO factible y por último las opciones similares deben de fusionarse (CMPL, 2004).

Algunos criterios a considerar en el ordenamiento de las opciones de PML son:

- Organización por operación específica
- Evaluación de interferencias
- Opciones prioritarias
- Implantación de opciones fáciles
- Eliminación de opciones no factibles (CET PERU, 2005).

#### 2.4.5.4 Estudio de factibilidad

- *Evaluación preliminar:* Las opciones seleccionadas deben ser sometidas a las siguientes evaluaciones: opciones técnicas contra procedimientos, opciones relativamente sencillas contra complejas y opciones de bajo, medio o alto costo (CMPL, 2004).

Para cada medida de PML seleccionada durante la auditoría en planta, se debe determinar el tipo de evaluación (técnica, ambiental, y/o económica) necesaria para tomar una decisión sobre su viabilidad, y la profundidad con la que se realizarán las evaluaciones consideradas necesarias.

Por ejemplo, una medida de PML basada en la sustitución de insumos o en un cambio tecnológico en una operación unitaria posiblemente requiera de una evaluación técnica, ambiental y económica detallada, mientras que una medida sencilla basada en la motivación de empleados posiblemente necesite solamente una rápida evaluación ambiental y económica (CET PERU, 2005).

- *Evaluación técnica:* en esta evaluación debe considerarse el impacto que tendrán esas opciones en las tasas de producción, tiempos de operación,

adición o eliminación de operaciones unitarias, capacitación adicional y/o cambio de personal (CMPL, 2004).

Las actividades a desarrollarse son:

Detallar los cambios técnicos necesarios para implementar cada medida de PML. Por ejemplo, describir el diseño de los cambios propuestos, especificar la naturaleza, forma y cantidad de entradas y salidas de las operaciones unitarias; definir las nuevas condiciones operativas propuestas y sus posibles efectos e interrelaciones con el resto de las operaciones unitarias que componen el proceso productivo.

Determinar la factibilidad técnica de implementar los cambios requeridos por cada medida de PML. La factibilidad técnica de los cambios se determinan en términos de:

- La viabilidad de los fenómenos involucrados en las operaciones unitarias;
- La disponibilidad o accesibilidad a tecnología, materias primas e insumos, espacio físico, logística, servicios, etc.
- Las condiciones (políticas, sociales, organizativas, laborales, culturales o financieras) que impedirían la viabilidad técnica del cambio propuesto.

Proyectar el impacto de cada medida sobre el consumo de insumos y la generación de residuos o desechos (CET PERU, 2005).

- *Evaluación económica:* La finalidad de este tipo de evaluación es determinar si las opciones a implantar son adecuadas en el sentido de dar ganancias a la empresa. El realizar un análisis adecuado de este tipo es vital, ya que de no ser así la opción puede dar lugar a un fracaso económico del proyecto lo cual desalentará cualquier otro tipo de inversión en esta área (CMPL, 2004).

Existen varios tipos de conceptos financieros que pueden ser utilizados para evaluar la factibilidad económica de una medida de PML.

Los conceptos de periodo de recuperación de la inversión y rentabilidad de la inversión son utilizados para realizar evaluaciones económicas rápidas y sencillas, y son de uso frecuente en la evaluación económica de las medidas de PML.

**Cálculo de ingresos:** Entre los ingresos se considera el potencial de ahorro de gastos que resulta de la aplicación de las medidas, teniendo en cuenta los costos de la empresa y comparándolos con los costos generados por el uso ineficiente de recursos.

**Cálculo de egresos:** Es el cálculo de costos de la inversión necesaria para implementar medidas que reduzcan el consumo de materia prima, agua y energía, y que a la vez, tengan un impacto positivo en el ambiente, generando menos residuos, menos efluente, y menos sustancias peligrosas, etc.

Tomando como base el período de recuperación de la inversión, generalmente se prefieren los proyectos con períodos más cortos antes que proyectos con períodos más largos. Una regla empírica es que los períodos de recuperación de la inversión de hasta 3 o 4 años son considerados por lo general como aceptables y de bajo riesgo (CET PERU, 2005).

- *Evaluación ambiental.* Este tipo de evaluación está destinado a cuantificar el grado de reducción en la generación de emisiones, residuos, consumo de energéticos; consumo de materia prima, etc. (CMPL, 2004).

Una buena alternativa es comparar los balances de materiales y energía actuales y proyectados de la operación unitaria con el fin de evaluar el

impacto ambiental de la opción, para luego eliminar las opciones que no tienen un impacto ambiental favorable.

Como criterio de selección debe de darse mayor peso a aquellas opciones cuya implantación signifique una reducción de alta escala (CET PERU, 2005).

- *Seleccionar opciones factibles*: Una vez realizadas las evaluaciones, la información recopilada para cada opción debe ser sometida a un proceso de documentación en el cual se asienten los criterios de evaluación (CMPL, 2004).

#### 2.4.5.5 Implantación

- *Preparar el plan de PML*: Este proceso se inicia con el análisis preliminar de la evaluación de PML y de las opciones seleccionadas. Posteriormente, se realiza un estudio económico para determinar la factibilidad; debe formarse un grupo que estará destinado a dar el seguimiento a la fase de implantación (CMPL, 2004).

Para asegurar que la implementación de las medidas de PML seleccionadas se lleve a cabo de forma lógica y programada, los consultores y la empresa deberán preparar un plan de acción detallado, el cual incluirá los siguientes elementos:

- Una lista detallada de todas las actividades que deberán desarrollarse durante el resto del proyecto demostrativo, desde el diseño detallado de las medidas seleccionadas hasta la medición y evaluación de los beneficios logrados por las medidas implementadas en la planta.
- Fechas de inicio y término para cada una de las actividades.

- Nombre de las personas responsables para llevar a cabo cada una de las actividades.
- Nombre de la persona elegida por la empresa para supervisar todas las actividades que le han sido asignadas en el plan de acción. Esta persona deberá tener buenos conocimientos técnicos y suficiente autoridad dentro de la empresa para poder liderar esta tarea.

Se deberán también definir los mecanismos necesarios para monitorear el avance de las actividades planeadas, evaluar el cumplimiento del cronograma establecido, y, cuando sea necesario, modificar el plan de acción para tomar en cuenta retrasos, problemas y cambios en las actividades a desarrollar (CET PERU, 2005).

- *Implantar las opciones de PML:* Esta implantación, al igual que cualquier otro proyecto de ingeniería, involucra la modificación u obtención de nuevos equipos, de ahí que la metodología de implantación sea la misma que para cualquier otro tipo de proyecto (CMPL, 2004).

Los requisitos de implementación varían ampliamente según el tipo de opción. Para opciones técnicas complejas, el trabajo de implementación consta de las siguientes etapas:

- a) Preparación detallada: Selección del equipo, diseño de las modificaciones a las instalaciones, planificación del presupuesto para las inversiones requeridas;
- b) Planificación de la instalación: mano de obra, equipo de instalación, parada temporal de la línea de producción;
- c) Instalación;
- d) Capacitación de los operativos; y
- e) Puesta en marcha (CET PERU, 2005).

- *Supervisar y evaluar el avance:* Con la finalidad de generar un interés continuo en las empresas donde se implantó el programa de PML y de las empresas que estén por ingresar, deben realizarse una supervisión continua de los avances que presenten cada una de las opciones ya implantadas. Al término de la evaluación, se deberá recopilar y archivar toda la información para realizar un informe final a la planta, el cual estará destinado a proveer a la empresa de la información relevante en materia de mejoras o desventajas acaecidas por la implantación del proyecto (CMPL, 2004).

Las razones para dar seguimiento a la implementación de las recomendaciones en las empresas que ejecutaron el proyecto de PML son:

- Obtener información sobre el impacto de la ejecución de las recomendaciones en el rendimiento de la empresa.
- Entender mejor las barreras e incentivos que generan las decisiones de las empresas para asumir o ignorar las recomendaciones, lo que permitirá afinar las estrategias futuras en los proyectos de PML.

En esta evaluación deben de considerarse los siguientes factores:

- Cambios en las cantidades generadas de emisiones y residuos.
- Cambios en el consumo de recursos (materias primas y energía).
- Cambios en la productividad.

Al término de la evaluación, se deberá recopilar y archivar los datos a fin de realizar un informe final a la planta (informe de seguimiento), el cual estará destinado a proveer a la empresa de información relevante en materia de mejoras o desventajas acaecidas por la implantación del proyecto; de manera general la información que debe contener el informe es la siguiente:

- Informe ejecutivo de PML de la empresa
  - Evaluación de las causas de emisiones, residuos e ineficiencia energética,
  - Lista de opciones de PML, así como su factibilidad
  - Plan de implantación
  - Comparación de antes y después y evaluación de opciones
  - Informe de evaluación
  - Plan de acción a largo plazo de PML (CET PERU, 2005).
- *Mantener las actividades de PML:* La filosofía de PML, es considerarla como un programa de mejora continua, el cual tendrá por objetivo primordial el reducir constantemente las emisiones, residuos, consumo de materias primas y energéticos de la empresa. Es por esto que durante las etapas anteriores al programa, debe capacitarse a los miembros de la empresa con los conceptos de PML para que ellos continúen en esta labor una vez que el proyecto finalice (CMPL, 2004).

#### 2.4.6 PML y los Sistemas de Gestión Ambiental

Un Sistema de Gestión Ambiental es la parte de la estrategia de negocios de una empresa que incluye los aspectos ambientales en las políticas y acciones planeadas, asignación de responsabilidades, implementación de prácticas y procesos, asignación de recursos, revisión y mantenimiento de la organización.

La norma ISO 14001, contiene los requisitos que una organización debe cumplir para poder declarar que su gestión ambiental se adecua a este modelo reconocido internacionalmente.

La ventaja que presenta esta norma es que su implementación puede ser verificada a través de auditorías realizadas por terceros, lo que permite la certificación del sistema, a través de empresas acreditadas para tal fin. Sin embargo, cabe

mencionar que si bien es la más usada e internacionalmente reconocida, existen otros sistemas de gestión ambiental como el EMAS de la Comunidad Europea.

El principio sobre el cual se sustenta el sistema de gestión ambiental es la mejora continua sobre la base de la prevención de la contaminación, el cual es el mismo principio sobre el cual se desarrollan las estrategias de PML.

Además, los sistemas de gestión ambiental están basados en el modelo Planear – Hacer Verificar- Actuar sobre el cual también se desarrolla la metodología para la implementación de estrategias de PML. Es importante resaltar que existen otras similitudes entre ambas herramientas de gestión, las cuales se indican en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Similitudes de los sistemas de gestión ambiental

<b>PML</b>	<b>SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL</b>
Prevención de la contaminación	Prevención y control de la contaminación
Diagnóstico de oportunidades de PML	Diagnóstico ambiental inicial
Operaciones y hábitos de operación	Gestión de los aspectos ambientales
Beneficios ambientales que pueden ser comprobados	Mejora del desempeño ambiental ( potencial)
Beneficios ambientales y económicos	Cultura organizacional
Implementación de medidas	Programa de gestión ambiental
Seguimiento de la implantación de medidas	Implantación del programa
---	Monitoreo de avances
Evaluación de resultados	Revisión por la dirección, mejora continua
---	Legislación ambiental
---	Enfoque sistemático
---	Documentación
---	Certificación.

(CET PERU, 2005).

#### 2.4.7 Beneficios de la PML

Los beneficios en la aplicación de la metodología de PML, son varios y muy diversos, ya que la empresa disminuye la generación de residuos y desechos, así mismo los costos asociados con ellos.

Además de lo anterior:

- Mejora la imagen de la empresa ante la sociedad y los consumidores.
- Mejora la calidad de los productos y los servicios.
- Aumenta el potencial competitivo.
- Mejora la eficiencia en los procesos productivos.
- Disminuye las inversiones en sistemas de control al final del proceso.
- Constituye la base para garantizar el mejoramiento continuo de la gestión ambiental.
- Ayuda al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente.
- Es una estrategia encaminada al Desarrollo Sostenible (Christie y Rolfe, 1995).

##### 2.4.7.1 Beneficios Financieros

Dentro de los beneficios financieros, se encuentran:

- Reducción de costos por optimización del uso de las materias primas.
- Ahorros debidos al mejor uso de los recursos (agua, energía, etc.)
- Menores niveles de inversión asociados al tratamiento y/o disposición final de desechos.
- Y por lo tanto, aumento de las ganancias (PNUMA, 2004).

#### 2.4.7.2 Beneficios Ambientales

- Uso eficiente de materiales.
- Minimización y eliminación de desechos
- Reducción de emisiones (CPTS, 2003).

#### 2.4.7.3 Beneficios Operacionales

- Aumenta la eficiencia de los procesos
- Mejora las condiciones de seguridad y salud ocupacional.
- Mejora las relaciones con la comunidad y la autoridad.
- Reduce la generación de los desechos.
- Proporciona un efecto positivo en la motivación del personal (PNUMA, 2004).

#### 2.4.7.4 Beneficios Comerciales

- Permite comercializar mejor los productos posicionados y diversificar nuevas líneas de productos.
- Mejora la imagen corporativa de la empresa.
- Logra el acceso a nuevos mercados.
- Aumentan las ventas y el margen de ganancias (PNUMA, 2004).

### **III. HIPÓTESIS**

Al aplicar la metodología de PML a los procesos de transformación de frutas y verduras se reducirá el consumo de agua potable del 15 al 25 %, así como el consumo de energía eléctrica y residuos procedentes de la planta de tratamiento de aguas.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. General**

Identificar, evaluar y cuantificar los beneficios ambientales con la aplicación de la Metodología de PML en una planta transformadora de frutas y verduras.

### **4.2. Específicos**

1. Planear y organizar las áreas involucradas.
2. Evaluar el desarrollo del diagrama de flujo del proceso.
3. Evaluar balances de materia.
4. Realizar un estudio de factibilidad económica- ambiental.
5. Implantar la PML.

## V. METODOLOGÍA

Para la realización del presente proyecto, se hizo una revisión bibliográfica del sector de los alimentos que es donde se encuentra ubicada la empresa en estudio. Se realizaron visitas para conocer su estatus ambiental, los procesos y los productos que generan. Con los datos recabados, se realizaron balances de materiales y flujos durante los procesos desde las materias primas hasta el producto terminado. Se revisaron las prácticas usadas durante el procesamiento de sus productos y todas las áreas de la empresa (áreas de servicios, almacenes, oficinas, proceso, plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de potabilización del agua, área de calderas, etc.). Con la ayuda de herramientas como los economapas y balances de materiales, se localizaron áreas de oportunidad para disminuir el consumo de agua, energía y generación de residuos. Se siguieron las cinco fases que sugiere la aplicación de la metodología de la PML, estas fases se describen a continuación:

### 5.1. Fase I

La gerencia de la planta brindó apoyo para la aplicación de la Metodología de PML, al estar convencida de sus beneficios.

Para esto, se mostraron casos exitosos de la aplicación de PML en empresas del giro de los alimentos, presentando costos, porcentajes de ahorro, tiempo de retorno de las inversiones y la gran variedad de beneficios económicos y ambientales. Con este primer paso, se obtuvo el compromiso de la empresa, se formó el grupo de trabajo y se identificaron las barreras existentes y sus primeras soluciones.

Por el compromiso que asumió la empresa fue la de proporcionar los recursos materiales, humanos y financieros para lograr los objetivos del proyecto.

Como siguiente paso, se definieron las metas de PML en conjunto con el equipo de trabajo (personal de ecología, calidad, producción, mantenimiento y proyectos), considerando algunos criterios como:

- Efectos a la salud.
  - Metodología de disposición final de residuos.
  - Incremento de la productividad
  - Emisiones contaminantes de agua y aire.
  - Costos por disposición de residuos
  - Condiciones de operación y proceso.
  - Costos por consumo de insumos y materias primas
- ( CMPL, 2004).

## 5.2. Fase II

En esta fase, se desarrollaron los diagramas de flujo de forma cualitativa con el objetivo de conocer y analizar los procesos productivos que realiza la compañía. Con esta información, se obtuvieron las entradas y salidas de materias primas, insumos, residuos, emisiones y subproductos generados en los procesos antes mencionados, que sirvieron para realizar un adecuado análisis de eficiencia de las operaciones unitarias involucradas dentro de los procesos.

Partiendo de este diagnóstico inicial, se establecieron las metas específicas y detalladas para cada uno de los procesos, considerando los siguientes criterios:

- Etapas de mayor generación de residuos, emisiones y descargas.
  - Etapas con mayores pérdidas económicas.
  - Costos de materias primas y energéticos.
  - Costos por administración de residuos y emisiones.
  - Riesgo de seguridad para el personal y su entorno.
- ( CMPL, 2004).

### 5.3. Fase III

En esta fase, se elaboraron cuantitativamente los balances de materiales involucrados en los diagramas de flujo, y las causas de las fallas, generando y seleccionando las opciones de PML para los procesos de productivos.

Por medio de estos balances se estimaron los costos de operación de los procesos y se determinaron las entradas y salidas no cuantificadas anteriormente.

Para realizar estos balances, se tomaron como apoyo las siguientes fuentes de información:

- Registros de compra de materias primas.
- Inventario de materiales y emisiones contaminantes.
- Registro de composición de lotes.
- Especificaciones del producto.
- Registros de operación estándar y manuales de operación.
- Registros de los consumos de energía eléctrica, agua y combustible (Gas natural).
- Limpieza de equipo y procedimientos de operación.

(CMPL, 2004).

Una vez obtenido el balance cuantitativo de entradas y salidas, se utilizó como herramienta básica para evaluar las causas que generan dichas emisiones y residuos o de cualquier otra situación de interés encontrada en las fases anteriores. Partiendo de esta base, se determinó las variantes a cambiar y/o modificar para lograr una adecuada actividad productiva en la empresa.

Conociendo las fuentes de generación de residuos y emisiones así como las fuentes de desperdicio de materias primas e insumos, se inició la búsqueda de medidas correctivas. Para estas opciones se consideraron las sugerencias de la

gerencia de la Compañía. Algunos puntos básicos que generaron opciones de PML son:

- Cambios y modificaciones en tecnologías.
- Buenas prácticas operativas.
- Reuso y/o reciclaje en planta.

Las opciones que se generaron se seleccionaron en base a la factibilidad, costos de implantación, rentabilidad, etc., tomando en cuenta los siguientes criterios:

- Opciones prioritarias.
- Factibilidad en la implantación de las operaciones.

( CMPL, 2004).

#### 5.4. Fase IV

En esta fase, se evaluaron las opciones seleccionadas de forma técnica, económica y ambiental, donde se considerará también el impacto que podrían tener. Estas se compararán de la siguiente manera:

- Opciones técnicas contra procedimientos.
- Opciones relativamente sencillas contra opciones complejas.
- Opciones de bajo, medio o alto costo.

Una vez realizadas las evaluaciones, la información recopilada para cada opción se sometió a un proceso redocumentación en donde se asentaron los criterios de evaluación. La selección se realizó en base a los recursos tecnológicos y económicos con los que se contaban en el momento de la evaluación (CMPL, 2004).

## 5.5. Fase V

En esta última fase, se implementaron las opciones de PML detectadas para la Compañía de forma que se pudieron observar los beneficios económicos, ambientales y de proceso. Estos resultados se presentaron en porcentajes de ahorro en el consumo de agua potable, energéticos y de productos químicos, que se reflejaron en la minimización de emisiones y residuos generados en los procesos realizados por la empresa. Así mismo, se incluyeron los costos de implementación, ahorros económicos y el periodo de recuperación de las inversiones.

### 5.5.1 Herramientas para el análisis financiero

Adicional a la evaluación técnica de las opciones de PML a implementar, es necesario determinar la viabilidad económica de las mismas mediante métodos de valoración de inversiones, con el fin de seleccionar la mejor entre varias opciones.

La viabilidad económica consiste en evaluar el impacto económico de las recomendaciones de PML planteadas, desde el punto de vista de la inversión como de los costos y beneficios de su implementación. Se hace necesario entonces realizar una serie de cálculos de ahorros obtenidos y del período de retorno de la inversión necesaria para implementar las alternativas propuestas.

En la práctica, el método más usado para realizar este análisis es el cálculo del reembolso (tasa de reembolso), Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Retorno de la Inversión (RI), los cuales pueden dividirse en métodos estáticos y dinámicos. La diferencia ente éstos radica en la consideración de la variable temporal. Entre estos métodos los estáticos son los más sencillos de manejar dado que:

- Consideran el valor del dinero hoy igual al valor del dinero en el futuro.
- Muestran una primera aproximación a la realidad pero no muy precisa.

- Dan una idea muy optimista de las inversiones (mayor en cuanto más largo sea el periodo de tiempo).
- Son rápidos de calcular.

### 5.5.2 Tiempo de retorno

El método del Retorno es uno de los más usados entre los métodos estáticos. El tiempo de retorno representa el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial ( se anticipa al futuro). Un periodo más largo de tiempo implica mayor riesgo ( ya que pueden cambiar las condiciones) y una reducción de la liquidez de la compañía (el capital está congelado en la inversión y sólo se recupera gradualmente).

El método del retorno de la inversión es la forma más simple de comparar económicamente una o varias ideas de un proyecto. El método explica cuánto tiempo se tardará en librar la inversión realizada en el proyecto. Un largo período de tiempo implica un mayor riesgo y reducción de la liquidez. La alternativa con el menor tiempo de retorno deber ser la elegida.

$$PRI = \frac{I}{Q}$$

*PRI* = Periodo de recuperación de la inversión

*I* = Inversión neta

*Q* = Ahorro anual = ( en promedio ) Flujo de caja debido a la inversión = ( dinero entra) – ( dinero sale)

#### NOTA

En el cálculo del retorno de la inversión se considera únicamente el dinero que entra y sale debido a la inversión, es decir, no se consideran los costos contables tales como la depreciación.

Deben tenerse cuidado en expresar todos los términos en las mismas unidades de tiempo (meses, años, etc.).

a) Fortaleza de la herramienta

- Entendible incluso para inversionistas que no tengan experiencia en administración de negocios.
- Cálculo simple.
- Los datos necesarios pueden encontrarse fácilmente en los registros contables.
- Presentación clara de resultados.

b) Debilidades de la herramienta

- La limitación a un promedio anual es bastante inexacta.
- No se tiene en cuenta la fecha de realización de los pagos.
- La vida útil esperada de la inversión no se tiene en cuenta de forma eficaz.

Se debe seleccionar la alternativa que presente menor tiempo de retorno de inversión.

c) Tasa de reembolso

La tasa de reembolso expresa cuantas veces en el periodo de tiempo establecido se recupera el capital. Por ej. 2.5 veces significa que el capital se recupera 2.5 veces durante el periodo de tiempo establecido para la inversión. Esta tasa se calcula así:

$$TR = \frac{t}{PRI}$$

*TR* : Tasa de reembolso

*PRI* : Periodo de recuperación de la inversión

*t* = periodo de tiempo en la inversión

### 5.5.3 Retorno de la inversión (RI)

Analizando el RI pueden compararse diferentes alternativas (Ej. Ahorro, extensión, nuevos productos, redimensionamiento). Como se trata de un cálculo estático, las inversiones se juzgan de forma sobre-optimista. Esto es real especialmente cuando la tasa de interés es alta y/o el periodo de tiempo es largo.

Este método relaciona las ganancias con el capital invertido, y se obtiene al dividir el VPN de las utilidades entre el valor presente de la inversión. Como resultado se toma el valor absoluto.

Un problema de este método es que no se considera el periodo de tiempo. Así una inversión del mismo capital a 10 años y utilidades de 5,000,000 de pesos al año se considera igual a una inversión a 2 años con una utilidad de 5,000,000 de pesos.

$$RI = \frac{P}{I}$$

RI = Retorno de la inversión

$P$  = Utilidad (entrada (o ahorro) adicional debido a la inversión menos el costo adicional debido a la inversión (operacional + depreciación + costo de capital )

$I$  = Inversión

Criterio de decisión: Elegir la alternativa con mayor RI

a) Fortalezas de la herramienta:

- Se puede hacer un análisis rápido
- Pueden compararse diferentes inversiones

b) Debilidades de la herramienta:

- No se considera el periodo de tiempo de la inversión
- No se considera el valor del dinero en el tiempo (CNPML, 2005).

## VI. RESULTADOS

### 6.1 Fase I

En la primera fase, se expusieron casos exitosos de la aplicación de PML en empresas del giro de frutas y verduras, presentando los beneficios ambientales, económicos y tecnológicos que obtuvieron empresas en México así como de otros sectores productivos.

Conociendo los beneficios del estudio de PML, se conformó el equipo de trabajo aprobado por las respectivas Gerencias de Ingeniería, Calidad, Producción, Administración y Finanzas, como lo muestra la Figura 11.

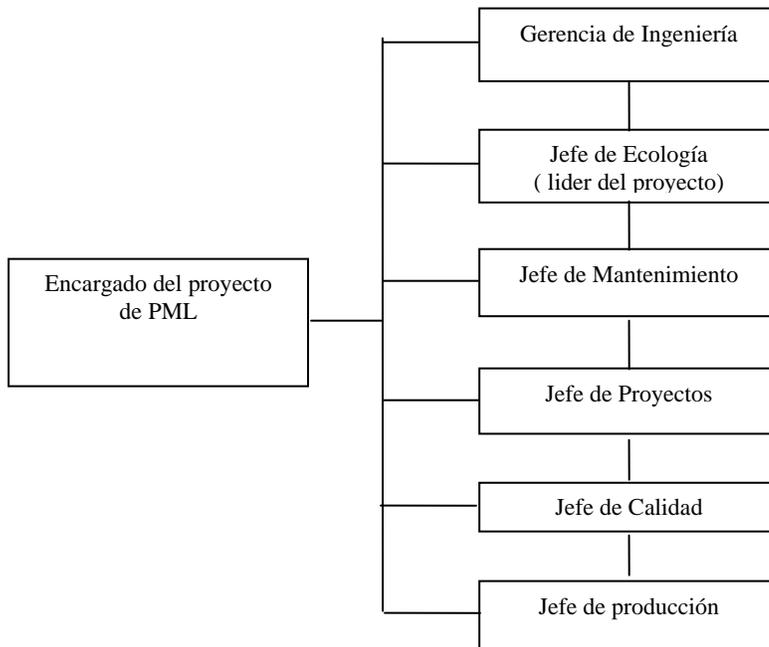


Figura 11. Equipo de trabajo para la PML.

Las metas generales de PML que se definieron por parte del equipo de trabajo fueron las siguientes:

- 1) **Costos económicos y ambientales por el alto consumo de agua:** El agua utilizada para la elaboración de los productos es agua de pozo, la cual es previamente potabilizada. El consumo total de agua de la Empresa se obtuvo de un medidor de flujo que se encuentra instalado en la descarga del pozo. También fue posible cuantificar la cantidad del agua que se utiliza para el proceso en el equipo de Osmosis Inversa. La función principal de este equipo es disminuir la cantidad de sólidos disueltos, mediada como conductividad eléctrica. El consumo promedio mensual es 34,540 m<sup>3</sup> (datos obtenidos durante cinco meses) y el indicador proporcionado de litros de agua consumida por kilogramo de producto terminado es de 12.85, y una generación promedio mensual de aguas residuales de 995 m<sup>3</sup> (balances hidráulicos realizados en conjunto con los 5 meses de consumo de agua potable), que se ven reflejados en aspectos ambientales y económicos de la compañía.
  
- 2) **Costos por consumo de materias primas y energéticos:** Se estableció complementar la meta anterior con ésta, debido a que los consumos de materias primas y energéticos pueden ser disminuidos con simples cambios tecnológicos, buenas prácticas operacionales, estableciendo procedimientos y capacitación. Dentro de los energéticos considerados está el suministro de vapor, agua, electricidad y aire a las diferentes etapas del proceso.
  
- 3) **Métodos para la disposición final de sus residuos:** La empresa cuenta con un programa integral de recolección, manejo y disposición final de residuos peligrosos y no peligrosos. Sin embargo hay áreas de oportunidad que se pudieron mejorar como el cambio del químico que se

utiliza en la neutralización de las aguas residuales para su tratamiento, para evitar la generación de bolsas vacías de hidróxido de sodio consideradas como residuos peligrosos. Se genera un total de 300 kgs al mes y tiene un costo de disposición de \$ 2,400.00 mensuales. La disposición inadecuada de los lodos procedentes de la planta de tratamiento puede dar origen a la contaminación del aire (generación de malos olores), del agua (subterránea y superficial) y del suelo. Por otra parte, la disposición de estos residuos en rellenos sanitarios pueden provocar problemas de operación en el relleno (debido al contenido de humedad que presentan los residuos, aproximadamente el 80%).

- 4) **Condiciones de operación y proceso:** Las buenas prácticas operacionales son actividades de gestión y proceso que ayudan a reducir la generación de residuos. Por tal motivo, en las reuniones de trabajo y basados en los casos exitosos de otras empresas del sector agroindustrial, se consideró que las buenas prácticas operacionales identificadas dan como resultado una mejor calidad del producto, una reducción de los costos de operación y la disminución de los residuos generados, al mismo tiempo que mejoran el ambiente laboral.
  
- 5) **Emisiones contaminantes de agua:** Las emisiones contaminantes más importantes son las de las aguas residuales procedentes de las descargas de los procesos de lavado de las frutas y vegetales, así como de la limpieza de equipo. Las aguas residuales generadas en el proceso de lavado de frutas y verduras, se caracterizan por contener principalmente sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta y suspendida. También es común encontrar pesticidas, insectos, lechada soluble y jugos provenientes de la materia prima, hojas, tallos y otras partes de las plantas. El consumo de agua para los lavados de fruta y verduras varía enormemente dependiendo del tipo de producto.

- 6) **Emisiones contaminantes al aire:** La contaminación por emisiones a la atmósfera no es un problema ya que se cumple con las Normas vigentes en materia de aire, sobre todo en las emisiones de las calderas para producir vapor. Sin embargo, el cambio de combustóleo por combustibles limpios como el gas natural, disminuir considerablemente los contaminantes al ambiente como son el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, material particulado, CO<sub>2</sub> ( gas de efecto invernadero) lo que implica un menor aporte de la planta al calentamiento global del planeta, así como la disminución de mantenimiento en los quemadores ya que se tendrá mejor combustión.

## 6.2 Fase II

En esta segunda fase, se desarrollaron los diagramas de flujo de forma cualitativa, donde se pudo conocer y analizar los procesos de potabilización del agua y de los procesos de transformación de frutas y verduras de forma general. De esta manera, se detectaron las áreas de los procesos con mayor oportunidad de mejora ambiental, así como las entradas y salidas de materias primas, insumos, residuos, emisiones, y subproductos generados por los procesos.

De acuerdo a lo anterior se establecieron metas específicas y detalladas para cada uno de los procesos, considerando los siguientes criterios.

- Etapas de mayor generación de residuos y emisiones.
- Etapas de mayores pérdidas económicas.
- Costos de materias primas y energéticos.
- Costos por administración de residuos y emisiones.
- Riesgo de seguridad para el personal y su entorno.

Para la revisión inicial ambiental de la empresa, se realizaron dos eco-mapas para identificar las áreas de acceso, administrativas, de almacenamiento, equipos de procesos, sistema de potabilización del agua, descarga de aguas residuales y en

general todas las áreas, que ayudaron a mostrar de forma gráfica las áreas de oportunidad y mejoras dentro de los procesos de la compañía (Anexo 4,5 y 6).

### 6.2.1 Diagramas de flujo

La empresa cuenta con un sistema de potabilización del agua de pozo y dos líneas de producción: una de frutas y la otra de verduras.

A continuación se presentan los diagramas de flujo de los procesos de potabilización y de los procesos de producción de frutas y verduras, así como su descripción.

#### 6.2.1.1 Diagrama de flujo del sistema de potabilización

En la Empresa se consume agua potable que se extrae de un pozo y recibe un tratamiento para su potabilización debido a que se requiere alta calidad de agua para la elaboración de los productos, de acuerdo a lo establecido en la modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental. Que expresa los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización en el uso y consumo humano.

La secuencia de tratamiento es como se muestra en la Figura 12 y en el Cuadro 8, se presentan las entradas y salidas y condiciones de operación del sistema de potabilización del agua.

El agua se extrae de un pozo y pasa a través de filtros de grava y arena para remover las arcillas y arenilla que pudiera venir en el agua; después es almacenada en una cisterna que alimenta a los suavizadores en función de la demanda de producción. En los suavizadores se remueve dureza total de calcio y magnesio, a continuación pasa el agua al sistema de desinfección donde se inyecta cloro para reducir o eliminar microorganismos patógenos que pudieran causar un daño a la

salud, una cantidad de agua clorada se va a servicios generales y la otra parte es destinada como agua de proceso la cual pasa a través de filtros de carbón activado para dechlorar, quitar color, olor, sabor y compuestos orgánicos volátiles, finalmente pasa al equipo de osmosis inversa donde se elimina una cantidad de sales disminuyendo la conductividad eléctrica.

El consumo de agua total se mide a través de un totalizador de flujo en la descarga del pozo y en el equipo de osmosis inversa que se monitorea diariamente.

De acuerdo a lo anterior, se revisó cada una de las etapas del proceso de potabilización, encontrándose etapas de mayor generación de agua residual (agua que no cumple con la calidad para ser potable, la cual puede ser empleada en otros usos). Las etapas de mayor impacto son: Suavizadores durante los procesos de regeneración de los mismos, Retrolavados de los filtros de carbón activado y Rechazos de agua de la osmosis inversa que es el 45% de la producción total de agua tratada en el mismo equipo.

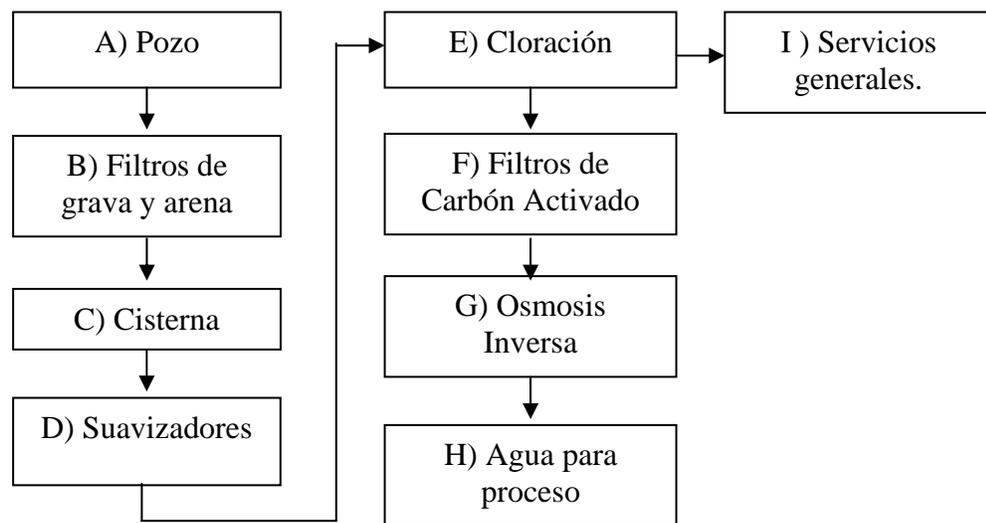


Figura 12. Diagrama de flujo del proceso de potabilización.

Cuadro 8. Entradas, salidas y condiciones de operación del sistema de potabilización del agua.

<b>Etapa</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida1</b>	<b>Salida 2</b>	<b>Condiciones de operación</b>
B) Filtros de grava y arena	Agua con arena, tierra, arenilla	Agua con impurezas	Agua tratada	4.0 Psig, retrolavados cada semana
D) Suavizadores	Agua con dureza	Agua con alta dureza	Agua con baja dureza	4.0 Psig., regeneración 15 ppm de dureza
F) Filtros de Carbón Activado	Agua con cloro,	Agua con impurezas	Agua sin cloro, olor, sabor	Retrolavados diarios, sanitización cada mes.
G) Osmosis Inversa	Agua con sales disueltas	Agua con alto contenido de sales	Agua con bajo contenido de sales disueltas	55% recuperación 45% rechazo

### 6.2.1.2 Diagramas de flujo del proceso de elaboración de frutas y verduras

La elaboración de jugo, néctares y purés se realiza en dos líneas, una de frutas y una de verduras, las cuales constan de varias etapas (Figuras 13 y 14). Dependiendo del programa de producción se realiza la variedad de la fruta y de verdura. Los Cuadros 9 y 10 se presentan las entradas y salidas y condiciones de operación de los procesos de elaboración de frutas y verduras respectivamente.

De acuerdo a lo anterior, se observa que las etapas de mayor generación de residuos y emisiones contaminantes son la etapa de lavado, pelado y en la etapa de formulación, en la zona de lavado se generan grandes cantidades de aguas residuales, se caracterizan por contener principalmente sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta.

En la etapa del proceso de pelado, se generan importantes cantidades de aguas con alto contenido de materia orgánica soluble y sólidos suspendidos. Las aguas del proceso de escaldado y del proceso de evaporación también tienen alto contenido de materia orgánica soluble.

El consumo de agua de los lavados varía enormemente dependiendo del tipo de fruta. En algunos casos, alcanza el 50% del agua total usada en la producción, pudiendo variar desde 0,2 hasta 10 m<sup>3</sup>/ton de producto (Ecoomopoulos A., 1993)

Otra zona donde se generan aguas residuales es en la etapa de lavado de equipos. Éstas se caracterizan por sufrir bruscas variaciones de pH con picos ácido y básico. A su vez, es común encontrar detergentes y materia orgánica disuelta.

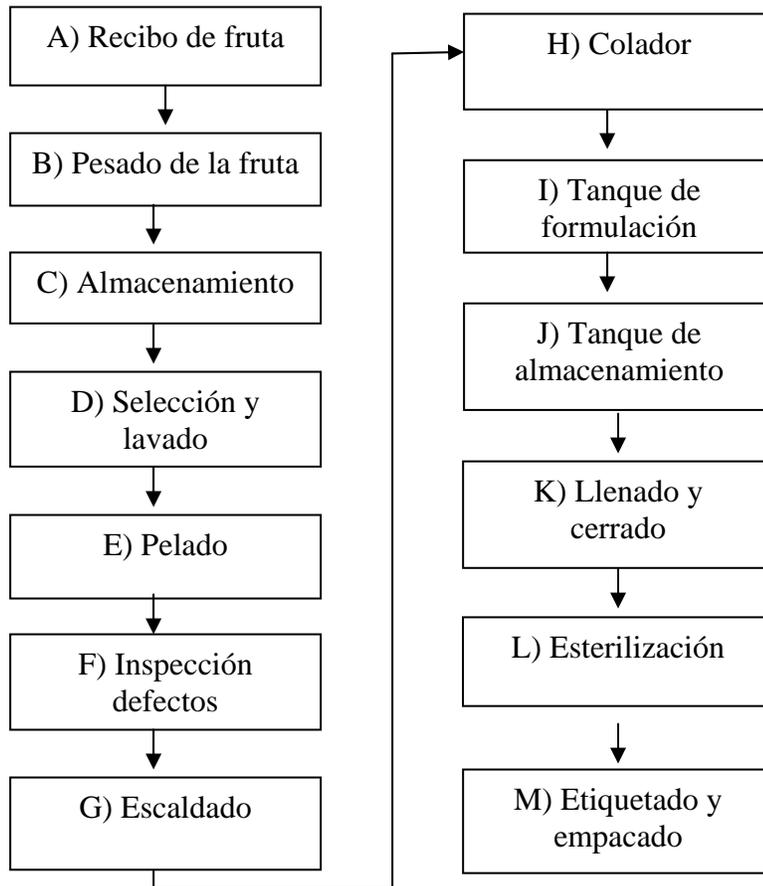


Figura 13. Diagrama de flujo básico del proceso de elaboración de purés de frutas (López, 1987a).

Adicionalmente, existen procesos característicos generadores de residuos líquidos, entre ellos destaca el proceso de pelado, donde se generan importantes cantidades de aguas con alto contenido orgánico soluble y sólidos suspendidos. Las aguas de proceso del escaldador y del proceso de evaporación también tienen alto contenido de materia orgánica soluble.

La cantidad y calidad de todos los efluentes combinados de la industria de frutas están muy relacionadas con el proceso.

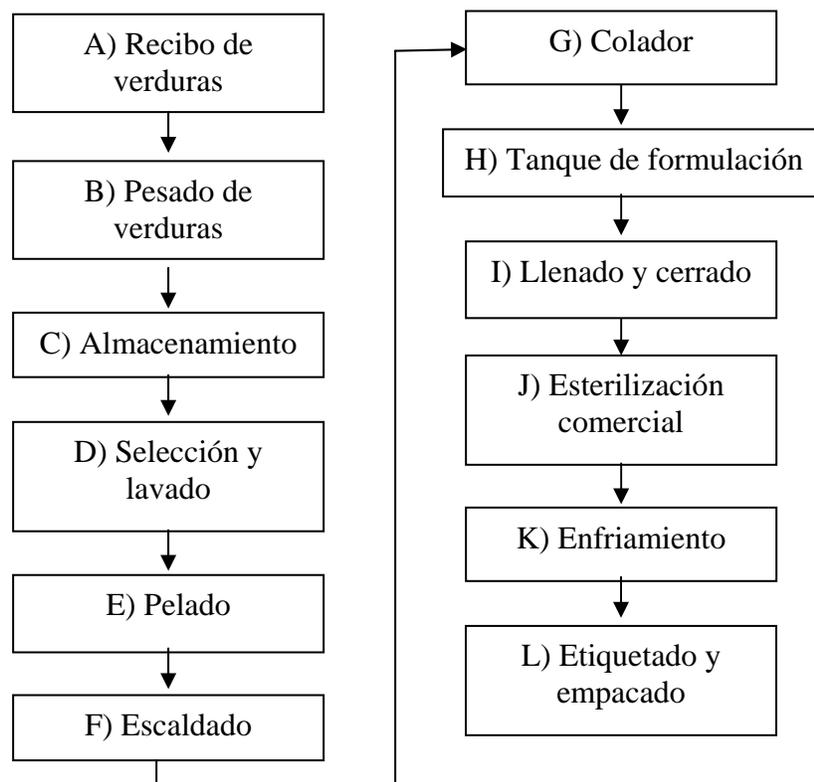


Figura 14. Diagrama de flujo básico del proceso de elaboración de pures de verduras (López,.1987a).

Cuadro 9. Entradas y salidas y condiciones de operación del sistema del proceso de elaboración de purés de frutas.

<b>Etapas</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Condiciones de operación</b>
D) Selección y lavado	Fruta, agua, cloro	Agua residual, desechos de fruta	Agua a presión
E) Pelado	Fruta, agua	Agua residual, desechos de fruta	Mecánico @ 90 seg. 100 psig., y manual
G) Escaldado	Fruta, vapor, agua	Agua residual, desechos de fruta	Temperatura
H) Colador	Fruta,	Desechos de fruta	Temperatura y presión
I) Tanque de formulación	Fruta, vapor, agua e ingredientes	Agua residual, Residuos de fruta	82 – 88°C mezclado
K) Llenado y cerrado	Fruta, vapor, agua	Agua residual, desechos de fruta	85 °C y presión
L) Esterilización	Fruta, vapor, agua	Agua residual	88 - 93°C. agua en cascada Stericooler
K) Enfriamiento	Producto, agua	Agua residual	40 °C

Cuadro 10. Entradas y salidas y condiciones de operación del sistema del proceso de elaboración de pures de verduras.

<b>Etapa</b>	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Condiciones de operación</b>
D) Selección y lavado	Fruta, agua, cloro	Agua residual, desechos de fruta	Agua a presión
E) Pelado	Fruta, agua	Agua residual, desechos de fruta	90 seg. 100 psig
G) Escaldado	Fruta, vapor, agua	Agua residual, desechos de fruta	30 min.
H) Colador	Fruta	Desechos de fruta	0.033 plg. De diámetro
I) Tanque de formulación	Fruta, vapor, agua e ingredientes	Agua residual, Residuos de fruta	93 °C
K) Llenado y cerrado	Fruta, vapor, agua	Agua residual, desechos de fruta	Temperatura
L) Esterilización comercial	Producto, vapor, agua	Agua con impurezas	40-50 min, 115-121°C
K) Enfriamiento	Producto, agua	Agua con impurezas	40 °C

#### 6.2.1.3 Metas específicas

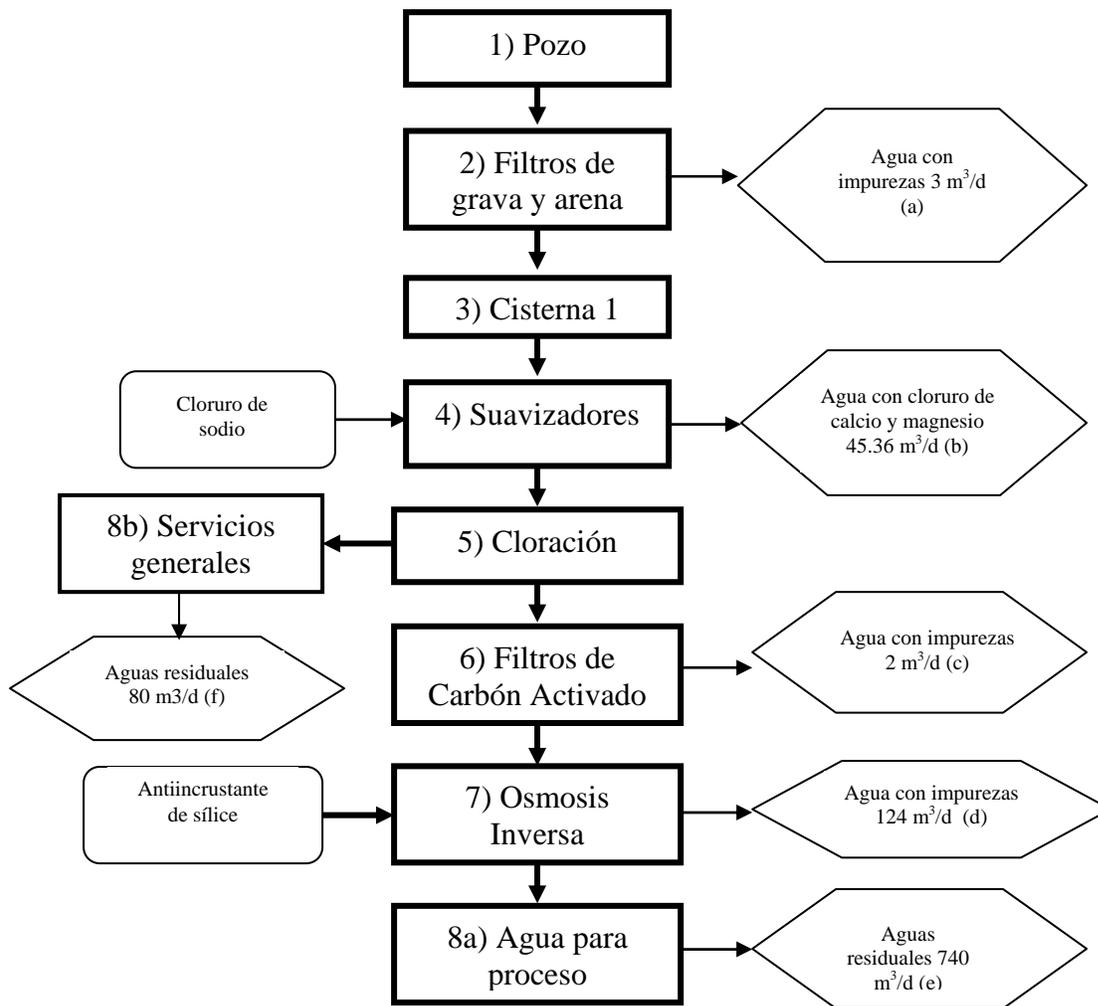
Las metas específicas del estudio de PML para la Compañía procesadora de frutas y verdura se establecieron en base a la información anterior y datos proporcionados por personal involucrado en el proyecto. Estas metas fueron:

- Disminuir el consumo excesivo de agua.
- Disminuir la generación de aguas residuales.
- Disminuir la carga orgánica que llega a la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Disminuir la generación de residuos sólidos peligrosos y no peligrosos.

- Recuperar producto en los cambios del tipo de fruta y verdura.
- Disminuir los consumos de energía eléctrica en diferentes áreas de la planta.
- Disminuir el consumo de vapor.
- Cambiar el combustible que se utiliza en calderas por otro más limpio.

### 6.3 Fase III

En esta tercera fase se realizaron en forma cuantitativa los balances de entradas y salidas de materiales en el proceso de potabilización de agua (Figura 15 ) y en las líneas procesadoras de frutas y verduras (Figuras 16 y 17).



Suma de a+b+c+d+e+f = 995m<sup>3</sup>/d descarga hacia la Planta de tratamiento de aguas residuales.

Figura 15. Balance cuantitativo de entradas y salidas en el proceso de potabilización.

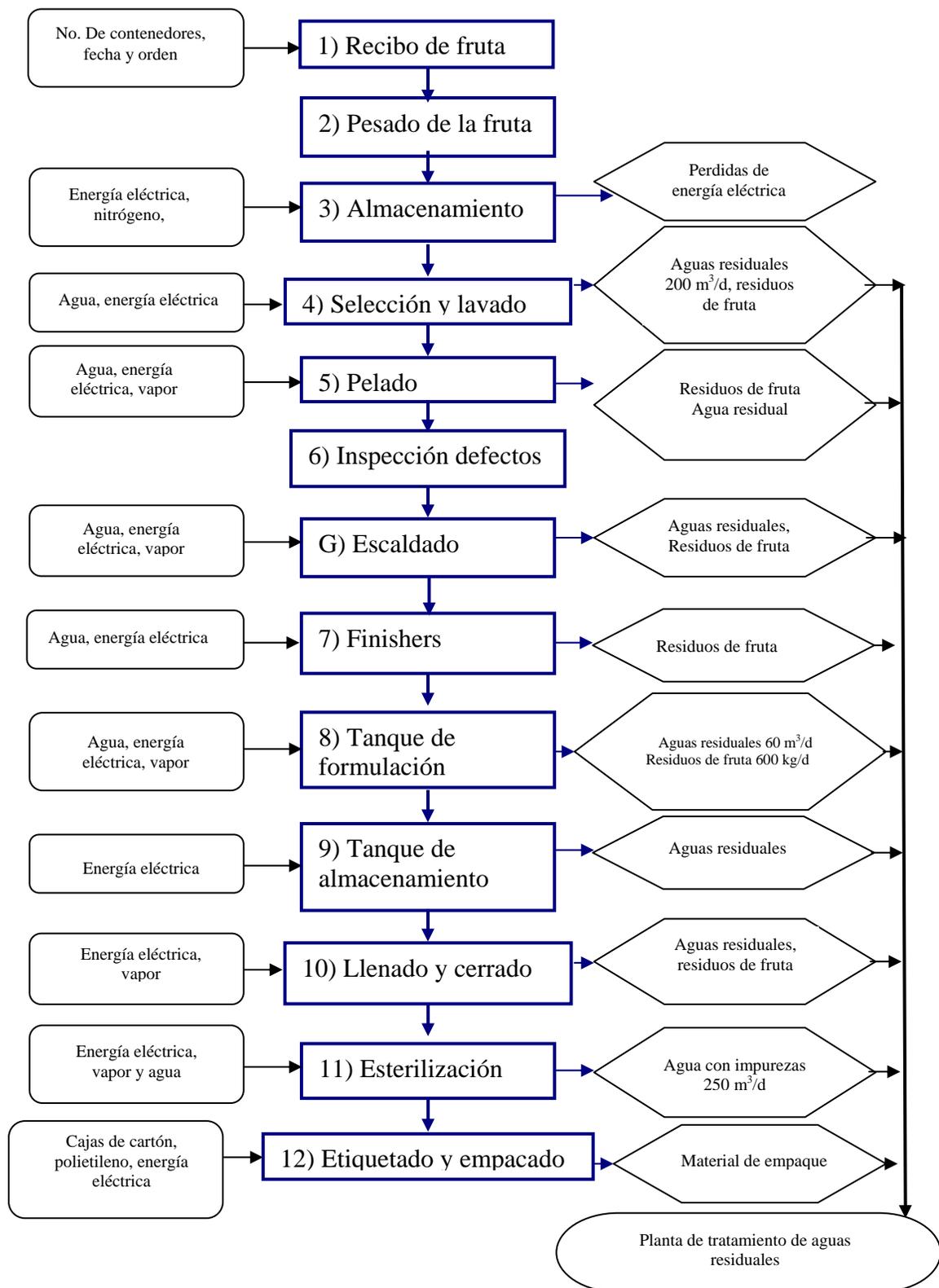


Figura 16. Balance cuantitativo de entradas y salidas del proceso de elaboración de purés de frutas.

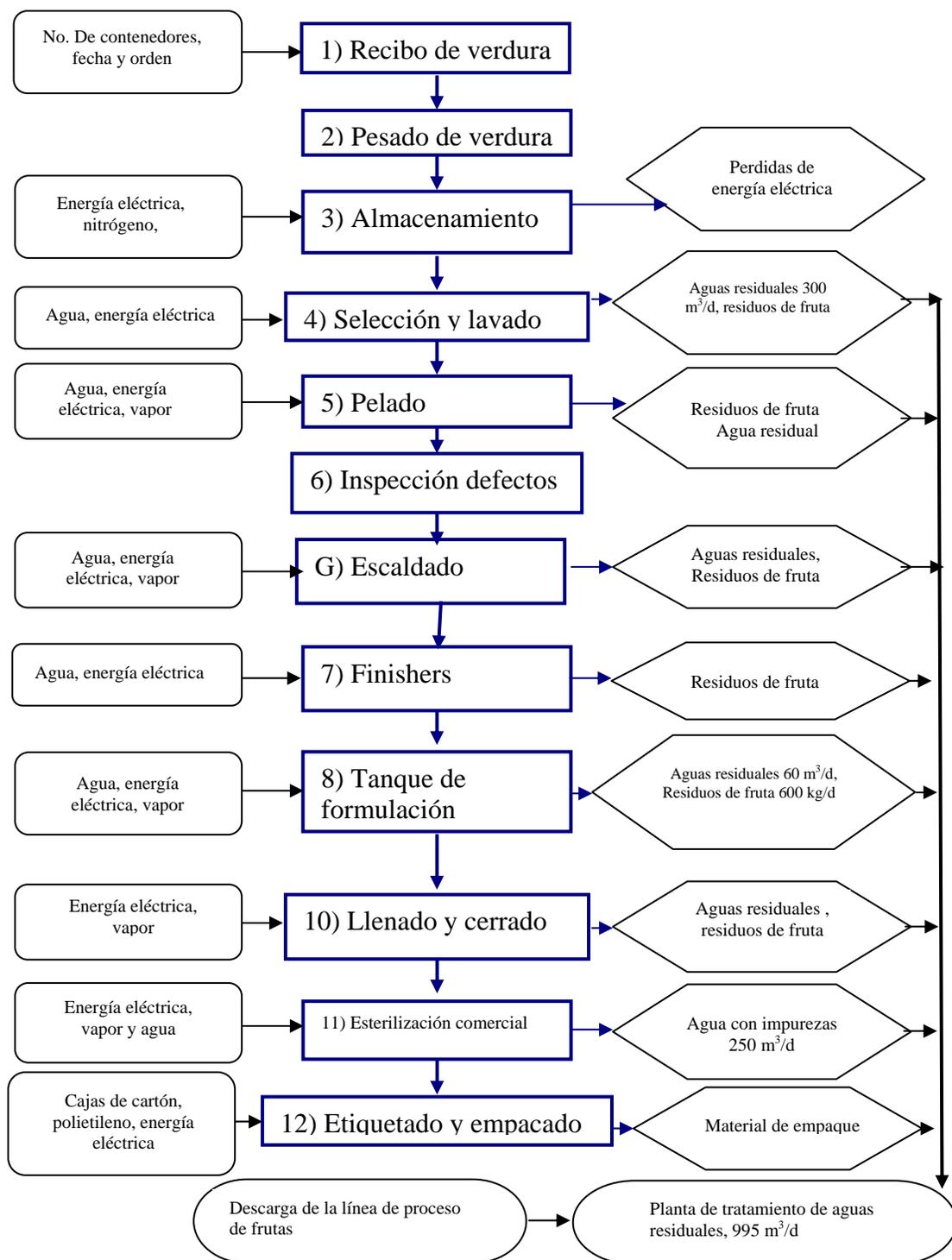


Figura 17. Balance cuantitativo de entradas y salidas del proceso de elaboración de productos a base de verduras.

La auditoría ambiental fue una herramienta de apoyo a los balances de materiales y diagramas de flujo que ayudaron a generar las opciones de PML y las medidas correctivas que se presentaron a la Gerencia de la Compañía que transforma frutas y verduras. Donde se identificaron 10 opciones para el agua, 3 en aire, 5 en residuos sólidos y 8 en electricidad.

En el Cuadro 11 se muestra explicadas las opciones de PML que se generaron.

Cuadro 11. Resumen de opciones de PML.

<b>Componentes</b>	<b>Opción</b>	<b>No. Recomendaciones</b>
<b>Agua</b>	Recuperar agua de la regeneración de los suavizadores.	1
	Recuperar agua de rechazo de la Osmosis Inversa.	2
	Consumo excesivo de agua en los procesos de esterilización y enfriamiento.	1
	Consumo excesivo de agua en los procesos de lavado de frutas y verduras.	2
	Recuperar condensados en diferentes áreas de la planta	1
	Reposición de agua en torres de enfriamiento, con agua del sistema de esterilización.	2
	Reutilización de aguas residuales.	1
<b>Aire</b>	Minimización de emisiones en las calderas.	1
	Minimización de olores de los lodos procedentes de la planta de tratamiento de aguas.	2
<b>Residuos</b>	Eliminación de residuos peligrosos del empaque del producto químico que se utiliza como neutralizante en la planta de tratamiento.	2
	Minimizar la cantidad de lodo procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales.	2
	Minimizar la cantidad de derrames de producto en los tanques de formulación.	1
<b>Energía eléctrica</b>	Regular presión de aire, cambio de compresores por otros más eficientes, parar equipos en horas pico.	3
	Cambiar bomba de pozo por otra de menor capacidad de potencia, sin alterar el flujo.	1
	Automatización de ventiladores de torres de enfriamiento	2
	Minimización de energía eléctrica por cambio de combustible en calderas.	1
	Minimizar el consumo de energía eléctrica en el refrigerador.	1

#### 6.4 Fase IV

En esta cuarta fase, se evaluaron de forma ambiental, técnica y económica las opciones de PML generadas en las fases anteriores. Estas opciones se compararon en base a la complejidad, la técnica o procedimiento y al costo (bajo, medio o alto).

La información recopilada fue presentada a la empresa junto con el costo estimado de las opciones, el retorno de la inversión y una lista de proveedores donde podrán encontrar los materiales y equipo necesarios para la implementación de las actividades, como lo muestra los Cuadros 12, 13, 14 y 15.

**Cuadro 12. Evaluación de beneficios ambientales, técnicos y económicos de las opciones de PML en agua.**

Recomendación	Beneficio			Costo Estimado	Retorno de la inversión
	Técnico	Económico	Ambiental		
Reutilizar el agua de regeneración de los suavizadores para la preparación de químicos en la planta de tratamiento de aguas.	Evitar tirar el agua directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.	Al dejar de utilizar agua potable para las áreas donde se utilizará el agua de los suavizadores se genera un ahorro de agua potable.	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$110,000.00	0.8 años
Recuperar agua de rechazo de la Osmosis Inversa.	Evitar tirar el agua directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.	Al dejar de utilizar agua potable para las áreas donde se utilizará el agua de rechazo se genera un ahorro de agua potable.	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$60,000.00	0.8 años
Instalación de un sistema cerrado donde se pueda reusar el agua en los procesos de esterilización y enfriamiento.	Evitar tirar el agua directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.	Al dejar de utilizar agua potable se genera un ahorro de agua potable	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$700,000.00	1.1 años
Reducir el número de espreas en los lavadores de frutas y verduras y reutilizar el agua de la segunda etapa de lavado a la primera etapa de lavado.	Evitar tirar el agua directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.	Al dejar de utilizar agua potable se genera un ahorro económico	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$68,000.00	1.7 meses
Recuperar condensados en diferentes áreas de la planta	Evitar tirar el agua directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.	Al dejar de utilizar agua potable se genera un ahorro de agua potable y energía.	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$140,000.00	2 años
Reposición de agua en torres de enfriamiento, con agua del sistema cerrado.	Evitar tirar el agua directamente hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.	Al dejar de utilizar agua potable se genera un ahorro económico	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$30,000.00	0.5 años
Reutilización de aguas residuales en áreas verdes	Evitar tirar el agua directamente al drenaje, que de acuerdo a su calidad se puede utilizar para riego de jardines.	Al dejar de utilizar agua potable para el riego de jardines se genera un ahorro económico	Disminuir la extracción de agua de pozo	\$50,000.00	1 mes

Cuadro 13. Evaluación de beneficios técnicos, económicos y ambientales de las opciones de PML en aire.

Recomendación	Beneficio			Costo Estimado	Retorno de la inversión
	Técnico	Económico	Ambiental		
Cambiar el combustóleo por gas natural que es más limpio, en las calderas	Mejorar la operación de las calderas	No hay ahorros económicos	Disminuir las emisiones de contaminantes a la atmósfera	\$500,000.0	No hay retorno de inversión
Adicionar hidróxido de calcio para neutralizar los olores de los lodos procedentes de la planta de tratamiento de aguas.	Es muy poca la cantidad que se adiciona por lo que no se incrementa su volumen, además no es peligroso.	No hay ahorros económicos	Disminuir los olores	\$42,000.00	No hay retorno de inversión

Cuadro 14. Evaluación de beneficios técnicos, económicos y ambientales de las opciones de PML en residuos.

Recomendación	Beneficio			Costo Estimado	Retorno de la inversión
	Técnico	Económico	Ambiental		
Cambiar el hidróxido de sodio por hidróxido de calcio en la neutralización del agua de la planta de tratamiento de aguas.	Se reduce el riesgo en la preparación del químico.	El hidróxido de calcio es más barato que el hidróxido de sodio, también se dejará de disponer residuos peligrosos (bolsas de sosa vacías).	Disminuir la generación de residuos peligrosos.	\$54,912.00	3.7 meses
Adicionar cal al lodo de la PTAR antes de que entre al proceso de deshidratación.	Disminuirá el 10% de humedad de lodo.	Se disminuyen los costos de disposición	Disminuir la cantidad de residuos y olores	\$34,220.00	9 meses
Recuperar los derrames de producto en los tanques de formulación	Disminución de la carga orgánica de la PTAR*.	Se disminuye el costo de tratamiento de las aguas residuales.	Se aprovecha los residuos de producto para alimento de animales, y se disminuye la generación de residuos en la PTAR.	\$15,000.00	0.6 meses

**\*PTAR= Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Cuadro 15. Evaluación de beneficios técnicos, económicos y ambientales de las opciones de PML en energía eléctrica.

Recomendación	Beneficio			Costo Estimado	Retorno de la inversión
	Técnico	Económico	Ambiental		
Regular presión de aire, cambio de compresores por otros más eficientes y parar equipos en horas pico.	El mismo ya que se suministra el aire requerido.	Se obtienen beneficios económicos por la reducción de energía eléctrica	Ahorros de energía eléctrica	\$195,000.00	1.2 meses
Cambiar bomba de pozo por otra de menor capacidad de potencia, sin alterar el flujo.	Es el mismo ya que no cambia el flujo de agua deseado	Hay ahorros económicos por utilizar una bomba de menor potencia	Ahorros de energía eléctrica de 50 caballos de fuerza.	\$110,000.00	1.1 años
Automatización de ventiladores de torres de enfriamiento	Se mantendrá la misma temperatura en las torres.	Ahorros económicos por consumir menos energía eléctrica.	Ahorros de energía eléctrica	\$45,000.00	0.8 años
Minimización de energía eléctrica por cambio de combustible en calderas.	Se operarán menos equipos en la alimentación de combustible	Ahorros económicos por consumir menos energía eléctrica.	Ahorros de energía eléctrica	\$68,000.00	1.7 meses
Parar los equipos de los congeladores durante 4 horas.	Se mantendrá la misma temperatura de los congeladores	Ahorros económicos por consumir menos energía eléctrica.	Ahorros de energía eléctrica	Ninguno	No aplica

## 6.5 Fase V

En esta última fase, se implementaron las opciones de Producción Mas Limpia en las etapas de potabilización de agua y en los procesos de transformación de frutas y verduras, de acuerdo a las posibilidades tecnológicas y económicas, al momento en que se realizó el estudio. Las opciones implementadas son:

### Agua

- 1) Reutilización del agua de suavizadores durante su regeneración: Para este estudio se analizó el consumo de agua en los 3 suavizadores durante su regeneración, esto se hizo ya que durante esta etapa se tira el agua al drenaje que finalmente descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales. Se midió el flujo por medio de aforos y resultó ser de 45.360 m<sup>3</sup>/d, con una dureza de 200 ppm. La recomendación implementada fue la de recuperar el agua de los suavizadores durante su regeneración, que de acuerdo a su calidad se puede reutilizar para los servicios generales de la planta de tratamiento de aguas residuales y sustituirla por el agua potable. Se instaló una cisterna con capacidad de 50 m<sup>3</sup> con sistema de hidroneumático para alimentar agua en forma constante a la planta de tratamiento de aguas residuales en donde se utiliza para preparar los químicos y neutralizar el agua residual, los coagulantes y floculantes que se utilizan para la deshidratación del lodo en un filtro banda, así como para limpieza de las áreas en general. En las Figura 18 y 19 se muestran las condiciones de operación durante la regeneración de antes y después de implantar la opción de PML.

## **CALCULOS:**

Para realizar los cálculos se requieren de los siguientes datos:

Flujo de agua = 1.8 lps

Tiempo de regeneración de los suavizadores = 7 hrs

Número de regeneraciones por los tres equipos que se tienen en operación = 25

Costo del m<sup>3</sup> de agua = \$ 10.00 ( CEA)

Inversión = \$ 110,000.00

Para conocer la cantidad total que se está desperdiciando en esta operación se realiza el siguiente cálculo:

Consumo de agua en suavizador = (Flujo de agua) x (Tiempo total)

en donde:

Consumo de agua en suavizador = (1.8 l/seg) x (7 hrs/reg) = 45,360 lts/regeneración

Consumo mensual de agua en los suavizadores = (45,360 lts/ reg) x (25 reg/mes) = 1,134 m<sup>3</sup>/mes

Consumo anual de agua en los suavizadores = (1,134 m<sup>3</sup>/mes) x (12 meses) = 13,608 m<sup>3</sup>/año

El ahorro de agua sería de 13,608 m<sup>3</sup>/ año

Ahorro económico anual = (Consumo de agua en los suavizadores anual) x (Costo del m<sup>3</sup> de agua).

Ahorro económico = 13,608 m<sup>3</sup>/ año X 10 \$/ m<sup>3</sup> = \$136,080

Retorno de Inversión = Inversión realizada / ahorros

Retorno de Inversión = \$ 110,000.00 / \$136,080 = 0.8 años

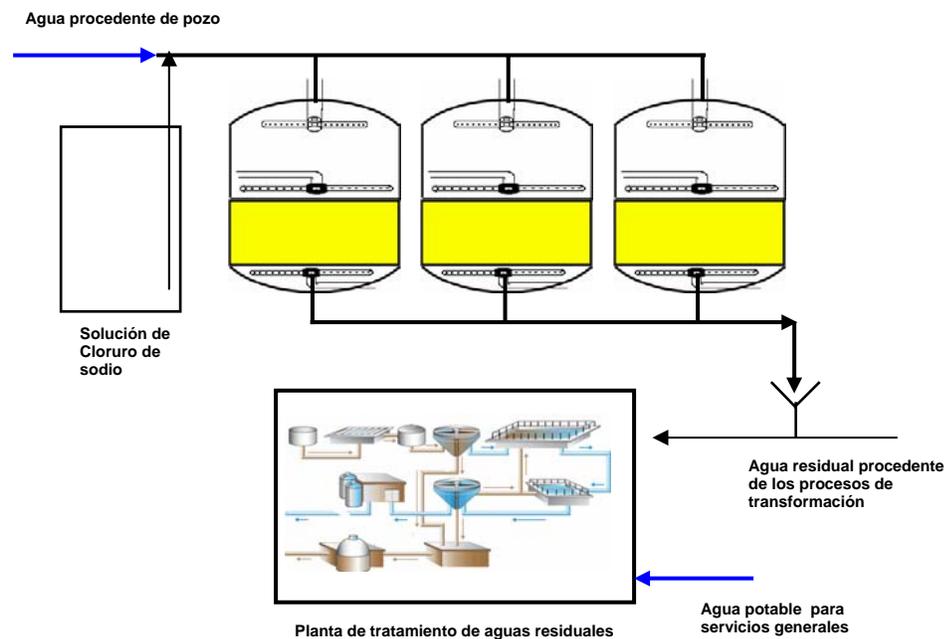


Figura 18. Condición anterior de la operación de los suavizadores durante su regeneración.

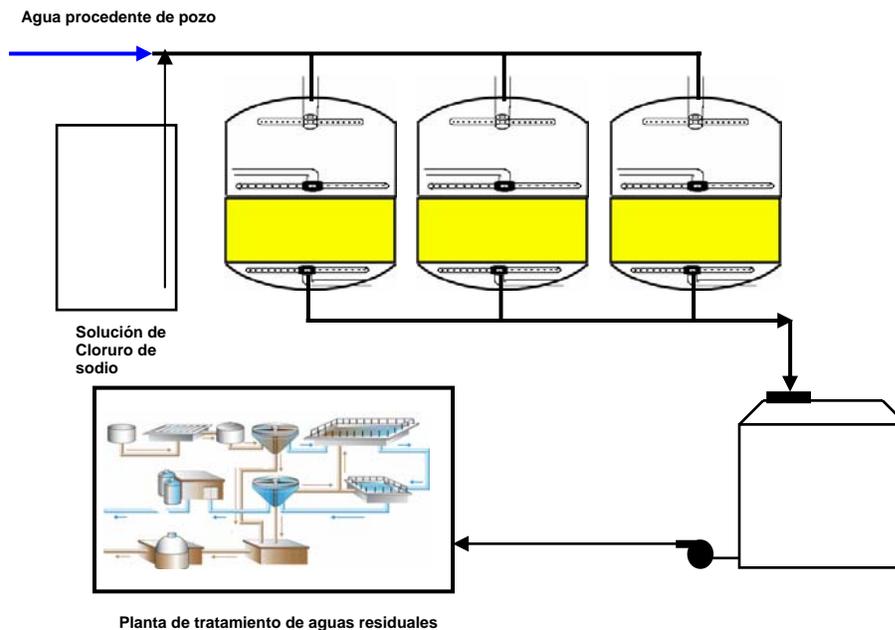


Figura 19. Condición actual de la operación de los suavizadores durante su regeneración

- 2) Reutilización del agua de rechazo de la osmosis inversa durante su operación normal: Durante el desarrollo del estudio se analizó la información de la cantidad de agua de rechazo que se generaba durante su proceso normal de operación, esto se hizo ya que durante la operación el agua de rechazo se mandaba directamente a la fosa de agua tratada procedente de la planta de tratamiento de aguas, y a su vez se descargaba a drenaje sin ningún aprovechamiento, como lo ilustra la Figura 20. Con las mediciones de flujo y horas de trabajo del equipo se pudo calcular el flujo promedio diario del agua de rechazo de  $124 \text{ m}^3/\text{d}$ , ver Anexo7, con una conductividad de  $1500 \text{ } \mu\text{S}/\text{cm}$ . La recomendación implementada fue la de recuperar el agua de rechazo durante la operación del equipo de la osmosis inversa de acuerdo a su calidad y cantidad se pudo reutilizar. Para ello, se realizaron pruebas de dilución a nivel laboratorio con porcentajes similares en cuanto al

volumen de agua que tiene la cisterna y la cantidad de agua que se está tirando en el equipo de osmosis inversa, se encontró una conductividad de 1200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en promedio, con esta información se determinó que era viable retornar el agua de rechazo de la osmosis a la cisterna, para ello se instaló una red de tuberías que conducen el agua a la cisterna, como lo ilustra la Figura 21, a continuación se presenta los cálculos:

Cálculos:

Lectura medidor de flujo	124 $\text{m}^3/\text{días}$
Días de operación al año	245 días
Inversión	\$ 60,000.00
Costo $\text{m}^3$ agua CEA	\$ 10.00

Total de ahorro de agua al año =  $124 \text{ m}^3/\text{d} \times 245 \text{ días} = 30,380 \text{ m}^3/\text{año}$

Total de ahorro económico =  $30,380 \text{ m}^3/\text{año} \times \$10.00 = \$ 303,800$

Retorno de Inversión = Inversión realizada / ahorros

Retorno de Inversión =  $\$ 60,000.00 / \$136,080 = 0.8 \text{ años}$

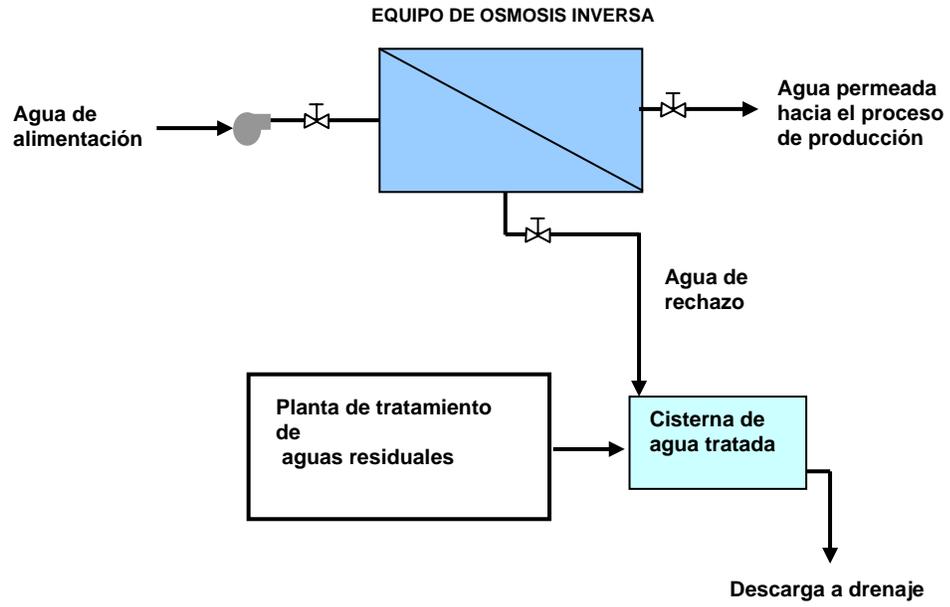


Figura 20. Condición anterior de la operación de la Osmosis Inversa

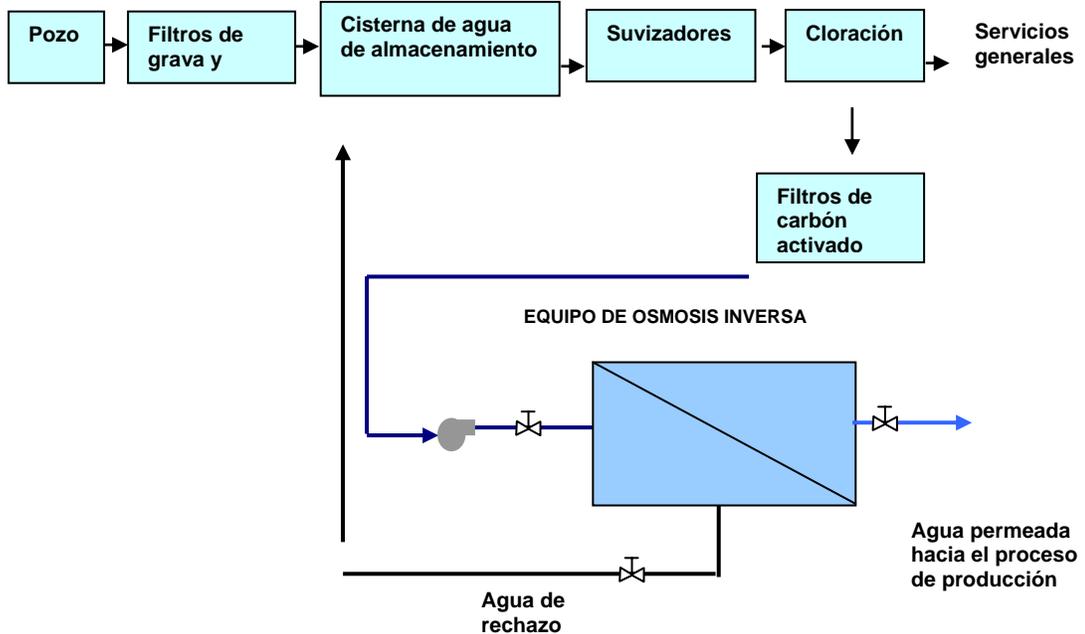


Figura 21. Condición actual de la operación de la Osmosis Inversa

3) El agua que se utiliza para los procesos de esterilización y de enfriamiento era de un solo paso como lo muestra la Figura 22, por lo que al realizar el balance de flujos se detectó que se estaba desperdiciando demasiada agua. La propuesta fue la de instalar tanques y recuperar el agua para reuso en el mismo sistema cuidando la calidad del agua para no afectar los procesos, como lo ilustra la Figura 23. De acuerdo a las lecturas obtenidas del medidor de flujo que alimenta al sistema de esterilización se obtuvo un promedio de 250 m<sup>3</sup>/día.

Cálculos:

Lectura medidor de flujo	250 m <sup>3</sup> /día
Días de operación al año	245 días
Inversión	\$ 700,000.00
Costo m <sup>3</sup> agua CEA	\$ 10.00

Total de ahorro de agua al año = 250 m<sup>3</sup>/día x 245 días = 61,250.00 m<sup>3</sup>/año

Total de ahorro económico = 61,250.00 m<sup>3</sup>/año x \$10.00 = \$ 612,500.00

Retorno de Inversión = Inversión realizada / ahorros

Retorno de Inversión = \$ 700,000.00 / \$ 612,500.00 = 1.1 año

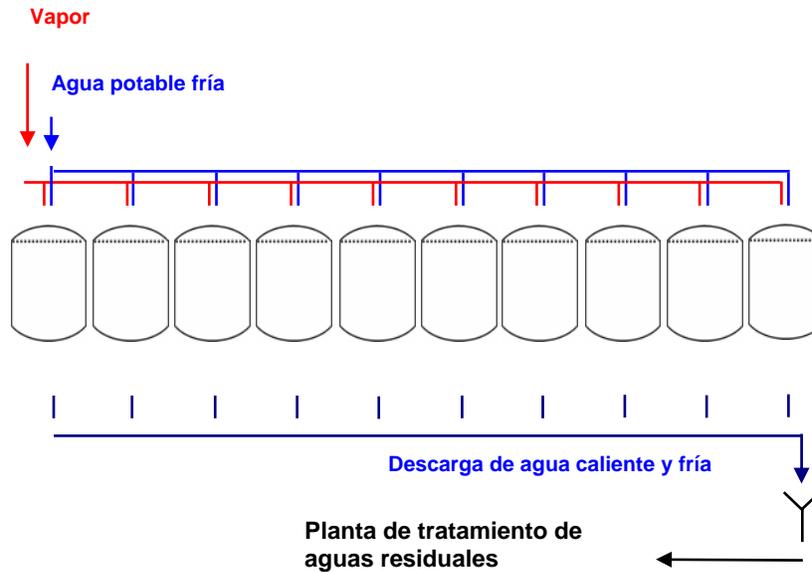


Figura 22. Condición anterior del sistema de esterilización de producto

El total de ahorros fue de 105,238 m<sup>3</sup> de agua anuales y el económico de \$1,052,380.00 pesos.

Con estas opciones de PML en agua se redujo el indicador de 12.85 lt/kg a 7.93 lts/kg de producto terminado, lo que represento un reducción del 31.86 % del consumo total de agua.

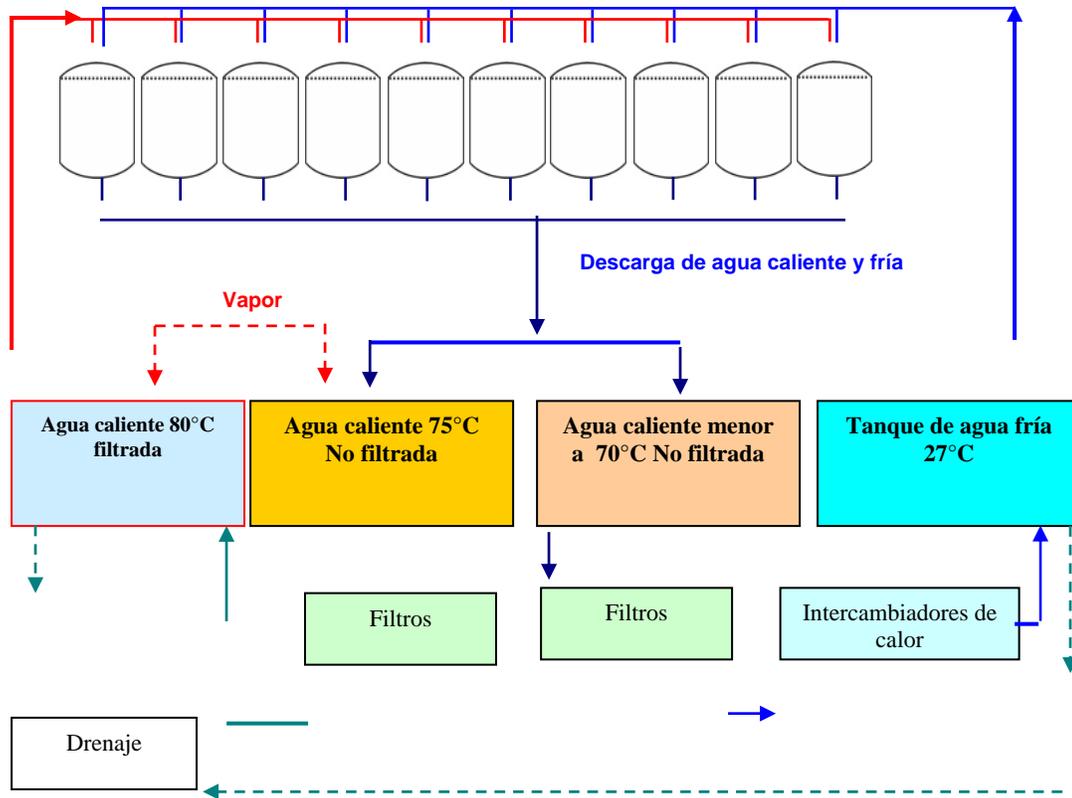


Figura 23. Condición actual del sistema de esterilización de producto

## Energía Eléctrica

1. Se cambio una bomba con motor estándar de 200 hp del pozo de extracción de agua por una de 150 hp con motor de alta eficiencia, lo cual no afectó en el flujo de descarga de agua, con esto se tuvo un ahorro de 50 hp., equivalentes a 37.28 Kilowatt (kW). La inversión fue de \$ 80,000.00 correspondiente al costo de la bomba y \$ 30,000.00 por concepto de mano de obra y accesorios en el cambio de la bomba,

teniendo un total de inversión de \$110,000.00. Esto representó un ahorro de 100,254 Kw/h. y \$ 94,238.00 al año.

Total ahorro = 50 hp

Factor de de conversión 1hp = 0.7457 kW

Total kW= 37.28

Horas de Trabajo = 15 al día

Días de trabajo = 245 días

Costo kW promedio = \$ 0.94

**Ahorro kW/ año = 37.28 x 15 x 245 = 100,254 kW/ al año**

**Ahorro económico = 100,254 kW / al año x \$ 0.94 = \$ 94,238.00 al año**

Por lo que el periodo de retorno de esta inversión es de :

$110,000 / 94,238 = 1.1$  Años

**Periodo Retorno Inversión 1.1 Años**

2. Se compró un compresor de aire de menor capacidad que el que se tenía 200 hp, para cubrir las demandas de aire en horas que no se requiere grandes cantidades. Para ello se sugirió comprar un compresor de 75 hp y trabajarlo en lugar de uno de 200 hp ya que este consume mayor kW.

200 hp = 150 kW

75 hp = 56 kW

Diferencia de consumo = 94 kW

Días de trabajo = 1735 hrs/año

Costo kW promedio = \$ 0.94

**Ahorro kW/ año = 94 x1735 = 163,090 kW / al año**

**Ahorro económico = 163,090 kW / al año X \$ 0.94 = \$ 153,304.00 al año**

Se compro un compresor reconstruido de una cabeza libre de aceite, con un costo de \$ 150,000.00 , más \$45,000.00 para la cimentación, la conexión eléctrica, tuberías y válvulas, lo que da un total de : **\$ 195,000.00**

Por lo que el periodo de retorno de esta inversión es de :

**195,000 / 153,304 = 1.2 Años**

3. El sistema de enfriamiento cuenta con una torre de enfriamiento que cuenta con dos ventiladores con motores de 50 hp cada uno, este sistema se arrancaba todos los día a la 6 de la mañana sin importar si había producción o no, el parámetro de control es la temperatura que no debe de exceder lo 26°C, en ocasiones también por las condiciones ambientales la temperatura eran bajas 14 °C y aún así seguían trabajando el sistema de enfriamiento, por lo que se recomendó automatizar el sistema para que los equipos sólo operen cuando la temperatura llega a 24°C con la idea de no pasarse de la especificación de 26 °C.

Se automatizan las torres de enfriamiento, se instaló un controlador automático que regula el funcionamiento de los ventiladores y solo trabajen cuando la temperatura se incrementa de 24°C, de esta manera los ventiladores no trabajan de forma continua, se cuenta con 2 motores de 50 hp lo que da un total de 100 hp. Durante el monitoreo se detectó que los ventiladores podían quedarse fuera de servicio en promedio 3 hrs por día sin afectar los procesos de enfriamiento. La inversión por la automatización fue de \$ 45,000.00.

Total ahorro = 100 hp  
Factor de de conversión 1hp = 0.7457 kW  
Total kW= 74.57  
Horas fuera de servicio equipo = 3 al día  
Días de trabajo = 245 días  
Costo kW promedio = \$ 0.94

**Ahorro kW/ año = 74.57 x 3 x 245 = 54,808 kW/ al año**

**Ahorro económico = 54,808 kW/ al año x \$ 0.94 = \$ 51,519.00 al año**

Por lo que el periodo de retorno de esta inversión es de :

**45,000 / 51,519 = 0.8 Años**

4. Se dejaron fuera de servicio todos los equipos de los congeladores durante la madrugada por un periodo de tiempo de 4 horas, con la idea de ahorrar energía eléctrica sin afectar la temperatura de especificación de -20 °C y el mínimo es de -16 °C.

Los resultados que se obtuvieron fueron buenos ya que no hubo problemas con las temperaturas de especificación.

Con esta medida se obtuvo el siguiente ahorro de energía eléctrica:

<b>Equipos</b>	<b>kW</b>
Compresores	115
Difusores	49.5
Condensadores	15
<b>Total kW =</b>	<b>179.5</b>

Se están parando los equipos durante toda la semana de lunes a viernes, lo que hace un total de:

260 días al año \* 4 horas

1,040 horas al año

Costo del Kw/hora = \$ 0.94

**Ahorro kW/ año = 179.5 x 1,040 = 186,680 Kw/ al año**

**Ahorro económico = 186,680 kW al año x \$ 0.94 = \$ 175,479.00 al año**

El total de ahorros de energía eléctrica fue 494,832 kW/ al año y el ahorro económico de \$ 428,172.00 pesos.

Con estas opciones de PML se redujo el indicador de 0.36 kW/ kg a 0.33 kW/ kg de producto terminado, lo que represento un reducción del 4.9 % del consumo total de energía eléctrica.

### **Emisiones a la atmósfera**

La Compañía cuenta con 3 calderas para la producción de vapor y satisfacer las necesidades de la planta como lo muestra la Figura 24. Las características de las caldeas son las siguientes:

Marca:	Claver Brooks
Capacidad:	800 hp
Presión de operación:	8.5 Kg/cm <sup>2</sup>
Combustible anterior:	Combustóleo

Horas de operación: 9 horas  
Días de operación: 245 días

Los resultados de emisiones a la atmósfera con el uso de combustóleo son las que se ilustran en el Cuadro 16, los cuales cumplen con la NOM-085-ECOL.1994. Contaminación Atmosférica - Fuentes fijas - para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles, ver anexos 8, 9, 10 y 11.

Si embargo, todavía se pueden disminuir los contaminantes a la atmósfera cambiando el combustóleo por otro más limpio como lo es gas natural, esta fue una de las razones por la que se consideró como una de las opciones de PML, como se ilustra en la Figura 25.

**Cuadro 16.** Resultados de análisis de emisiones a la atmósfera con el uso de combustóleo

<b>Parámetro</b>	<b>Combustóleo</b>			
	NOM-085- ECOL.199 4.	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3
Temperatura ambiente (°C)		28,5	27,6	27,8
<b>Análisis de gases de chimenea</b>				
O <sub>2</sub> (%)	N.E	5.20	5.85	3.9
CO <sub>2</sub> (%)	N.E	9.20	8.65	10.5
CO (ppm) (%)	N.E	0.000	0.000	0.000
SO <sub>2</sub> (ppm)	2,200	71.16	71.61	71.62
NO <sub>2</sub> (ppm)	375	52.32	57.84	74.90
Partículas ( PST)( mg/m3)	450	0.9577	5.79	1.58
Exceso de aire (%)	40	29.90	34.98	21.12
<b>Color de llama</b>		Amarillo		

N.E = No Especificado

Al pasar de combustóleo a gas natural se observa disminución de gases contaminantes como lo muestra el Cuadro 17, en el que se observa lo siguiente:

- Las emisiones de gases contaminantes como el SO<sub>2</sub> se han reducido considerablemente, no se pudo evaluar el porcentaje total ya que no se realizaron análisis después del cambio a gas natural, debido a que la norma no especifica un valor límite, por lo que podría considerarse una reducción del 100%
- Las emisiones de material particulado se han reducido en un 100%, ya que también lo marca la Norma como especificación.
- En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> (gas de efecto invernadero) no se pudo evaluar cuanto disminuyó con el cambio a gas natural, sin embargo se pueden calcular las emisiones de combustóleo y con gas natural utilizando los consumos y los factores de emisión de los combustible ( anexos 12 y 13.)

**Factores de emisión:**

COMBUSTOLEO: 3.04 Ton CO<sub>2</sub>/ m<sup>3</sup>

GAS NATURAL: 1.92 Ton CO<sub>2</sub>/ M m<sup>3</sup>

Se tiene un consumo promedio de 300 m<sup>3</sup>/mes

Cálculos

**COMBUSTOLEO:**

$$300 \text{ m}^3/\text{mes} \times 3.04 \text{ Ton CO}_2 / \text{m}^3 = 912 \text{ Ton/mes}$$

$$912 \text{ Ton/mes} \times 12 \text{ meses} = 10,944 \text{ Ton/año}$$

## **GAS NATURAL:**

$$300 \text{ m}^3/\text{mes} \times 1.92 \text{ Ton CO}_2 / \text{M m}^3 = 0.0005760 \text{ Ton/mes}$$

$$0.0005760 \text{ Ton/mes} \times 12 \text{ meses} = 0.0005760 \text{ Ton/año}$$

De acuerdo a los resultados se disminuyó un 99.99% de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual implica beneficio ambiental importante, ya que el CO<sub>2</sub> es uno de los gases que provocan el calentamiento global del planeta.

**Cuadro 17.** Resultados de análisis de emisiones a la atmósfera con el uso de gas natural

Parámetro	Gas Natural			
	NOM-085- ECOL.199 4.	Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3
Temperatura ambiente (°C)		27,8	27,4	27,6
<b>Análisis de gases de chimenea</b>				
O <sub>2</sub> (%)	N.E	N.D	N.D	N.D
CO <sub>2</sub> (%)	N.E	N.D	N.D	N.D
CO (ppm) (%)	N.E	N.D	N.D	N.D
SO <sub>2</sub> (ppm)	2,200	N.A	N.A	N.A
NO <sub>2</sub> (ppm)	375	86.3	79.7	70.9
Partículas ( PST)( mg/m3)	450	N.A	N.A	N.A
Exceso de aire (%)	40	39.8	38.2	18.9
<b>Color de llama</b>		Amarillo con pequeñas manchas azules		

N.E = No Especificado

N.A = No Aplica

N.D = No determinado

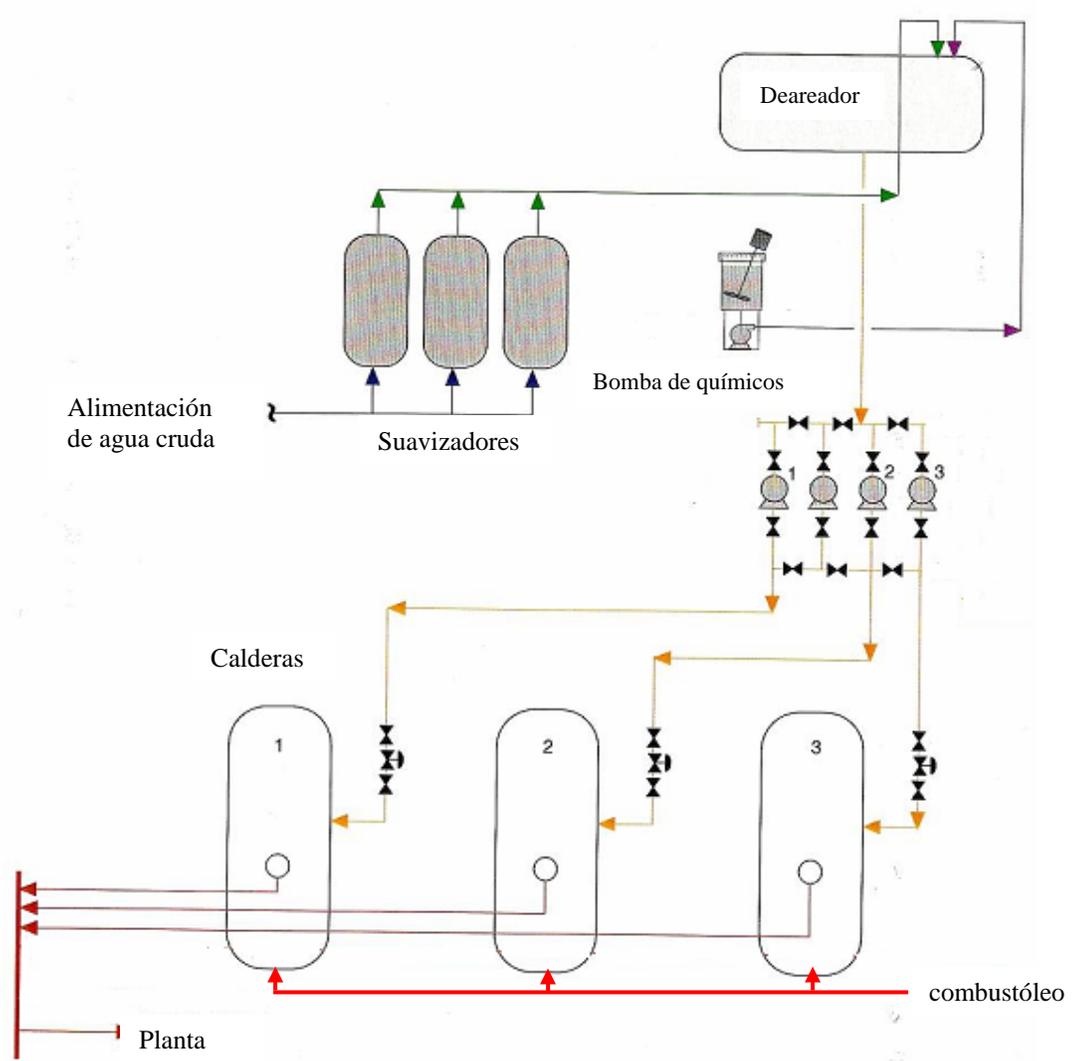


Figura 24. Situación anterior producción de vapor con combustóleo

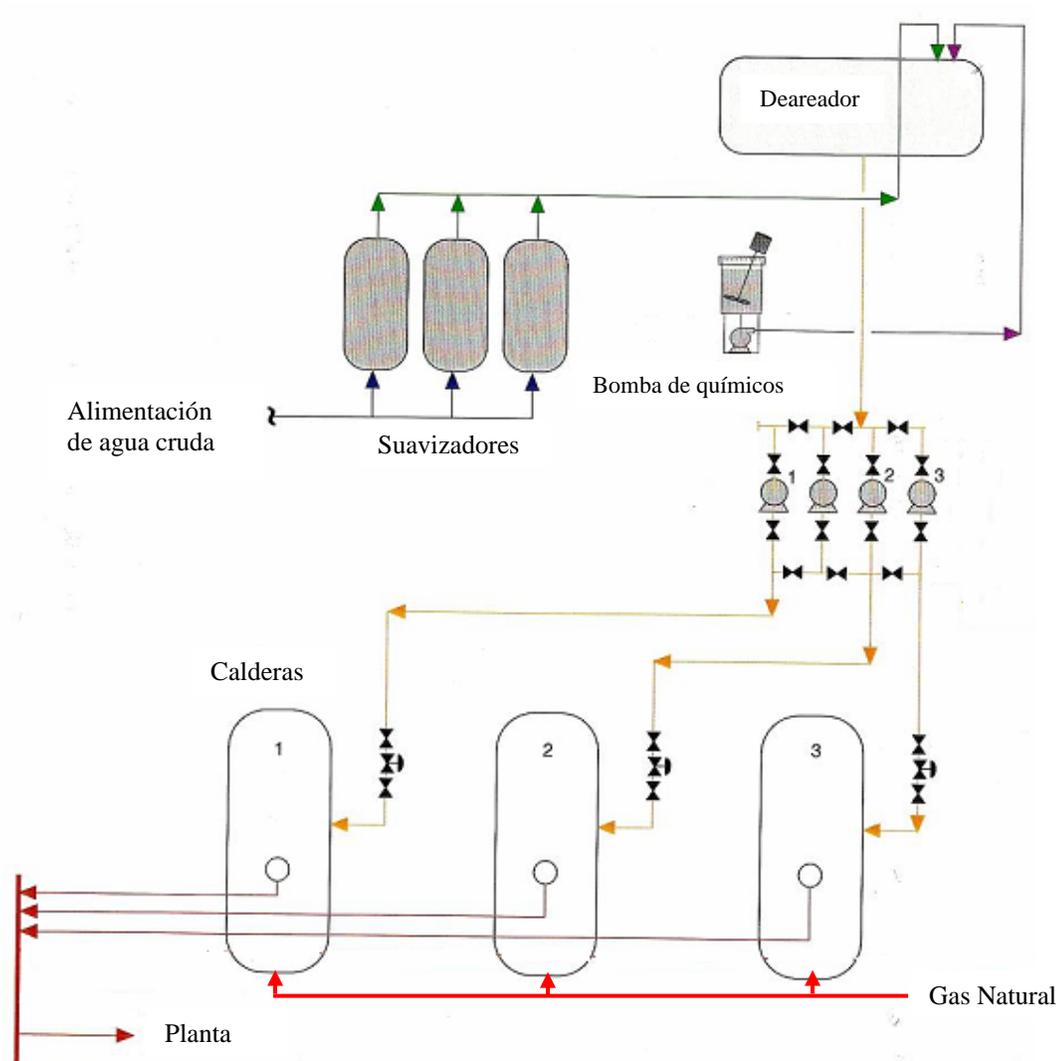


Figura 25. Situación actual producción de vapor con gas natural.

## VII. DISCUSION DE RESULTADOS

En la primera fase, fue de suma importancia que la empresa se comprometiera a proporcionar los recursos, información y disposición para la elaboración del trabajo de PML, debido a que si no se hubiera contado con la información, no se hubiera podido continuar con las cuatro fases restantes. El resultado de este compromiso fue la formación del equipo de trabajo que identificó las primeras barreras, sus soluciones y se definieron las metas de PML de forma general. Es decir, se consideraron criterios como emisiones contaminantes al aire y al agua, la disposición de lodos de la planta de tratamiento y energía eléctrica, por mencionar algunos; todo esto en base a experiencias previas de industrias del mismo giro de alimentos e información proporcionada por el personal de la empresa.

En la evaluación realizada en la segunda fase, de forma cualitativa, fue donde se conocieron los procesos que realiza la empresa, basándose en trabajos de campo, información proporcionada por el personal e inspecciones realizadas a planta durante los turnos de procesamiento. Para este diagnóstico inicial, se realizaron los diagramas de flujo que representan a los procesos con sus entradas y salidas de materias primas, insumos, residuos y subproductos generados, sin incluir cantidades y costos. Además se desarrolló el croquis general de la planta, para presentar de forma gráfica a la Gerencia las áreas de oportunidad detectadas. En base a esta información, se establecieron las metas específicas y detalladas para cada uno de los procesos.

En la tercera fase, se evaluó de forma cuantitativa los diagramas de flujo de los procesos, agregando a éstos las cantidades y precios promedio estimados por cada uno de los componentes involucrados. Como primera actividad, se realizó un registro hidráulico con la información proporcionada de las lecturas obtenidas de 5 meses. El resultado fue un consumo mensual estimado de 27,526 m<sup>3</sup> que

representa un costo de \$ 412,890 por mes. Con esta información, y tomando como base los resultados de los balances hidráulicos en donde se encontraron diez áreas de oportunidad para agua, diez en consumos de energía eléctrica, de las cuales tres áreas de agua representaban el 32% del consumo total de la planta, por lo cual el equipo de trabajo decidió la conveniencia de dirigir los esfuerzos y propuestas de mejora hacia el área del agua.

## VIII. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología de PML en la Compañía que transforma frutas y verduras proporcionó un diagnóstico de su estado previo donde se detectaron las áreas de oportunidad en la empresa. De esta forma, este estudio se convirtió en una verdadera estrategia empresarial preventiva, para alcanzar la eco- eficiencia de sus procesos, productos y servicios, sin afectar la salud de los trabajadores y sin dañar al medio ambiente. En otras palabras, el estudio realizado ayudó a la empresa a tomar decisiones importantes para tener soluciones al inicio de los procesos y no al “final del tubo”, ya que anteriormente se remediaba el daño mediante acciones correctivas y no preventivas, reflejándose estas acciones en los costos directos e indirectos de la empresa.

Durante la realización del trabajo se determinó que el 50% de las opciones de PML son ocasionadas por malas prácticas operativas; esto significa que el personal de la empresa ha venido desarrollando sus labores cotidianas, sin percatarse de los puntos donde están desperdiciando productos químicos, insumos y/o generando emisiones o residuos peligrosos. Aunado a lo anterior, el mejoramiento tecnológico es indispensable para alcanzar la eco- eficiencia que se está buscando con la implementación de PML en la empresa. Por esto, es importante que la Dirección continúe con los programas de capacitación a todo el personal, que se desarrollen programas de mantenimiento preventivo a los equipos y se complete la infraestructura necesaria para prevenir la generación de emisiones.

Los beneficios ambientales obtenidos en la implementación de las opciones de PML fueron los siguientes:

En agua se alcanzó un ahorro de 105,238 m<sup>3</sup> lo que representó una reducción del 31.86 % del consumo total de agua, reduciendo el indicador de 11.63 lt/kg a 7.93 lts/kg de producto terminado. Con este resultado se alcanzó a cumplir lo establecido en la hipótesis que era la de ahorrar del 15 al 25 % del consumo total.

En energía eléctrica se alcanzó un ahorro de 504,832 kW/ al año lo que representó un reducción del 4.9 % del consumo total de energía eléctrica, reduciendo el indicador de 0.36 Kw/ kg a 0.33 kW/ kg de producto terminado.

En emisiones a la atmósfera se disminuyó un 99.99% de emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual implica beneficio ambiental importante, ya que el CO<sub>2</sub> es uno de los gases que provocan el calentamiento global del planeta, esto se logro con el cambio de combustible en calderas de combustóleo a gas natural.

También hubo una reducción en la descarga de agua a la planta de tratamiento de aguas residuales proporcional al ahorro mencionado, lo que provocó beneficios ya que la planta de tratamiento trabaja mejor con tiempos de residencia más largo, lo que ayuda a mantener siempre estable la operación, y así obtener siempre una misma calidad de agua en el efluente final, cumpliendo con las regulaciones vigentes en materia de descargas de aguas residuales.

Se sugiere continuar trabajando en la cuantificación y la demostración de la factibilidad ambiental y económica de la implementación de las alternativas propuestas. Esta etapa también puede incluir un entrenamiento al equipo propuesto en temas referentes a la PML, esperando que este grupo se dé a la tarea posterior de extender en alguna forma la información (métodos, herramientas, etc.) recibida al resto de los trabajadores, así como apoyar la implementación de las opciones sugeridas.

La mayoría de las industrias nacionales desconocen esta metodología debido a que no es un requerimiento obligatorio y no se obtiene ningún reconocimiento por parte de las autoridades; sin embargo, es muy importante, debido a que se alcanzará la eco eficiencia de los procesos, productos y servicios de las industrias. Otro de los múltiples beneficios, es la mejora del aspecto de la empresa ante los clientes, proveedores, autoridades y población en general. Es importante que las empresas

en México no vean los estudios de PML como un gasto, sino como una inversión que generará beneficios ambientales, tecnológicos y económicos a corto, mediano y largo plazo, para que posteriormente se lleguen a obtener reconocimientos ambientales como el de “Industria Limpia” o la certificación en algún sistema internacional de administración ambiental (ISO 14001), que atraerá a nuevos clientes y mantendrá la preferencia de los actuales. Además de que la PML utiliza a la auditoría ambiental como una herramienta para su elaboración.

Durante la aplicación de la metodología de PML en una industria que procesa alimento de frutas y verduras, se pudieron aplicar y reforzar los conocimientos adquiridos durante la Maestría en Ciencias Ambientales, debido a que el trabajo se realizó en una industria real, donde existen una infinidad de problemas ambientales, y las necesidades que se presentan de forma cotidiana en una empresa grande de este tipo, en donde la producción y la factibilidad de la mejora continua en los procesos, es la actividad principal diaria.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

AMIDIQ, 2005. Aplicaciones de ingeniería y fenómenos de transporte al estudio de la transferencia conectiva de calor en alimentos envasados. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 4: 89.

ANAM, 2005. PML para el Sector Lácteo, Programa Ambiental Nacional: 41,49.

Berkel, R.V. IVAM, 1995. Introduction to cleaner production assessments with applications in the food processing industry. Environmental Reseach, University of Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands: 1

Bravo M. E., 2002. La PML "Conceptos y métodos". Santo Domingo República Dominicana: 2

Canned Food 1988. Principles of Thermal Process Control, Acidification and Container Closure Evaluation, Fifthe Edition, 3<sup>rd</sup> Printing Edited and illustrated by Staff Members of The Food Processors Institute: 69

Carawan R.E. y Waynick, J.B, 1996. Reducing water use and wastewater in food processing plants how one company cut cost. Publisished by North Carolina Cooperative Extension Service: 1

Christie I., y Rolfe H., 1995. Cleaner Production in Industry. Editorial PSI (Policy Studies institute) London: 39-53, 55-69.

CET PERU, 2005. Guía de PML Lima, Centro Nacional de PML.

CMPL, 1997. Centro Mexicano para la PML. PML en el sector de Galvanoplastia. Guías de PML 1. Galvanoplastia

CMPL, 1999. Centro Mexicano para La PML. PML en el sector de Fundición. Guías de PML. Sector de Fundición.

CMPL, 2004. Centro Mexicano para la PML. PML. <http://www.cmpl.ipn.mx>

CNPML, 2005. Centro Nacional De PML, Manual de introducción a la PML en la Industria: 6

CPTS, 2003. Centro de Promoción de Tecnología Sostenible. Guía técnica de PML para Curtiembres. Cámara nacional de industrias, Bolivia: 1,4 -8.

De León H.S, y Mendoza, J.E. 1979. Introducción a la tecnología de los alimentos teoría y práctica., Escuela Nacional de Ciencia Biológicas, Departamento de Ciencia Biológica: 30-33.

DNRE, 1996. Department of Natural resources and Environmental, A Pollution Prevention Guide for Food Processors, Thre Rs for the 90s: Reduce, Reuse, Recycle: 1-5

Ecoomopoulus A., 1993. Assessment of Sources of Air, Water and Land Pollution, World Health Organization, Geneva.

Espinal g., Carlos Federico., 2005. La Industria Procesadora de frutas y verduras en Colombia: 6-8.

Fiksel, J., 1997. Ingeniería de diseño medioambiental, DFE, desarrollo integral de productos y procesos eco-eficientes. Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana de España, S.A., Madrid, España: 7 -18

Gutowski, T., Murphy, C., Allen, D Bauer, D., Bras, B., Piwonka, T., Sheng, P., Sutherland, J., Thurston, D., y Wolf, G., 2003. Environmentally benign

manufacturing: Observations From Japan, Europe and the United States. Rev. *Journal of Cleaner Production*: Vol 13: 1- 17.

Jones, H.R. 1973. Waste Disposal Control in the fruit and Vegetable Industry., *Pollution Technology Review No.1*, Noye Data Corporation Prk Ridge, New Jersey: 64

López A, Ph.D., 1987a. A complete course in canning, book I, Basic Information on Canning. Twelfth Edition: 182-188, 194, 198, 205, 207.

López A, Ph.D., 1987b. A complete course in canning, book III, Processing procedures for canned food products. Twelfth Edition: 438-439.

Montgomery, J.M. 1981. Reciclando agua en la industria procesadora de frutas y verduras, Capitulo 3, sobrevista de proyectos de reciclaje: 1

Montaño, J.G. 2002. Guía de ahorro y uso eficiente del agua. Centro de PML y Tecnologías Ambientales Ministerio de Medio Ambiente, Edición No.1.: 6

NOM-085-ECOL.,1994. Contaminación Atmosférica - Fuentes fijas - para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.

NOM-016-ENE-2002. Norma Oficial Mexicana, Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW.

NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana, (Modificado) Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

Ortega, J.S. 2006. IV Taller Nacional “Promoviendo un sector público energéticamente eficiente: Acciones locales que promueven al País”.: 4,8,15-19

PP, 2008. ( Procesos de Producción), fecha de consulta marzo del 2008  
[http://www.gerber.com.mx/sitio/AC/AC\\_Prod.aspx](http://www.gerber.com.mx/sitio/AC/AC_Prod.aspx)

PNUMA, 1999. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.  
Un paquete de recursos de capacitación, primera edición en español- febrero de 1990. Parte III-7.

PNUMA, 2004. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.  
<http://www.rolac.unep.mx/industria/esp/prodlimp/prodlimp.htm>.

Ranken M.D. y R.C. Kill, R.C. 1993. Food Industries Manual, 23<sup>rd</sup> edition, Chapman and Hall. 154-156

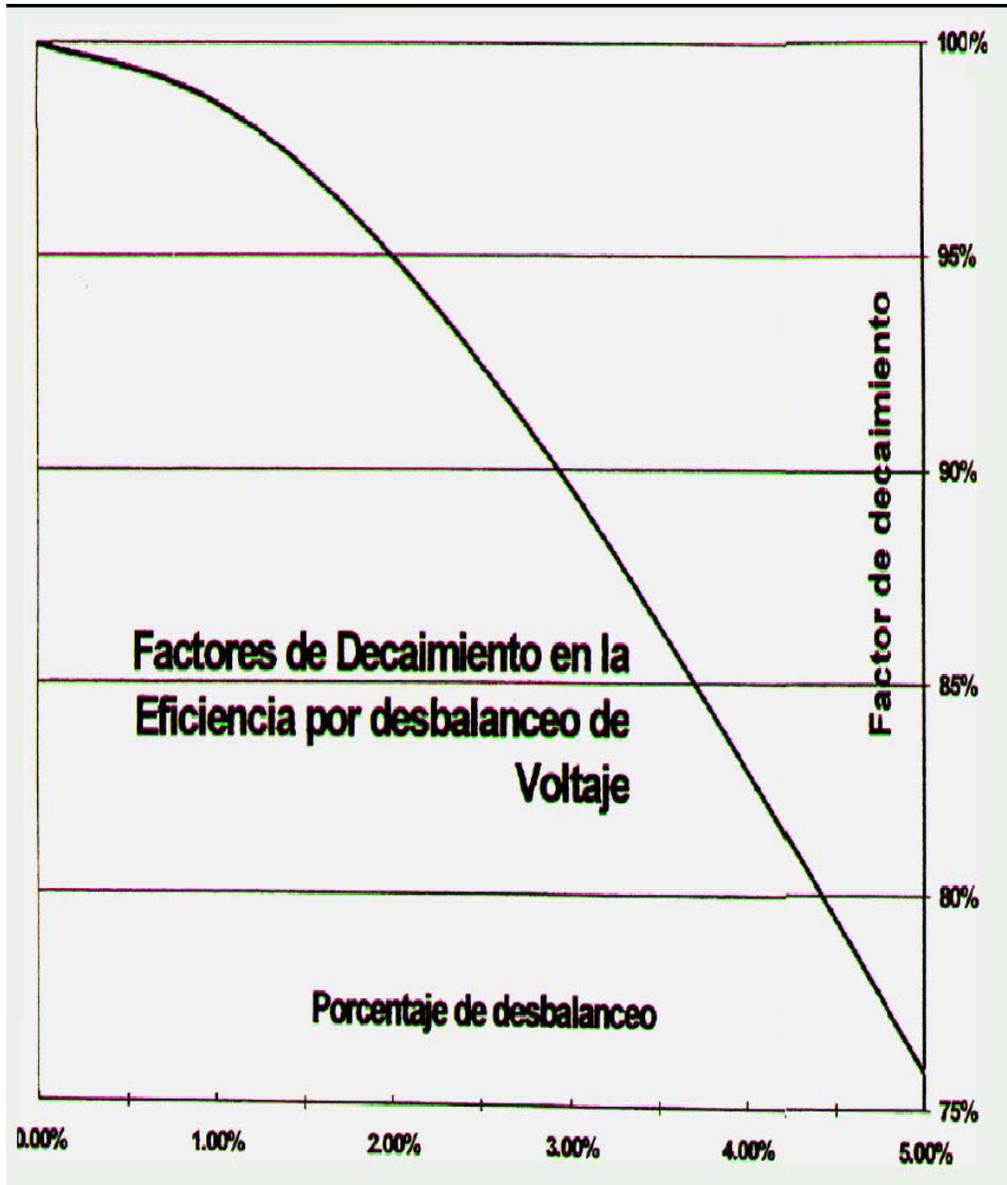
SAIC, 1999. Science Applications International Corporation. Seminario taller sobre conservación de aguas industriales y evaluaciones ambientales en el sector de la industria alimenticia: 6

Samudra Vijay, Luisa T. Molina y Mario J. Molina, 2004. Cálculo de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano: 10-11.

- Santiago, 1998. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, comisión Nacional de Medio Ambiente- región Metropolitana, Industria procesadora de frutas y hortalizas: 1-25
- Staff, M.H.E., Aunan, K., Fang, J., Martin, S.H., Magne, S. J., y Vennemo, H. 2003. Cleaner production as climate investment – integrated assessment in Taiyuan City. China. *Rev. Journal of Cleaner Production.*: Vol 13: 57-70.
- Canned Food, 1988. The Food processors Institute Washington, D.C. Principles of Thermal Process Control, Acidification and Container Closure Evaluation. Fifth Editio, 3<sup>rd</sup> Printig: 59
- USAID, 2006. Cleaner production in Latin America and the Caribbean: USAID's Role: 1
- USAID, 2003. Instituto Internacional de Educación, Manual de PL, Querétaro, México: 4
- UNEP, 2002. Cleaner production Fact Sheet 3: Food Manufacturing Series. Fruit and Vegetable Processing: 2
- WBCSD, UNEP, 1998. Cleaner Production and Eco-efficiency, Complementary Approaches to Sustainable Development, ISBN 2-940240-02-7. pág. 3
- WBG, 1998. World Bank Group. Fruit and vegetable Processing, Pollution Prevention and Abatement Handbook: 316
- Zackrisson, M. 2003. Environmental aspects when manufacturing products mainly out of metal and/ or polymers *Rev. Journal of Cleaner Production.*: Vol 13: 43 - 49.

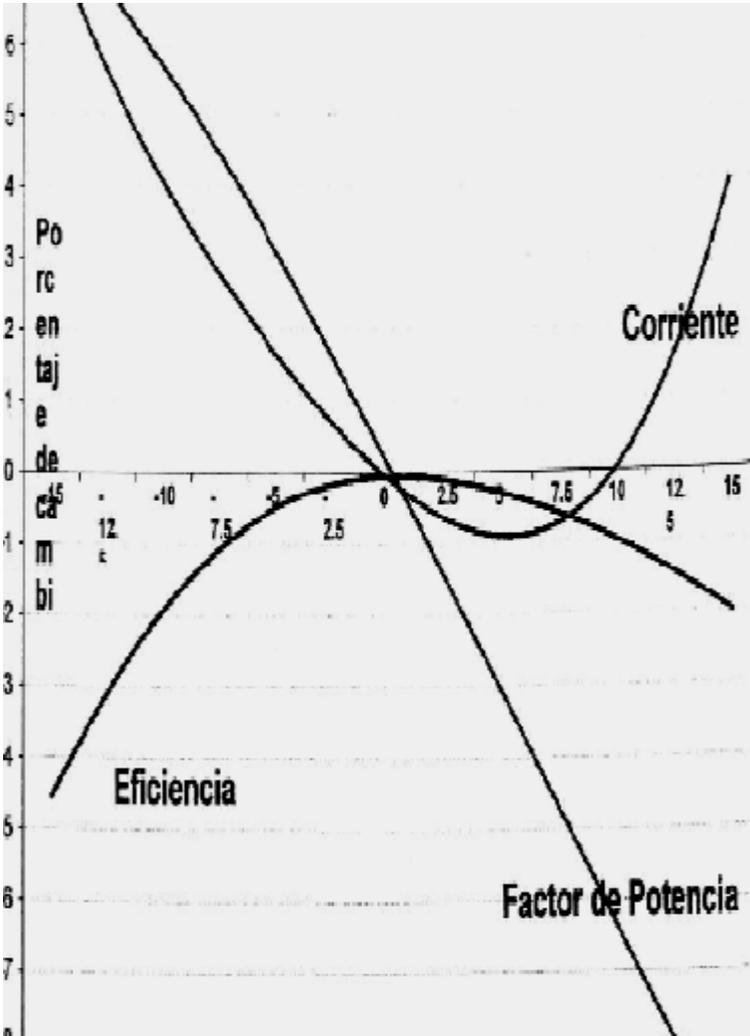
## **X. ANEXOS**

Anexo 1. Gráfica para determinar el factor de ajuste por desbalanceo de voltaje.



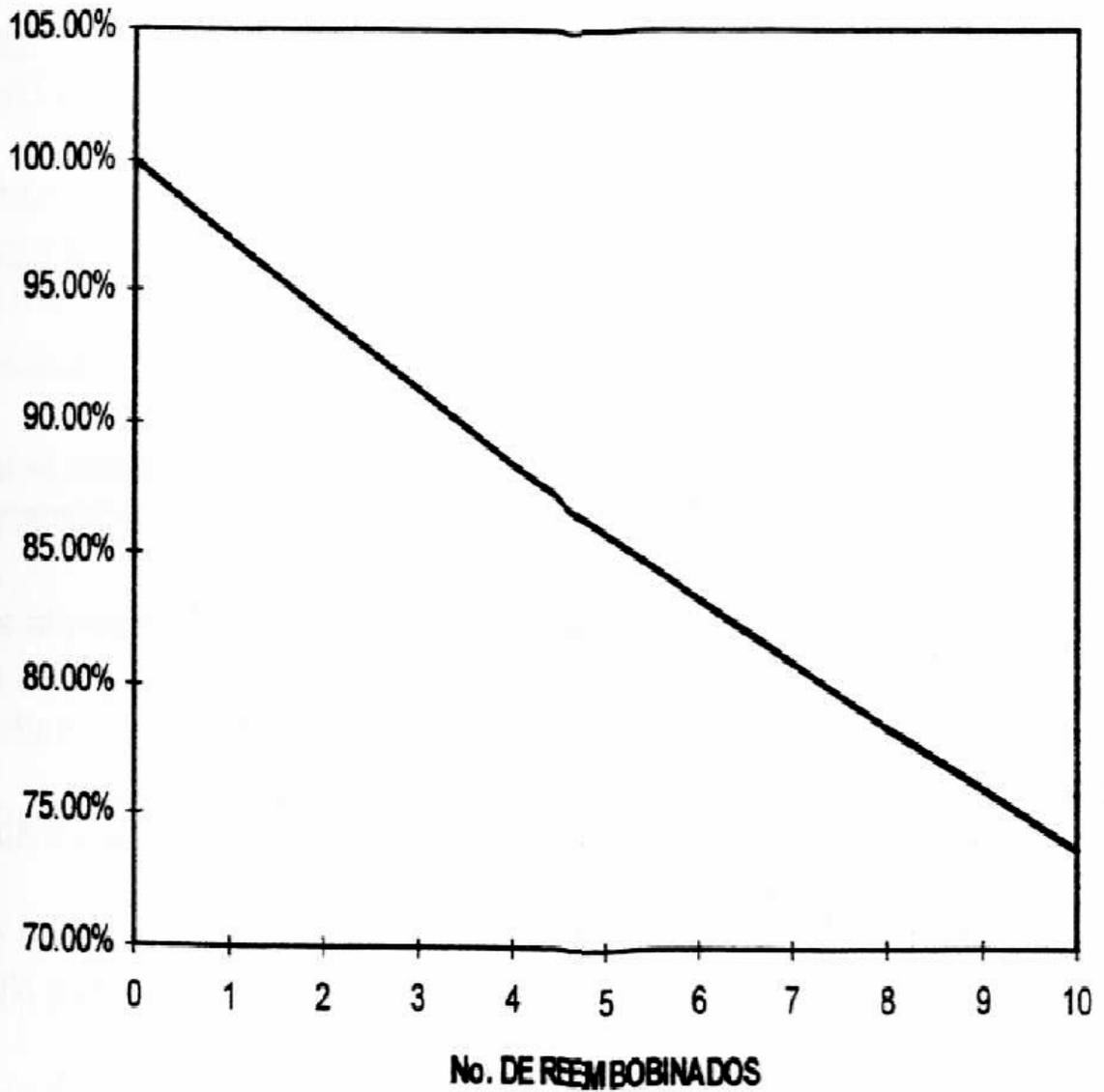
(Ortega, 2006)

Anexo 2. Gráfica para determinar el factor de ajuste por diferencia de voltaje



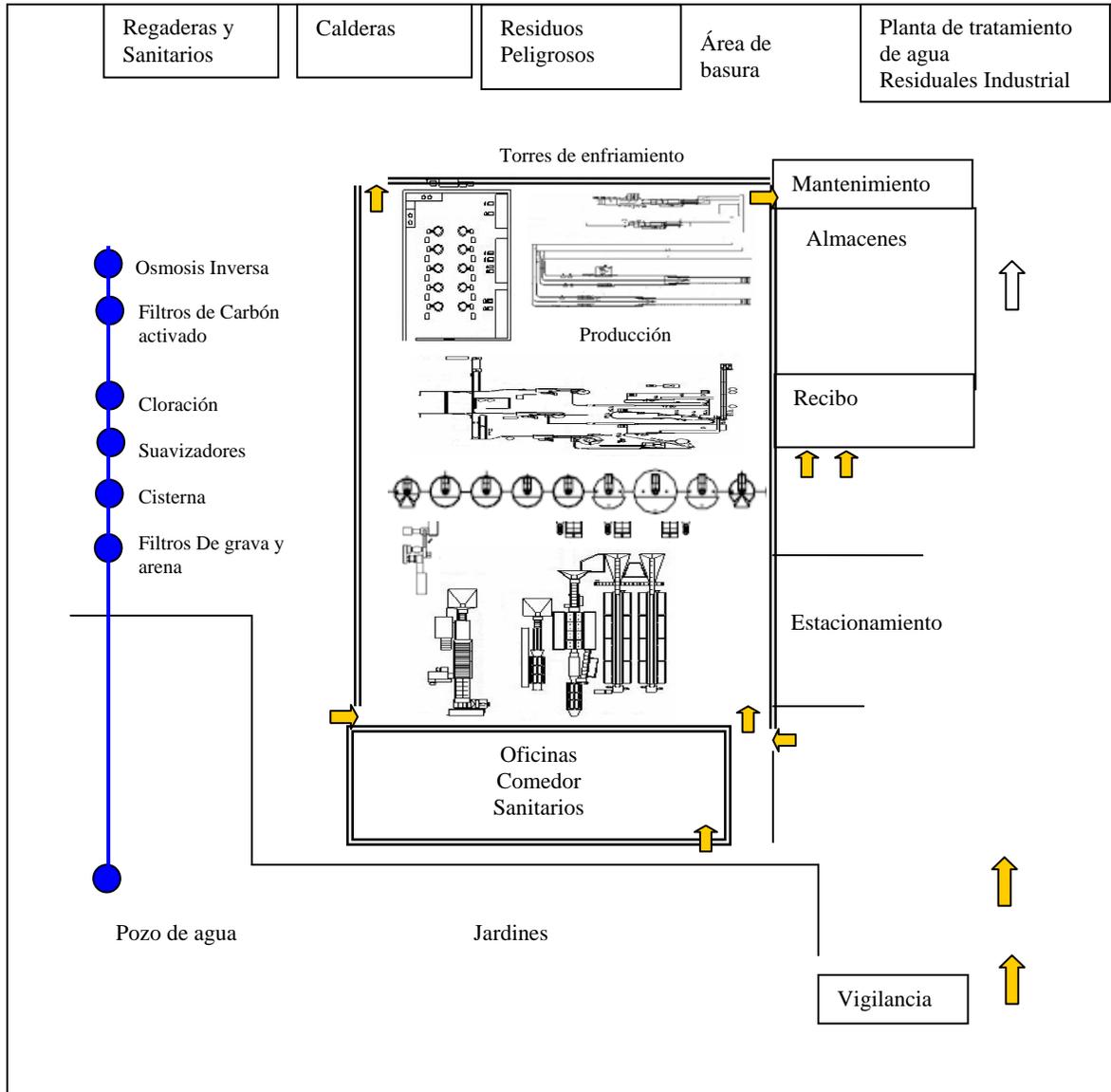
( Ortega , 2006)

Anexo 3. Gráfica de pérdida de eficiencia por reembobinado de motores.

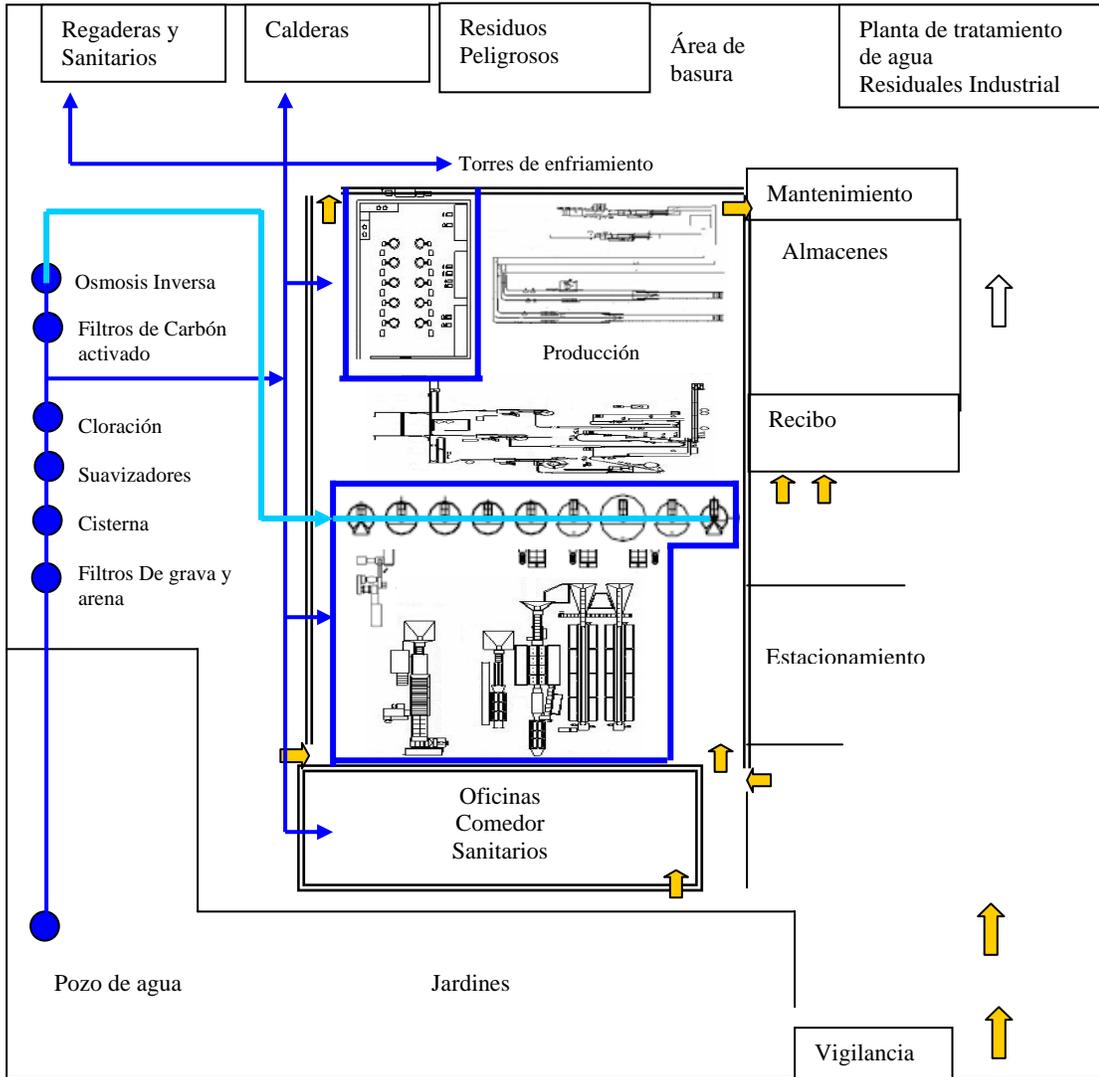


(Ortega, 2006)

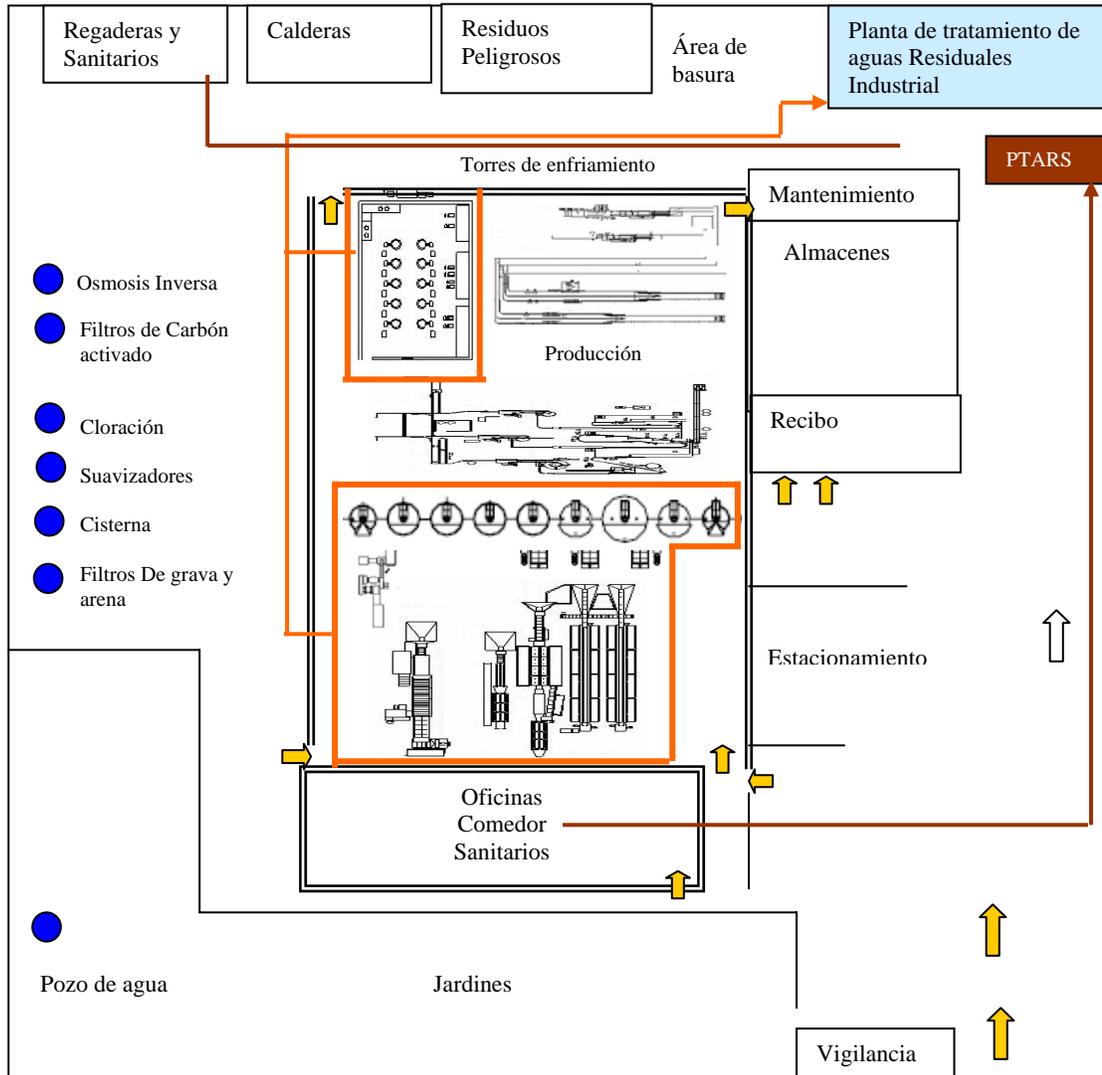
Anexo 4. Croquis de la planta transformadora de frutas y verduras.



## Anexo 5. Eco-mapa de agua potable



## Anexo 6. Eco-mapa de descargas de aguas residuales



Anexo 7. Tabla de datos de volúmenes de osmosis inversa

**Los datos corresponden a dos meses de operación**

Dato No.	Lectura	Tiempo de operación	Flujo	Volumen
	Horometro	Hrs	LPS	M3 /d
1	385	15	3,2	170,1
2	403	12	3,2	136,1
3	406	10	3,2	113,4
4	416	14	3,2	158,8
5	424	16	3,2	181,4
6	440	10	3,2	113,4
7	450	13	3,2	147,4
8	463	12	3,2	136,1
9	467	13	3,2	147,4
10	473	8	3,2	90,7
11	481	11	3,2	124,7
12	492	10	3,2	113,4
13	502	10	3,2	113,4
14	512	12	3,2	136,1
15	519	10	3,2	113,4
16	529	9	3,2	102,1
17	538	10	3,2	113,4
18	548	10	3,2	113,4
19	558	8	3,2	90,7
20	566	10	3,2	113,4
21	576	11	3,2	124,7
22	587	10	3,2	113,4
23	597	10	3,2	113,4
24	607	8	3,2	90,7
25	615	14	3,2	158,8
26	621	11	3,2	124,7
27	632	10	3,2	113,4
28	642	13	3,2	147,4
29	652	10	3,2	113,4
30	662	13	3,2	147,4
31	669	11	3,2	124,7
32	680	11	3,2	124,7
33	691	9	3,2	102,1
34	700	12	3,2	136,1
35	707	9	3,2	102,1
36	712	8	3,2	90,7
37	720	8	3,2	90,7
38	728	12	3,2	136,1
39	737	9	3,2	102,1
40	746	13	3,2	147,4
41	751	9	3,2	102,1
42	760	11	3,2	124,7
43	771	12	3,2	136,1
44	779	13	3,2	147,4
45	788	12	3,2	136,1
<b>PROMEDIO</b>		<b>10,9</b>	<b>3,2</b>	<b>124,0</b> <b>5579,3</b>

Anexo 8. Límites de emisión de contaminantes en Fuentes fijas

1o. ENERO DE 1998 EN ADELANTE

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTION MJ/h	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DEL HUMO	PARTICULAS (PST) mg/m3 (kg/106 kcal)			BIOXIDO DE AZUFRE ppm V (kg/106 kcal)			OXIDOS DE NITROGENO ppm V (kg/106 kcal)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen (5)
		Número de mancha u opacidad	ZMCM	ZC (3)	RP	ZMCM	ZC (3)	RP	ZMCM	ZC (4)	RP	
Hasta 5,250	Combustóleo o gasóleo	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190 (0.486)	190 (0.486)	375 (0.959)	
De 43,000 a 111,000	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	
Mayor de 110,000	Sólidos	NA	60 (0.090)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.16)	1100 (4.31)	2200 (8.16)	110 (0.309)	110 (0.309)	375 (1.052)	20
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.355)	350 (0.497)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	

(NOM-085-ECOL.,1994)

Anexo 9. Factores de emisión de diferentes combustibles.

Combustible	Factor de emisión kg de SO <sub>2</sub> /10 <sup>6</sup> kcal
Combustóleo con 0% en peso de azufre	2.04
Combustóleo con 2% en peso de azufre	4.08
Combustóleo con 4% en peso de azufre	8.16
Diesel con 0.5% en peso de azufre	0.91
Gas Natural	0 (Cero)

Anexo 10. Contaminantes y sus métodos de evaluación para fuentes fijas y métodos equivalentes.

CONTAMINANTE	METODO DE EVALUACION	METODO EQUIVALENTE	
Densidad de humo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• huella o mancha de hollín</li> <li>• opacidad</li> </ul>	-----	
Partículas suspendidas totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• isocinético</li> </ul>	-----	
Oxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quimiluminiscencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> </ul>	
Oxidos de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> <li>• celdas electroquímicas*</li> <li>• orsat (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO)</li> </ul>	-----	
Oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• celdas electroquímicas</li> <li>• paramagnéticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• orsat (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y CO)</li> <li>• óxidos de zirconio (celdas electroquímicas)</li> </ul>	
SO <sub>2</sub>	medición indirecta a través de certificados de calidad de combustibles que emita el proveedor	Capacidad del equipo de combustión MJ/h	Hasta 5,250: <ul style="list-style-type: none"> <li>• vía húmeda (torino)</li> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> <li>• celdas electroquímicas</li> </ul> Mayores de 5,250: <ul style="list-style-type: none"> <li>• vía húmeda</li> <li>• infrarrojo no dispersivo</li> </ul>

\* Se calcula el valor dado que no se obtiene por medición directa.

(NOM-085-ECOL.,1994)

Anexo 11 . Poder calorífico de diferentes combustibles.

COMBUSTIBLE	MJ/kg DE COMBUSTIBLE
Gas natural	52
Gas L.P.	48
Butano	49
Isobutano	45
Propano	50
Butileno	49
Propileno	49
Metano	55
Petróleo diáfano	46
Gasolina	47
Diesel	48
Gasóleo	42
Combustóleo pesado	42
Combustóleo ligero	43
Carbón mineral	Variable
Coque de petróleo	31

(NOM-085-ECOL.,1994)

Anexo 12 . Factores de emisión para generación de electricidad en México. (COMBUSTOLEO Y DIESEL)

Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> t m <sup>-3</sup>	Hg <sup>2</sup> kg m <sup>-3</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>3</sup> Kg m <sup>-3</sup>	SO <sub>2</sub> <sup>3</sup> kg m <sup>-3</sup>
Combustóleo	Externa	Normal	3.04	1.35E-05	5.63	18.81*S%
	Externa	Tangencial	3.04	1.35E-05	3.83	18.81*S%
Diesel	Externa	Normal	2.66	1.35E-05	5.63	18.81*S%
	Externa	Tangencial	2.66	1.35E-05	3.83	18.81*S%
Diesel	Interna	Motor recíproco	2.66	1.35E-05	72.37	18.81*S%
Diesel	Interna	Turbina	2.61	2.00E-05	14.66	18.81*S%

Fuente: EPA, AP-42 (1998), tomado de FIRE V. 6.23

1. Sener (2003)

2. Factores de emisión de mercurio tomados de Acosta (2001)

3. S% indica porcentaje de S en el combustible respectivo, por peso.

(Samudra Vijay, Luisa T. Molina y Mario J. Molina, 2004)

Anexo 13. Factores de emisión para generación de electricidad en México. (GAS NATURAL)

Combustible	Tipo de combustión	Configuración de la caldera	CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> t/Mm <sup>3</sup>	Hg <sup>2</sup> kg/Mm <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> kg/Mm <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> kg/Mm <sup>3</sup>
Gas natural	Externa	> 100 MMBTU/Hr Normal	1.92	4.17E-03	4486.14	9.61
		< 100 MMBTU/Hr Normal	1.92	4.17E-03	1602.19	9.61
	Externa	Tangencial	1.92	4.17E-03	2723.73	9.61
Gas natural	Interna	Turbina	1.92	4.17E-03	5127.02	9.61

Fuente: EPA, AP-42 (1998)

1. Sener (2003)

2. Acosta (2001)

(Samudra Vijay, Luisa T. Molina y Mario J. Molina, 2004)

Anexo 14. Método para realizar balance de masa, balance de energía, cálculo de consumos y descargas específicas.

El presente anexo está organizado de la siguiente manera:

1. Introducción
2. Elaboración de un diagrama de flujo
3. Balance de masa- Bases para identificar y cuantificar entradas y salidas
4. Balance de masa- Cuantificación de las entradas.
  - 4.1. Cuantificación de la entradas de insumos
  - 4.2. Registro del consumo de agua.
5. Balance de masa- Cuantificación de las salidas.
  - 5.1 Cuantificación de productos y residuos
  - 5.2 Cuantificación de aguas residuales.
  - 5.3 Cuantificación de emisiones atmosféricas
  - 5.4 Cuantificación de residuos sólidos o semisólidos
6. Elaboración de un balance de masa
7. Balance de energía
  - 7.1 Energía térmica.
  - 7.2 Energía eléctrica.
8. Cálculo de consumos y descargas específicos.

## **1. Introducción**

Todo proceso industrial está caracterizado por el uso de insumos (materias primas, agua, energía, etc.) sometidos a una transformación, dan lugar a productos, subproductos y residuos. En el contexto de esta guía. Se considera “desecho” a cualquier descarga que no es un producto, subproducto o residuo; este último se considera un insumo de menor valor, que puede ser reciclado o recuperado para darle un uso cualquiera. Los desechos pueden estar en forma de sólidos, lodos, líquidos o gases.

Para prevenir o reducir la generación de desechos, se debe examinar cada operación en el contexto global del proceso, a fin de identificar su origen y cantidad, los problemas Operativos inherentes y las posibles soluciones y mejoras. El enfoque del examen de cada operación puede orientarse a:

- Uso no eficiente o pérdidas de insumos y energía;
- Residuos que pueden ser utilizados;
- Residuos que ocasionan problemas de procesamiento;
- Residuos considerados peligrosos o contaminantes;
- Residuos para los cuales los costos de disposición final son elevados.

El análisis de las operaciones requiere de un balance de masa, que se obtiene después de observar, medir, registrar datos y realizar el análisis de muestras de residuos en forma metódica y exhaustiva.

## **2. Elaboración de un diagrama de flujo**

El proceso productivo está constituido por una o varias operaciones unitarias. Una operación unitaria puede realizarse en varias etapas. Se debe identificar todas las

operaciones unitarias y sus interrelaciones, a fin de dibujar un diagrama de flujo que refleje fielmente lo que ocurre en el proceso.

Para sistemas de producción complejos, donde existan varios procesos independientes, se pueden preparar un diagrama de flujo general, mostrando todos los procesos, cada uno representado por un bloque y, en hojas separadas, preparar diagramas de flujo para cada proceso individual, indicando en detalle sus operaciones unitarias. Si éstas fuesen complejas, se puede, a su vez, preparar diagramas de flujo, por separado, con el detalle que sea requerido.

El diagrama de flujo debe además incluir operaciones complementarias o de soporte, tales como limpieza, almacenamiento preparación de tanques y otras (si es necesario, éstas pueden presentarse por separado).

### **3. Balance de masa – Bases para identificar y cuantificar entradas y salidas**

Todos los insumos que entran a un proceso u operación, salen como productos y como residuos. En este sentido, un balance de masa se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de masa que debe existir entre los insumos de entrada y los productos y residuos de salida. El balance de masa es aplicable tanto a un proceso como a cada una de las operaciones unitarias. A menudo no es posible identificar todas las salidas, por lo que se incluye una diferencia de masas “no identificada”.

Por lo tanto, en un balance de masa, la suma de todas las masas que entran en un proceso u operación, debe ser igual a la suma de todas las masas que salen de dicho proceso u Operación (es decir, la suma de masas de los productos, residuos y de todos los materiales de salida no identificados).<sup>1</sup>

$$\begin{aligned} \text{Si:} \quad & M_E = M_{i1} + M_{i2} + \dots + M_{in} \\ & M_S = M_P + M_R + M_N \end{aligned}$$

Balance de Masa:  $M_E = M_S$

Donde:      M= Masa                      i1 = Insumo 1                      R= Residuo  
  
                 E= Entrada                      i2 = Insumo 2                      P= Producto  
  
                 S= Salida                      in = Insumo n                      N= No identificado

Los materiales de salida no identificados, generalmente se atribuyen a pérdidas de insumos y productos por derrames, fugas y otras causas similares, cuyo origen no pudo ser detectado y, por ende, sus masas no pudieron ser cuantificadas.

Si bien el balance de masa incluye agua, a menudo es conveniente realizar un balance sólo para agua, a fin de mostrar detalles que normalmente no se incluyen en un balance global. El balance de energía normalmente no se incluye en el balance de masa, y se lo realiza por separado.

Para hacer el balance de masa, se requiere de toda la información asociada al manejo de los datos de entradas y salidas, incluyendo parámetros de operación, así como de información existente a nivel de la administración.

---

1 Si bien se puede asumir que la pérdida de masa está dada por la diferencia de masas entre las entradas y las salidas, en algunos sistemas productivos es necesario tomar en cuenta la masa que pudiera quedar residente en la operación, a fin de estimar correctamente la cantidad de la pérdida de masa no identificada. Es decir:

$$\text{Entradas} + \text{Masa residente inicial} = \text{Salidas} + \text{Masa residente final} + \text{Pérdidas no identificadas}$$



Principio de entradas y salidas de una operación unitaria

#### 4. Balance de masa - Cuantificación de la entradas

##### 4.1. Cuantificación de la entrada de insumos

Los insumos de entrada a un proceso u operación unitaria puede incluir, además de materias primas), debe examinarse los registros (inventarios) de adquisiciones y compras. Un registro de almacén es muy útil, allí se registran las compras de material y sus usos.

La determinación cuantitativa de las entradas netas de insumos al proceso u operación unitaria, requiere del control de las pérdidas previas en almacenamiento y por transferencia y manipuleo (incluye pérdidas por evaporación, fugas, goteos de tanques, etc.), puede tener como base un registro global de comparas de insumos y pérdidas, y que pueden ser cuantificados, por ejemplo, en un registro como el que ilustra a continuación.

**Cantidad de insumos de entrada por un período de tiempo determinado  
(hora, día, semana)**

Operación unitaria	Materia prima 1 (Kg ó t/periodo)	Materia prima 2 ( Kg ó t/ periodo)	Material reciclado ( Kg ó t/ periodo)	Agua (m <sup>3</sup> / periodo)	Energía eléctrica ( KWh/ periodo)	Combustibles (m <sup>3</sup> de gas ó litros de diesel etc. / periodo)
Op. Unitaria 1						
Op. Unitaria 2.						
Pérdidas en almacén y otras no identificadas						
Total:						

Una vez que se tenga un control de las entradas netas de insumos al proceso y a cada operación unitaria, se debe determinar el consumo específico de cada insumo; es decir, la cantidad de insumo utilizado por unidad producida o por unidad de alguna materia prima utilizada como referencia. Es importante que se utilice una misma unidad de referencia para todos los insumos. Si no se dispone de información precisa sobre los consumos específicos, se debe adoptar medias para poder determinarlas, las mediciones deben hacerse durante un intervalo de tiempo apropiado, para que las cifras sean confiables y puedan extrapolarse en el tiempo, esto con el fin de computar valores mensuales o anuales.

En varias operaciones unitarias, el agua constituye tanto materia prima como un medio de enfriamiento, lavado de gases, lavado en general, enjuagues de producto, limpieza a vapor y otros. Los consumos específicos de todos estos usos deben también cuantificarse como parte de las entradas. Algunas operaciones unitarias pueden reciclar residuos provenientes de las mismas u otras operaciones unitarias.

Los consumos específicos de estos residuos reciclados también deben computarse como parte de las entradas. Respecto al consumo de energía, éste amerita un balance de energía específico para todo el proceso y para cada operación unitaria. Los datos sobre consumos específicos de entrada deben mostrarse en el diagrama de flujo del proceso y de cada operación unitaria, a partir de datos registrados en forma tabular.

#### 4.2. Registro del consumo de agua.

El agua es un insumo que se usa como materia prima y como un medio para diversos tipos de uso. El uso general del agua (lavado, enjuague, limpieza y otro), normalmente representa una buena oportunidad para optimizar y reducir su consumo específico, frecuentemente mediante prácticas y medidas sencillas que, en la mayoría de los casos, conllevan ahorros económicos significativos.

#### Registro de consumo de agua por medidor

Fecha	N° Medidor	Consumo desde la última factura	Observaciones	Responsable
1 enero				
2 enero				
Mes: Enero			Producción mensual:	

Cuando no se cuenta con medidores de agua, la elaboración del balance de masa exige idear algún método para estimar tanto su consumo global en el proceso como su consumo específico en cada operación unitaria. Dicho método puede basarse en la evaluación o en un estimado de las cantidades de agua suministrada por las fuentes de suministro en uso, aprovechando algunas de sus características, como por ejemplo:

- La forma y capacidad del tanque de almacenamiento y con qué frecuencia se llena y vacía el mismo, utilizando marcas para medir los cambios de nivel del agua.
- La forma de transporte del agua ( bombeo, manual, gravedad), el caudal y el tiempo de suministro por operación y por día; el caudal puede determinarse como un promedio de varias medias realizadas con un balde de volumen conocido y un cronómetro.
- Superficie para coleccionar agua de lluvia y nivel pluvial por año.

Para cada operación unitaria, se debe considerar los usos del agua, y el volumen y la frecuencia de cada uso. Para obtener esta información, se debe realizar monitoreo, especialmente en aquellas operaciones intermitentes, tales como limpieza con vapor y lavados en general.

En la práctica, se puede hacer determinaciones del caudal a través de mediciones del tiempo que toma llenar un balde de, por ejemplo, 10 litros. Después se observa la duración del uso, incluyendo la intermitencia de dicho uso cuando corresponda, a fin de estimar el consumo. Para esto, se puede utilizar el siguiente registro:

**Medición del caudal y consumo de agua en cada proceso u operación unitaria.**

Proceso u operación unitaria	Tiempo de llenado del balde (T) [min, s]	Volumen del balde (V)[litros]	Caudal(c) = V/T[litros por minutos]	Duración del uso por día o por lote de producción (D) [minutos]	Consumo total por día o por lote = Cx D [litros]	Observaciones
Operación Unitaria 1						
Manguera1						
Reservorio1						
Maquinaria1						
Total Op.U 1						
Operación Unitaria 2						

En base a esta información, se debe preparar un resumen del consumo de agua en cada operación unitaria, por día o por año, y desglosado por tipo de uso. Esta información puede registrarse en un registro similar al siguiente:

**Resumen del consumo de agua en cada operación unitaria, desglosado por tipo de uso**

Operación unitaria (OU)	Insumo usado en el proceso u operación [m <sup>3</sup> /día ] o [ m <sup>3</sup> /año]	Limpieza [m <sup>3</sup> /día] o [m <sup>3</sup> /año]	Vapor [m <sup>3</sup> / día] o [m <sup>3</sup> /año]	Uso doméstico (baños etc.) [m <sup>3</sup> /día] o [m <sup>3</sup> /año]	Otros [m <sup>3</sup> / día] o [m <sup>3</sup> /año]	Consumo total por operación o por sección de la planta [m <sup>3</sup> ]
OU1						
OU2						
Total						

**5 Balance de Masa – Cuantificación de las Salidas.**

**5.1 Cuantificación de productos y residuos.**

La cuantificación de masas correspondiente a todas las salidas del proceso y de cada una de las operaciones unitarias, requieren del registro detallado de las cantidades del producto principal, los subproductos, los residuos reutilizables o reciclables, las aguas residuales, los efluentes gaseosos y los desechos sólidos que necesitan ser almacenados y/o enviados fuera del local para su disposición final. La cuantificación de la cantidad del producto principal es un factor clave en la eficiencia del proceso o de la operación unitaria. Se debe cuantificar, para cada operación unitaria siguiente, constituyen entradas.

Todos los datos mencionados, tanto para el proceso como para sus operaciones unitarias, deben ser registrados en un protocolo similar al propuesto en el siguiente cuadro.

### Salidas de las operaciones unitarias.

Operación Unitaria	Producto [cantidad]	Subproducto [cantidad]	Residuos a reciclaje interno [cantidad]	Residuos Almacenados [cantidad]	Residuos fuera de planta [cantidad]	Aguas residuales [cantidad]	Efluentes Gaseos [cantidad]	Total OU
OU1								
OU2								
Total del proceso								

- Las cantidades se pueden expresar en kg o toneladas por año o por unidad de producto.

### 5.2 Cuantificación de aguas residuales.

Los materiales contenidos en las aguas residuales representan, directa o indirectamente, una pérdida de insumos y, además implican un costo de tratamiento. Los flujos de cada operación unitaria, así como los flujos del proceso global, requieren ser cuantificados, muestreados y analizados.

A continuación, se presentan sugerencias sobre cómo efectuar un estudio de salidas de aguas residuales:

- Identificar los puntos de descarga de efluentes; es decir, identificar pro dónde el agua residual abandona la planta;
- Identificar dónde confluyen los flujos de las diversas operaciones unitarias o áreas de proceso, incluyendo el punto donde se inicia y termina el flujo global.
- Esta acción permite esquematizar por completo la red de drenaje de la planta.
- Conocimiento el sistema de drenaje, se puede diseñar un programa apropiado de muestreo y medición de flujos para monitorear tanto las aguas residuales de cada operación unitaria como la composición del flujo global de la planta.
- Ejecutar un programa de monitoreo exhaustivo, tomando muestras sobre un amplio rango de condiciones de operación, tales como producción al máximo, arranque, cierre, lavado, etc. En el caso de sistemas combinados de drenaje de aguas de lluvia y de desecho, efectuar las mediciones de flujos y toma de muestras antes de la mezcla con aguas de lluvia.
- Medir el caudal de los flujos intermitentes o pequeños de aguas residuales. Para ello, puede emplearse un cronómetro y una cubeta o balde, que permita recolectar la integridad del flujo en un tiempo determinado. Los caudales grandes ó continuos pueden evaluarse empleando técnicas tales como la de la placa de orificios o la del vertedero rectangular.

Las aguas residuales deben ser analizadas para determinar la concentración de materia en suspensión y disuelta. Se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Incluir en el análisis parámetros tales como pH, DQO; DBO5, sólidos suspendidos (SS), aceites y grasas.
- Especificar otros parámetros químicos a analizar, dependiendo de las entradas de insumos. Por ejemplo, para empresas que trabajan con metales pesados, estos son parámetros importantes. Para cada proceso, solamente se necesita medir o estimar los parámetros importantes. Para cada proceso, solamente se necesita medir o estimar los parámetros más relevantes. En el caso de curtiembres: los parámetros son sulfuro, Sólidos Suspendidos y DBO del pelambre, DQO, como del curtido, etc.
- Tomar muestras para análisis de laboratorio en recipientes limpios y secos. En el caso de flujos continuos, tomar muestras compuestas. Por ejemplo, para un proceso de 10 horas, tomar cada hora una muestra de 100ml para obtener un litro de muestra compuesta. Para tanque por lotes y escurrimiento periódico, puede ser adecuada una sola muestra instantánea, pero del lote bien mezclado (para asegurar la calidad de los análisis, es preferible que personal de un laboratorio acreditado realice la toma de muestras).

Para optimizar el número de muestras y de análisis, se puede identificar las salidas importantes y relacionarlas con las características de la operación, así como con las propiedades, comportamiento y reacciones que sufren las masas de entradas. Por ejemplo, si el agua que ingresa es sólo para enfriamiento, sin que entre en contacto con materia soluble, es de esperar que el agua de salida sea la misma que la de entrada y, por tanto, no requiere en principio de análisis (o puede realizarse el análisis una sola vez a fin de verificar esta hipótesis). De manera similar, si un material entra en una operación, por ejemplo, en forma mecánica y sin transformaciones químicas, la cantidad de sólidos incorporada al agua residual puede estimarse por la diferencia entre el peso de entrada y salida del sólido, sin necesidad de realizar un análisis para determinar la cantidad de materia sólida, disuelta o no, que se ha incorporado al agua (sin embargo, es posible que, por

hidratación del sólido, el peso de salida tenga que ser corregido por un factor de hidratación, que tendría que ser determinado).

Los resultados obtenidos (cantidad de aguas residuales y sus cargas contaminantes) pueden ser registrados de la siguiente manera:

**Aguas residuales – Caudales y concentraciones para cada operación unitaria (OU)**

Origen de las aguas residuales	Descarga [m <sup>3</sup> /día ] o [l/h]	Concentración parámetro 1 [mg/l]	Concentración parámetro 2 [mg/l]	Concentración parámetro 3 [mg/l]	Destino: Alcantarillado, reciclaje u otro.
OU1					
OU2					
Total					

**Aguas residuales – Cantidades por unidad de producción para cada operación unitaria (OU)**

Origen de las aguas residuales	Producción por unidad de tiempo [Producción/h]	Cantidad parámetro 1 por unidad de producción [mg/unidad de producción]	Cantidad parámetro 2 por unidad de producción [mg/unidad de producción]	Cantidad parámetro 3 por unidad de producción [mg/unidad de producción]	Destino: Alcantarillado, reciclaje u otro.
OU1					
OU2					
Total					

NOTA: Las unidades de la descarga específica son [mg /unidad producción], y se obtiene de las siguientes operaciones: (descarga (l/h) x concentración (mg/l) / producción por tiempo(producción /h)=cantidad del elemento descargado /unidad de producción.

### 5.3 Cuantificación de emisiones atmosféricas.

Para elaborar un balance de masa lo más exacto posible, se requiere cuantificar las emisiones a la atmosfera asociados al proceso o a cada operación unitaria.

Las emisiones atmosféricas no siempre son obvias y pueden ser difíciles de medir. Cuando no es posible cuantificarlos, se puede recurrir a estimados hechos en base a consideraciones estequiométricas o de otra índole. Se puede calcular la cantidad de emisiones producida a partir de la cantidad de insumo usado y de acuerdo a las reacciones químicas involucradas. Por ejemplo, en la combustión del carbón, éste se transforma en dióxido de carbono, generado calor, según la siguiente reacción estequiométrica:



Sin embargo, el contenido de carbono ( C ) en un combustible depende de su naturaleza y, en consecuencia, la cantidad del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) varía en función a dicho contenido.

En el caso de solventes orgánicos volátiles, se puede asumir, según sea el caso, que una parte o el total de solvente se transforma en gas (es decir, se volatiliza). Por ejemplo, 1 kilogramo de solvente usado para limpieza, genera a la salida de la operación prácticamente un 1 kilogramo de solvente en forma de gas.

Se debe registrar los datos de emisiones gaseosas, indicando qué datos son estimados y cuáles son el resultado de mediciones cuantitativas. Para el caso en el que se requiera determinar la concentración de los componentes de las emisiones

gaseosas, se sugiere recurrir a laboratorios especializados, a fin de que éstos sean los que realicen los muestreos y las correspondientes mediciones.

#### 5.4 Cuantificación de residuos sólidos o semisólidos.

Muchos procesos producen residuos que no pueden ser tratados en la planta, por lo que necesitan transportarse fuera de la planta para su tratamiento Y7o disposición final. Los residuos pueden ser sólidos o semisólidos (lodos). Pueden ser peligrosos o no-peligrosos. El transporte y tratamiento de estos residuos fuera de las plantas, son frecuentemente costosos. Por lo tanto, la minimización de residuos significará ahorros económicos.

Para el registro corriente de disposición de residuos sólidos, se puede aplicar el siguiente formato:

#### Registro de datos para residuos sólidos

Fecha	Cantidad [en barriles, m <sup>3</sup> o toneladas]	Tipo u origen del residuo	Destino	Observaciones	Responsables
1 de enero	14m <sup>3</sup>	virutas	Relleno		
2 de enero					
Mes: Enero			Producción de este mes:		

El control puede facilitarse midiendo el volumen y peso de la basura recolectada en barriles, durante un día o semana normal de trabajo. Al final, se debe llenar un registro como el siguiente:

**Resumen de la generación de residuos de diferentes operaciones y su disposición.**

Origen	Descripción	Cantidad [t/año; m <sup>3</sup> /año o t/ producto]	Servicio / Destino	Costos /Ingresos [US \$/año o US\$/producto]
Operación1	Sal, sólido		Relleno sanitario	
Operación2	Lodo			
Sección almacenes	Pérdidas			
Total				

**6. Elaboración de un balance de masa**

De acuerdo al tamaño de la planta, se puede elaborar un balance de masa para cada operación unitaria o puede ser suficiente un solo balance para todo el proceso. Para el efecto, se debe contar con información elaborada para cada operación unitaria y para el proceso global. Entonces, se decide si deben incluirse todas las entradas y salidas en el balance de masa, y/o si se hacen balances específicos por separado.

Para fines de seguimiento y evaluación de la planta, se debe estandarizar las unidades de medición (litros, kilogramos o toneladas); la unidad de tiempo (por hora, día mes o año); y la referencia para calcular los consumos específicos (por

unidad de producción o por unidad de materia prima). Asimismo, se debe usar valores medidos en unidades estándar con referencia al o los diagramas de flujo. Con la información obtenida para las entradas y salidas de masa en cada operación unitaria, se puede estructurar el balance de masa de la siguiente manera:

**Formar de presentar el balance de masa de cada operación unitaria.**

<b>OPERACIÓN UNITARIA 1</b>
<p>Entradas [Cantidades en unidades estándar por unidad de tiempo o por unidad de producción ]</p> <p>Materia Prima1</p> <p>Materia Prima 2</p> <p>Materia Prima 3</p> <p>Reuso /Reciclaje de Residuos</p> <p>Agua</p> <p>Total</p>
<p>Salidas [Cantidades en unidades estándar por unidad de tiempo o por unidad de producción]</p> <p>Productos</p> <p>Subproductos</p> <p>Pérdidas de materia prima medias durante almacenamiento y manejo</p> <p>Residuos reusados /reciclados o transportados fuera de la planta para recuperación</p> <p>Aguas residuales</p> <p>Emisiones gaseosas</p> <p>Residuos líquidos peligrosos transportados fuera de la planta</p> <p>Residuos sólidos (o lodos) peligrosos transportados fuera de la planta</p> <p>Residuos líquidos no peligrosos transportados fuera de la planta</p> <p>Residuos sólidos (o lodos ) no peligrosos transportados fuera de la planta</p> <p>Total</p>
Diferencia de entradas y salidas =Masas no identificadas.

El balance de masa se elabora normalmente usando unidades de peso, ya que la magnitud de los volúmenes cambia con la temperatura. Para convertir unidades de volumen a unidades de peso, es útil contar con una tabla de densidades, para líquidos y gases, en función de la temperatura. Una vez concluido el balance de masa global y/o de cada operación unitaria, vale la pena repetir el procedimiento con respecto a cada residuo de interés. Es también importante efectuar un balance de agua para todas las entradas y salidas de agua hacia y desde las operaciones unitarias, porque las diferencias entre las entradas y salidas, son un indicio importante de que ocurren pérdidas, tales como fugas e incluso goteras.

Los totales globales e individuales (por operaciones unitarias) deben ser revisados para detectar faltas de información o inexactitudes. La suma de las entradas debe ser igual a la suma de las salidas. Si se tiene una diferencia significativa de masa, se debe investigar con mayor profundidad cada operación. En el caso de que las salidas sean menores que las entradas, se debe buscar pérdidas potenciales o descargas de residuos (tales como evaporación). Las salidas podrían aparentar ser mayores que las entradas si se cometen errores grandes de medición o estimación o si se pasan por alto algunas entradas.

Un buen balance de masa no solo refleja la adecuada recolección de datos, sino que asegura entender el proceso y sus operaciones. En la práctica, rara vez ocurrirá que las entradas igualen a las salidas, por lo que se requiere criterio para determinar qué nivel de exactitud es aceptable.

## **7. Balance de energía.**

La energía representa un insumo importante en la industria en general y el gasto que representa puede influir, dependiendo del tipo de industria, de manera significativa en la estructura de costo de la empresa. Asimismo, existen interesantes oportunidades para ahorrar energía con beneficios económicos y ambientales.

Siguiendo el método que se explicó en detalle para obtener el balance de masa, se puede elaborar un balance de energía en cada operación unitaria o proceso donde interviene la energía, en una de sus dos formas; eléctrica o térmica.

La energía térmica utilizada proviene del proceso de combustión de uno o más combustibles. Por lo general, se la utiliza para la producción de vapor, el cual es usado a través de intercambiadores de calor o de manera directa.

La energía térmica utilizada, por lo general, en las diferentes operaciones unitarias, para impulsar motores eléctricos de los equipos y producir movimiento mecánico.

### 7.1 Energía térmica.

A continuación se muestra un diagrama en el que se representan las entradas y salidas de energía que ocurren en un proceso o en una operación unitaria.



De manera general, el balance de la energía térmica puede ser expresado mediante las relaciones siguientes, donde  $E_E$  y  $E_S$  son las energías de entrada y de salida, respectivamente.

### Relaciones asociadas al balance de energía térmica.

Energía de ( $E_E$ )	Energía de salida ( $E_S$ )	Balance de Energía
$E_E$ = Suma de todas las energías de entradas	$E_S = E_U - E_P$ $E_P = E_D - E_R$ $E_S = E_U - E_D - E_R$	$E_E = E_S$
Significado de los subíndices		
$E$ = Entrada o energía total suministrada, $P$ =Energía perdida o no aprovechada,	$S$ = Salida $D$ = Deficiencias o fugas	$U$ =Energía útil o aprovechada en el Producto $R$ = Residual o de rendimiento termodinámico.

Adicionalmente, se define la energía neta,  $E_{Neta}$ , como la energía efectivamente disponible; es decir, la energía de entrada ( $E_E$ ) menos la energía residual de salida ( $E_R$ ), la cual se pierde como parte del rendimiento termodinámico de una máquina térmica (por ejemplo, la energía que se pierde con los gases residuales de combustión que salen por la chimenea de hornos y calderas, y que no está disponible por ser necesaria para que opere el tiraje normal de la chimenea; la energía residual no incluye la energía que se pierde por fugas u otras ineficiencias operativas, ni el exceso de energía que se pierde con dichos gases residuales, por ejemplo, por mal combustión):

$$ENeta = EE - ER$$

Reemplazando EE por ES ( el balance de energía requiere que la energía total de entrada, EE, sea igual a la energía total de salida, ES), se tiene que:

$$ENeta = ES - ER$$

Reemplazando ES por EU + ED+ Er, se tiene que:

Energía de entrada (EE): Energía de salida (ES): Balance de Energía:

$$EE = \text{Suma de todas las energías} \quad ES = EU + EP \quad EE = ES \text{ de entrada} \quad EP = ED + ER$$

$$ES = EU + ED + ER$$

### **Significado de los subíndices:**

E= Entrada o energía total suministradas; S= Salida; U= Energía útil o aprovechada en el Producto;

P= Energía perdida o no aprovechada; D= Deficiencias o fugas, R= Residual o de rendimiento termodinámico.

EU Energía útil o aprovechada en el producto

ER Energía residual o de rendimiento

ED Deficiencias (por fugas y otros)

$$ENeta = EU + ED$$

Por otra parte, el rendimiento termodinámico de una máquina, Rn, se define como la razón entre la energía neta (ENeta) y la energía total de entrada (EE):

$$EE = EU / E_{\text{neta}} = EU / (EU + ED)$$

La eficiencia térmica puede en principio ser igual a la unidad, si se logra eliminar las pérdidas de energía por deficiencias operativas (ED).

Finalmente, el rendimiento energético total (RT) se define como el producto del rendimiento termodinámico de la máquina ( $R\eta$ ) y la eficiencia térmica del proceso o de la operación unitarias (ET):

$$RT = R\eta \cdot ET = (E_{\text{Neta}} / EE) \times (EU / E_{\text{Neta}}) = EU / EE$$

Del resultado de la ecuación anterior, se deduce que el rendimiento energético total (RT) es la razón entre la energía útil (EU) y la energía de entrada (EE).

#### **7.1.1. Cuantificación de la energía térmica de entrada.**

Para cuantificar la energía térmica de entrada, se debe primero registrar el consumo específico (es decir, la cantidad de energía por unidad de producción) o, en su defecto, la cantidad de todos los combustibles utilizados en el proceso o en la operación unitaria. A continuación, se ilustra un protocolo que puede ser utilizado para el registro de datos.

### Registro de datos de las entradas de energía por unidad de producción (UP)

Operación Unitaria	Combustible 1 [m <sup>3</sup> ó mpc, kg ó t / UP]	Combustible 2 [m <sup>3</sup> o mpc, kg ó t / UP]	Combustible 3 [m <sup>3</sup> ó mpc, kg ó t / UP]
Operación unitaria 1			
Operación unitaria 2			
Pérdidas en almacén no identificadas.			
Total			
Equivalente energético (Kcal, Mj o Btu)			

Adicionalmente, para la determinación cuantitativa de las entradas de combustibles al proceso, se puede tener como base un registro global de comparas de combustibles, tomando en cuenta las pérdidas en almacenamiento, especialmente por evaporación y/o fugas en las tuberías.

Una vez determinadas las entradas netas de combustibles al proceso u operación unitaria, se debe convertir la cantidad total de combustible (Kg, L, m<sup>3</sup>, mpc) en un equivalente energético (Kcal, MJ o Btu). Para ello es necesario conocer el poder calorífico del combustible empleado.

En la práctica, el cómputo de EE puede realizarse identificando sólo las operaciones donde se usa energía en cantidades significativas (generalmente en el calentamiento de agua, procesos del planchado y secado, etc.) Si no se dispone de información precisa sobre el consumo específico para las operaciones individuales, se debe aplicar algún método para determinar cantidades de consumo promedio de energía por lote de producción o por período de tiempo. Las mediciones deben hacerse durante un intervalo de tiempo apropiado, para que las cifras puedan extrapolarse en forma confiable a valores mensuales o anuales.

### **7.1.2. Cuantificación de la energía térmica de salida.**

La cuantificación de la energía de salida (ES) es más compleja que la entrada (EE). El cómputo de ES toma en cuenta, por una parte, la energía útil (EU) que corresponde estrictamente a la energía que consume el proceso u operación para transformar la materia prima en producto; y, por otra, las pérdidas de energía (EP) que corresponden al total de la energía no aprovechada. A su vez, esta última tiene dos componentes: el primero, corresponde a la energía que se pierde debido al rendimiento propio de la máquina (ER); y el segundo, a la energía que se pierde por radiación, transmisión y convección (ED), atribuible a fugas de materia conteniendo energía, deficiencias en el aislamiento, mala combustión, etc.

Para el cómputo de ES en una operación unitaria o proceso, normalmente se requiere efectuar mediciones experimentales. Por ejemplo, para calcular ES en el caso del calentamiento de agua con vapor, se debe medir el volumen y la temperatura del agua iniciales y finales, así como la cantidad de vapor utilizado en la operación. En otros casos, como en secadoras, planchadora, etc., se puede utilizar datos nominales del equipo correspondiente, como el rendimiento y consumo nominal de energía del equipo.

Todos los datos deben ser registrados en un registro como el siguiente:

### Registro de las energías de salida por unidad de producción (UP)\*

Operación Unitaria	Energía útil (EU) [cantidad / UP)	Energía residual (ER) [cantidad /UP]	Pérdidas de energía por deficiencias (ED) [cantidad/ UP]
Operación Unitaria 1			
Operación 2			
Total			

(\*) Las cantidades también se pueden expresar en Kcal por mes ó Kcal por año.

En algunas situaciones, resulta complicado estimar las pérdidas por deficiencias (ED). En estos casos, se suele computar ED por diferencia entre las energía total de entrada, EE, y la suma de las energías útil, EU, y la residual, Er (ver ecuación de ES en la Figura D5, en la cual se ha sustituido ES por EE, y se ha despejado el término ED):

$$ED = EE - (EU + ER)$$

El riesgo de estimar las pérdidas de energía mediante este cálculo, es que cualquier valor de EU o de ER no computado correctamente, queda registrado, por defecto o por exceso, como parte del valor de ED. Por ejemplo, un error que puede cometerse fácilmente al medir la energía residual de una caldera (ER), es el incluir en este término la energía en exceso que se pierde con los gases que salen por la chimenea, debido al uso innecesario de un exceso de combustible, o a una mala transferencia de calor por falta de limpieza y mantenimiento del intercambiador de calor.

#### 7.1.3 Procedimientos para realizar el balance de energía térmica.

A continuación, detallados procedimientos para efectuar balances de energía en algunas de estas operaciones unitarias más importantes.

#### Operación unitaria: Calentamiento de agua

El procedimiento experimental de tres pasos que sigue, permite cuantificar las energías de entrada y de salida que ocurren durante la operación de calentamiento de agua fría, contenida en un depósito, mediante el uso de vapor vivo.

1. Determinar el caudal de suministro de vapor (QS) que ingresa a la operación unitaria de calentamiento de agua, de la siguiente manera: en un recipiente abierto ( que puede ser un recipiente de 100L), depositar un volumen medido de agua  $V_0$  /en L). A continuación, mediante una manguera conectada a la toma de suministro de vapor, y luego de haber dejado que éste se descargue al aire libre por unos 20 a 30 segundos, es introducido directamente en el seno del agua contenida en el recipiente. El vapor que se condensa incrementa el volumen del agua desde su volumen inicial  $V_0$  hasta un volumen final  $V_f$ , que se alcanza después de un tiempo final  $t_f$ , medido desde el tiempo inicial  $t_0 = 0$ , el cual corresponde al instante en el que se introdujo el vapor en el seno del agua. Asimismo, debe registrarse la temperatura final del agua ( $T_f$ ).

Con estos datos, y conocimiento la densidad del agua ( $D_{H_2O}$ ) a la temperatura final  $T_f$ , el caudal de suministro de vapor (QS) se calcula mediante la siguiente ecuación (se debe utilizar las unidades adecuada para expresar el caudal en kg de vapor por hora): (b)  $QS = (V_f - V_0) \times D_{H_2O} / t_f$  [kg vapor /h]

2. Medir la temperatura del vapor,  $T_v(^{\circ}C)$  a la salida de la toma de suministro de vapor ubicada cerca del depósito de agua fría a ser calentada. A esta temperatura del vapor el corresponde una presión  $P$  ( en kg/  $cm^2$ ) y una entalpía del vapor  $H_v$  ( en Kcal/kg). El valor de este último puede obtenerse de tablas de vapor saturado.( C ).

3. Medir y registrar los siguientes parámetros durante el calentamiento del agua contenida en el depósito de agua fría:

VoD [L]= Volumen inicial del agua (litros ) contenida en el depósito de agua fría

ToD [°C]= Temperatura inicial del agua en el depósito de agua fría

TfD [°C]= Temperatura final del agua contenida en el depósito

tCD [h]= Tiempo (horas) de calentamiento del agua para llegar a la temperatura final deseada (YDf)

Durante todo el tiempo del calentamiento, es necesario asegurar que el caudal QS se mantenga constante e igual en magnitud a la del caudal QS determinado en paso 1.

Energía de entrada (EE): Con el dato del tiempo total de calentamiento, tCD ( ver paso 3 ) y bajo las condiciones señaladas para controlar el caudal de vapor QS durante el calentamiento, la masa total de vapor (mv), utilizada para calentar el agua del depósito de agua fría, se calcula mediante la siguiente ecuación:

b Para convertir unidades de volumen en unidades de masa, se utiliza la densidad del agua que, para propósitos prácticos, puede tomarse el valor de 1 Kg /L.

c Las entalpías pueden obtenerse de la “ Tabla de propiedades de vapor de agua saturado y recalentado”.

$$Mb[\text{kg vapor}] = QS [\text{kg vapor /h}] \times tC [\text{h}]$$

A partir de mv, y de H (ver paso 2, la energía de entrada (EE) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$EE[\text{Kcal}] = mv [\text{Kg}] \times hv [\text{Kcal/kg}]$$

Energía de salida (ES): Para cuantificar la energía de salida ( $ES = EU + ED + ER$ ) se debe considerar que, en la operación de calentamiento, la energía de entrada no incluye la energía residual de la caldera (ER), ya que el vapor se obtiene de una toma de suministro de vapor. Por lo tanto, ER no interviene en el balance de energía, y la ecuación de ES queda reducida a:

$$ES = EU + ED$$

Es decir, la energía de salida es la suma de energía útil (Eu) y la energía perdida (EP), siendo esta última igual solamente a la pérdida de energía por deficiencias (ED).

- a) Cálculo de la energía útil (EU). Calcular primero la masa inicial de agua fría, moD [kg], a partir de su volumen inicial medido en el depósito de agua fría (voD; paso 3 ), mediante la siguiente ecuación:

$$moD [kg] = voD [L] \times DH_2O [KG/l]$$

Para todo propósito práctico, se puede asumir que la densidad del agua (DH<sub>2</sub>O) es de 1 kg/L.

Luego, mediante la siguiente ecuación, calcular la energía útil (Eu) a partir de moD, ToD, TfD ( ver paso 3) y del calor específico del agua a presión constante (Cp), cuyo valor, para todo propósito práctico, se asumirá igual a 1 kcal / (Kg x °C) : (d)

$$Eu [Kcal] = moD [kg] \times Cp [Kcal/kg \times ^\circ C] \times TfD - ToD [^\circ C]$$

- b) Cálculo de la pérdida de energía por deficientes (ED). Esta energía no es fácil de cuantificar en forma directa, por lo que, para todo propósito práctico, se sugiere su cálculo simplemente por diferencia como parte del balance de energía. Es decir (ver ecuación de ES en el subtítulo Energía de salida):

$$ES = EU + ED$$

Sustituyendo ES por EE (requisito del balance de energía), y despejando ED, finalmente se obtiene que:

$$ED = EE - EU$$

Energía de entrada (EE): Primero se calcula el consumo específico medido de vapor (CEM<sub>v</sub>), a partir de la masa de vapor (mv) utilizada por el planchador o secador y de la masa de cuero procesada (mc):

$$CEM_v \text{ [kg vapor / t cuero ]} = mv \text{ [kg vapor ]} / mc \text{ [ t cuero ]}$$

La energía de entrada (EE) se calcula en términos específicos por tonelada de piel, a partir del valor calculado de CEM<sub>v</sub> y de la entalpía del vapor (H<sub>v</sub>) correspondiente a su temperatura de ingreso (T<sub>v</sub>), mediante la siguiente ecuación:

$$EE \text{ [kcal/ t cuero]} = CEM_v \text{ [kg vapor / t cuero ]} \times H_v \text{ [ Kcal /kg vapor]}$$

Energía de salida (ES):

La energía de salida ES está dada por la siguiente expresión:

$$ES = EU + ER + ED$$

El consumo específico nominal de vapor (CEN<sub>v</sub>), especificado en los equipos por los fabricantes, es igual a la suma de la energía útil (EU) y de la energía residual o de rendimiento termodinámico (ER) del planchador o del secador. Es decir:

$$EU + ER = CENv \text{ [KG vapor / t cuero]} \times Hv \text{ [ Kcal / kg vapor]}$$

Por lo tanto, la energía de salida será igual a:

$$ES = CENv \text{ [kg vapor / t cuero]} \times Hv \text{ [Kcal/kg vapor]} + ED$$

Para calcular las pérdidas de energía por deficiencias (ED), despejamos este término de la ecuación anterior, reemplazando además ES por EE ( de acuerdo con el balance de energía):

$$ED = EE - CENv \text{ [kg vapor/ t cuero]} \times Hv \text{ [ Kcal / kg vapor]}$$

Reemplazando EE por su ecuación (ver energía de entrada), se tiene finalmente que:

$$ED = (CEMv \text{ [kg vapor / t cuero]} - CENv \text{ [kg vapor / t cuero]}) \times Hv \text{ [Kcal/ kg vapor]}$$

Esta ecuación permite calcular las pérdidas de energía por deficiencias (ED), en base al valor medido del consumo específico de vapor (CEWv) con relación al valor nominal de dicho consumo (CENv). Este valor nominal, además de incorporar las pérdidas de energía asociadas al rendimiento termodinámico de la máquina, es posible que incluya pérdidas por deficiencias que pudieron tener los propios fabricantes al establecer dicho valor nominal (CENv) para asignarlo a la máquina.

## **7.2 Energía Eléctrica.**

Para hacer un uso óptimo de la energía eléctrica, es necesario que la empresa tenga control sobre el consumo de esta energía, tanto en el proceso global de producción, como en las operaciones donde el consumo es significativo.

Sin embargo, efectuar un balance energético del consumo de electricidad en términos absolutos, resulta complicado. La forma adecuada de controlar el consumo de energía es a partir de un balance de energía en términos de consumos específicos; es decir, en términos de las cantidades de energía eléctrica que se consumen (kWh) por unidad de producto elaborado (Kg,t). El consumo específico puede ser medido de manera global, calculado la razón entre el consumo total de energía y la producción total, o puede efectuarse de manera específica para cada una de las operaciones que se desarrollan en la planta.

Para controlar el consumo de energía, es necesario contar con información, tanto de la producción como del consumo de energía eléctrica. El registro de la información puede ser diario, semanal o mensual, dependiendo del tipo de industria, de la exactitud de la información que se requiera y/o de las exigencias de control que se imponga la industria.

Para obtener información sobre el consumo de energía eléctrica, las empresas deberán instalar, además del medidor principal, medidores en las operaciones con mayores consumos de energía o que tengan consumo permanentes, como es el caso de las bombas de agua. Por su parte, la empresa deberá llevar un control de los volúmenes de producción total y de los volúmenes de insumos y productos intermedios tratados en cada una de las operaciones, registrándolos con la misma frecuencia con la que se registra el consumo de energía eléctrica. Los consumos menores de la planta, tales como iluminación, administración, cocina, etc., pueden ser calculados por diferencia respecto a la lectura del medidor principal de la empresa de servicios de energía eléctrica que registra el consumo total.

## **8. Cálculo de consumos y descargas específicos.**

Un beneficio adicional que se obtiene a partir de los registros que resultan tanto del balance de masa como del balance de energía, es disponer de una base de datos para calcular consumos y descargas específicos, los cuales pueden utilizarse como indicadores para evaluar el rendimiento operativo y el desempeño ambiental de la empresa.

Un consumo específico expresa la cantidad de materia o de energía consumida por unidad de insumo utilizado o de producto manufacturado. Para todo insumo de entrada al proceso operación, se puede calcular su respectivo consumo específico. Una descarga específica expresa la cantidad de residuos generados, ya sea por unidad de insumo utilizado o de producto manufacturado. Para cada residuo (sea éste tratado como desecho o no), se puede calcular su respectivo valor de descarga específica.

El hecho de tener información sobre el consumo de insumos (materia prima, agua, energía y otros) y su respectivo análisis, permite a la administración o gerencia general de la empresa:

- Planificar los niveles de producción en los cuales el consumo específico es menor, de acuerdo a la capacidad instalada y la demanda de sus productos.
- Fijar metas de consumo de insumos de manera global y por proceso. Esto permite un control, bastante preciso, de los niveles de consumo y del rendimiento de la planta en cada una de sus secciones.
- Asignar los costos por consumo de insumo, a cada una de las operaciones que intervienen en el proceso productivo.

- Efectuar una correcta gestión de los recursos, superando oportunamente los problemas que pueda enfrentar en la planta.