

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Química  
Maestría en Ciencias Ambientales

Mejoramiento de la ecoeficiencia del Centro Nacional de Metrología, México

**Tesis**

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

**Presenta:**

Anilu Gabriela Martínez Arriaga

**Dirigido por:**

Dr. Miguel Ángel Rea López

**SINODALES**

Dr. Miguel Ángel Rea López  
Presidente

Firma

M. en C. María Carolina Muñoz Torres  
Secretario

Firma

Dra. Maricela González Leal  
Vocal

Firma

M. en C. María Eustolia Rodríguez Muñoz  
Suplente

Firma

M. en C. Antonio Aranda Regalado  
Suplente

Firma

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

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario  
Querétaro  
Noviembre 2008  
México

## RESUMEN

La Producción más Limpia es una estrategia ambiental preventiva e integrada enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios a fin de reducir costos y riesgos para el ser humano y el medio ambiente. El objetivo de este trabajo fue aplicar la estrategia de Producción más Limpia a la prestación de servicios del Centro Nacional de Metrología (CENAM, km 4,5 carretera a los Cués, municipio del Márques, Qro). Inicialmente se identificó el área técnica que representa mayor daño ecológico y costo de administración ambiental para el Centro. Esa identificación se realizó consultando el historial de generación de agua residual, consumo y desperdicio de agua de pozo y generación de residuos peligrosos y empleando las técnicas de eco-mapa, matriz med, eco-balance y auditoría ambiental. Posteriormente, se realizó un análisis de factibilidad entre varias opciones técnicas, ambientales y económicas y se implementó la más factible. El área de metrología de materiales y específicamente el proceso de producción de agua tipo1 (un proceso de desmineralización de agua de pozo) se identificó como el área que representa mayor daño ecológico y costo de administración. Se implementó la opción técnica de menor inversión y mayor ganancia en términos de consumo de recursos y minimización de emisiones contaminantes. La aplicación de la estrategia de producción más limpia en el CENAM resultó en la elaboración eco-eficiente de materiales de referencia certificados y en el ahorro de \$35,629.00 pesos en los 18 meses posteriores a su implementación (un retorno del 419.17% de la inversión inicial). Ese ahorro se debió a una reducción en el consumo de agua desmineralizada y de insumos químicos. Además, se mejoró la calidad del agua tri-destilada, lo que a su vez resultó en una disminución del 38% en la cantidad de residuos peligrosos generados. La implementación del proyecto de Producción más Limpia promovió un plan de manejo de residuos peligrosos ambientalmente efectivo y económicamente viable. El CENAM mejoró su desempeño ambiental reduciendo los riesgos sobre sus empleados e instalaciones, dejando a un lado la estrategia de dar soluciones al final del tubo.

(Palabras clave: producción más limpia, manejo de residuos, materiales de referencia).

## SUMMARY

Cleaner Production is a preventive and integrated environmental strategy applicable to productive process, products and services and aimed to reduce costs and human and environmental risk. The objective of this work was to apply the Cleaner Production strategy to services of the Mexican National Center of Metrology (CENAM, located in km. 4,5 road to Los Cues, El Marques Querétaro). First, the technical area that represented the greatest ecological damage and the largest environmental management cost was identified. That identification was made by reviewing the history of waste water and hazardous waste generation, the consumption and waste of well water and by the application of the eco-map, med matrix, eco-balance, and environmental auditing techniques. Next, a feasibility study of several technical, environmental, and economical proposals was conducted and the most feasible option was implemented. The Metrology of Materials area, specifically the production process of type 1 water (a well water demineralization process), was identified as the area that represents the greatest ecological damage and the largest management cost. A strategy for recovering water rejected from the inverse osmosis system used in the production of type 1 water was implemented. This strategy represented the lower investment and largest gain option in terms of resource consumption and pollution emissions. The application of a Cleaner Production strategy at CENAM resulted in the eco-efficient production of reference materials and saved \$ 35,629.00 pesos in the 18 month period following implementation (a return of 419 % from the initial investment). Those savings were due to reduction in the consumption of demineralized water and chemical additives. Besides improving tri-distilled water quality, which in turn resulted in a 38% decrease in the amount of hazardous waste, the implementation of this Cleaner Production project promoted a hazardous waste management plan that is both environmentally effective and economically viable. The CENAM improved its environmental performance by reducing risk to employees and facilities and left behind the end-of-pipe approach to solve environmental problems.

(Keywords: cleaner production, waste management, reference materials).

## ÍNDICE

Resumen	i
Summary	ii
Índice	iii
Índice de cuadros	v
Índice de figuras	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
1. Problemática ambiental en México	3
1.1 Bosques y cobertura de la tierra	3
1.2 Recursos hídricos	4
1.3 Energía y materiales	5
1.4 Contaminación de suelos	5
1.5 Atmósfera	6
2. Bases legales para el manejo de residuos peligrosos	7
2.1 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	7
2.2 Principios básicos a considerar en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	9
2.3 Que se entiende como residuo peligroso	9
2.4 Clasificación de los residuos para facilitar su manejo	12
2.5 Manejo integral de los residuos	14
3. Producción más Limpia	17
3.1 La Producción más Limpia y su importancia como estrategia sostenible.	17
3.2 Fases de la Producción más Limpia	19
4. Aplicaciones de la Producción más Limpia	27
4.1 Mejoramiento de procesos	29
4.2 Ventajas de la Producción más Limpia	31
5. Casos exitosos de la aplicación de Producción más Limpia	32
6. Descripción general del Centro Nacional de Metrología	41

HIPÓTESIS	44
OBJETIVO GENERAL	44
OBJETIVOS PARTICULARES	44
<b>III. METODOLOGÍA</b>	
3.1 Análisis de emisiones contaminantes a los diferentes compartimientos ambientales.	45
3.2 Identificación de los rubros y/o compartimientos ambientales con mayor daño ecológico y costo por administración ambiental.	45
3.3 Identificación del área técnica para aplicar el proyecto de Producción más Limpia	45
3.4 Identificación del proceso de mayor impacto ambiental donde se aplica el proyecto de Producción más Limpia.	46
3.5 Identificación de áreas de oportunidad de mejora para disminuir los problemas ambientales en el proceso de mayor impacto ambiental.	46
3.6 Análisis de la pre-factibilidad de la Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.	47
3.7 Descripción de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.	47
3.8 Implementación del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.	48
3.9 Monitoreo y evaluación de los resultados del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	49
<b>V. CONCLUSIONES</b>	91
LITERATURA CITADA	92

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
4.1 Dispositivos de control y costos para minimizar el daño ecológico.	52
4.2 Residuos peligrosos generados en las áreas técnicas del CENAM.	57
4.3 Generación de residuos peligrosos en el área de metrología de materiales del CENAM.	58
4.4 Responsables de los proyectos de mayor generación de residuos peligrosos en el área de metrología de materiales.	59
4.5 Matriz de Med en el proceso de preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza.	62
4.6 Auditoria ambiental en el consumo de recursos naturales (agua).	66
4.7 Auditoria ambiental en la generación de emisiones contaminantes.	68
4.8 Cuantificación de los costos de la planta desmineralizadora de agua de pozo.	69
4.9 Cuantificación de los costos de la planta de tratamiento de agua residual.	70
4.10 Cuantificación de los costos del almacén temporal de residuos peligrosos.	71
4.11 Comparación anual de los parámetros de desempeño ambiental en el proceso de osmosis inversa.	82
4.12 Indicadores de desempeño ambiental del proceso de osmosis inversa antes y después de implementar las recomendaciones del proyecto de Producción más Limpia.	84
4.13 Mejoras en el proceso de osmosis inversa después de implementar el proyecto de Producción más Limpia.	85
4.14 Calidad del agua tipo 1 antes y después de emplear el agua de rechazo del proceso de osmosis inversa.	86
4.15 Beneficios ambientales, ahorros y retornos por la implementación de Producción más Limpia en el CENAM, recomendación 1.	87
4.16 Beneficios ambientales, ahorros y retornos por la implementación de Producción más Limpia en el CENAM, recomendación 2.	88
4.17 Resultados económicos por la implementación del proyecto de Producción más Limpia.	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
4.1 Eco-mapa de agua en el CENAM	50
4.2 Eco-mapa de residuos peligrosos en el CENAM.	51
4.3 Diagrama de flujo de las emisiones y descargas contaminantes del CENAM.	53
4.4 Diagrama de flujo de la distribución del consumo del agua en el CENAM.	54
4.5 Diagrama de flujo del uso y descarga del agua desmineralizada en el edificio Q del CENAM.	55
4.6 Diagrama de flujo del balance hidráulico anual del CENAM.	60
4.7 Eco-balance del proceso de preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza.	64
4.8 Diagrama de flujo del proyecto de Producción más Limpia.	79
4.9 Sistema de recirculación del agua de rechazo del sistema de osmosis inversa a la planta desmineralizadora de agua de pozo del CENAM.	80

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de Producción más Limpia ha alcanzado reconocimiento a nivel mundial como una estrategia preventiva para la protección del medio ambiente en las empresas. De acuerdo con el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (DESIRE-PNUMA, 2005), Producción más Limpia es la “aplicación continua a los procesos, productos y servicios, de una estrategia integrada y preventiva, con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente”.

La Producción más Limpia puede ser aplicada a procesos usados en cualquier industria, a los productos y a los servicios:

- En los procesos de producción: la Producción más Limpia incluye la conservación de las materias primas y la energía, la eliminación de materias primas tóxicas y la reducción en cantidad y toxicidad de las emisiones y desperdicios antes de su salida del proceso.
- En los productos: la estrategia se enfoca en la reducción de los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de los productos usados.
- En los servicios: la Producción más Limpia reduce el impacto ambiental del servicio durante todo el ciclo de vida, desde el diseño y uso de sistemas, hasta el consumo total de los recursos requeridos para la prestación del servicio (PNUMA-UNEP, 2005).

La estrategia de la Producción más Limpia, orientada a la prevención, involucra la modificación de los procesos de producción, tecnología, prácticas operacionales o de mantenimiento y resultados de acuerdo con las necesidades de los consumidores en cuanto a productos y servicios más compatibles ambientalmente. Además, se le considera como un programa de mejora continua que tiene como objetivo primordial el reducir constantemente las emisiones, los residuos y el consumo de materias primas y energéticos de la empresa.



Con la implementación de la Producción más Limpia en la elaboración de materiales de referencia certificados, asociado al desarrollo de patrones nacionales primarios como parte del trabajo científico y tecnológico del Centro Nacional de Metrología, se espera optimizar el proceso, obtener ahorro de costos mediante la reducción y el uso eficiente del agua desmineralizada, reducir el consumo de insumos químicos, mejorar la calidad del agua tri-distilada con el fin de reducir el rechazo de lotes de producción de materiales de referencia y minimizar la generación de residuos peligrosos. Con esas estrategias, se pretende coadyuvar al establecimiento de un plan de manejo de residuos peligrosos que sea ambientalmente efectivo, económicamente viable y tecnológicamente factible. Desde el punto de vista ambiental, la implementación de Producción más Limpia en el Centro Nacional de Metrología, una estrategia “preventiva” e “integral”, solucionará el problema de desechos y emisiones en la fuente y evitará dar soluciones al “*final del tubo*”; promoviendo la minimización de la generación de residuos peligrosos y disminución del confinamiento.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN MÉXICO

En general, las actividades productivas utilizan los recursos ambientales y los transforman en bienes y servicios con valor de mercado apropiándose de sus beneficios y traspasando o externalizando los costos a la sociedad. De esta manera, tanto los recursos naturales y servicios prestados por el medio ambiente, como los insumos intermedios o materias primas, el capital, la energía y el trabajo humano, se transforman en bienes y de esto se derivan descargas de aguas residuales, emisión de gases y generación de residuos sólidos (peligrosos y no peligrosos), cada uno de los cuales tiene propiedades específicas y diferentes de degradación física, biológica y tóxica en los compartimientos ambientales y tienen diferentes efectos en la salud de la población (SEMARNAT, 2005b).

#### 1.1 Bosques y cobertura de la tierra

La diversidad de los recursos forestales de México es resultado y al mismo tiempo, causa de la gran variabilidad ambiental y biológica que presenta el país. Además de su importancia económica, los ecosistemas forestales desempeñan importantes funciones ambientales que afectan tanto en la supervivencia de las especies que en ellos viven, como en la calidad de vida de las poblaciones humanas, sea que vivan en ellos o no. Esto obliga a llevar a cabo acciones que contribuyan a la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.

La degradación de los suelos se refiere básicamente a los procesos desencadenados por las actividades humanas que reducen su capacidad actual y/o futura para sostener ecosistemas naturales o manejados. Actualmente, el 64% del territorio nacional muestra algún tipo de degradación, a su vez, 70% de esta degradación es de moderada a extrema, donde la fertilidad del suelo se encuentra reducida fuertemente (SEMARNAT, 2005a).

## 1.2 Recursos hídricos

De los recursos naturales en estado crítico en varias regiones de México, el agua tiene un carácter prioritario. Es cierto que los recursos hídricos de México, en su expresión global, no son escasos, pero su distribución heterogénea y los patrones de uso reclaman estrategias sustentables de consumo. La disponibilidad de agua está compuesta por el escurrimiento superficial y el agua del subsuelo. Esta última se integra por la recarga natural renovable y la inducida por la infiltración en zonas de riego. En la temporada de lluvia los escurrimientos no permiten aprovechar el recurso de acuerdo a las demandas, por lo que se ha construido infraestructura para almacenamiento y regulación.

El agua se aprovecha en diversos usos que se diferencian por ser consuntivos y no consuntivos. Los primeros impactan en la disponibilidad porque aprovechan el agua y sólo retornan una parte de ésta; los no consuntivos, como el uso en generación hidroeléctrica, retornan la totalidad del agua aprovechada.

La variación de la lluvia a lo largo del año y su distribución espacial, aunada a la desigual distribución de la demanda, generan problemas de escasez que se agravan por la baja eficiencia con que se usa el recurso. Por otro lado, la infraestructura hidráulica no se aprovecha plenamente debido a que se encuentra inconclusa, se opera con deficiencia, o falta mantenimiento. Además, las sequías han impactado considerablemente el abastecimiento de agua a las poblaciones, la agricultura y la generación de electricidad. El norte del país es la zona más afectada por estos fenómenos. También se presentan problemas por exceso de agua generados por fenómenos meteorológicos extremos, que originan grandes escurrimientos que al no poder ser regulados y almacenados, originan inundaciones.

Por otra parte, se generan diferencias en la disponibilidad del agua a lo largo del territorio porque la contaminación afecta tanto al agua superficial como al agua subterránea limitando algunos de sus usos por no poder emplearla a causa de su mala calidad (SEMARNAT, 2005).

### 1.3 Energía y Materiales

En la era moderna, las fuentes de energía (renovables y no renovables) constituyen el *motor* de la sociedad por cuanto son indispensables para alimentar a las actividades productivas (agrícolas, industriales y de servicios) y a los distintos medios de transporte y comunicaciones, así como para satisfacer las necesidades domésticas y de entretenimiento, entre otros usos.

La explotación intensiva de estos recursos naturales generadores de energía, además de incidir en el agotamiento paulatino de sus reservas disponibles provoca alteraciones severas en los diversos compartimentos ambientales e indirectamente en la salud humana en magnitud e intensidad diversas, raramente estimadas.

Cerca del 75% de la electricidad de México se produce en instalaciones térmicas, el 16% en plantas hidroeléctricas, el 3% a partir de fuentes geotérmicas y el 6% en plantas nucleares, las principales presas que alimentan centrales hidroeléctricas mexicanas son: presa de El Infiernillo (Michoacán y Guerrero) presa Miguel Alemán (Oaxaca), presa de La Angostura (Chiapas) y presa de Nezahualcóyotl (Chiapas) (SEMARNAT, 2005).

El sector energético de México es dominado por las fuentes no renovables fundamentalmente por hidrocarburos.

### 1.4 Contaminación de suelos

Entre otros impactos ambientales, el consumo de los recursos naturales produce como consecuencia la generación de residuos sólidos; dada la naturaleza de estos residuos la actual legislación vigente en México los clasifica como residuos sólidos municipales, peligrosos o especiales; sin embargo, dado que la reciente Ley General para la Gestión Integral de Residuos entró en vigor a partir del 08 de octubre de 2003, las estadísticas existentes hasta el momento sólo se presentan siguiendo la clasificación vigente en peligrosos y sólidos municipales.

Actualmente en México se generan más de 31 millones de toneladas de residuos sólidos municipales al año, siendo el Distrito Federal y su zona conurbada, los que generan el mayor porcentaje de ésta en virtud de la alta concentración poblacional y de servicios e industrias con que cuenta (INE, 2000).

Los residuos peligrosos, de acuerdo a nuestra legislación vigente, son aquellos que presentan las características denominadas con el acrónimo CRETIB; es decir, corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas y biológico – infecciosas; manifestándose en nuestro país una generación de 3,705,846.21 ton/año (SEMARNAT, 2005). La generación de estos residuos peligrosos se concentra principalmente en los estados industrializados como Nuevo León, Jalisco y en el Distrito Federal; sin embargo, debe destacarse que los residuos peligrosos no son sólo generados por el sector industrial, también los sectores de comercio y servicios son generadores de éstos, por lo que deben realizarse medidas en cada uno de dichos sectores para disminuir o evitar en lo posible su generación.

## 1.5 Atmósfera

El aire limpio representa un elemento esencial para la salud y bienestar humano y de los ecosistemas. Sus niveles de contaminación se han incrementado de forma tal que los contaminantes producidos en alguna región pueden tener impactos negativos a escala global. La dinámica de la contaminación atmosférica es a tal grado compleja que su evolución ha revelado dimensiones poco exploradas e incluso desconocidas anteriormente. Durante la década de los noventa, la emisión de CO<sub>2</sub> en México se incrementó en un 23.1%, casi el doble del aumento promedio de los países miembros de la OCDE que fue del 13% (OCDE, 2002). En México, de acuerdo al Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en el año de 1998 las emisiones totales de todas las fuentes de energía y emisiones fugitivas fueron un poco más de 350 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, de las cuales cerca del 60% se produjeron por la generación eléctrica y el sector transporte.

## 2. BASES LEGALES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

### 2.1 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación (Cortinas, 2006). En la Ley, se indican las bases para:

- I. Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos;
- II. Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana;
- III. Establecer los mecanismos de coordinación que, en materia de prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de residuos, corresponden a la Federación, las entidades federativas y los municipios, bajo el principio de concurrencia previsto en el artículo 73 fracción XXIX-G de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos;
- IV. Formular una clasificación básica y general de los residuos que permita uniformar sus inventarios, así como orientar y fomentar la prevención de su generación, la valorización y el desarrollo de sistemas de gestión integral de los mismos;

- V. Regular la generación y manejo integral de residuos peligrosos, así como establecer las disposiciones que serán consideradas por los gobiernos locales en la regulación de los residuos que conforme a esta Ley sean de su competencia;
- VI. Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de servicios en el manejo integral de los residuos;
- VII. Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados;
- VIII. Promover la participación corresponsable de todos los sectores sociales, en las acciones tendientes a prevenir la generación, valorización y lograr una gestión integral de los residuos ambientalmente adecuada, así como tecnológica, económica y socialmente viable, de conformidad con las disposiciones de esta Ley;
- IX. Crear un sistema de información relativa a la generación y gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial, así como de sitios contaminados y remediados;
- X. Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación;
- XI. Regular la importación y exportación de residuos;
- XII. Fortalecer la investigación y desarrollo científico, así como la innovación tecnológica, para reducir la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos más limpios, y
- XIII. Establecer medidas de control y de seguridad para garantizar el cumplimiento y la aplicación de esta Ley y las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones que correspondan.

## 2.2 Principios básicos a considerar en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos

Esta ley tiene como propósito orientar en todo momento, y en todo tipo de instrumentos, la gestión de los residuos a través de principios de: realidad, gradualidad, flexibilidad, responsabilidad común pero diferenciada, consumo sustentable, producción sustentable, prevención y minimización, manejo integral sustentable, asunción de los costos por el generador, valorización y disposición final de los residuos como última opción (Cortinas 2006).

## 2.3 Qué se entiende como residuo peligroso

Residuos Peligrosos: son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.

En esta definición contenida en la Ley General de referencia, se reconoce que por poseer las características citadas (características CRETIB), estos residuos ameritan un trato distinto tendiente a prevenir que por ellas se ocasionen daños en la salud y al ambiente; lo cual anticipa una forma de manejo que demanda reglas de seguridad mayores que en el caso de los otros residuos. En este caso particular, la Ley prevé que exista una clasificación particular para este tipo de residuos que será establecida mediante normas oficiales mexicanas (NOM). La clasificación de un residuo como peligroso, se establecerá en estas normas que especifiquen la forma de determinar sus características, que incluyan los listados de los mismos y fijen los límites de concentración de las sustancias contenidas en ellos, con base en los conocimientos científicos y las evidencias acerca de su peligrosidad y riesgo.



La norma a la que se hace referencia existía antes de la publicación de la nueva legislación el 8 de octubre de 2003 y fue reformada posteriormente para ser publicada el 23 de junio de 2006 como: Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos. En dicha norma un residuo es considerado como peligroso por definición, es decir, por encontrarse en alguno de los siguientes listados contenidos en la misma:

1. Clasificación de residuos peligrosos por fuente específica (actividades definidas por giro o proceso industrial);
2. Clasificación de residuos peligrosos por fuente no específica (actividades que por llevarse a cabo en diferentes giros o procesos se clasifican de manera general);
3. Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Agudos: que pueden provocar en un corto periodo de tiempo o en una sola exposición, daños o la muerte de un organismo).
4. Clasificación de residuos peligrosos resultado del desecho de productos químicos fuera de especificaciones o caducos (Tóxicos Crónicos: que pueden causar efectos dañinos a largo plazo en los organismos, generalmente a partir de exposiciones repetidas o continuas y que son capaces de producir efectos cancerígenos, teratogénicos o mutagénicos); y
5. Clasificación por tipo de residuos, sujetos a Condiciones Particulares de Manejo.

En la NOM-052 se hacen aclaraciones para residuos que no se encuentren en ninguno de los cinco listados:

- Los lodos están regulados por la NOM-044-SEMARNAT-2002.
- Los bifenilos policlorados (BPCs) están sujetos a las disposiciones establecidas en la NOM-133-SEMARNAT-2000.
- Los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos están sujetos a lo definido en la NOM-138-SEMARNAT/SS-2003.
- Los jales mineros se rigen bajo las especificaciones incluidas en la NOM-141-SEMARNAT-2003.

La citada norma también considera que: si un residuo no está listado o no cumple con las particularidades antes señaladas, se deberá definir si es que presenta alguna de las características CRETIB y esta determinación se llevará a cabo mediante alguna de las opciones siguientes (CORTINAS 2006):

1. La corrosividad, reactividad e inflamabilidad, se pueden demostrar mediante pruebas de laboratorio.
2. La toxicidad se comprueba a través de la obtención del extracto PECT (Procedimiento de Extracción de Productos Tóxicos) y de determinar si están presentes en el residuo los constituyentes tóxicos listados en la norma en los límites ahí señalados;
3. La explosividad se basa en el conocimiento del origen o composición del residuo;
4. La característica biológico-infecciosa de conformidad con lo que establece la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo.

Además, la manifestación basada en el conocimiento científico o la evidencia empírica sobre los materiales y procesos empleados en la generación de los residuos en los siguientes casos:

- a) La corrosividad, reactividad e inflamabilidad, se pueden demostrar mediante pruebas de laboratorio.
- b) Si el generador sabe que su residuo tiene alguna de las características de peligrosidad establecidas en esta norma.
- c) Si el generador conoce que el residuo contiene un constituyente tóxico que lo hace peligroso y
- d) Si el generador declara, bajo protesta de decir verdad, que su residuo no es peligroso.

Aunque la norma a la que se hace referencia no lo indica, se infiere que un residuo puede dejar de ser considerado como peligroso para fines legales, si se le retira de los listados o se le hace perder las propiedades CRETIB por las cuales se le clasificó como tal, mediante un proceso de tratamiento que lo transforme, y esto pueda ser corroborado mediante pruebas.

## 2.4 Clasificación de los residuos para facilitar su manejo

Los tres tipos de residuos que define como tales la Ley: residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos, son susceptibles de ser clasificados con mayor precisión atendiendo a sus características y a la necesidad de facilitar su separación por tipos y de alentar su valorización. Dicha clasificación debe ser única para todo un país para facilitar la elaboración de los inventarios correspondientes, la estimación de la dimensión de los mercados de servicios ambientales en la materia, la construcción de los indicadores de desempeño de la gestión de los residuos y su exportación con fines de comercialización o disposición final (Cortinas, 2006).

### 2.4.1 Clasificación de Residuos Sólidos Urbanos del Consumo

Una forma elemental de clasificación, que aplica en particular a los residuos sólidos (urbanos del consumo) divide los residuos en:

- Residuos orgánicos húmedos: por ejemplo, restos de alimentos y de jardinería;
- Residuos secos: que pueden incluir residuos orgánicos (como papel, cartón, textiles, plásticos y madera) e inorgánicos (vidrio, materiales cerámicos, metales y otros).

### 2.4.2 Clasificación de los Residuos de Manejo Especial de Procesos Productivos

- Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas,
- Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos;
- Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de sus insumos;

- Residuos de los servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas;
- Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales;
- Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes;
- Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general;
- Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.

#### 2.4.3 Clasificación basada en la distinción entre residuos, subproductos y productos al final de su vida útil

Como se indicó al hacer referencia a la definición de residuo en la Ley General que sirve de modelo para analizar el marco conceptual en el que pueden sustentarse este tipo de ordenamientos, si quien posee un material o producto no lo desecha, entonces éste no constituye un residuo y puede ser susceptible de valorización o aprovechamiento de distinta índole.

La Ley prevé también el retorno de ciertos productos al final de su vida útil a los productores (importadores, distribuidores comerciales), a fin de que éstos se ocupen de su reciclado, lo que constituye una medida para inducir el cambio de los productos y de los procesos productivos, a fin de que den preferencia a la utilización de materiales reciclables de baja peligrosidad en la fabricación de los productos comerciales.

Lo antes expuesto hace necesario incluir entre las definiciones de las leyes, los términos de “subproductos” y “productos al final de su vida útil”, lo cual permitirá establecer reglas para inducir que la mayoría de los materiales y productos que se están desechando como residuos, se sujeten a planes de manejo para su valorización (Cortinas, 2006).

#### 2.4.4 Clasificación basada en criterios de riesgo

En la Ley General se hace referencia a la necesidad de agrupar y subclasificar los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial en categorías, con el propósito de elaborar los inventarios correspondientes, y orientar la toma de decisiones basada en criterios de riesgo y en el manejo de los mismos (Cortinas, 2006). Para ello se propone que la subclasificación de los residuos atienda la necesidad de:

- I. Proporcionar a los generadores o a quienes manejan o disponen finalmente de los residuos, indicaciones acerca del estado físico y propiedades o características inherentes, que permitan anticipar su comportamiento en el ambiente;
- II. Dar a conocer la relación existente entre las características físicas, químicas o biológicas inherentes a los residuos y la posibilidad de que ocasionen o puedan ocasionar efectos adversos a la salud, al ambiente o a los bienes, en función de sus volúmenes, sus formas de manejo y la exposición que de éste se derive. Para tal efecto, se considerará la presencia en los residuos, de sustancias peligrosas o agentes infecciosos que puedan ser liberados durante su manejo y disposición final, así como la vulnerabilidad de los seres humanos o de los ecosistemas que puedan verse expuestos a ellos;
- III. Identificar las fuentes generadoras, los diferentes tipos de residuos, los distintos materiales que constituyen los residuos y los aspectos relacionados con los mercados de los materiales reciclables o reciclados, entre otros, para orientar a los responsables del manejo integral de residuos.

#### 2.5 Manejo Integral de los Residuos

Tratándose de una norma jurídica de carácter obligatorio, centrada en el manejo integral de los residuos, la legislación en la materia precisa definir con claridad lo que se entiende como tal, lo cual quedó expresado de la manera siguiente en la Ley General de referencia:

Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

A manera de ejemplo, se citan a continuación algunas de las definiciones contenidas en la Ley General respecto de los componentes del manejo integral de los residuos (Cortinas, 2006):

1. Aprovechamiento de los Residuos: conjunto de acciones para recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundarios o de energía.
2. Co-procesamiento: integración ambientalmente segura de los residuos generados por una industria o fuente conocida, como insumo a otro proceso productivo.
3. Disposición Final: acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos
4. Incineración: cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos.
5. Producción Limpia: proceso productivo en el cual se adoptan métodos, técnicas y prácticas, o incorporan mejoras, tendientes a incrementar la eficiencia ambiental de los mismos en términos de aprovechamiento de la energía e insumos y de prevención o reducción de la generación de residuos.

6. Reciclado: transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos
7. Reutilización: el empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación
8. Separación Primaria: acción de segregar los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en orgánicos e inorgánicos, en los términos de esta Ley
9. Separación Secundaria: acción de segregar entre sí los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que sean inorgánicos y susceptibles de ser valorizados en los términos de esta Ley
10. Tratamiento: procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad
11. Termólisis: proceso térmico a que se sujetan los residuos en ausencia de, o en presencia de cantidades mínimas de oxígeno, que incluye la pirólisis en la que se produce una fracción orgánica combustible formada por hidrocarburos gaseosos y líquidos, así como carbón y una fase inorgánica formada por sólidos reducidos metálicos y no metálicos, y la gasificación que demanda mayores temperaturas y produce gases susceptibles de combustión
12. Tratamientos por Esterilización: procedimientos que permiten, mediante radiación térmica, la muerte o inactivación de los agentes infecciosos contenidos en los residuos peligrosos
13. Valorización: principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica.

### 3. PRODUCCION MAS LIMPIA

#### 3.1 La Producción más Limpia y su importancia como estrategia sostenible.

Haciendo una revisión de los problemas ambientales es evidente la importancia de buscar soluciones que no solo afectan a la humanidad en general, igualmente influyen en la competitividad empresarial. Como respuesta principal de la industria a esta problemática ambiental y de competitividad, se desarrolló el concepto de Producción más Limpia el cual debe entenderse como la aplicación continua de una estrategia integral ambiental preventiva en procesos, productos y servicios, con el propósito de incrementar la eco-eficiencia y reducir los riesgos a los que están expuestos los seres vivos y el medio ambiente.

La Producción más Limpia es una *estrategia empresarial* para alcanzar el desarrollo sostenible. Igual que su sinónimo eco-eficiencia, Producción más Limpia se define como una estrategia ambiental *preventiva* e integrada, enfocada hacia procesos productivos, productos y servicios, a fin de reducir costos, incentivar innovaciones y reducir riesgos relevantes al ser humano y al medio ambiente (Berkel, 1997).

Como estrategia, la Producción más Limpia puede tener aplicación en diferentes niveles de una misma industria involucrando desde su misión hasta sus diferentes estrategias, sistemas, componentes, materiales y procesos. Sus alcances abarcan aspectos internos de la industria como la calidad del producto, el acceso a tecnología alternativa, la disponibilidad de capital y la resistencia cultural; y aspectos externos como las políticas macroeconómicas y ambientales, aspectos financieros, la presión de la comunidad, la demanda en el mercado por productos sostenibles, y el acceso a tecnología alternativa.

*La importancia de esta estrategia empresarial radica en su aporte a la competitividad empresarial basado en la conservación del medio ambiente y la responsabilidad social (Fiksel, J, 1997).*



El programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA-UNEP 2005), promueve la implantación de la Producción más Limpia en todos los países del mundo porque contribuye al equilibrio entre los tres elementos principales del desarrollo sostenible: sociedad, economía y ambiente. El avance en la consecución de cada uno de los objetivos ambientales habrá de darse de acuerdo a las condiciones y posibilidades de cada país.

Con el fin de cumplir con este compromiso la legislación mexicana contempla en el artículo tercero, fracción XI, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que el desarrollo sostenible se define como *“el proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tienda a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.*

Es así como la estrategia de Producción más Limpia es una de las alternativas para el control de la contaminación causada por la industria. El objetivo de la política de Producción más Limpia es:

- Optimizar el consumo de recursos naturales y materias primas.
- Aumentar la eficiencia energética y utilizar energéticos más limpios.
- Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes.
- Prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos ambientales sobre la población y los ecosistemas.
- Adoptar tecnologías más limpias y prácticas de mejoramiento continuo de la gestión ambiental.
- Minimizar y aprovechar los residuos.

A continuación se describe la guía de Producción más Limpia adoptada por el Programa de las Naciones Unidad para el Medio Ambiente (PNUMA-UNEP, 2005).

### 3.2 Fases de Producción más Limpia

Apoyado en esta metodología, el Proyecto DESIRE por sus siglas en inglés (Demonstration in Small Industries for Reducing Wastes) se inició en 1993 en la India. La metodología DESIRE se ha aplicado con éxito en varios sectores industriales en todo el mundo (DESIRE-PNUMA, 2005).

La Metodología de Producción Más Limpia, esta integrada por cinco fases y cada una de ellas contempla varias actividades:

#### 3.2.1 Fase I: 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 Producción más Limpia, pues implica disponer de recursos materiales, humanos y financieros para lograr los objetivos que espera la gerencia.

Establecer el equipo conductor del proyecto. Todos los departamentos afectados por la evaluación de Producción más Limpia deberán involucrar al menos un representante en el equipo de trabajo. El tamaño del equipo estará conformado según la estructura organizacional de la empresa (DESIRE-PNUMA, 2005).

Establecer las metas de P+L. Las metas deben de ser ambiciosas para motivar a realizar un esfuerzo significativo dentro del proyecto de Producción más Limpia y a la vez deben de ser realistas para asegurar el éxito al llevarlas a cabo. Algunos criterios a considerar en la selección de estas metas son:

1. Efectos en la salud
2. Metodología de disposición final de residuos
3. Incremento en la productividad
4. Emisiones contaminantes al aire, agua y/o suelo
5. Costos por confinamiento de residuos y/o emisiones
6. Condiciones de operación y proceso
7. Costos por consumo de materias primas y energéticos

Identificar barreras y soluciones:

- Actitud pesimista del personal y de la gerencia
- Falta de comunicación Inter-departamental
- Tipo de organización
- Problemas económicos
- Carencia de información tecnológica

Algunas actividades recomendadas para superar las barreras en un proyecto de Producción más Limpia son:

- Sensibilización de los beneficios económicos y ambientales
- Integración de los miembros de la compañía como un equipo que mejorará las condiciones de producción de su compañía
- Presentar estudios de caso de proyectos anteriores y los éxitos conseguidos con ellos.
- Recopilación de 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

### 3.2.2 Fase II: evaluación previa

Desarrollo del diagrama de flujo del proceso. Para conocer como esta trabajando la empresa, es muy importante desarrollar el diagrama de flujo de ella, con esta tarea 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 (DESIRE-PNUMA, 2005). 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 realizar un adecuado análisis de la eficiencia de las operaciones unitarias involucradas dentro del proceso

Seleccionar las metas de P+L. Habiendo obtenido la cuantificación de la planta las metas antes definidas pueden detallarse de una manera más precisa. A través de los criterios:

- Etapas de mayor generación de residuos y emisiones
- Etapas con mayores pérdidas económicas
- Costo de las materias primas y de los energéticos
- Cumplimiento con los reglamentos y normas presentes y futuros
- Costos por la administración de residuos y emisiones
- Riesgo de seguridad para el personal y el entorno
- Potencial para reducir o eliminar los cuellos de botella de producción, donde se genera mayor cantidad de residuos y se tienen mayores pérdidas económicas
- Presupuesto disponible para la realización de las opciones de Producción más Limpia
- Capacidad de las compañías para obtener medios de financiamiento
- Expectativas respecto a la competitividad de la empresa

### 3.2.3 Fase III: evaluación

Elaborar el balance de materiales. La conformación de un adecuado 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 un elevado desperdicio, etc. 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 Producción más Limpia. Fuentes de Información para elaborar el balance de materiales:

- Registros de compra de materias primas
- Inventarios de material y emisiones
- Registro de operación, composición de lotes
- Especificaciones de producto

- Procedimientos de operación estándar y manuales de operación
- Muestreo y análisis de mediciones de materia prima, materiales de suministro, productos, residuos y emisiones
- Facturación de energía eléctrica, agua, combustible
- Limpieza de equipo y procedimientos de operación

Evaluar las causas. Una vez obtenido el balance de materia y energía, este debe de ser utilizado como la herramienta básica para proporcionar las respuestas necesarias del ¿Por qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo? y ¿Cuánto? se generan dichas emisiones y residuos o de cualquier otra situación de interés para el equipo (DESIRE-PNUMA, 2005).

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

*Causas relacionadas con la materia prima que afecta la actividad productiva:*

- a Calidad de materias primas
- b Escasez de materiales
- c Sistema de administración de compras
- d Inadecuado almacenamiento

*Causas relacionadas con la tecnología:*

- a Falta de mantenimiento e inadecuada operación
- b Mal diseño del proceso o del equipo
- c Mala disposición de las instalaciones
- d Tecnología obsoleta

*Causas relacionadas con las prácticas operativas:*

- a Falta de personal calificado
- b Desmotivación de los empleados

*Causas relacionadas con los residuos.*

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

Generar opciones de Producción más Limpia. Conociendo las fuentes de generación de residuos y emisiones; así como también las fuentes de desperdicio de materias primas y energéticos, se inicia la búsqueda de medidas correctivas. Esta generación de opciones será de mucho mayor riqueza si se consideran las sugerencias de todos los miembros del equipo de Producción más Limpia. Algunos puntos básicos a considerar al generar las opciones de producción más limpias se presentan a continuación:

1. Cambios en las materias primas: el cambio de materias primas puede permitir la eliminación de residuos generados, por impurezas de la materia prima. Un cambio de esta puede dar lugar a la producción mediante el uso de otro compuesto el cual al generar el producto reduce la formación de compuestos residuales peligrosos o bien no requiera de un tratamiento.
2. Cambios en las tecnologías: estas son modificaciones que se realizarán al proceso con la finalidad de variar las condiciones que promueven una alta generación de residuos y/o emisiones, así como un uso eficiente de materias primas y energéticos.
3. 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.
4. Reuso y reciclaje en planta: la atención dada a estas dos actividades puede dar lugar a una recuperación de materias útiles y a la localización de nuevos factores que promuevan el uso adecuado de materias primas, reduciendo así los gastos innecesarios de ellas.

Seleccionar las opciones de Producción más Limpia. Estas deben de ser seleccionadas, de acuerdo a los criterios de factibilidad, costos de implantación, rentabilidad etc. No deben de eliminarse ninguna opción a menos que sea obviamente NO factible y por último las opciones similares deben de fusionarse.

Algunos criterios al considerar el ordenamiento de las opciones de producción más limpia son:

- Organización por operación específica
- Evaluación de interferencias, opciones prioritarias
- Implantación de opciones fáciles
- Eliminación de opciones no factibles

#### 3.2.4 Fase IV: estudio de factibilidad

Evaluación preliminar. Con la finalidad de determinar la factibilidad, técnica, económica y ambiental, las opciones seleccionadas deben de ser sometidas a las siguientes evaluaciones (Magerholm Fet, 2001):

Evaluación técnica. En esta evaluación deben de 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.

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. La evaluación económica se hace considerando los criterios de:

- Tasa interna de retorno
- Valor presente, futuro de la inversión y periodo de recuperación

Evaluación ambiental. Este tipo de evaluación esta destinada a cuantificar el grado de reducción en la generación de emisiones, residuos, consumo de energéticos, consumo de materia prima etc. Como criterio de selección debe de darse mayor peso a aquellas opciones cuya implantación, signifique una reducción de alta escala.

Seleccionar opciones factibles. Una vez realizadas las evaluaciones, la información recopilada para cada opción debe de ser sometida a un proceso de documentación en el cual se asienten los criterios de evaluación. La forma de seleccionar las opciones a implantar puede hacerse en una clasificación por puntos y ponderando (Magerholm Fet, 2001).

### 3.2.5 Fase V: implementación

Preparar el plan de Producción más Limpia.

Este proceso se inicia con el análisis preliminar de la evaluación de Producción más Limpia y de las opciones seleccionadas, posteriormente se realiza un estudio económico para determinar la factibilidad del proyecto.

Una vez realizado este análisis preliminar y el estudio de factibilidad debe de formarse un grupo que estará destinado a dar el seguimiento a la fase de implantación. Este grupo elaborará el plan de implantación con base a los criterios de:

- Selección y asignación de actividades específicas
- Estimación de resultados
- Tiempo de supervisión de los cambios
- Evaluación del progreso
- Aseguramiento de recursos financieros
- Delegación de responsabilidades
- Prolongación del periodo de prueba
- Fecha de terminación de la implantación

Implantar las opciones de Producción más Limpia.

Esta implantación al igual que cualquier otro proyecto de ingeniería involucra la modificación u obtención de nuevos equipos y de contener: planeación, diseño, gestión y construcción.



Supervisar y evaluar el avance.

Con la finalidad de generar un interés continuo en las empresas donde se implantó el programa de Producción más Limpia, deben realizarse una supervisión continua de los avances de cada una de las opciones ya implantadas. En esta evaluación deben 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 la siguiente 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, de manera general la información a contener en el informe es la siguiente:

- Informe ejecutivo de Producción más Limpia de la empresa
- Evaluación de la causa(s) de emisiones, residuos y energéticos
- Lista de opciones de Producción más Limpia, 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 P+L

Mantener las actividades de Producción más Limpia.

La filosofía de Producción más Limpia, se considera 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. Por esto, durante las etapas anteriores del programa debe de capacitarse a los miembros de la empresa con los conceptos de Producción más Limpia, para que ellos continúen en esta labor una vez que el proyecto finalice (Márquez, Hunt, 1997).

#### 4. APLICACIONES DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Como estrategia, la Producción más Limpia puede tener aplicación en diferentes niveles de una misma industria involucrando desde su misión hasta sus diferentes sistemas, componentes, materiales y procesos. Sus alcances abarcan aspectos internos de la industria como la calidad del producto, el acceso a tecnología alternativa, la disponibilidad de capital y la resistencia cultural; y externos como las políticas macroeconómicas y ambientales, aspectos financieros, la presión de la comunidad, la demanda en el mercado por productos sostenibles, y el acceso a tecnología alternativa por parte de la competencia. La implementación de la estrategia de Producción más Limpia en una industria implica cambios en procedimientos de trabajo y actitudes de los empleados sobre su conciencia en la producción y el medio ambiente y se involucran las siguientes prácticas (con algunos ejemplos) (CET, CPTS, 2005):

##### A. Administración de procedimientos de producción:

- a. Control de consumo de salidas de agua, energía
- b. Control de materia prima
- c. Evitar vertimientos en el transporte de partes o productos
- d. Optimizar las configuraciones de las máquinas
- e. Minimizar desechos en cambios de operaciones
- f. Prevenir y optimizar el manejo de las materias primas
- g. Prevenir fugas de insumos

##### B. Sustitución de materiales:

- a. Sustituir solventes por agua Ej. (tintas, derivados de petróleo, tintas a base de agua).
- b. Evitar el uso de ácidos
- c. Evitar el uso de cloritos
- d. Evitar el uso de metales pesados
- e. Evitar el uso de compuestos organoclorados

##### C. Cambios en tecnología:

- a. Limpieza mecánica en lugar de limpieza con solventes
- b. Utilizar pintura en polvo en lugar de pintura tradicional
- c. Verter químicos en un proceso de forma automática y no manualmente

D. Aprovechamiento de residuos:

- a. Reciclaje interno del agua empleada en el proceso
- b. Reciclaje interno de los desechos del proceso
- c. Separación de empaques obsoletos
- d. Reuso como subproductos en otros procesos productivos

E. Rediseño del producto

- a. Usar materiales reciclados
- b. Disminuir el uso de materiales
- c. Utilizar empaques re-utilizables
- d. Disminuir el consumo de energía y agua durante el uso
- e. Aumentar la vida útil del producto

Cuando se implanta Producción más Limpia también se reduce el riesgo implícito que existe en los procesos productivos de afectar las actividades o personas que se encuentran en su entorno. Esta disminución en el riesgo beneficia a los trabajadores, a la comunidad, a los consumidores de productos y a las futuras generaciones (UNEP, 2000).

Son varios los costos que se reducen con Producción más Limpia. Como se explicó con anterioridad la Producción más Limpia disminuye los costos de producción, que es tal vez uno de los mayores incentivos desde el punto de vista empresarial para adoptar este tipo de procesos. También se disminuyen los costos de tratamiento de final de tubo, debido a que con Producción más Limpia se está previniendo la contaminación y por ende se reducen el volumen de contaminantes a tratar. Otro costo que se disminuye son los tratamientos en salud, finalmente se disminuyen los costos de limpieza del medio ambiente contaminado (UNEP, 2000).

A lo largo de los años la experiencia adquirida en la implantación de políticas y proyectos de Producción más Limpia ha logrado identificar también las principales barreras y obstáculos que se pueden encontrar. La lenta aceptación de producción más limpia tiene sus orígenes en factores humanos más que técnicos.

Entre los factores que impiden la implementación y aceptación de Producción más Limpia se destaca (UNEP, 2000):

- El enfoque de “*final del tubo*” ha sido utilizado por muchos años, y por lo tanto es muy conocido y aceptado por la industria y los ingenieros.
- Las normas y políticas ambientales existentes en los países por lo general están diseñadas y orientadas a soluciones de “final del tubo”.
- Existen problemas de comunicación entre el personal a cargo de los procesos de producción y el personal que maneja los desechos generados.
- Los gerentes y los trabajadores que saben que la planta es ineficiente y que genera desechos, no son recompensados cuando sugieren mejoras.

#### 4.1 Mejoramiento de Procesos

Uno de los elementos principales de la aplicación de las estrategias preventivas son las técnicas de ahorro de insumos como son la energía, agua y materia prima. El manejo de residuos representa costos significativos para la empresa. Por otro lado el uso de insumos en los procesos industriales son fuentes de contaminación, especialmente aquellos que utilicen tecnología rudimentaria. Aunque el uso de los insumos y el manejo de residuos es distinto para todos los diferentes procesos industriales existentes y depende fuertemente del nivel tecnológico de la maquinaria instalada, se pueden identificar técnicas comunes desde cambios en procedimientos de trabajo como son la gestión de los proveedores y la instalación de medidores, hasta modificaciones de la tecnología instalada para aumentar la eficiencia del proceso así como el cambio de tecnología instalada (CET, CPTS, 2005):

##### 4.1.1 Gestión de Proveedores

Esta es la primera fase del ciclo productivo. Es muy relevante, debido al impacto que genera sobre la calidad del producto final, el proceso mismo, los costos de producción y la generación de residuos. En esta etapa, se analizan las diversas condiciones que afectan la negociación con los proveedores, proponiéndose métodos para optimizar y facilitar este proceso.

#### 4.1.2 Almacenamiento

En esta etapa, se consideran medidas para optimizar el sistema de almacenamiento de materias primas e insumos, para evitar que éstos se dañen, contaminen o pierdan. Contempla la implementación de programas de seguridad, limpieza, clasificación y rotulación, así como procedimientos de contingencia, en caso de producirse algún imprevisto. Es relevante destacar que los espacios asignados al almacenamiento deben contar con todos sus permisos al día y cumplir con la normativa vigente (ambiental, salud ocupacional y riesgo industrial).

#### 4.1.3 Alimentación

En esta etapa, se consideran procedimientos para ingresar adecuadamente las materias primas e insumos al proceso, evitando pérdidas innecesarias. Se proponen medidas simples que permitan contar con personal competente, para la manipulación del material empleado, así como asegurar la disponibilidad de equipamiento calibrado y limpio, implementar controles de dosificación y sistemas de recuperación que minimicen derrames o pérdidas.

#### 4.1.4 Proceso productivo

Esta fase del ciclo productivo es crítica, pues tiene un impacto directo en la calidad y precio unitario del producto, que a su vez repercute decisivamente en la competitividad y sostenibilidad de la empresa. En esta etapa, se proponen medidas para planificar y coordinar la operación productiva, mediante procedimientos establecidos, monitoreo de todas las etapas del proceso, sistemas de control de calidad, optimización del espacio disponible, programas de mantenimiento y calibración de equipos y maquinaria.

#### 4.1.5 Manejo de residuos

Esta última fase tiene relación con la gestión de los residuos generados a lo largo del proceso productivo. Contrariamente a lo que se piensa, *la generación y disposición de residuos no debe verse como un costo más, sino como una pérdida directa de la eficiencia del proceso* y un mal aprovechamiento de las materias primas, lo que provoca una disminución en la competitividad de la empresa.

Contemplar la minimización y aprovechamiento de los residuos, permite generar costos de oportunidad asociados, que pueden convertirse en beneficios económicos, ambientales y estratégicos a corto plazo, logrando un mejor posicionamiento en el mercado. En esta etapa, se plantean distintas medidas para diseñar políticas de minimización, reciclaje, recirculación, reutilización, segregación, tratamiento y disposición final de los residuos de la empresa, mediante el conocimiento de cada uno de los residuos originados en el proceso, su cantidad, su grado de peligrosidad y su origen, contemplando todas las medidas de seguridad requeridas en su manipulación (CET, CPTS, 2005).

#### 4.2 Ventajas de la Producción más Limpia

Con la implementación de la estrategia de Producción más Limpia se obtienen beneficios que aumentan la competitividad industrial y a su vez se logra una disminución de los impactos negativos propiciados al medio ambiente.

Puntos sobresalientes de los beneficios que se obtienen con la implementación de la estrategia de Producción más Limpia:

- Mejora la competitividad.
- Garantiza la continuidad de la actividad productiva.
- Mejora la eficiencia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios
- Ayuda a cumplir la normatividad ambiental.
- Disminuye las inversiones en sistemas de control al final del proceso.

## 5. CASOS EXITOSOS DE LA APLICACIÓN DE PRODUCCION MAS LIMPIA

Caso 1: disminución y reestructuración del sistema de distribución del uso del agua.

Problemática:

En 1998, la Compañía Textil Raumer SPA, el Valli del Pasubio (VI) Italia, empleaba máquinas atmosféricas para teñir hilado que requerían rangos de relaciones de baño entre los 25 y 30 l/kg, las cuales estaban programadas con un dispositivo tradicional de tiempo/temperatura. Bajo estas condiciones, el promedio de reteñido se ubicaba dentro de un 7 a 8% del total de la producción, con su correspondiente efecto sobre la calidad, los costos y el consumo de agua. La producción incluía hilados de cerca de un 70% lana/acrílico y 30% algodón/acrílico para productos de punto. La infraestructura era deficiente, con bajos indicadores en la producción de vapor y bajo reciclaje de las aguas de enfriamiento. Por lo tanto se encontró una oportunidad para atacar el problema.

Objetivo:

Disminuir el consumo de agua para reducir la relación de baño en las máquinas para teñir el hilado y por la reestructuración del sistema de distribución del agua.

Alternativas de Producción Más Limpia:

- En 1989, el reacondicionamiento de ambos sistemas comenzó: primero, se mejoró el sistema de distribución del vapor y luego, se creó un sistema de reciclaje para las aguas condensadas y de enfriamiento.
- En 1990 la sustitución de las viejas máquinas de teñido por unas máquinas de teñido presurizado de Bellini (Series APPC) comenzó, permitiendo relaciones de baño de 15 a 18 l/kg, incluyendo la programación de la velocidad de la bomba usando variadores de frecuencia. Esto permitió variaciones en la velocidad de la bomba en línea con los requerimientos de la estructura tecnológica de los hilados.

Los cambios correspondientes en el proceso de teñido han sido desarrollados con el objetivo de mantener un balance entre la parte mecánica (cuidado de los materiales) y los parámetros del proceso de diseño, permitiendo un buen agotamiento y asegurando incluso el teñido.

### Resultados

En 1998, con el mismo número de máquinas de teñido, la producción se incrementó hasta los 14,000 kg/día.

Resultados de la Intervención		
Parámetro	Año	
	1992	1998
Producción (kg/día)	7,000	14,000
Reteñido	7 – 8 %	3.5 – 4 %
Agua (l/kg)	165	85
	100 %	52 %
Combustible (kg/kg)	1.2	0.5
	100 %	41 %

(UNEP, WBCS, “Cleaner Production and Eco-efficiency”, UNEP, 1998)



## Caso 2: Utilización eficiente de la energía

### Problemática

Tybor S.A., Massanes en España, es una empresa que se dedica a la producción de productos textiles y es común que estas empresas empleen procesos de secado. Los “Stenter” son máquinas de un gran consumo de energía que se utilizan en la industria de los acabados textiles. Para poder prevenir la ocurrencia de altas concentraciones de sustancias volátiles al interior del “Stenter”, debe ser inyectado aire fresco periódicamente mientras que el aire caliente debe ser expulsado. En cada momento que el aire caliente es descargado a la atmósfera, el aire fresco que entra debe ser calentado hasta que la temperatura interna es alcanzada. Esto se hace por medio del paso de aire hacia un radiador calentado con vapor de alta presión.

### Objetivo

Aprovechar el calor del vapor en la salida de los secadores “Stenter”

### Alternativas de Producción Más Limpia

Parte del calor contenido en el aire expulsado puede ser aprovechado por medio de su transferencia hacia el aire fresco, pre-calentándolo. Este aprovechamiento se alcanza con un intercambiador metálico de calor tradicional, con mamparas y flujos cruzados. Ambos flujos son trasladados por secciones paralelas de un ducto, uno verticalmente y el otro horizontalmente. La distribución de las secciones debe ser alternada, con una sección caliente entre dos frías.

Para incrementar la transferencia de calor deben ser colocadas unas mamparas de superficie, haciendo la sección de cruce rectangular, con una superficie de metal que conecte ambos lados para ayudar la transferencia. Con el fin de reducir el tamaño del intercambiador, el aire frío debería seguir un camino horizontal en forma de “U”, mientras que el aire caliente fluye verticalmente.

Este sistema de recuperación de calor es complementado a través de la adición de un sistema automático al intercambiador de calor, que le permita, por medio de la medición de la temperatura y humedad al interior del secador “Stenter”, la regulación de la cantidad de aire empujado hacia fuera cuando está cerca de la saturación.

#### Resultados de la Aplicación

Parámetro	
Flujo de aire caliente desde el secador	12,700 m <sup>3</sup> /h
Temperatura desde el secador	160° C
Temperatura del aire caliente que entra al intercambiador de calor	152° C
Flujo normal de aire caliente que entra al intercambiador	8,400 m <sup>3</sup> /h
Aire fresco que entra al secador	5000-8000 m <sup>3</sup> /h
Temperatura del aire fresco antes de	25° C
Temperatura del aire caliente después de	95° C
Temperatura del aire fresco después del pre-calentado	120° C (5,000 m <sup>3</sup> /h)
Energía recuperada del aire caliente	142,505 kcal/h (160 kw)
Energía total en el aire caliente	100
Eficiencia de recuperación	45%

(UNEP, WBCS, “Cleaner Production and Eco-efficiency”, UNEP, 1998).

Caso 3: Aumentar la productividad mediante la reducción del tiempo del proceso.

#### Problemática

La compañía Shirley Dyeing and Finishing Services of the British Textile Technology Group, en Cheshire, Inglaterra, es una empresa dedicada a los productos textiles. El cuarto de trabajo de la BTTG (una fusión entre el Instituto Shirley –Manchester- y el Grupo Tecnológico Wira –Leeds) opera con una base comercial normal, tomando comisiones de trabajo en las telas que le pertenecen a los clientes, confinada a lotes cortos de producción o un procesamiento especializado. En este cuarto de trabajo, el rango de secado “stenter” abarca un proceso de pad-mangle o de acabado continuo, un “stenter” de dos vías y un calentador de fluido térmico. BTTG decidió instalar un sistema de succión con tubo ranurado en un intento por incrementar la productividad en este cuarto de trabajo

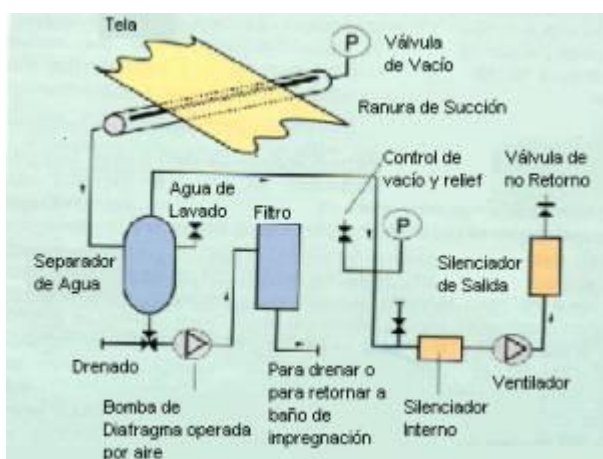
#### Objetivo

Acelerar el secado de las telas mediante la inserción de un sistema de succión de tubo ranurado.

#### Alternativas de Producción Más Limpia

Una de las oportunidades que se encontraron fue la de incrementar la eficiencia del proceso, para lo cual se requería inserción de un sistema al proceso. Las modificaciones de la planta incluyeron la inserción relativamente fácil del sistema de succión en el tope del proceso de acabado continuo (pad-mangle) antes del proceso “stenter”. El sistema se conectó a un separador de aguas y a un ventilador (un dispositivo rotador de tres paletas de desplazamiento positivo, con capacidad de 1000 CFM de aire por una aspiradora de 12 ins).

## Diagrama esquemático del sistema de succión de tubo ranurado



Aunque la ranura de succión incrementa la energía eléctrica que se necesita para el secado en 25 kW aproximadamente (cuando el rodillo no es usado, la carga se reduce en 15kW), los requerimientos de energía por unidad de tela procesada se reducen porque se consiguen mejores promedios de procesamiento del material. El volumen de ventas se ha incrementado en un 38% aproximadamente y el total del ahorro en costos por energía ha sido considerable.

### Resultados de la Aplicación

Tipo de Tela	Promedio	Promedio	% Promedio
	Anterior	con Sistema de Succión	de Ahorro de Energía
	(Gj/te)		
Polyester y nylon no tejidos	28.15	14.02	49.6
Nylon Tejido	11.79	5.57	49.1
Polipropileno tejido	11.79	9.49	12.9

(UNEP, WBCS, "Cleaner Production and Eco-efficiency", UNEP, 1998).

#### Caso 4: Rediseño de productos existentes.

##### Introducción

La siguiente tabla resume algunas de las características de la Cervecería Unión, S.A. de Colombia, la cual presentaba una clara necesidad de encontrar oportunidades para que su producto fuera competitivo en el mercado.

##### Generalidades del empaque

---

Empresa	CERVECERIA UNION S.A
Zona de comercialización	Noroccidente de Colombia
Volumen de producción	51250 cajas mensuales
Requerimientos	Imagen competitiva, diferenciable, reducción en cantidad de material, facilidad durante empacado en planta, apilable – mejor transporte, fácil para cargar y abrir por el usuario

---

##### Descripción del proyecto

Este proyecto de eco-diseño fue desarrollado por Pablo Barrera y Edwin Salazar en el año 2000, durante su participación en el Módulo Eco-diseño de la Universidad Pontificio Bolivariano en Medellín con la asesoría del Área de Investigación y Desarrollo de Mercados de Cervecería Unión. El proyecto consiste en el desarrollo de un empaque más eco-eficiente para el transporte y exhibición de cervezas en presentación no retornable. Los empaques actualmente en el mercado para este tipo de presentación no son diferenciados en su punto de venta, son difíciles de transportar por el usuario y se les da un mal uso.

## Proceso de Rediseño

En el análisis del producto inicial se identificaron oportunidades para mejoras durante el transporte y la necesidad de reducir el uso de materiales de empaque.

También se evidenció la oportunidad de simplificar el empaque para reducir los tiempos de armado y llenado de las cajas. De esta manera se determinaron requerimientos relacionados con la ergonomía del empaque para optimizar su desempeño durante las operaciones de planta, reducción en el uso de material (cartón), optimización durante la distribución y mejorar la relación del producto con el cliente final buscando más diferenciación en el punto de venta y comodidad para el uso.

## Resultados y seguimiento

El producto final de este proyecto disminuye uso de materiales por unidad de caja hasta en 4.4% en el modelo 100% reciclable más diferenciado, y 12.6% en la caja cerrada con manija de plástico.

El logro más interesante de este producto es su mejorado desempeño durante el transporte, pues en esta geometría el empaque permite acomodar en una estiba estándar de la Cervecería 15 unidades de caja más. Así, con el modelo de empaque anterior cargan –por estiba- 110 cajas y con el nuevo desarrollo se acomodan 125 por estiba. La reducción de emisiones por unidad de empaque es significativa. La siguiente figura muestra el nuevo empaque eco-eficiente, al lado del empaque original.

## Nuevo empaque Eco-eficiente al lado del producto inicial



(UNEP, WBCS, “Cleaner Production and Eco-efficiency”, UNEP, 1998).

Los casos ilustrados muestran que con la implementación de la estrategia de Producción más Limpia se obtienen beneficios que aumentan la competitividad industrial y a su vez se logra una disminución de los impactos negativos propiciados al medio ambiente.

Puntos sobresalientes de los beneficios que se obtienen con la implementación de la estrategia de Producción más Limpia:

- Convicción de que es una estrategia encaminada al desarrollo sostenible.
- Mejora la competitividad.
- Garantiza la continuidad de la actividad productiva.
- Mejora la eficiencia en los procesos productivos, en los productos y en los servicios
- Ayuda a cumplir la normatividad ambiental.
- Ayuda a mejorar la imagen pública.
- Previene conflictos por la aplicación de instrumentos jurídicos.
- Disminuye las inversiones en sistemas de control al final del proceso.
- Disminuye costos por sanciones.

## 6. DESCRIPCION GENERAL DEL CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA

El Centro Nacional de Metrología es el laboratorio nacional de referencia en materia de mediciones. Es responsable de establecer y mantener los patrones nacionales, ofrecer servicios metrológicos como calibración de instrumentos y patrones, certificación y desarrollo de materiales de referencia, cursos especializados en metrología, asesorías y venta de publicaciones. Siendo un organismo descentralizado, el Centro Nacional de Metrología no ejerce funciones de autoridad. La Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento, establecen la responsabilidad de la Secretaría de Economía (antes Secretaría de Comercio y Fomento Industrial SECOFI) y otros organismos, como la Procuraduría Federal del Consumidor y la Comisión Nacional de Normalización para aplicar las disposiciones establecidas por la Ley. El trabajo científico y tecnológico del Centro Nacional de Metrología esta asociado con el desarrollo de patrones nacionales primarios y materiales de referencia certificados, así como de nuevas técnicas, procedimientos y el tratamiento estadístico de los resultados de medición, e incluye la organización y participación en comparaciones nacionales e internacionales entre patrones del mismo nivel y la realización de calibraciones de alta exactitud. Sus objetivos están orientados a mantener y desarrollar la capacidad de metrológica necesaria para apoyar la competitividad de la industria nacional. El Centro Nacional de Metrología está formado por diferentes áreas técnicas:

### Metrología Física

Esta área tiene a su cargo los patrones nacionales de aceleración y de acústica que, a través de las diferentes cadenas de diseminación, tienen impacto en mediciones que repercuten en la productividad industrial, comercio, salud, seguridad y la higiene en la sociedad. Aplicaciones: la vibración en automóviles y camiones, la vibración de edificios y sismología, las pruebas no destructivas por ultrasonido, la calidad acústica de equipos de audio, los niveles de presión acústica (ruido) en lugares de trabajo y en áreas urbanas, los niveles de sensibilidad auditiva y las aplicaciones médicas del ultrasonido.



### Metrología de Materiales

Tiene entre sus principales actividades el desarrollo, establecimiento y mantenimiento de los sistemas primarios para la certificación de materiales de referencia primarios que apoyen el establecimiento de la trazabilidad en el país de las mediciones involucradas en el área de química analítica inorgánica. Actualmente, cuenta con el sistema primario de titulación coulombimétrica a corriente constante, sistema que permite la certificación de pureza en sales de alta pureza y actualmente se encuentran en desarrollo los sistemas primarios de: dilución isotópica, para la certificación elemental a niveles de concentración bajos (trazas,  $\mu\text{g/L}$ ) y gravimetría, para la certificación elemental de niveles de concentración intermedia ( $\text{mg/L}$  a  $\%$  ( $\text{g/g}$ )). Así mismo cuenta con un programa de desarrollo de materiales de referencia certificados para las diversas mediciones analíticas, con la finalidad de apoyar en el establecimiento de trazabilidad al sistema internacional de las mediciones elementales que realizan los laboratorios analíticos en cualquier tipo de muestra como: materiales ferrosos y no ferrosos, en materiales de alta pureza; vidrios, cerámicos; minerales y materiales geológicos; materiales de matriz inorgánica y orgánica de interés ambiental, salud e higiene industrial; así como materiales de interés en la industria de los alimentos, industria de los sectores químico y agrícola.

### Metrología de Mecánica

La metrología dimensional es básica para la producción en serie y la intercambiabilidad de partes. Con tal propósito esta División tiene a su cargo los patrones nacionales de longitud y ángulo plano. La unidad de longitud se disemina mediante la calibración interferométrica de bloques patrón de alto grado de exactitud. Estos, a su vez, calibran otros de menor exactitud, estableciéndose la cadena de trazabilidad que llega hasta las mediciones de los instrumentos de uso industrial común. Además mantiene los patrones nacionales correspondientes a las magnitudes de masa y densidad; también es responsable de los patrones de las magnitudes de fuerza, par torsional, dureza, tenacidad, presión absoluta, presión relativa y vacío.

Estas magnitudes tienen una gran importancia en una amplia variedad de industrias como la automotriz, metal-mecánica, la petroquímica, la petrolera y la generación eléctrica. Y mantiene tres patrones primarios (máquinas de masas suspendidas) en la magnitud de fuerza. Su exactitud se disemina a anillos y celdas de carga por medio de los cuales los laboratorios secundarios y la industria reciben niveles adecuados de exactitud en sus mediciones. Los principales servicios de calibración se ofrecen para anillos y celdas de carga, cápsulas de mercurio, dinamómetros y transductores de fuerza. Y la división de Flujo y Volumen mantiene los patrones nacionales de flujo de gas, flujo de líquidos, volumen y viscosidad.

La diseminación se realiza a través de los servicios de calibración, principalmente para medidores de flujo de gases tipo diafragma, transductores húmedos y de burbuja; medidores de tipo turbina, de desplazamiento positivo, coriolis y rotámetros; medidas y patrones volumétricos, recipientes estacionarios, autos - tanque y carros tanque, material volumétrico para laboratorio; viscosímetros tipo capilar y por la certificación de la viscosidad de los líquidos de referencia.

## HIPÓTESIS

La implementación de la estrategia de Producción más Limpia permite minimizar la generación de residuos peligrosos y aprovechar de manera sustentable el agua, la energía y los materiales en el Centro Nacional de Metrología.

## OBJETIVO GENERAL

Aplicar una estrategia ambiental preventiva e integrada a la prestación de servicios del Centro Nacional de Metrología para alcanzar una alta eco eficiencia.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Analizar la pre-factibilidad de la Producción más Limpia en el área técnica de mayor impacto ambiental en el Centro Nacional de Metrología.
- b) Diseñar una estrategia de Producción más Limpia para el área técnica de mayor impacto ambiental.
- c) Implementar el proceso de Producción más Limpia en el área técnica de mayor impacto ambiental.
- d) Monitorear y evaluar los resultados del proceso de Producción más Limpia en el Centro Nacional de Metrología a través de indicadores ambientales.

### III. METODOLOGIA

El proyecto se llevo a cabo en el Centro Nacional de Metrología (CENAM), ubicado en el km 4,5 de la carretera a Los Cues, municipio de El Marques, Querétaro.

- 3.1. *Análisis de emisiones contaminantes a los diferentes compartimientos ambientales.* Se identificaron los problemas ambientales más representativos en las diferentes áreas técnicas del CENAM, problemas o deficiencias ambientales que representan un impacto ambiental en los compartimientos y/o rubros ambientales: agua, aire, suelo, residuos peligrosos y riesgo ambiental especificando si cuentan o no con un dispositivo de control que permiten disminuir o controlar ese impacto.
- 3.2. *Identificación de rubros y/o compartimientos ambientales con mayor daño ecológico y costo por administración ambiental.* Se identificaron los rubros y/o compartimientos ambientales con mayor impacto ambiental, se efectuó un análisis para priorizar a través de los criterios: de quién tiene mayor costo para cumplimiento normativo ecológico, quién genera mayores costos por consumo de materias primas, energéticos o consumo de recursos naturales, quién representa mayor riesgo de seguridad para el personal y el entorno.
- 3.3. *Identificación del área técnica donde se aplicó el proyecto de Producción más Limpia.* Se identificó el área técnica que, debido a sus actividades desarrolladas impacte en más de 2 rubros y/o compartimientos ambientales. La identificación se realizó por medio de una revisión del historial de generación de descargas y emisiones contaminantes, consumo o uso de recursos naturales y generación de residuos peligrosos.

- 3.4. *Identificación del proceso de mayor impacto ambiental donde se aplicó el proyecto de Producción más Limpia.* Una vez identificado en particular que agente representa mayores costos de control ambiental, se identificó que proceso produce tal agente por generación de emisiones o descargas contaminantes o consumo de recursos naturales, a través de un historial acudiendo a bitácoras, informes de laboratorio, facturas por gastos de administración, etc.
- 3.5. *Identificación de áreas de oportunidad de mejora para disminuir los problemas ambientales en el proceso de mayor impacto ambiental.* Se identificaron las áreas de oportunidad de mejora en el proceso de mayor impacto ambiental identificado anteriormente. Se determinó el área donde se implementó el proyecto de Producción más Limpia, a través de las técnicas de:
- 3.5.1. *Matriz Med.* Donde se graficaron (en el eje vertical) las etapas del ciclo de vida del producto del proceso de mayor impacto ambiental (materia prima, producción, distribución, uso y fin de vida o disposición) y en el eje horizontal los insumos (materiales y energía) y desechos que entran y salen de cada etapa. En la interpretación de la matriz se identificaron de manera intuitiva los problemas ambientales del ciclo de vida del producto o servicio y para la identificación detallada de quién causa esos problemas se aplicó un Eco Balance.
- 3.5.2. *Eco Balance.* Se identificaron por medio del diagrama de flujo del proceso o servicio los impactos ambientales que producen, identificando las características de las materias primas e insumos, emisiones, residuos o descargas de contaminantes y producto final.
- 3.5.3. *Auditoria ambiental.* Se identificaron las deficiencias ambientales o incumplimientos normativos ecológicos en el área técnica de mayor impacto ambiental efectuándose una revisión detallada en los rubros y/o compartimientos ambientales que son afectados por esa área.

3.6. *Análisis de la pre-factibilidad de la Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.* Se cuantificaron los costos de ineficiencia de los dispositivos de control que intervienen en el proceso de mayor impacto ambiental. Se estimaron los costos por el control o administración del cumplimiento ambiental en los rubros y/o compartimientos ambientales identificados en el proceso de mayor impacto ambiental. Se calcularon los costos de insumos químicos, equipo y herramientas de seguridad personal, materias primas, mantenimiento de equipos, costo de producción y manejo de residuos, a través de facturas de compra, inventarios, registros de operación, etc.

3.7. *Evaluación del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.*

3.7.1. *Establecimiento de recomendaciones para evitar y disminuir los problemas identificados.* Se identificaron las fuentes de generación de residuos y emisiones, las fuentes de desperdicio de materias primas y recursos naturales o energía, se determinaron recomendaciones con beneficios técnicos, económicos y ambientales acompañados del costo estimado de las medidas y retorno de inversión en los rubros y/o compartimientos ambientales identificados en el proceso de mayor impacto ambiental.

3.7.2. *Determinación de la estrategia integral para el proyecto de Producción más Limpia.* Se efectuó un análisis de costo beneficio ambiental de cada recomendación, y se estableció la opción técnica que representó menor inversión y mayor ganancia en términos de consumo de recursos y minimización de emisiones contaminantes para la implementación del proyecto de Producción más Limpia.

3.8. *Implementación del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.* El proyecto se realizó por etapas:

3.8.1. Planeación. Se presentó la propuesta del proyecto de Producción más Limpia a la Dirección de Administración y Finanzas del Centro Nacional de Metrología para su revisión y aprobación durante el año 2005, mostrando los beneficios técnicos, económicos y ambientales que obtendrían.

3.8.2. Diseño. Se presentó en la propuesta el diseño del proyecto de Producción más Limpia donde se detallan los materiales y equipos del proyecto. Una vez obtenido el visto bueno para la realización del proyecto de Producción más Limpia por la Dirección de Administración y finanzas y se llevó a cabo la gestión para la compra de los materiales en el 2do. semestre del 2005.

3.8.3. Construcción. Se inicio la construcción del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental en febrero de 2006 para iniciar operaciones en julio del mismo año.

3.9. *Monitoreo y evaluación de los resultados del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.* Se implemento la estrategia integral de Producción más Limpia a través de la recomendación determinada anteriormente, se efectuaron análisis cuantitativos en los cambios de consumo de insumos químicos, generación de residuos peligrosos, consumos de agua y en la rentabilidad del proceso. Se determinó el porcentaje de efectividad de la implementación de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental en los rubros y/o compartimientos ambientales de mayor prioridad para la minimización o control de contaminación generado el CENAM.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. *Análisis de emisiones contaminantes a los diferentes compartimientos ambientales.*

#### 4.1.1. Eco-mapas:

4.1.1.1. Eco-mapa de agua: se investigaron los puntos de consumo y descarga de agua. La Figura 4.1 muestra el mapa del CENAM y las áreas que consumen más agua.

4.1.1.2. Eco-mapa de residuos peligrosos: se investigó cuál es el manejo de residuos peligrosos y sus puntos de generación. La Figura 4.2 muestra el mapa el mapa del CENAM y las áreas donde se generan residuos peligrosos.

4.1.1.3. Eco-mapa del aire: no se realizó un eco-mapa de emisiones a la atmósfera porque se tiene perfectamente identificada el área de generación de emisiones; las casas de máquinas. Las emisiones a la atmósfera del CENAM provienen principalmente de 10 calentadores de agua distribuidos en tres casas de máquinas. Los calentadores de agua operan con gas Lp y alimentan de agua a temperatura controlada al sistema del aire acondicionado. De acuerdo a los informes de resultados de la evaluación de emisiones contaminantes de gases de combustión a la atmósfera (Norma NOM-085-SEMARNAT-1994), esas emisiones cumplen con las especificaciones de la norma.

4.1.1.4. Eco-mapa del suelo: no se realizó un eco-mapa porque el CENAM cuenta con un plan de manejo para residuos sólidos urbanos susceptibles de reciclaje incluyendo papel, cartón, aluminio, vidrio y PET.

4.1.1.5. Eco-mapa de riesgo ambiental: no se realizó un eco-mapa porque el CENAM no es de alto riesgo, cuenta con unidad interna de protección civil, brigadas contra incendio, plan de evacuación, brigada de primeros auxilios y brigada para atención a derrames químicos.



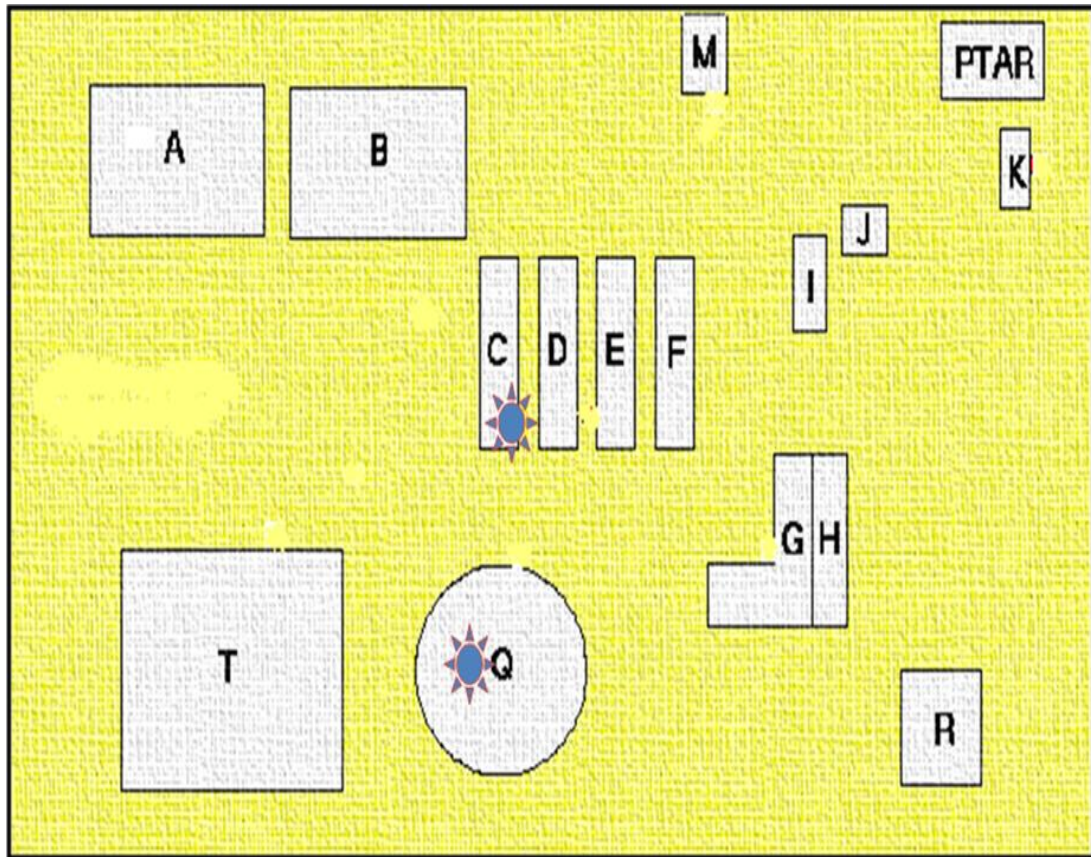


Figura 4.1. Eco-mapa de agua en el CENAM.

La estrella indica los puntos de consumos de agua en el proceso de elaboración de materiales de referencia. Los bloques representan las áreas de trabajo. A. área de capacitación y comedor. B. área de administración y finanzas. C. área de metrología de materiales cerámicos y tiempo y frecuencia. D. división de dimensional. E. área de metrología eléctrica. F. área de metrología física y área de metrología mecánica. G. servicios tecnológicos. H. área de metrología mecánica. I. unidad de mantenimiento. J. almacén de sustancias químicas. K. taller. M. almacén general. R. almacén temporal de residuos peligrosos e insumos químicos. T. facturación, medida, coordinación de servicios, recepción y biblioteca. PTAR. planta de tratamiento de agua residual.

Emissiones y descargas contaminantes: agua residual sanitaria y rechazo de agua desmineralizada de pozo por el sistema de ósmosis inversa.

Dispositivo de control: planta de tratamiento de agua residual sanitaria para riego de áreas verdes

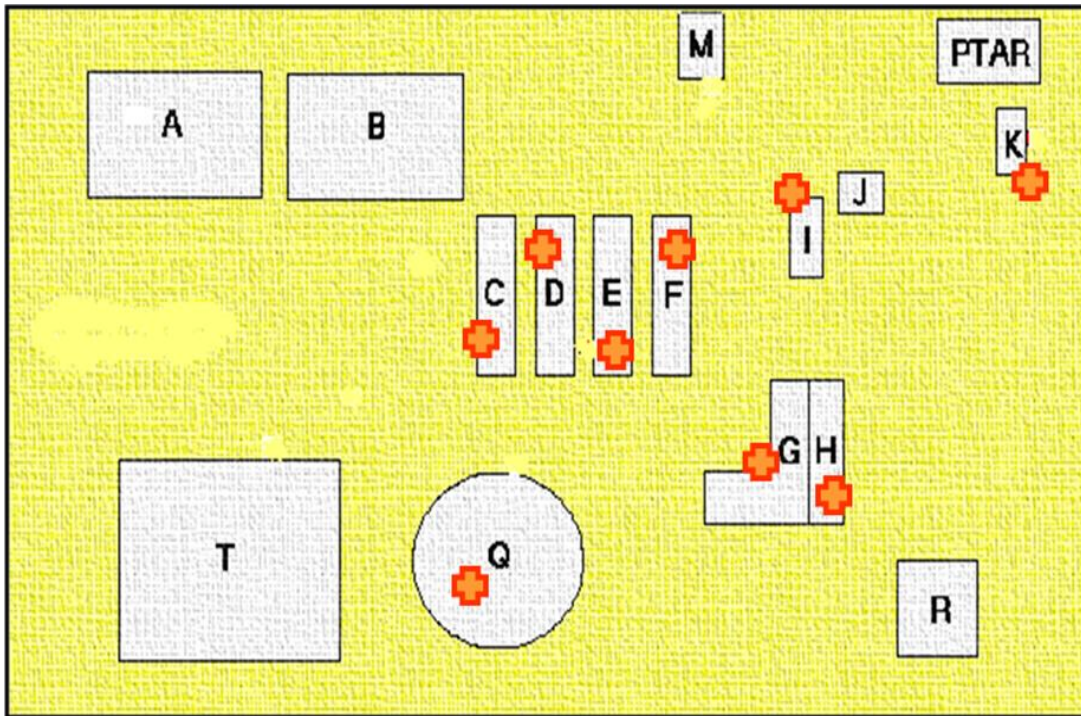


Figura 4.2. Eco-mapa de residuos peligrosos en el CENAM.

La cruz indica los puntos de generación de residuos peligrosos en las áreas técnicas del CENAM. Los bloques representan las áreas de trabajo. A. área de capacitación y comedor. B. área de administración y finanzas. C. área de metrología de materiales cerámicos y tiempo y frecuencia. D. división de dimensional. E. área de metrología eléctrica. F. área de metrología física y área de metrología mecánica. G. servicios tecnológicos. H. área de metrología mecánica. I. unidad de mantenimiento. J. almacén de sustancias químicas. K. taller. M. almacén general. R. almacén temporal de residuos peligrosos e insumos químicos. T. facturación, medición, coordinación de servicios, recepción y biblioteca. PTAR. planta de tratamiento de agua residual.

Emisiones y descargas contaminantes: generación de ácidos inorgánicos diluidos, solventes orgánicos, aceites, pilas/baterías

Dispositivo de control: almacenamiento temporal en área que cumple con la normatividad aplicable para después enviar a su disposición final

4.2. *Identificación de los rubros y/o compartimentos ambientales con mayor daño ecológico y costo por administración del cumplimiento ambiental en el CENAM.*

4.2.1. Una vez identificados los problemas ambientales ocasionados por las emisiones o descargas contaminantes en cada compartimento y/o rubro ambiental, se identificaron las acciones de control o minimización para esos problemas o impactos ambientales. Los dispositivos que representan un costo por el control o administración del cumplimiento ambiental son: la generación de agua residual y el rechazo de agua desmineralizada de pozo por el sistema de ósmosis inversa y la generación de residuos peligrosos como ácidos inorgánicos diluidos, etc. Los dispositivos de control y su costo se muestran en el Cuadro 4.1.

Cuadro 4. 1. Dispositivos de control y costos identificados para minimizar el daño ecológico.

<b>Rubro ambiental</b>	<b>Dispositivo de control</b>	<b>Costo</b>
Agua	Planta de tratamiento de agua residual sanitaria y planta desmineralizadora de agua de pozo.	Insumos químicos y mantenimiento preventivo y correctivo
Aire	Se cumple la norma NOM-085-SEMARNAT-1994.	No aplica
Residuos sólidos urbanos	Reciclaje de aluminio, PET, vidrio, cartón y papel.	No aplica
Residuos peligrosos	Almacenamiento temporal que cumple con la normatividad aplicable.	Por recolección, transporte y disposición final de los residuos.
Riesgo ambiental	No rebasa los límites permisibles de almacenamiento de gas Lp, se cuenta con brigada contra incendio.	No aplica

4.3. *Identificación del área técnica para aplicar el proyecto de Producción más Limpia.* En la Figura 4.3 se muestra las emisiones y descargas contaminantes de los rubros ambientales identificados con mayores impactos ambientales: descarga del agua residual y generación de residuos peligrosos.

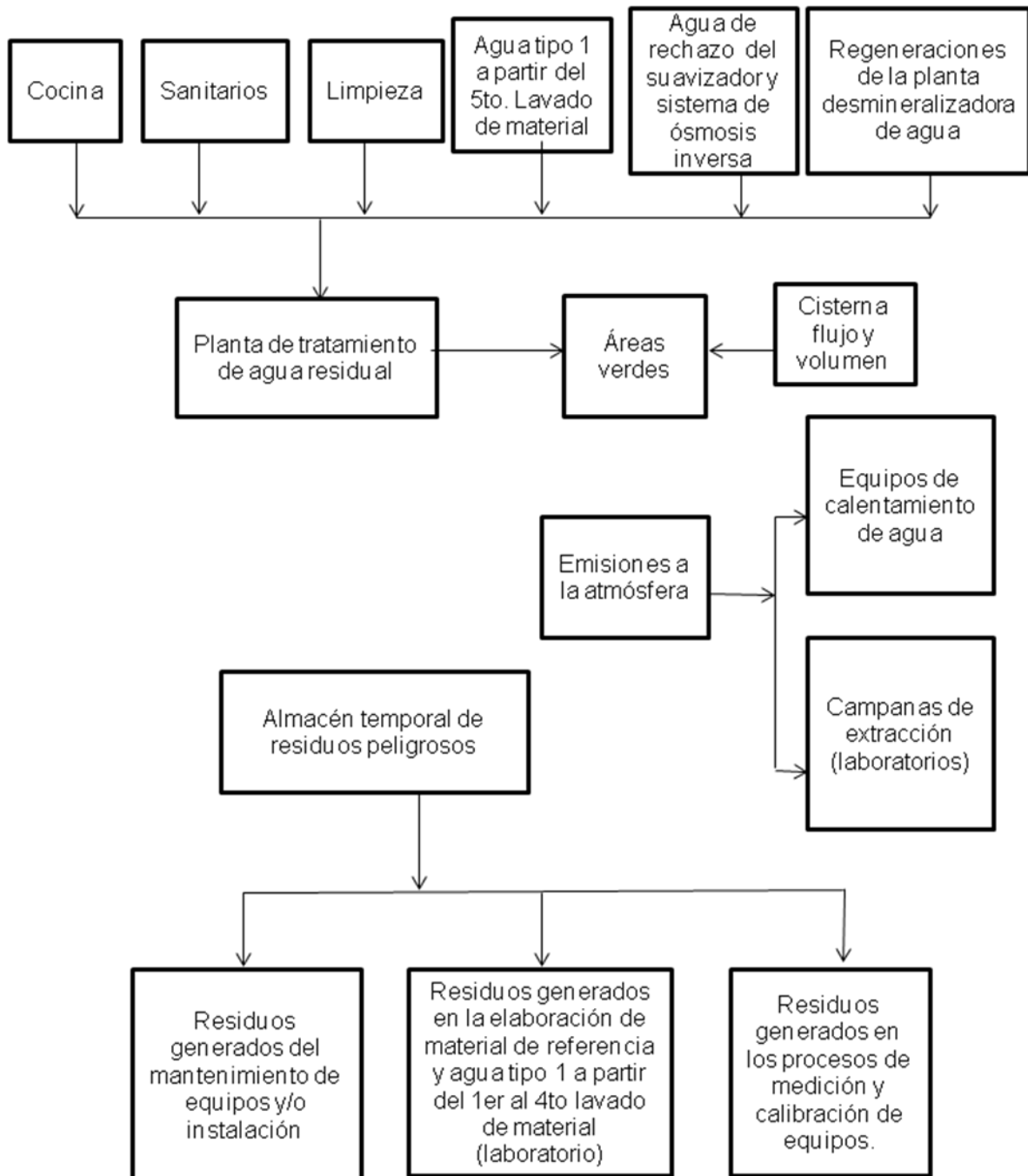


Figura 4.3. Diagrama de flujo de las emisiones y descargas contaminantes del CENAM.

En la Figura 4.4 se muestra la distribución del consumo del agua de pozo. El consumo del agua de pozo en la planta desmineralizadora es parte del rubro ambiental identificado con mayor impacto ambiental: consumo de agua de pozo.

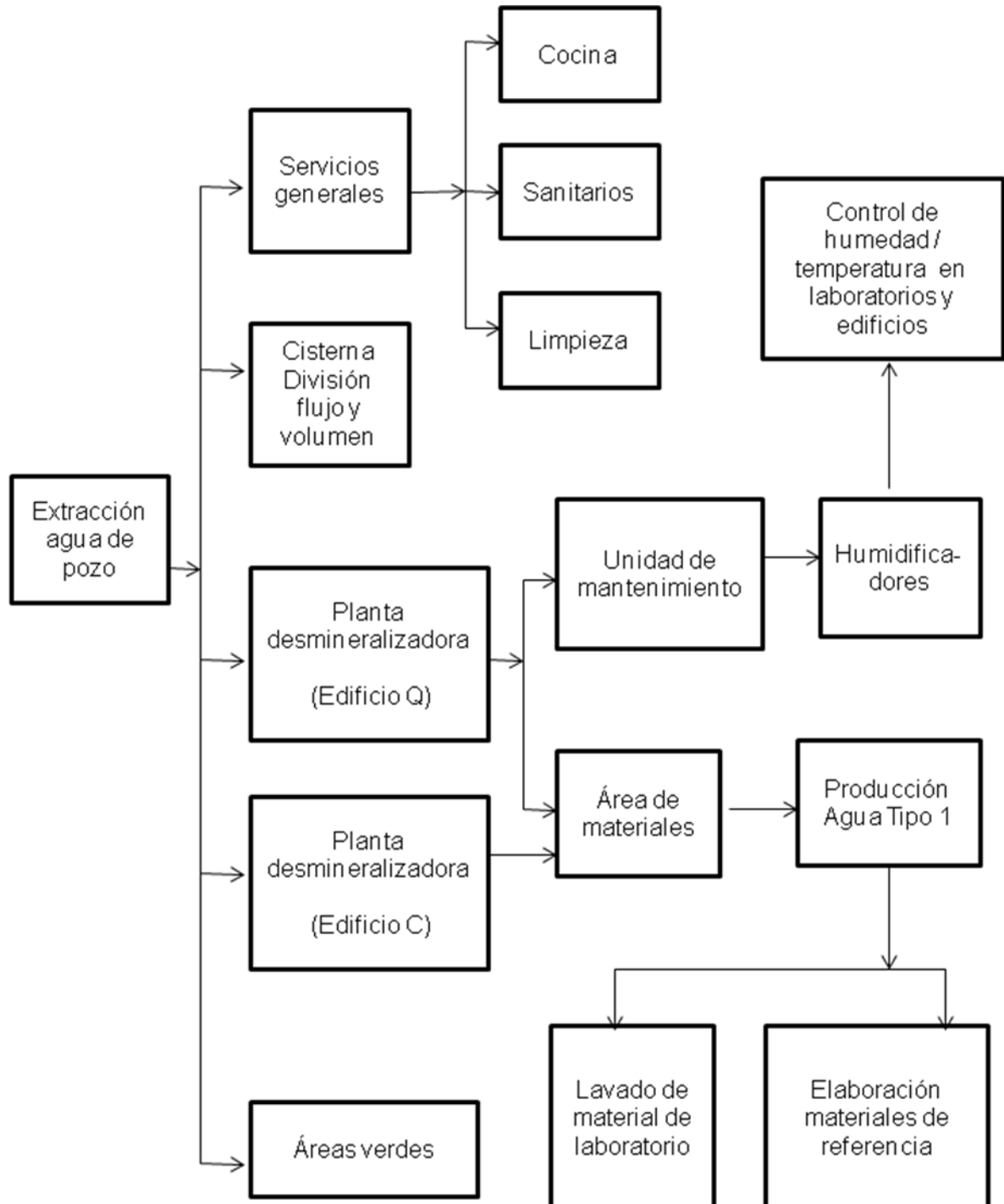


Figura 4.4. Diagrama de flujo de la distribución del consumo de agua en el CENAM.

En la Figura 4.5 se muestra el uso y descarga del agua desmineralizada en el edificio Q. Las divisiones de metálicos y orgánicos del área de metrología de materiales están ubicadas en el edificio Q. La planta desmineralizadora de agua de pozo es uno de los dispositivos de control del rubro ambiental identificado con mayor impacto ambiental: consumo de agua de pozo.

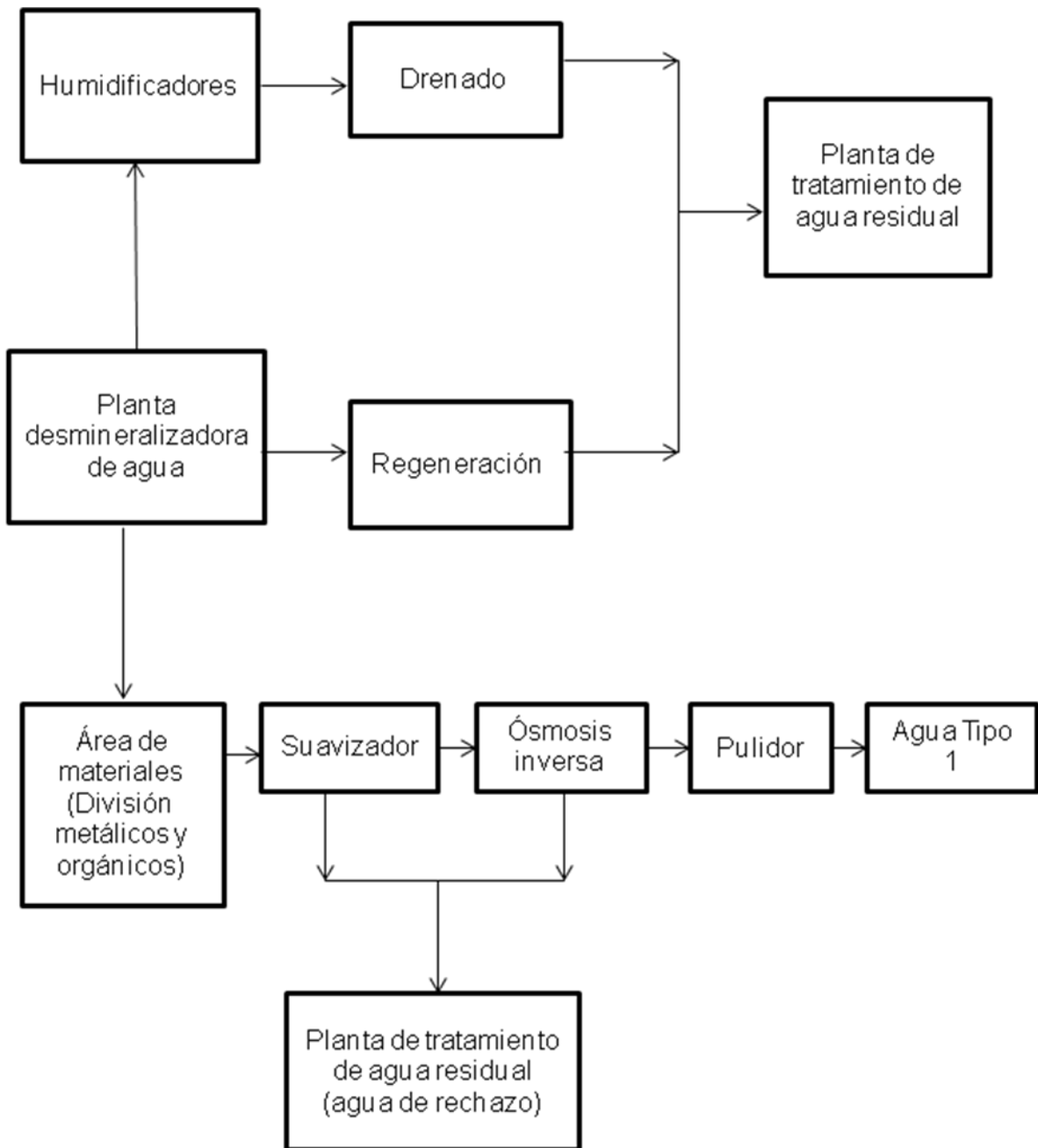


Figura 4.5. Diagrama de flujo del uso y descarga del agua desmineralizada en el edificio Q del CENAM.

En el rubro del agua se identificaron 2 problemas ambientales:

4.3.1. La generación de agua residual sanitaria: se identificó que la descarga del agua residual proveniente de la cocina, sanitarios, limpieza, agua tipo1 a partir del 5to. lavado, agua de rechazo del suavizador y sistema de ósmosis inversa y regeneraciones de la planta desmineralizadora de agua de pozo es dirigida a la planta de tratamiento de agua residual.

4.3.2. El consumo de agua de pozo: se identificó que el agua de pozo en la planta desmineralizadora ubicada en el edificio Q es destilada para alimentar a un suavizador de agua donde es bidestilada. El agua bidestilada es filtrada en un sistema de purificación por ósmosis inversa para producir agua tridestilada. El agua tridestilada es bombeada a un pulidor de agua donde se elimina al máximo la conductividad eléctrica para producir de agua tipo 1. El agua tipo 1 tiene como característica principal el no contener sales que produzcan interferencia en la elaboración de materiales de referencia.El agua de rechazo del suavizador y del sistema de purificación por ósmosis inversa representan más del 80% del total de agua destilada alimentada a ambos sistemas. En la producción de 150 litros de agua tipo 1 se rechazan 2300 litros de agua bidestilada y tridestilada. Esa agua de rechazo es enviada a la planta de tratamiento de agua residual.

La generación de agua residual sanitaria es producida por todas las áreas del CENAM. El área de metrología de materiales para producir agua tipo 1 y abastecer las divisiones de metales, orgánicos y cerámicos además de áreas técnicas utiliza dos plantas desmineralizadoras ubicadas en los edificios C y Q. Durante la producción de agua tipo 1 se rechazan grandes cantidades de agua desmineralizada (Figura 4.6). Resultando así que el área de *metrología de materiales es el área técnica de mayor daño ecológico y costo por administración ambiental en el rubro del agua.*

En el rubro de residuos peligrosos se identificó el área técnica de mayor generación de residuos peligrosos del CENAM, a través del:

#### 4.3.3. Historial de generación de residuos peligrosos durante el 2004.

En el Cuadro 4.2 se observa que el área de menor generación de residuos es el área de metrología física y el área de mayor generación es metrología de materiales. También se observa que el residuo peligroso más predominante es ácido nítrico.

Cuadro 4.2. Residuos peligrosos generados en las áreas técnicas del CENAM.

Área técnica	Residuo	Total	Unidad
Metrología Física	Pilas alcalinas	30	kg
Metrología Eléctrica	Aceite mineral	140	L
	Etilenglicol	25	L
	Sólidos impregnados con solventes	15.5	kg
Metrología Mecánica	Combustóleo	802	L
	Éter de petróleo	92	L
	Sólidos impregnados de hidrocarburos	14	kg
Metrología de Materiales	Ácido Nítrico al 2%	1051.1	L
	Mercurio, cobre en matriz ácida al 2%	125	L
	Hidróxido de sodio	110	L
	Ácidos inorgánicos al 2%	90	L
	Ácido clorhídrico al 2%	81.5	L
	Fenol	79.8	L
	Acetonitrilo	72.5	L
	Silicato de sodio	71	L
	Sólidos con sustancias químicas	59.474	kg
	Cianuros	38.2	L
Ácido sulfúrico al 2%	17.2	L	

De esos resultados se deduce que el área de *metrología de materiales* es el área técnica de mayor daño ecológico y costo por administración ambiental en el rubro de residuos peligrosos.



4.4. *Identificación del proceso de mayor impacto ambiental para aplicar el proyecto de Producción más Limpia.*

4.4.1. *Generación de emisiones o descargas de contaminantes:*

El área de metrología de materiales es el área de mayor generación de residuos peligrosos de todas las áreas técnicas del CENAM (Cuadro 4.2) y por ende la que presenta mayores costos de control ambiental por el manejo integral de sus residuos. Los residuos peligrosos más generados en esa área son ácidos inorgánicos diluidos (Cuadro 4.2). Se prosiguió a identificar el proceso que genera los residuos de ácidos inorgánicos diluidos en el área de metrología de materiales.

A continuación se presenta el volumen (litros) de la generación de los residuos peligrosos en el área de metrología de materiales durante el periodo 2001 - 2004 (Cuadro 4.3). La información fue recopilada de la bitácora de almacenamiento mensual de los residuos peligrosos del CENAM. Durante ese periodo, el residuo peligroso más generado fue el ácido nítrico seguido de las diferentes variedades de ácidos inorgánicos con metales, ácido clorhídrico y ácido sulfúrico.

Cuadro 4.3. Generación de residuos peligrosos en el área de metrología de materiales del CENAM.

<b>Residuo peligroso</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Ácido nítrico	218	779	799	1051
Cobre y mercurio en ácido	78	55	149	155
Ácidos inorgánicos	134	30	51	90
Ácido sulfúrico	0	122	98	0
Acetonitrilo	70	32	35	35
Cianuros	50	81	0	180
Ácido clorhídrico	13	0	60	82

Los números indican el volumen en litros.

Para identificar el proceso que genera residuos de ácido nítrico y de otros ácidos inorgánicos se revisaron durante el 2004 únicamente las divisiones del área de metrología de materiales que generan ácido clorhídrico, los metales de cobre y mercurio en solución ácida y el ácido nítrico (Cuadro 4.4).

Cuadro 4. 4. Proceso responsable de la mayor generación de residuos peligrosos en el área de metrología de materiales.

Proceso	División del proceso	Residuo peligroso	Cantidad	Unidad
Preparación gravimétrica de disolución espectrométrica de referencia de metal de alta pureza	Materiales	Ácido Nítrico	155	L
		Ácido Sulfúrico	12	L
		Mercurio en ácido	46	L
		Ácido Nítrico	179.6	L
		Ácido Nítrico	192.5	L
	Metálicos	Ácido Clorhídrico	5	L
		Mercurio en ácido	6.5	L
		Cobre en ácido	20	L
		Ácidos inorgánicos	35	L
		Cromo en ácido	10	L
		Mezcla de ácidos	50	L
		Ácido Nítrico	285	L
		Ácido Sulfúrico	6	L
		Ácido Clorhídrico	2.5	L
		Ácido Clorhídrico	24	L
Regalado	Materiales Orgánicos	Ácido Nítrico	8	L
		Ácidos inorgánicos	40	L
		Ácido Clorhídrico	30	L

La división de materiales metálicos generó mayor cantidad residuos de ácido nítrico y de otros ácidos inorgánicos durante 2004. Se identificó que el *ácido nítrico al 2%* es el residuo peligroso con mayor generación y la preparación gravimétrica de disolución espectrométrica de referencia de metal de alta pureza de la *división de materiales metálicos* el proceso que lo genera.

#### 4.4.2. Consumo de recursos naturales

En el CENAM, el consumo y desperdicio de agua ha causado un impacto ambiental en el consumo de recursos naturales, en la Figura 4.6 se presenta el balance hidráulico del 2006.

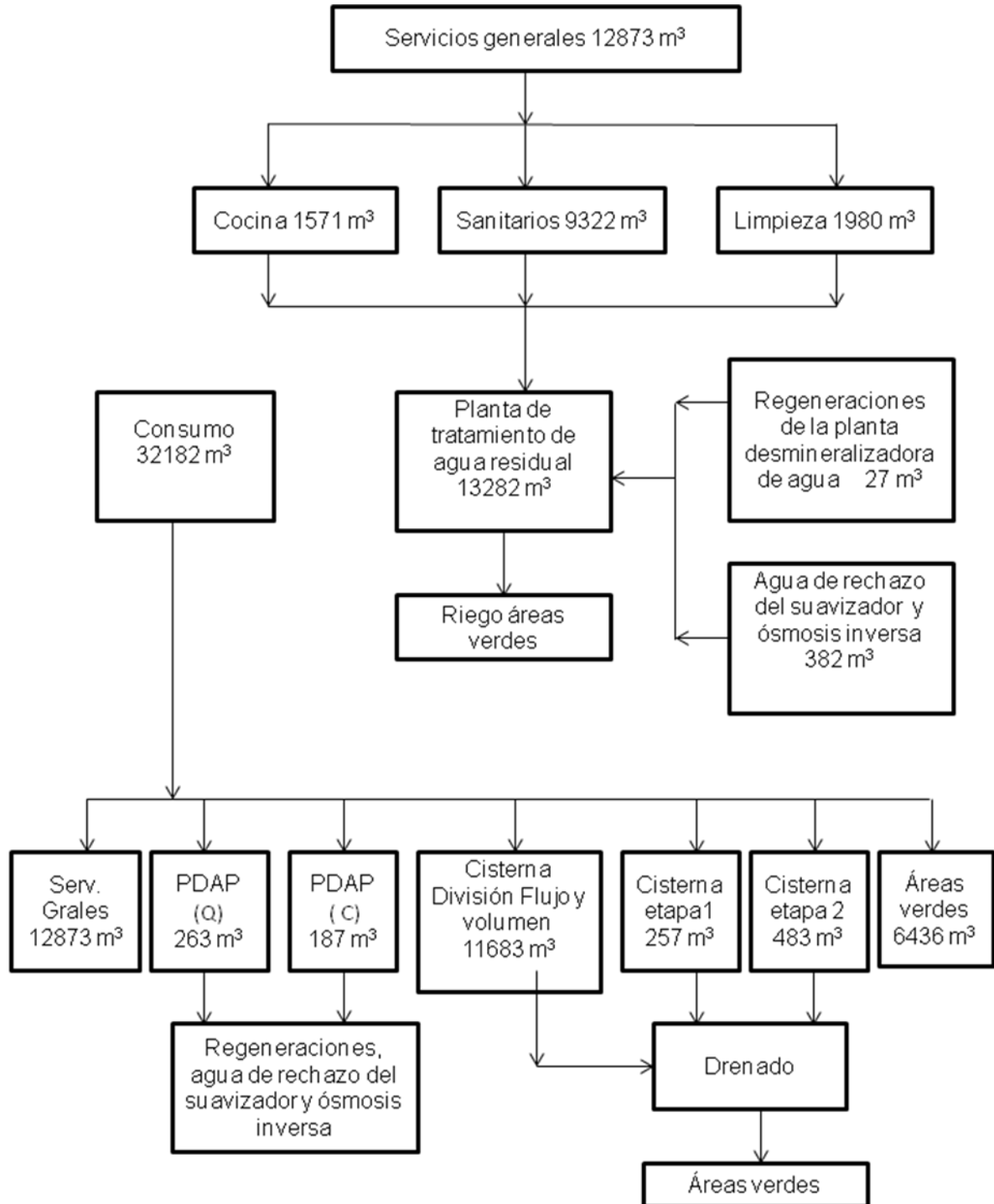


Figura 4.6. Diagrama de flujo del balance hidráulico anual del CENAM.

Por lo anterior, se identificó que los 2 problemas o deficiencias ambientales con mayor daño ecológico y costo por el control o administración del cumplimiento ambiental en el CENAM pertenecen a la división de materiales metálicos del área de metrología de materiales. En particular, el proceso de preparación gravimétrica de disolución espectrométrica de referencia de metal de alta pureza es el proceso de mayor impacto ambiental en el CENAM porque genera mayor cantidad de residuos de ácido nítrico y de otros ácidos inorgánicos (Cuadro 4.4) y desperdicia agua en grandes cantidades en un promedio de 2300 litros por 150 litros de producción de agua tipo 1 (Figura 4.5). En la Figura 4.6 se muestra el consumo de dos plantas desmineralizadora de agua en los edificios C y Q que pertenecen al área de metrología de materiales.

#### *4.5. Identificación de las áreas de oportunidad de mejora para disminuir los problemas ambientales en el proceso de mayor impacto ambiental.*

Con la aplicación de las técnicas de Matriz Med, Ecobalance y Auditoria Ambiental a la *preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza* se detectaron las áreas de oportunidad de mejora para disminuir los impactos ambientales por la generación de residuos peligrosos y rechazo de agua desmineralizada en el proceso de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1.

##### *4.5.1. Matriz Med.*

Se graficaron (en el eje vertical) las etapas del ciclo de vida del producto o servicio (materia prima, producción, distribución, uso y fin de vida o disposición) y en el eje horizontal los insumos (materiales y energía) y desechos que entran y salen de cada etapa. La interpretación de la matriz donde se identificaron las prioridades ambientales del ciclo de vida del producto o servicio se hicieron de manera intuitiva, para después recurrir al Eco Balance y encontrar detalladamente las causas de las prioridades identificadas en la Matriz Med.

En el Cuadro 4.5 se presenta la matriz de med aplicada a cada actividad del proceso de preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza. Se observó que durante la producción, el uso y la disposición de un material de referencia se desechan residuos de ácidos inorgánicos con metales. A través de la aplicación de la técnica de Matriz de Med se ratificó que la generación de residuos ácidos con metales es un problema ambiental originado del proceso de mayor impacto ambiental en el CENAM.

Cuadro 4. 5. Matriz de Med en el proceso de preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza.

<b>Actividad</b>	<b>Materiales</b>	<b>Energía</b>	<b>Desechos</b>
<b>Producción</b>			
1. Limpieza del metal (procedimiento 620-AC-P.520).	Metales de alta pureza, agua y solución de ácido nítrico.	—	Agua residual con metales y ácido nítrico.
2. Limpieza del material de uso general para el proceso, (600-AC-P.018).	Agua y solución de ácido nítrico	—	Agua residual con metales y solución de ácido nítrico.
3. Pesado del metal en la balanza analítica.	Metal de alta pureza.	Eléctrica	—
4. Digestión del metal con HNO <sub>3</sub> en la campana de extracción de vapores (620-AC-P.446; 600-AC-P.049).	Metales, ácido nítrico, campana de extracción.	Eléctrica	Vapores, ácido nítrico residual de digestión.
5. Preparación de disolución de HNO <sub>3</sub> 2% (v/v).	Agua, ácido nítrico.	—	—

6. Medición de la densidad en la disolución usando el densímetro Antón-Paar.			
7. Medición de impurezas de elementos químicos con el espectrómetro de masas.			
8. Medición de oxígeno y nitrógeno empleando fusión y detección por infrarrojo para oxígeno y conductividad térmica para nitrógeno.			
<b>Uso</b>			
1. Material de referencia para la elaboración de curvas de calibración en laboratorios secundarios.	Disolución ácida de referencia con metales.	—	—
<b>Disposición</b>			
1. Material de referencia excedente y/o derramado al realizar el envasado.	Trapos o papel absorbente, disolución ácida de referencia.	—	Sólidos impregnados y disolución ácida con metales
2. Material de referencia con fecha de caducidad vencida	Disolución ácida de referencia caducada	—	Disolución ácida con metales

#### 4.5.2. Eco Balance.

Por medio del diagrama de flujo del proceso de *preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza* se ratificó que el rechazo de agua desmineralizada en el proceso de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1 y la generación de residuos ácidos con metales son problemas ambientales originados del proceso de mayor impacto ambiental en el CENAM. En la Figura 4.7 se identificaron los impactos producidos, las características de las materias primas, los insumos, las emisiones, los residuos o las descargas de los contaminantes y el producto final.

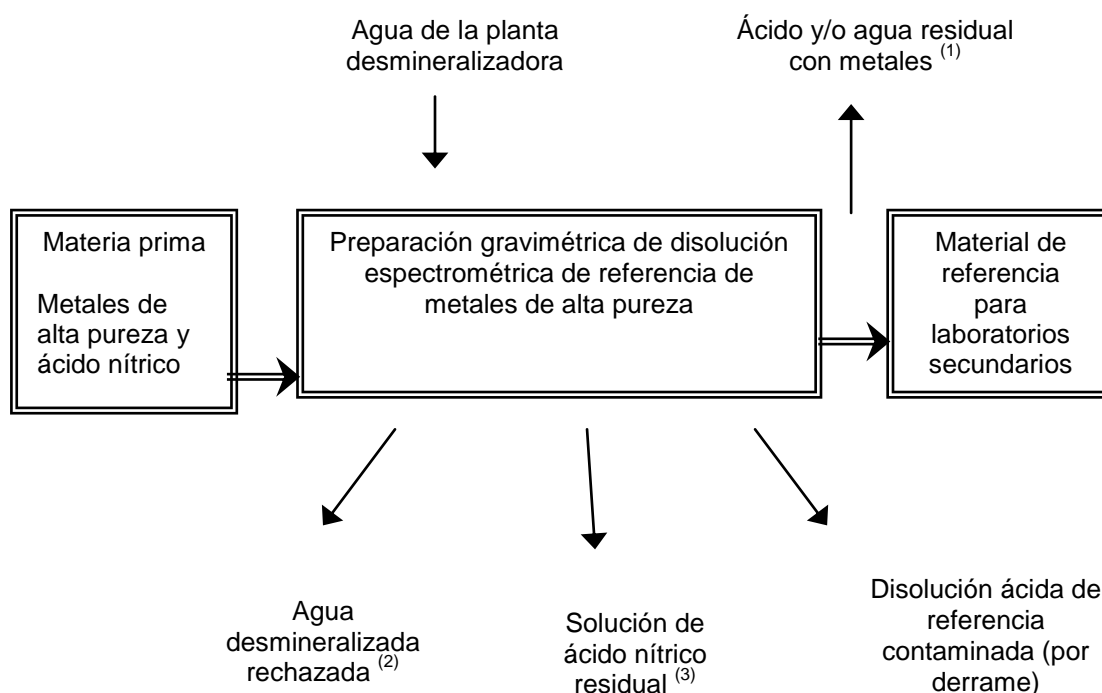


Figura 4.7. Eco-balance del proceso de preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza.

(<sup>1</sup>)En el Eco-balance se identificó que el ácido y/o agua residual con metales es generado por el lavado del metal y del material en general utilizado dentro y fuera del proceso. (<sup>2</sup>)El agua desmineralizada rechazada proviene de la producción de agua tipo 1. (<sup>3</sup>) La solución de ácido nítrico residual es generada por el proceso de digestión (620-AC-P.446).

#### 4.5.3. Auditoria ambiental.

Con la finalidad de identificar las deficiencias o incumplimientos normativos ecológicos en la *preparación gravimétrica de una disolución espectrométrica de referencia de un metal de alta pureza* se realizó una revisión detallada en los rubros y/o compartimientos ambientales que son afectados por ese proceso para identificar la causa y presentar un plan de acción de cumplimiento normativo ecológico o mejora sustentando en un marco legal. Los resultados de la auditoria ambiental se presentan a continuación:

##### 1. Consumo de recursos naturales (agua).

Durante la realización de la auditoria ambiental en el consumo de recursos naturales (Cuadro 4.6) se detectaron 2 deficiencias ambientales. La primera es en el proceso de desmineralización de agua de pozo y la segunda en la técnica de ósmosis inversa.

El agua utilizada en el laboratorio de materiales de referencia es extraída de pozo y es conducida a la planta desmineralizadora, porque el agua requerida debe de estar libre de sales. El proceso de desmineralización es el siguiente:

- a) El agua cruda o de pozo entra al filtro de grava y arena para eliminar materia orgánica y posteriormente va al filtro de carbón activado, donde se elimina olor y sabor.
- b) Después, el agua entra a columnas de intercambio iónico (catiónica y aniónica). Las sales se retienen en este paso.
- c) Al finalizar el proceso, el agua tiene una conductividad de 40 ms/cm<sup>2</sup>.

El laboratorio de materiales de referencia requiere de agua con conductividad menor a 20 ms/cm<sup>2</sup>. Por ello, el agua desmineralizada es dirigida a otro tratamiento para suavizarla empleando la técnica de ósmosis inversa para producir agua tipo 1. Esa agua es utilizada para la elaboración de materiales de referencia y para lavado de material.



Cuadro 4. 6. Auditoria ambiental en el consumo de recursos naturales (agua).

<p>Deficiencia ambiental</p>	<p><u>AGU-1.</u> En el proceso de desmineralización de agua de pozo, el agua de salida en el proceso de regeneración de las columnas iónicas se descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales sin haber tenido un uso.</p> <p><u>AGU-2</u> En el proceso de ósmosis inversa se rechaza mas del 80% del agua alimentada al sistema. El agua de rechazo es conducida a la planta de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>En ambas deficiencias, el agua se descarga con características óptimas para riego de áreas verdes y servicios sanitarios y/o para alimentación de los humidificadores del sistema de aire acondicionado.</p>
<p>Causa</p>	<p>A) Se carece de una cisterna de recuperación del agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas de la planta desmineralizadora de agua de pozo y recuperación del agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa.</p> <p>B) No se cuenta con un sistema de distribución para la utilización de estas dos descargas de agua.</p> <p>C) El programa de uso eficiente y racional del agua, no contempla el aprovechamiento del agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas y del agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa.</p> <p>D) No se cuenta con capacitación al personal sobre el programa de uso eficiente y racional del agua.</p>
	<p>A) Construcción de una cisterna de 2500 litros de capacidad para la recuperación del agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas y agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa.</p> <p>B) Instalación de un sistema de conducción del agua de</p>

Plan de acción	rechazo del sistema de ósmosis inversa al tinaco que almacena el agua de alimentación directa de los humidificadores del sistema de aire acondicionado. C) Capacitación periódica al personal sobre la aplicación del programa de uso eficiente y racional del agua.
Marco legal	Reglamento para el uso eficiente del agua en Querétaro.

## 2. Generación de emisiones contaminantes

Durante la realización de la auditoria ambiental en la generación de emisiones o descargas de contaminantes (Cuadro 4.7) se detectaron 2 deficiencias ambientales. Primero, la descarga de agua pluvial se mezcla con la descarga sanitaria y segundo, los contenedores de residuos peligrosos en los laboratorios carecen de identificación, a continuación se describen los hallazgos:

- a. El CENAM cuenta con un sistema de drenaje único, el cual conduce las aguas residuales generadas de los servicios generales del centro; sanitarios, comedor y limpieza (Figura 4.6). Este drenaje conduce las aguas residuales hacia la planta de tratamiento. El agua pluvial también es enviada a esta planta.
- b. El manejo de los residuos peligrosos en los laboratorios del área de metrología de materiales, el agua resultante de los tres primeros lavados del material es depositada en un contenedor plástico de 60 L de capacidad. Cuando el contenedor se llena, se entrega en el almacén temporal de residuos peligrosos para su trasvase a un tambor de 200 L de capacidad que después se envía a un tratamiento fisicoquímico con empresas autorizadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Cuadro 4. 7. Auditoria ambiental en la generación de emisiones contaminantes.

Deficiencia ambiental 1.	<u>AGUR-1</u> . El CENAM cuenta con canales de aguas pluviales. El agua pluvial es dirigida al drenaje.
Causa	<p>A) Se carece de un drenaje pluvial que conduzca las aguas pluviales a un vaso de captación.</p> <p>B) El Programa de uso eficiente y racional del agua, no contempla el aprovechamiento del agua pluvial.</p> <p>C) No se cuenta con capacitación al personal sobre la aplicación del programa de uso eficiente y racional del agua.</p>
Plan de acción	<p>A) Construcción de un sistema de drenaje pluvial.</p> <p>B) Conducción del agua de los canales de recuperación hacia el sistema de drenaje pluvial.</p> <p>C) Almacenamiento de agua pluvial en un vaso de captación de 6045 m<sup>3</sup> de capacidad.</p> <p>D) Utilización del agua pluvial para el riego de áreas verdes.</p> <p>E) Capacitación periódica al personal sobre la aplicación del programa de uso eficiente y racional del agua.</p>
Marco legal	Reglamento para el uso eficiente del agua en Querétaro.
Deficiencia ambiental 2	<u>REP-1</u> . Los residuos peligrosos generados en los laboratorios de materiales de referencia no son identificados con la etiqueta correspondiente hasta ser enviados al almacén temporal de residuos peligrosos (Cuadro 4.2).
Causa	<p>A) Se carece de buenas prácticas de operación.</p> <p>B) No se cuenta con capacitación al personal responsable del manejo de los residuos peligrosos.</p>
Plan de acción	<p>A) Identificación a los contenedores de residuos peligrosos a partir de que son utilizados en las áreas de laboratorio.</p> <p>B) Capacitación al personal de los laboratorios acerca del manejo adecuado de los residuos peligrosos.</p>
Marco legal	Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

4.6. Análisis de la pre-factibilidad de la Producción más Limpia en el área técnica de mayor impacto ambiental.

Cuadro 4. 8. Cuantificación de los costos de la planta desmineralizadora de agua de pozo.

<b>1. Insumos químicos</b>			
Concepto	kg/ regeneración	Costo/kg	Costo por regeneración
Ácido clorhídrico	20	4.11	82.2
Hidróxido de sodio	14	4.5	63.0
Al mes se realizan 2 regeneraciones		T. mensual	\$290.40
<b>2. Equipo de protección personal</b>			
Concepto	Factor	Factura	Total
Equipo de protección personal	30 %	2,334.50	700.35
		T. mensual	\$58.36
<b>3. Materia prima: agua de pozo</b>			
Área	Gasto m <sup>3</sup>	Consumo m <sup>3</sup> /mes	Gasto Total por área
M. Materiales	\$11.7353	30	352.06
Humidificadores		40	469.41
Regeneración		10	117.35
		Total	\$938.82
<b>4. Mantenimiento y operación en la PDAP</b>			
Concepto	Tiempo (hr/año)	Costo/hora del operador	Total
Operación general	1825	25	45625
Regeneración	108	25	2700
Mantenimiento anual	Realizado por externo	Incluido en factura	13,110
		Anual	61435
		Mensual	\$5119.60
<b>Costo general por producción de agua desmineralizada</b>			
Concepto			Gasto mensual
Insumos químicos			290.40
Equipo de protección personal			58.36
Agua de pozo consumida			938.82
Mantenimiento y operación			5119.60
Total			\$6407.18
Consumo mensual de agua desmineralizada			80 m <sup>3</sup>
<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua desmineralizada / mes</b>			<b>\$80.09</b>

Cuadro 4. 9. Cuantificación de los costos de la planta de tratamiento de agua residual.

<b>1. Insumos químicos</b>			
Concepto	Consumo kg/ mes	Costo/kg	Costo mensual
Hipoclorito de calcio	6	20	\$120
<b>2. Equipo de protección personal</b>			
Concepto	Factor	Factura	Total
Equipo de protección personal	20 %	2,334.50	466.90
		T. mensual	\$38.91
<b>3. Materia prima: agua residual</b>			
Área	Gasto de agua de pozo m <sup>3</sup>	Volumen de agua residual descargada m <sup>3</sup> /mes	Gasto Total mensual
Servicios generales	\$11.7353	500	\$5867.65
<b>4. Mantenimiento y operación en la PTAR</b>			
Concepto	Tiempo (hr/año)	Costo/hora del operador	Total
Operación general	2920	25	73,000
Mantenimiento anual	Realizado por externo	Incluido en factura	120,000
		Anual	193,000
		Mensual	\$16083.33
<b>Costo general por el tratamiento de agua residual</b>			
Concepto		Gasto mensual	
Insumos químicos		120.00	
Equipo de protección personal		38.91	
Agua de pozo consumida		5867.65	
Mantenimiento y operación		16083.33	
Total		\$7709.89	
Consumo mensual de agua desmineralizada producida		500 m <sup>3</sup>	
<b>Costo por m<sup>3</sup> de agua residual tratada al mes</b>		<b>\$15.42</b>	

Cuadro 4. 10. Cuantificación de los costos del almacén temporal de residuos peligrosos.

<b>1. Equipo de protección personal</b>			
Concepto	Factor	Factura	Total
Kit para derrames	No aplica	4025.00	4025.00
Embudo antiburbujas	No aplica	977.50	977.50
Equipo de protección personal	50 %	2,334.50	1167.25
		T. anual	6169.75
		T. mensual	\$514.15
<b>2. Manejo, almacenamiento y disposición de residual</b>			
Cantidad total generada de residuo peligroso en el CENAM	Costo / unidad aproximado	% facturado	Costo total anual
4673 L	8.34	60	38985.0
5351 kg	3.64	30	19492.5
1033 Piezas	6.29	10	6497.5
		Factura total	\$64,975.00
		Costo mensual	\$5414.58
<b>3. Operación en el almacén temporal de residuos peligrosos</b>			
Concepto	Tiempo (hr/año)	Costo/hora del operador	Total
Recepción en almacén	24	25	600
Entrega de contenedores a área técnicas	240	25	6000
Entrega de residuos a prestador de servicios	10	25	250
		Anual	6850
		Mensual	\$570.83
<b>Costo general por el manejo de los residuos peligrosos</b>			
Concepto		Gasto mensual	
Equipo de protección personal		514.15	
Manejo y disposición de residuos peligrosos		5414.58	
Operación		570.83	
Total		\$6499.56	
Volumen anual generado por el Área de Materiales		1997 L	
<b>Costo por litro en el manejo de residuos peligrosos del área de metrología de materiales al mes</b>		<b>\$1387.91</b>	

#### *4.7 Descripción de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental.*

##### *4.7.1 Establecimiento de recomendaciones para evitar y disminuir las deficiencias o incumplimientos normativos ecológicos identificados en los rubros ambientales con mayor impacto ambiental.*

Una vez identificadas las deficiencias o incumplimientos normativos ecológicos detectados en la auditoría ambiental efectuada a los 2 rubros ambientales con mayor impacto ambiental, se presentaron varias recomendaciones con beneficios técnicos, ambientales y económicos. Para cada una de esas recomendaciones se describió el costo estimado y el retorno de inversión.

##### 4.7.1.1 Rubro ambiental: agua

AGU-1. En el proceso de desmineralización, el agua de salida en el proceso de regeneración de las columnas iónicas se descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales un promedio de 2300 litros por cada 150 litros de agua tipo producida sin haber sido usada. Lo anterior con el conocimiento de que las características del agua pueden ser óptimas para riego de áreas verdes y servicios sanitarios.

Recomendación 1: construcción de una cisterna de 2500 litros de capacidad para la recuperación del agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas.

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en la infraestructura de almacenamiento de agua para reuso.
- b) Ambientales: disminución de consumo excesivo de agua y el volumen de aguas residuales.
- c) Económicos: reducción del pago por consumo de agua y reducción de costos de tratamiento de aguas residuales. Lo anterior por disminución del volumen de agua a tratar.

El costo estimado para realizar la recomendación descrita es de \$20,000.00 con retorno de inversión de 8 meses.

Recomendación 2: instalación de un sistema de distribución del agua almacenada en la cisterna de recuperación.

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en la infraestructura de almacenamiento de agua para reuso.
- b) Ambientales: reuso del agua de salida en la regeneración de las columnas iónicas para riego de áreas verdes y sanitarios.
- c) Económicos: reducción de costos por consumo excesivo de agua.

El costo estimado para realizar la recomendación descrita es de \$50,000.00 con retorno de inversión de 12 meses.

Recomendación 3: separación de las líneas de alimentación de agua a los servicios sanitarios para utilizar el agua almacenada en la cisterna.

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en la infraestructura de distribución de agua para reuso.
- b) Ambientales: reuso del agua de salida en la regeneración de las columnas iónicas para riego de áreas verdes y sanitarios.
- c) Económicos: reducción de costos por tratamiento de aguas residuales.

El costo estimado para realizar la recomendación descrita es de \$10,000.00 con retorno de inversión de 12 meses.

Recomendación 4: incluir en el programa de uso eficiente y racional del agua, el reuso del agua de salida de la regeneración de las columnas iónicas para el riego de áreas verdes.



**Beneficios:**

- a) Técnicos: mejoramiento en buenas prácticas de operación y capacitación del personal.
- b) Ambientales: reducción en el consumo de agua.
- c) Económicos: reducción de costos por consumo excesivo de agua.

La recomendación no genera costo.

AGU-2. En el proceso de osmosis inversa se rechaza mas del 80% del agua alimentada al sistema. El agua de rechazo es conducida a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Recomendación 1: construcción de una cisterna de 2500 litros de capacidad para la recuperación del agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas y el agua de rechazo del sistema de osmosis inversa e instalación de un sistema de distribución del agua almacenada en la cisterna de recuperación del agua de rechazo del purificador de osmosis inversa para re circular el agua al sistema de desmineralización de agua de pozo.

**Beneficios:**

- a) Técnicos: aumento en la vida útil de las columnas iónicas de la planta desmineralizadora de agua de pozo por disminución el número de regeneraciones.
- b) Ambientales: reuso del agua de rechazo del sistema de osmosis inversa.
- c) Económicos: reducción de costos por regeneración de las columnas iónicas de la planta desmineralizadora de agua de pozo, además de reducción del pago por consumo de agua y reducción de costos de tratamiento de aguas residuales por disminución del volumen de agua a tratar.

El costo estimado para realizar la recomendación descrita es de \$8,500.00 con retorno de inversión de 12 meses por la adquisición de una cisterna de plástico de 2500 L, una bomba centrifuga plástica, una tubería de pvc, cemento, arena y grava.

#### 4.7.1.2 Rubro ambiental: agua residual

AGUR-1. El CENAM cuenta con sistema de canales de conducción de las aguas pluviales dirigidas al drenaje que no se usan antes de ser contaminadas.

Recomendación 1: construcción de un sistema de drenaje pluvial donde se conecten el drenaje pluvial a un vaso de captación para almacenar el agua pluvial, para utilizar el agua en el riego de áreas verdes.

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en la infraestructura de drenaje
- b) Ambientales: uso del agua pluvial para riego de áreas verdes
- c) Económicos: reducción de costos por tratamiento de aguas residuales, reducción de costos por consumo excesivo de agua.

El costo estimado para realizar la recomendación descrita es de \$50,000.00 con retorno de inversión de 12 meses.

Recomendación 2: integración en el programa de uso eficiente y racional del agua, la utilización del agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas, para el riego de áreas verdes. Y capacitar periódicamente al personal, sobre la aplicación del programa de uso eficiente y racional del agua

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en buenas prácticas de operación y capacitación del personal
- b) Ambientales: disminución del consumo excesivo de agua y la generación de aguas residuales
- d) Económicos: reducción de costos por consumo excesivo de agua.

La recomendación no genera costo.

#### 4.7.1.3 Rubro ambiental: residuos peligrosos

REP-1. Los residuos peligrosos generados en los laboratorios de materiales de referencia no son identificados con la etiqueta correspondiente hasta ser enviados al almacén temporal de residuos peligrosos.

Recomendación 1: identificación de los contenedores para residuos peligrosos desde su generación en las áreas de laboratorio para garantizar el buen manejo de los residuos peligrosos.

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en el manejo integral de residuos peligrosos.
- b) Ambientales: manejo adecuado de residuos peligrosos, dado a que se eliminaría la mezcla de residuos no peligrosos con peligrosos, disminuyendo el volumen a confinar.
- c) Económicos: reducción de costos por manejo adecuado, dado a que se eliminaría la mezcla de residuos no peligrosos con peligrosos, disminuyendo el volumen a confinar.

La recomendación no genera costo.

Recomendación 2: capacitación del personal de los laboratorios acerca del manejo adecuado de los residuos peligrosos.

Beneficios:

- a) Técnicos: mejoramiento en buenas prácticas de operación y capacitación del personal
- b) Ambientales: eliminación de mezcla de residuos no peligrosos con peligrosos, disminuyendo el volumen a confinar.
- c) Económicos: reducción de costos por manejo inadecuado de residuos peligrosos.

La recomendación no genera costo

#### 4.7.2 *Determinación de la estrategia integral para el proyecto de Producción más Limpia.*

En base a un análisis de costo beneficio ambiental que aporta cada recomendación dada anteriormente, se determinó que el área de oportunidad o mejora es el *proceso de ósmosis inversa*. Esa opción técnica representa menor inversión y mayor ganancia en términos de consumo de recursos y minimización de emisiones contaminantes.

El área de metrología de materiales produce y consume agua tipo 1 a partir de la filtración del agua desmineralizada por osmosis inversa. El agua ultrafiltrada es utilizada en calibraciones y/o en la elaboración de materiales de referencia. Por su diseño, en la filtración por ósmosis inversa se desecha más del 80% del agua desmineralizada y el agua de rechazo es conducida a la planta de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, no se puede manipular el diseño de los purificadores para disminuir el agua de rechazo.

Considerando los altos costos por la operación de la planta desmineralizadora de agua de pozo (Cuadro 4.8), el tratamiento del agua rechazada del sistema de ósmosis inversa (Figura 4.5) en la planta de tratamiento de agua residual (Cuadro 4.9) y la demanda de extracción y aprovechamiento de agua subterránea (Figura 4.4), se determinó implementar un proyecto de “recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1” que abastece las divisiones de metales y orgánicos del área de metrología de materiales ubicadas en el edificio Q siguiendo la recomendación del apartado AGU-2.

Es decir, construir una cisterna de recuperación para almacenar el agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas y el agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa e instalación de un sistema de distribución del agua almacenada en la cisterna de recuperación del agua de rechazo del purificador de ósmosis inversa para re circular el agua al sistema de desmineralización de agua de pozo en el sótano del edificio Q.

#### *4.8 Implementación del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de mayor impacto ambiental en el CENAM.*

4.8.1 Planeación: se presento el proyecto de Producción más Limpia denominado “Recuperación del agua de rechazo del sistema de osmosis inversa para la producción de agua tipo 1” a la Dirección de Administración y Finanzas del CENAM para su revisión y aprobación mostrando los beneficios técnicos, económicos y ambientales

4.8.2 Diseño: se presento el diseño del sistema de recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa que incluye la instalación de una cisterna de plástico de 2500 L en una base de concreto en el sótano del edificio Q. En la cisterna se recibiría el agua de rechazo del purificador de ósmosis inversa para enviar el agua a la entrada de la planta desmineralizadora. Para recircular el agua de rechazo se propuso emplear una bomba centrífuga plástica de  $\frac{3}{4}$  Hp.

Gestión: se adquirieron los siguientes materiales y equipos para la implementación de proyecto de Producción más Limpia, a) una cisterna de plástico de 2500 L, b) una bomba centrífuga plástica con impulsor magnético de  $\frac{3}{4}$  hp, c) una tubería de pvc, d) cemento, arena y grava. Esos materiales tuvieron un costo de \$8500.00

4.8.3 Construcción: se inicio la construcción del proyecto. La construcción duró 5 meses.

4.8.4 Etapas: en la Figura 4.8 se muestra el diagrama de flujo del proyecto de Producción más Limpia “Recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1”

La descripción general del sistema de recirculación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa a la planta desmineralizadora de agua de pozo se muestra en la Figura 4.9.

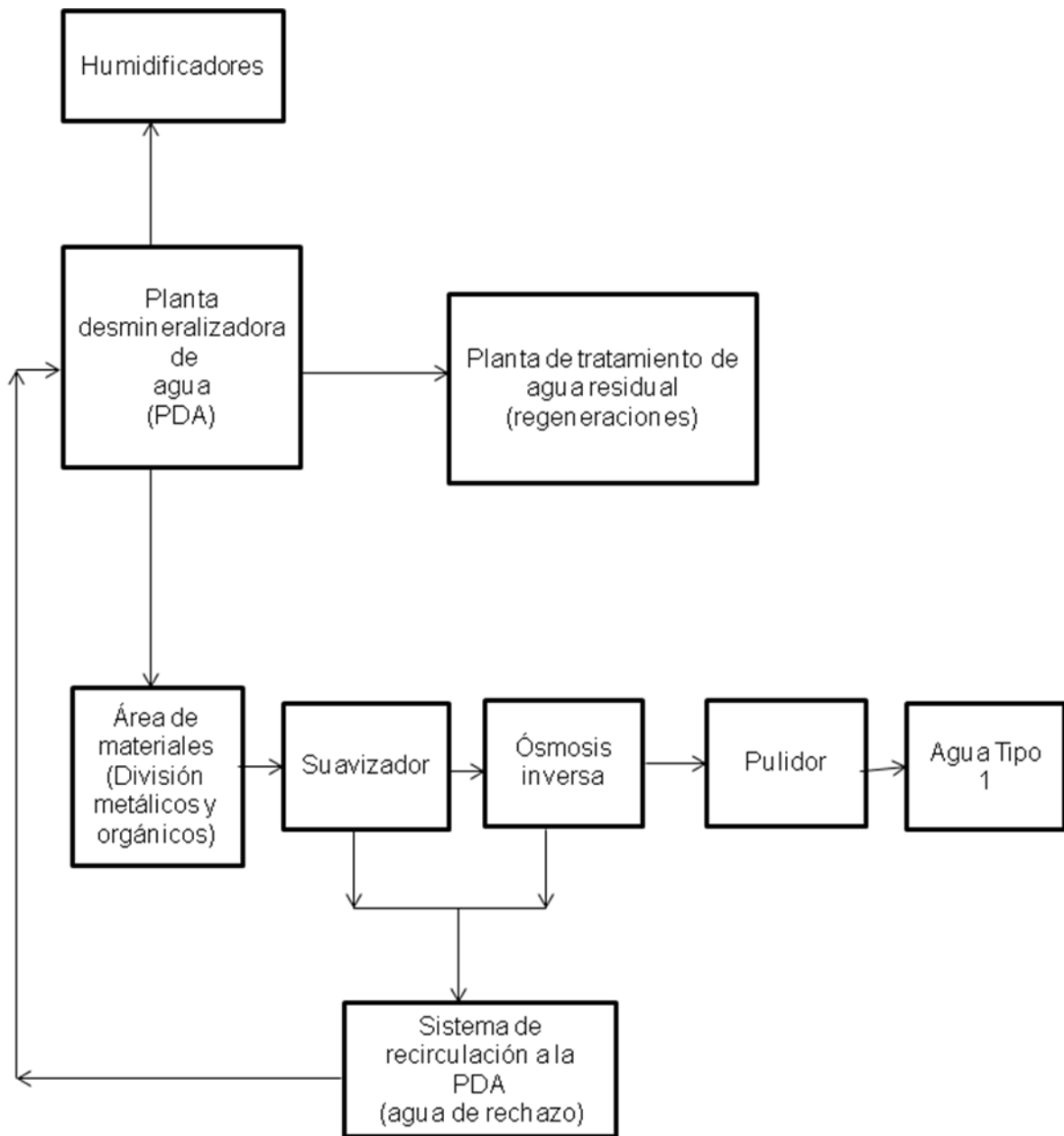


Figura 4.8. Diagrama de flujo del proyecto de Producción más Limpia.



Figura 4.9. Sistema de recirculación del agua de rechazo del sistema de osmosis inversa a la planta desmineralizadora de agua de pozo del CENAM. Las imágenes muestran las etapas del sistema. A. planta desmineralizadora de agua. B. tanque almacén del agua desmineralizada para uso de metrología de materiales. C. hidroneumático empleado para bombear agua desmineralizada al suavizador de agua. D. suavizador y filtros de grava, arena y carbón activado que bi-desmineralizan y filtran el agua que proviene de la planta desmineralizadora de agua de pozo. E. purificadores de ósmosis inversa están compuestos por cartuchos con filtros que atrapan micro partículas de sales. F. cisterna para almacenar agua filtrada de los purificadores de ósmosis inversa. G. tubería del agua de rechazo. H. cisterna para almacenar agua de rechazo. I. sistema de bombeo.

En la planta desmineralizadora (A), el sistema de tratamiento da inicio al abrir la válvula de paso de control de agua de pozo (A-1), el agua pasa primero por dos unidades de filtración (A-2A y 2B), el agua filtrada es enviada a la unidad de intercambio iónico (A-3), este sistema cuenta con un microprocesador (A-4) que controla automáticamente las válvulas para el servicio y regeneraciones de las resinas, por medio de la señalización de la conductividad, medida a la salida del sistema. El agua desmineralizada con conductividad menor de  $20 \text{ ms/cm}^2$  se envía a un tanque almacén de 10,000 L (B) para después distribuirla al sistema de ósmosis inversa en el laboratorio Q018 del área de metrología de materiales y producir agua tipo 1.

El agua desmineralizada del tanque almacén es bombeada con un equipo hidroneumático (C) al suavizador donde el agua entra en contacto con salmuera (D.) y el agua de rechazo con conductividad eléctrica no mayor de  $35 \text{ ms/cm}^2$  se envía a la cisterna ubicada en el sótano del edificio Q, después del suavizador el agua suave se filtra en grava, arena y carbón activado (D). Una vez filtrada, el agua tridestilada o bidesmineralizada se distribuye a dos purificadores de ósmosis inversa cada uno de 4 cartuchos (E). Esos purificadores operan independientemente, pero al mismo tiempo. Es decir, tienen entradas diferentes. El agua de rechazo es enviada a la misma cisterna que esta ubicada en el sótano del edificio Q.

El agua de la salida de los purificadores de ósmosis inversa tiene una conductividad entre  $8 - 10 \text{ ms/cm}^2$  y es enviada un tanque de almacenamiento de 250 L (F) para después enviarla a los pulidores de agua de los laboratorios Q002 y Q013 donde se produce finalmente agua tipo 1. El agua de rechazo del suavizador y los purificadores de ósmosis inversa (G) es dirigida por tubería de pvc a una cisterna de plástico de 2500 L (H) donde se almacena. El agua de rechazo almacenada en la cisterna es bombeada (I) a la entrada de la planta desmineralizadora (A) para sustituir al agua de pozo y reducir su consumo



4.9 *Monitoreo y evaluación de los resultados del proyecto de Producción más Limpia en el CENAM a través de indicadores ambientales.*

4.9.1 Comparación anual de los parámetros de desempeño ambiental.

En el Cuadro 4.11 se muestran los valores de varios parámetros que se analizaron durante el periodo 2005 a 2007 una vez implementada la estrategia integral a la recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1. Se identificaron reducciones en el consumo de ácido clorhídrico (70 %), en el consumo de sosa cáustica (63%), en la generación de ácidos inorgánicos al 2% (30 %), en el consumo de agua de pozo para las regeneraciones (35 %) y en el consumo de agua de pozo en el área de metrología de materiales (62 %). Durante el mismo periodo, se incrementó la producción de agua tipo 1 y aumentaron los servicios de calibración (elaboración de materiales de referencia certificados). Sin embargo, los parámetros de desempeño no fueron afectados.

Cuadro 4. 11. Comparación anual de los parámetros de desempeño ambiental en el proceso de ósmosis inversa.

PARAMETRO DE DESEMPEÑO	Año			Unidad
	2005	2006	2007	
Consumo de ácido clorhídrico	490	600	180	kg
Consumo de sosa cáustica	560	320	120	kg
Generación de ácidos inorgánicos al 2%	0.825	1.496	1.004	m <sup>3</sup>
Agua recuperada en ósmosis inversa	0	57	178	m <sup>3</sup>
Consumo de agua de pozo en regeneraciones	78	27	19	m <sup>3</sup>
Consumo de agua de pozo por el área de metrología de materiales	208	141	54	m <sup>3</sup>
Número de regeneraciones en las columnas iónicas	24	9	8	
Producción de agua desmineralizada	383	263	294	m <sup>3</sup>
Elaboración de materiales de referencia	711	505	761	servicio
Producción agua tipo 1 (PAT1)	6	6	6.5	m <sup>3</sup>

#### 4.9.2 Cambios en la rentabilidad del proceso de mayor impacto ambiental: proceso de ósmosis inversa.

Los últimos servicios de mantenimiento en la planta desmineralizadora de agua de pozo instalada en el edificio Q que incluyeron cambio de resinas de intercambio iónico fueron realizados en los años 2005 y 2006, con un costo de \$12,075.00 y \$10,474.20 pesos, respectivamente. Durante el año 2007 no se requirió de mantenimiento en esa planta desmineralizadora por la aceptable calidad de agua desmineralizada enviada al suavizador y sistema de osmosis inversa.

El proceso de ósmosis inversa es rentable después de la implementación del proyecto de Producción más Limpia porque las columnas de intercambio iónico de la planta desmineralizadora de agua de pozo no requieren servicio de mantenimiento. Los consumos de insumos químicos disminuyeron por no presentarse regeneraciones en las columnas iónicas al estar en buenas condiciones las resinas en estas columnas. La descarga del agua de rechazo de las regeneraciones a la planta de tratamiento de agua residual también disminuyó, por ende también el consumo de agua de pozo por regeneración.

#### 4.9.3 Mejoras en el desempeño del proceso de mayor impacto: proceso de ósmosis inversa en base a los porcentajes de reducción.

En el Cuadro 4.12 se muestran los indicadores de desempeño ambiental de los años 2006 y 2007 en base a la producción de 1 m<sup>3</sup> de agua tipo 1 (PAT1). Se observó una reducción considerable en el consumo de ácido clorhídrico ( 72 %), en el consumo de sosa cáustica (65 %), en el consumo de agua de pozo por el área de metrología de materiales (65 %), en la generación de disoluciones de ácidos inorgánicos al 2% (38 %), en el consumo de agua de pozo en regeneraciones de las columnas iónicas de la planta desmineralizadora (35 %) y en el número de regeneraciones de estas columnas presentaron reducciones (18 %).

Cuadro 4.12. Indicadores de desempeño ambiental del proceso de ósmosis inversa antes y después de implementar las recomendaciones del proyecto de Producción más Limpia.

<b>Indicador de desempeño por producción de agua tipo en 1 m<sup>3</sup></b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Reducción</b>	<b>% de reducción</b>
Consumo de ácido clorhídrico	100.00	27.69	72.307692	72
Consumo de sosa cáustica	53.33	18.46	34.871795	65
Generación de disoluciones de ácidos inorgánicos al 2%	0.25	0.15	0.0948718	38
Consumo de agua de pozo en regeneraciones de columnas iónicas	4.50	2.92	1.5769231	35
Consumo de agua de pozo por el área de materiales	23.50	8.15	15.346154	65
Numero de regeneraciones de las columnas iónicas	1.50	1.23	0.2692308	18

#### 4.9.4 Mejoras en el desempeño del proceso de mayor impacto: proceso de ósmosis inversa en base a los porcentajes de beneficio.

En el Cuadro 4.13 se muestran los indicadores de desempeño ambiental de los años 2006 y 2007 en base a la producción de un 1 m<sup>3</sup> de agua tipo 1 (PAT1). Se observaron beneficios de la implementación de las recomendaciones del proyecto de Producción más Limpia (recuperación del agua rechazada del sistema de ósmosis inversa). La elaboración de materiales de referencia incrementó en un 39% y el agua recuperada del proceso de ósmosis inversa incrementó de 9.5 a 27.38 m<sup>3</sup> (288%), es decir, durante este periodo el proceso triplico su eficiencia.

Cuadro 4.13. Mejoras en el proceso de ósmosis inversa después de implementar el proyecto de Producción más Limpia.

<b>Indicador de desempeño por producción de agua tipo 1 m<sup>3</sup></b>	<b>Antes</b>	<b>Después</b>	<b>Reducción</b>	<b>%Beneficio</b>
Producción de agua desmineralizada ( m <sup>3</sup> )	43.83	45.23	1.397436	3
Elaboración de materiales de referencia ( número de servicios)	84.17	117.08	32.91026	39
Agua recuperada de ósmosis inversa ( m <sup>3</sup> )	9.50	27.38	17.88462	288

Con el aumento del 3% en la producción de agua desmineralizada, se presento una reducción de consumos en insumos químicos y en servicio de mantenimiento de las columnas iónicas de la planta desmineralizadora de agua de pozo. Esos resultados se confirman con la reducción del número de regeneraciones de las columnas iónicas (de 8 a 4 regeneraciones al año), demostrando que la vida útil de columnas iónicas después de 4 años es aún factible.

4.9.5 Mejoras en la calidad del producto del proceso de mayor impacto ambiental a partir de un parámetro de control del mismo proceso antes y después de implementar la recomendación del proyecto de Producción más Limpia.

En el Cuadro 4.14 se muestran los resultados obtenidos de la recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1 (Figura 4.8) en el edificio Q que reemplazó el agua de pozo. La calidad del agua tipo 1 mejoró. Efectivamente con esa modificación se obtuvieron conductividades eléctricas de 1 a 0 ms/cm<sup>2</sup>. En contraste cuando la planta desmineralizadora se alimenta con agua de pozo (número 1 en Cuadro 4.14) la conductividad eléctrica inicial oscila entre 490 a 510 ms/cm<sup>2</sup>. El agua desmineralizada (número 2 en Cuadro 4.14) tiene una conductividad eléctrica de 35 ms/cm<sup>2</sup>. Esa agua desmineralizada es bombeada a un suavizador para repetir la desmineralización (para obtener agua bidestilada) y esa agua bidestilada alimenta al proceso de ósmosis inversa para producir una agua tridestilada (número 4 en Cuadro 4.14) con conductividad eléctrica entre 8 y 10 ms/cm<sup>2</sup>. El agua de rechazo del suavizador y del proceso de ósmosis inversa (número 3 en Cuadro 4.14) son mezcladas en una cisterna de plástico de 2500L para homogenizar la conductividad eléctrica entre 35 a 38 ms/cm<sup>2</sup>. El agua tridestilada es enviada a un pulidor para producir agua tipo 1 con conductividad eléctrica de 6 a 4 ms/cm<sup>2</sup> (número 5 en Cuadro 4.14).

Cuadro 4.14. Calidad del agua tipo 1 antes y después de emplear el agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa.

No.	Puntos del proceso	Conductividad eléctrica ms/cm <sup>2</sup>	
		Agua de pozo	Agua de rechazo
1	Entrada de la planta desmineralizadora	490 - 510	35 – 38
2	Salida de la planta desmineralizadora	35	6 - 8
3	Agua de rechazo del suavizador y osmosis inversa	35 – 38	35
4	Salida del proceso de osmosis inversa	8 – 10	1- 2
5	Salida del pulidor ( producción de agua tipo 1)	6 – 4	1- 0

4.9.6 Beneficios ambientales, ahorros y retornos obtenidos por la implementación de la recomendación del proyecto de Producción más Limpia.

En los Cuadros 4.15 y 4.16 se muestran las mejoras en el desempeño del proceso de ósmosis inversa reflejan ahorros económicos a partir de una inversión de \$8500.00.

Cuadro 4.15. Beneficios ambientales, ahorros y retornos por la implementación de Producción más Limpia en el CENAM, recomendación 1.

<b>Recomendación 1</b>	<b>Beneficio ambiental</b>	<b>Ahorro anual (pesos/año)</b>	<b>Retorno (%)</b>
Construcción de una cisterna de recuperación para almacenar el agua de salida del proceso de regeneración de las columnas iónicas y el agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa.	Reducción en el consumo de ácido clorhídrico del 72%	1726	20.31
	Reducción en el consumo de sosa cáustica del 65%	900	10.59
	Reducción en la generación de residuos peligrosos (ácidos inorgánicos 2%) del 38%	5934	69.81
	Aumento en la recuperación de agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa del 188%.	6050	71.18

Cuadro 4.16. Beneficios ambientales, ahorros y retornos por la implementación de Producción más Limpia en el CENAM, recomendación 2.

<b>Recomendación 2</b>	<b>Beneficio ambiental</b>	<b>Ahorro anual (pesos/año)</b>	<b>Retorno (%)</b>
Instalación de un sistema de distribución del agua almacenada en la cisterna de recuperación del agua de rechazo del purificador de ósmosis inversa para re circular el agua a la planta desmineralizadora de agua de pozo	Reducción de consumo de agua de pozo en regeneraciones de columnas iónicas del 35%.	94	1.10
	Reducción de consumo de agua de pozo en metrología de materiales del 65%.	3614	42.52
	Reducción en regeneraciones de columnas iónicas del 18%.	145	1.71
	Reducción en servicio de mantenimiento a las columnas iónicas del 100%.	10474	123.23
	Eliminación de descarga de agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa a la planta de tratamiento de agua residual del 100%.	5419	63.75

El cálculo de porcentaje de retorno se realizó a partir de los costos de los dispositivos de control descritos en los cuadros 4.8, 4.9 y 4.10.

#### 4.9.7 Resultados económicos en pesos (moneda nacional).

En el Cuadro 4.17 se muestran los resultados económicos obtenidos por la recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa para la producción de agua tipo 1. Se observó un retorno sobre la inversión inicial (\$8500.00 pesos) de 419% que se refleja en una reducción de costos de \$35,629.00 pesos en el primer año después de la implementación del proyecto de Producción más Limpia. Se debe considerar que los ahorros se acumulan en el transcurso del tiempo. La cisterna y la bomba centrífuga del sistema de recirculación de agua de rechazo no requerirán de inversión durante 5 años (la vida útil), aunque podrán requerir mantenimiento preventivo.

En la actualidad, esos beneficios son mayores porque los precios de insumos químicos, agua de pozo, servicio de mantenimiento y recolección, transporte y disposición de residuos peligrosos han aumentado 30% desde el año 2005 (año que se consideró para el cálculo de los resultados económicos).

Cuadro 4.17. Resultados económicos por la implementación del proyecto de Producción más Limpia.

Inversión:	\$8500.00
Reducción de costos:	\$35,629.00 /año
Retorno sobre la inversión:	419.17 %

La recuperación de la inversión es inmediata y no se generan más gastos para el mantenimiento de las columnas iónicas e insumos químicos, de esta forma es tecnológicamente factible y sustentable. De los resultados anteriores es claro un mejor desempeño ambiental del CENAM que permite alcanzar eco eficiencia y reducir los riesgos sobre sus empleados e instalaciones.



Mediante la ejecución del proyecto de Producción más Limpia en el proceso de ósmosis inversa, en la división de materiales metálicos que pertenece al área de metrología de materiales del CENAM redujo el consumo de agua de pozo en el área de metrología de materiales de 141 m<sup>3</sup> a 53 m<sup>3</sup> (62%), la generación de residuos peligrosos de 1.496 m<sup>3</sup> a 1.004 m<sup>3</sup> (30%) (debido al mejoramiento en la calidad del agua tipo 1 y buenas prácticas de laboratorio).

La generación de disoluciones de ácidos inorgánicos al 2% con trazas de metales pesados son producidos por lotes rechazados de materiales de referencia (disoluciones espectrométricas de metales de alta pureza), los lotes son rechazados si el agua tipo 1 que sirve para la elaboración de materiales de referencia presentan trazas de sales, por ello, el proceso de recuperación del agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa repercutió en la calidad del agua tipo 1, produciendo agua con valores de conductividad eléctrica menores a 1 ms/cm<sup>2</sup> y concentraciones de dureza menores a 2 mg/L.

## V. CONCLUSIONES

La aplicación de la estrategia de Producción más Limpia en el CENAM resultó en la elaboración eco-eficiente de materiales de referencia certificados y en el ahorro de \$35,629.00 pesos en los 18 meses posteriores a su implementación (un retorno del 419.17% de la inversión inicial). Ese ahorro se debió a una reducción en el consumo de agua desmineralizada y de insumos químicos. Además, se mejoró la calidad del agua tri-destilada, lo que a su vez resultó en una disminución del 38% en la cantidad de residuos peligrosos generados. La implementación del proyecto de Producción más Limpia promovió un plan de manejo de residuos peligrosos ambientalmente efectivo y económicamente viable. El CENAM mejoró su desempeño ambiental reduciendo los riesgos sobre sus empleados e instalaciones, dejando a un lado el enfoque de dar soluciones al final del tubo.

## LITERATURA CITADA

BERKEL, van Rene, WILLEMS, Esther and LAFLEUR; Marjie. Development of an Industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises – I. En: Journal of Cleaner Production Vol. 5 N° 1-2, pp. 11-25, 27-37, 1997.

CET, Centro de Eficiencia Tecnología. Guía de Producción más Limpia. Publicación auspiciada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).Lima.2005

CORTINAS de Nava, Cristina. Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, editorial Cedillo Velasco, Primera edición, diciembre 2006- México.

CPTS, Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. Guía técnica general de Producción más Limpia. Publicación auspiciada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID).Bolivia.2005

DESIRE (Demonstration in Small Industries for Reducing Wastes). Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2005

FIKSEL, J., "Ingeniería de diseño medioambiental, DFE, desarrollo integral de productos y procesos ecoeficientes", McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., ISBN 84-481-0752-7, Madrid, España.1997

HUNT, D., y C. Johnson, "Sistemas de Gestión Medioambiental", McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., ISBN 84-481-0684-9, Santafé de Bogotá, Colombia.1997.

INE, Instituto Nacional de Estadística. 2000.

Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.1998

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. 2003.

MAGERHOLM, Fet, Annik, *Cleaner Production and Industrial Ecology*, May. 2001.

MÁRQUEZ, Ricardo León. Sistemas de Gestión Ambiental, Conceptos y Herramientas. En: Taller Regional de Producción más Limpia – Región Santanderes. Centro Nacional de Producción Más Limpia – Colombia.

NOM-044-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

NOM-085-SEMARNAT-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-087-SEMARNAT-SSA1-2002, protección ambiental-salud ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos-clasificación y especificaciones de manejo.

NOM-133-SEMARNAT-2000, Protección ambiental- Bifenilos policlorados (BPC's) - Especificaciones de manejo.

NOM-138-ECOL-2002, que establece los límites máximos permisibles de contaminación en suelos afectados por hidrocarburos, la caracterización del sitio y procedimientos para la restauración.

NOM-141-SEMARNAT-2003, que establece los requisitos para la caracterización del sitio, proyecto, construcción, operación y post operación de presas de jales.

Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). Evaluación del Desempeño Ambiental en México. Medio Ambiente.2002

SEMARNAT. El medio ambiente en México 2005a. En resumen. México. 2006.

SEMARNAT. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales 2005b. México. 2005

UNEP. United Nations Environment Program. Cleaner Production and Eco-efficiency. Complementary Approaches to Sustainable Development. Cuadernillo de las Naciones Unidas. 2000

UNEP, WBCS, "Cleaner Production and Eco-efficiency", UNEP, 1998