

*Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas  
Departamento de Ingeniería Química  
Facultad Química- Farmacia*



UNIVERSIDAD CENTRAL

"MARTA ABREU" DE LAS VILLAS

VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILIS TOGA

*TRABAJO DE DIPLOMA*

*“Vigilancia y determinación de brechas Tecnológicas para el proceso inversionista de la asimilación de tecnologías en la industria del cloro y sus derivados de la Región Central de Cuba”.*

*Autor: Yosvany González Mazorra*

*Tutor: Dr. Julio Pedraza Gárciga*

*“Año 50 de la Revolución”*

*“Curso 2007- 2008”*



*“El éxito o el fracaso, no dependen de lo que nos falta, sino, de lo que seamos capaces de hacer con lo que tenemos”.*

*Fidel Castro*

*A mi madre por brindarme todo lo que ha  
tenido, por todo el sacrificio que en mi ha  
empleado y por guiarme por buenos caminos.*

*A mi abuela por toda la responsabilidad que  
tuvo conmigo desde niño.*

*A mi madre porque sin su ayuda no hubiese podido lograr este triunfo.*

*A mi tutor que ha pesar de sus numerosas responsabilidades me ayudó incondicionalmente.*

*A mis compañeros de aula que son los hermanos que no tengo Lester, Yener, Oswaldo, Javier y Ozuna por la gran amistad que tenemos y por el apoyo de estos 5 años.*

*A Yanet por su apoyo, cariño y aguantarme mis malacrianzas.*

*A Yanita, Yamila y Yelien por su amistad brindada.*

*A mis compañeras Yadira y Yeni por su cariño hacia mí.*

*A todas las muchachitas del 403A y en especial mis niñas Lili y Trudys por demostrarme su cariño y soportarme.*

*A mi amigo Seang Khin Bun de Cambodia por su excelente comportamiento, su amistad y confianza hacia mí.*



## **Resumen**

La vigilancia tecnológica permite estudiar y definir la brecha tecnológica en la producción de cloro y sosa en el mundo y definir con claridad cuál debe ser el camino a seguir por la Empresa Electroquímica de Sagua para adaptarse a las nuevas condiciones en que se exige el uso de tecnologías de alta eficiencia, bajo consumo energético y amigables con el medio ambiente.

En el presente trabajo se realizó el estudio para la reconversión tecnológica de la Planta Cloro Sosa, perteneciente a la Empresa Electroquímica de Sagua la Grande, a la tecnología de membranas, considerando que la misma junto con la de diafragma son las tecnologías de punta que se están aplicando a nivel mundial. Se hace un análisis comparativo entre las diferentes tecnologías y se muestra el análisis realizado etapa por etapa, considerando el aprovechamiento de equipos e instalaciones, los ahorros energéticos, reducción o minimización de daños al medio ambiente, así como a la salud de los trabajadores.

Se realiza el análisis de una nueva instalación productora de cloro y sosa en el Polo Petroquímico de Cienfuegos (Palo Alto, Ciego de Ávila) que junto con la Empresa Electroquímica de Sagua contribuirán al desarrollo prospectivo de una poderosa industria petroquímica en Cuba bajo los acuerdos de la Alternativa Bolivariana para Las Américas (ALBA).

Por último se realiza el análisis económico de ambas alternativas, demostrándose la factibilidad de ambos proyectos.

**Índice**

	<b>Pág</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I. Revisión Bibliográfica.....</b>	<b>4</b>
1.1- La electrólisis.....	5
1.1.1- Importancia del cloro y demás productos obtenidos en el proceso.....	7
1.2- Tecnologías disponibles.....	11
1.2.1- Comparación entre los métodos de electrólisis.....	17
1.2.2- Distribución de los tipos de celdas en el mundo.....	18
1.3- Antecedentes de la producción de cloro y sosa cáustica en Cuba...	19
1.4- Gestión de Conocimiento.....	21
<b>Capítulo 2. Análisis del proceso inversionista en la industria de Cloro Sosa.....</b>	<b>27</b>
2.1- Proyectos de renovación.....	27
2.1.1- Estudios previos inversionistas en la gestión de negocios de transferencia de tecnología en la industria química.....	28
2.2- La incertidumbre en la elaboración de una decisión inversionista para la transferencia de una Tecnología.....	28
2.3- Vías para minimizar la incertidumbre en la inversión para la transfe rencia de una tecnología.....	30

2.3.1- Análisis bajo condiciones de incertidumbre y/o riesgo del proyecto.....	33
2.3.2- Análisis de sensibilidad de un proyecto.....	33
2.4- Rehabilitación Integral de la Planta Cloro Sosa.....	34
2.4.1- Evaluación de las acciones desarrolladas y su repercusión al ambiente.....	36
2.4.2- Efectos en la Estabilización de la Producción.....	43
2.4.3- Efectos en el Medio Ambiente.....	45
2.4.4- Efectos en los seres humanos.....	47
2.5- Efecto económico de la rehabilitación de la planta.....	48
2.6- Selección de la tecnología de reemplazo.....	51
2.6.1- Análisis de la conversión de la tecnología de celdas de mercurio por celdas de membrana.....	51
2.6.2- Descripción del proceso productivo con la tecnología de membranas.....	52
2.6.3- Relación de equipos y sistemas que se deben adquirir para realizar el cambio tecnológico.....	54
2.7- Equipos o sistemas que se pudiera analizar su reutilización.....	54
2.7.1- Equipos que dejarán de ser utilizados.....	55
2.7.2- Ampliación de las capacidades de producción de Cloro en el país como base de la industria petroquímica.....	57

<b>Capítulo 3. Estudio de Factibilidad.....</b>	<b>59</b>
3.1- Estudio de mercado.....	59
3.1.1- Estudio Técnico.....	61
3.1.2- Costo de la Inversión.....	62
3.1.3- Materias primas utilizadas en el proyecto.....	64
3.4- Materiales asociados al mantenimiento de la planta.....	66
3.4.1- Energéticos.....	66
3.4.2- Análisis de la fuerza de trabajo.....	68
3.4.3- Otros gastos.....	68
3.5- Análisis de inversión de la nueva instalación industrial para la producción de cloro y sosa en el Polo Petroquímico de Cienfuegos.....	69
3.5.1- Análisis Económico.....	70
3.5.2- Análisis económico por métodos dinámicos.....	72
<b>Conclusiones.....</b>	<b>74</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>77</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>85</b>

## **Introducción**

En el mundo se están produciendo cambios discontinuos en el desarrollo de la producción industrial influido principalmente por la innovación tecnológica bajo la influencia de la microelectrónica, la informática, las comunicaciones, los nuevos materiales y los nuevos conceptos en la práctica que sitúan como principal recurso al conocimiento.

La importancia de la industria de cloro y sosa cáustica es extraordinaria y se debe, más que al valor monetario de sus producciones, a la circunstancia de tener sus productos un amplio campo de consumidores para la obtención de sus derivados, y una pluralidad de aplicaciones que no posee ningún otro proceso químico. La vida actual no puede concebirse sin la utilización intensiva de los productos obtenidos en la producción de cloro y sosa cáustica, por la diversidad de los productos que a partir de ellos se obtienen, que se utilizan e inciden en prácticamente todos los sectores de la economía mundial.

El proceso electroquímico utilizado en la industria de cloro y sosa cáustica se basa en la aplicación de corriente directa a una solución ionizada ocasionando la descomposición de la misma en sus iones, siendo las cantidades producidas determinadas por la Ley de Faraday, obteniendo como resultado cantidades proporcionales a la cantidad de corriente aplicada.

Basado en este principio se han desarrollados diferentes tecnologías para la obtención de cloro y sosa cáustica descomponiendo una solución ionizada de cloruro de sodio. En la actualidad existen tres tipos de tecnologías desarrolladas a escala mundial, las de diafragma, las de mercurio y las de membrana, las cuales presentan cada una características diferentes, pero todas van encaminadas a un solo objetivo, la producción de cloro y sosa cáustica.

En nuestro país existe una planta de cloro y sosa cáustica ubicada en el municipio de Sagua la Grande provincia Villa Clara tiene instaladas 14 celdas electrolíticas del tipo 11 KFM 120 con tecnología y cátodo de Mercurio para una producción máxima de 40 toneladas de cloro líquido y 108 toneladas de sosa cáustica al 50 % por día.

La tecnología de las celdas con cátodo de mercurio se caracteriza por una alta eficiencia energética y productiva pero tiene como gran inconveniente la utilización de grandes cantidades de mercurio como materia prima el cual es considerado uno de los contaminantes más peligrosos de la naturaleza. Esta tecnología logró en décadas anteriores superar a las demás; pero la potencia de averías de grandes proporciones en Japón y otros países y las consecuencias que sobre la población y el entorno natural tuvieron ha hecho que esta tecnología tenga cada día más detractores y se incline hacia la producción de cloro y sosa mediante la tecnología de diafragmas y membranas.

Por otra parte el futuro desarrollo de la Industria Petroquímica del país exige un incremento en las capacidades de producción de cloro y sosa cáustica como base para el fortalecimiento de la producción de PVC y sus derivados.

Toda esta estrategia inversionista tiene que estar basada en un profundo conocimiento científico de todos los procesos involucrados y en la vigilancia tecnológica como instrumentos en la determinación de tendencias del desarrollo y de brechas tecnológicas en relación con los países más avanzados en este tipo de producciones.

Sobre la base de lo anterior, el **Problema científico** del presente trabajo es:

Es necesario estudiar las tendencias tecnológicas de la producción de cloro y sosa en el mundo mediante una adecuada vigilancia tecnológica que permita orientar la producción de la Empresa Electroquímica de Sagua a la utilización de tecnologías de punta en el mercado mundial, de modo que posibilite el sustento técnico económico para lograr la reconversión y evolución de la instalación industrial, contribuyendo a un adecuado desempeño ambiental, energético y financiero.

### **Hipótesis**

Es posible mediante una adecuada vigilancia tecnológica definir las tendencias mundiales en la producción de cloro y sosa y establecer una estrategia inversionista para la reconversión industrial de la Empresa Electroquímica de Sagua y la instalación de nuevas capacidades en el Polo Petroquímico de

Cienfuegos sobre la base del desarrollo sustentable y el uso de tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente.

**Objetivo general**

Realizar un estudio acerca de las tendencias en la producción mundial de cloro y sosa sobre la base de una adecuada vigilancia tecnológica que sirva de base a una adecuada estrategia inversionista con el empleo de tecnologías de punta a nivel mundial.

**Objetivos específicos.**

1. Análisis bibliográfico sobre la producción de cloro y sosa cáustica a nivel mundial.
2. Realizar un estudio acerca de la reconversión de las instalaciones actuales de la Empresa Electroquímica de Sagua en función de las tecnologías de punta a nivel mundial en la producción de cloro y sosa cáustica.
3. Realizar un estudio de factibilidad de las nuevas capacidades de producción de cloro y sosa cáustica del Polo Petroquímico de Cienfuegos.

## **CAPITULO I. Revisión Bibliográfica**

Descubrimientos arqueológicos han llevado a los científicos a postular que ciertos procedimientos electroquímicos ya eran conocidos hace más de 2 mil años. Sin embargo, los inicios de la electroquímica como ciencia formal se sitúan en los últimos años del siglo XVIII. En 1786, Luigi Galvani descubrió una interesante relación entre las contracciones musculares de un anca de rana y ciertos impulsos que se obtenían al hacer contacto dos metales diferentes. Posteriormente, en 1796, Alessandro Volta estableció que, al formar uniones con diferentes metales, se generaba un potencial eléctrico que originaba las contracciones observadas por Galvani. De los nombres de estos científicos han surgido dos de los términos más conocidos en electroquímica: "voltaje", para designar el potencial de un sistema eléctrico, y "celda galvánica" para nombrar los dispositivos que transforman energía química en energía eléctrica, como son, por ejemplo las pilas que se utilizan a diario en radios, linternas, etcétera **(Caldwel.,1981)**

Una celda galvánica común está constituida básicamente por dos piezas metálicas, llamadas electrodos, y una solución que contiene iones, denominada electrolito. Los electrolitos son generalmente líquidos, pero algunas celdas de gran importancia tecnológica utilizan electrólitos sólidos o en forma de pasta **(Kanunians., 1983)**

El aspecto fundamental de una celda galvánica, como el de cualquier sistema electroquímico, es la transferencia de carga eléctrica entre materiales con diferentes características: por un lado, los electrones metálicos, donde los portadores de carga son únicamente los electrones (conducción electrónica) y, por otro lado, el electrolito, donde la conducción se establece con base en iones negativos (aniones) y de iones positivos (cationes) (conducción iónica). Las reacciones químicas que ocurren en las interfases electrodo/electrolito generan el flujo de corriente eléctrica que proporciona la celda. **(Pletcher., 1990)**

Cuando los electrodos se hallan en contacto directo (corto circuito), no se obtiene trabajo útil; por el contrario, sólo se malgastan los materiales. Este fenómeno constituye lo que conocemos como corrosión, que tantas pérdidas económicas y materiales ocasiona en todo el mundo.

A los sistemas en que se aplica externamente un potencial eléctrico con el objeto de generar reacciones químicas de oxidación-reducción, se les conoce como celdas electrolíticas. Uno de los procesos más conocidos es la electrodeposición de metales como cobre, níquel o zinc sobre diferentes sustratos metálicos.

### 1.1 La electrólisis

La electrólisis es una reacción química que ocurre por la acción de la corriente eléctrica en electrodos introducidos en un electrolito. En el campo eléctrico los iones positivos (cationes) se dirigen hacia el cátodo y los negativos (aniones) hacia el ánodo. En el cátodo ocurre la reducción y en el ánodo la oxidación de los iones o moléculas que componen el electrolito. **(Heitz., 1986)**

La cantidad de sustancias que participan en las reacciones electroquímicas y que se obtienen en los electrodos así como la cantidad de electricidad que pasa por un circuito están relacionadas con las Leyes de Faraday, las cuales manifiestan lo siguiente:

1. Las cantidades de sustancias liberadas en los electrodos son directamente proporcionales a la cantidad de electricidad que pasa por la solución.
2. Las cantidades iguales de electricidad liberan en los electrodos diferentes sustancias en cantidades proporcionales a sus equivalentes químicos.

La cantidad de electricidad necesaria para liberar 1 gramo equivalente de cualquier sustancia en el electrodo se llama faraday (o número de Faraday) y se designa con F. Un faraday es igual a 96500 columbios.

En términos matemáticos ambas Leyes de Faraday se pueden representar de la forma siguiente:

$$q = E / F * i * t \quad , \text{ donde:}$$

q es la cantidad de sustancia liberada en el electrodo;

E/F es la división del equivalente gramo por 96500, es decir, el equivalente electroquímico de la sustancia, que muestra cuántos gramos de ésta última libera en el electrodo 1 columbio de electricidad;

i es la intensidad de la corriente, en A;

t es el tiempo, en s. **(Alexeiv., 1988)**

Si en cada uno de los electrodos en la misma unidad de tiempo se forma una serie de sustancias, la parte de corriente (en %) que va hacia la forma de cuña de ellas se llama rendimiento de corriente de esa sustancia. **(Kanunians., 1983)**

Al pasar la corriente eléctrica por la solución, en los electrodos se liberan productos de la electrólisis, que estando presentes simultáneamente con los iones que les han dado origen, forman pares de oxidación-reducción. Cada par tiene su potencial de oxidación-reducción definido y constituye una media pila. Si dos medias pilas se unen por un conductor de primera clase, forman una pila que tiene su propia fuerza electromotriz (f.e.m.). La dirección de esta f.e.m. es contraria a la de la f.e.m. externa, que se aplica en la electrólisis. Dado que en el curso de la electrólisis los cationes se desplazan y dejan su carga sobre el electrodo conectado al polo negativo de la fuente externa de la corriente, (con una f.e.m. definida) de la que el

electrodo recibe electrones, este electrodo se llama cátodo; el segundo electrodo en el que deja sus cargas los aniones se denomina ánodo.

Como resultado de la liberación en los electrodos de los productos de la electrólisis, en el sistema surge una f.e.m. opuesta a la f.e.m. externa de la fuente de corriente. Este fenómeno se llama polarización electroquímica mientras que la f.e.m. inversa se denomina fuerza electromotriz de polarización.

La polarización electroquímica no depende de la densidad de corriente (intensidad de corriente por unidad de superficie de electrodo) y surge cuando en los electrodos se liberan productos de la electrólisis, diferente del material del que está hecho el propio electrodo. La polarización se puede disminuir apreciablemente, agregando los llamados despolarizadores, es decir, sustancias que dejan sus cargas antes que los iones, que se descargarían en su ausencia. La polarización se debe no solo a la formación de los electrodos de nuevos pares de oxidación-reducción, sino también al cambio de las concentraciones de iones en la electrólisis.

En la electrólisis, pese a la difusión de iones en una solución de zonas más concentradas a las menos concentradas, esta concentración cerca del ánodo aumenta en cierto grado, mientras que cerca del cátodo disminuye, debido a lo cual aparece la f.e.m. de polarización (polarización de concentración). De este modo, a fin de que la electrólisis pueda producirse, es indispensable aplicar a los electrodos una tensión que supere la f.e.m. de polarización. La tensión mínima que es necesario aplicar a los electrodos para provocar la electrólisis continua del electrólito dado, se denomina potencial de descomposición ( $E_d$ ). Esta debe ser mayor que la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo, en otras palabras, mayor que la f.e.m. de la pila (es decir, mayor que la magnitud de polarización electroquímica). **(Gallane., 1973)**

Experimentalmente la magnitud del potencial  $E_d$  es superior a la teórica ya que sobre la determinación del primero actúan, además, las sobretensiones de los electrodos.

### **1.1.1 Importancia del Cloro y demás productos obtenidos en el proceso.**

La importancia de la industria de Cloro y Sosa Cáustica es extraordinaria y se debe, más que al valor monetario de sus producciones, a la circunstancia de tener sus productos un amplio campo de consumidores para la obtención de sus derivados, y una pluralidad de aplicaciones que no posee ningún otro proceso químico. La vida actual no puede concebirse sin la utilización intensiva de los productos obtenidos en la producción de Cloro y Sosa Cáustica, por la diversidad de los productos que a partir de ellos se obtienen, que se utilizan e inciden en prácticamente todos los sectores de la economía mundial.

El cloro es usado tradicionalmente para la fabricación de blanqueadores y en la purificación de agua de beber. En los últimos tiempos su consumo ha aumentado enormemente con la fabricación de productos orgánicos clorados (insecticidas, disolventes, plásticos, fibras, cauchos y otros productos de la petroquímica). En menor proporción se usa para preparar ácido clorhídrico, hipoclorito, cloratos, cloruros metálicos y la extracción de metales de minas o residuos, etc. **(Buraev, 1978)**. Encuentra además amplia aplicación en la producción de medicamentos.

El cloro es el undécimo elemento más común de la corteza terrestre (el 0,045% de ésta es cloro) y está ampliamente extendido en la naturaleza. Los científicos han detectado más de 2400 compuestos basados en el cloro, estos se producen de forma natural como resultado de la reacción del cloro con los compuestos orgánicos existentes en el medio ambiente. Algunos de ellos poseen propiedades antibacterianas y anticancerígenas. Las principales fuentes naturales de los compuestos organoclorados son los océanos (casi un 3% de los mismos es cloro), los incendios forestales y la actividad biótica.

La misma vida animal depende del cloro y de sus cualidades para reaccionar con otros elementos. En los seres humanos, la sangre, la piel y los dientes contienen cloro, incluso los leucocitos o los glóbulos blancos de la sangre necesitan este producto para combatir las infecciones.

El cloro realiza una doble función para mantener la calidad de vida de las personas: por un lado, es el elemento imprescindible para el tratamiento y la potabilización del agua y para la prevención y el combate de enfermedades infecciosas; y por el otro, es la materia básica para la fabricación de buena parte de los productos que son utilizados en la actividad diaria.

El cloro, utilizado solo o en forma de hipoclorito sódico, actúa como un potente desinfectante. Añadido al agua destruye rápidamente las bacterias y otros microbios que ésta pueda contener, lo que garantiza su potabilidad y ayuda a eliminar sabores y olores. En las piscinas el uso de hipoclorito sódico es imprescindible para evitar la proliferación de algas y hongos, eliminar los organismos patógenos y asegurar unas condiciones higiénicas óptimas.

En el ámbito de la sanidad el cloro está presente en la fabricación del 80% de los medicamentos, de muchos de los instrumentos y utensilios médicos y en los productos de limpieza y desinfección de los hospitales.

En la industria del automóvil se usa para producir el nylon de los cinturones de seguridad y de los airbags, los parachoques, alfombrillas, salpicaderos, y anticongelantes. Su aplicación en la obtención de materias plásticas ha servido para reducir el peso de los principales medios de transporte (automóvil, barco y avión) lo que ha redundado en un ahorro del consumo energético.

En el sector de la construcción se emplea el plástico PVC, que contiene un 57% de cloro, para marcos de ventana, tuberías y cables. Se emplea cloro en la fabricación de otros plásticos, de fibra de vidrio para aislamiento, de adhesivos de silicona, de pintura, entre otros muchos materiales.

El cloro también es requerido en una gran diversidad de sectores industriales: interviene en la elaboración de productos cosméticos, de juguetes, aparatos de televisión o CD's. También es un componente básico para la fabricación de equipos de comunicación de radio, de teléfonos, microprocesadores y equipos informáticos.

El uso de compuestos clorados en la producción de fitosanitarios mantiene sanos los cultivos y asegura la calidad y cantidad de las cosechas.

Los elementos químicos presentes en el cuerpo humano son 26 el cloro representa el 0,2% siendo el anión más frecuente; necesario para mantener el balance de agua en la sangre y fluido intersticial.

El cloro interviene, directamente o actúa como intermediario en más del 50% de la producción química industrial mundial (**García., 2002**) y es parte integrante de la vida misma y de las industrias aerospacial, mecánica, telecomunicaciones, transportes, informática, química, petroquímica, farmacia, cosmética, construcción, nuclear, tratamiento de aguas, metalurgia, confección, deportes, etc.

La química del cloro crea bienestar y calidad de vida. En las actividades cotidianas utilizamos constantemente productos químicos, cuya fabricación depende directa o indirectamente del cloro, por ejemplo, para la higiene, el vestir, la alimentación, el desplazamiento, el trabajar, las distracciones, el deporte, la protección de la salud

Es evidente que el buen uso del cloro y sus derivados, como cualquier otro producto, proporcionan muchas más ventajas que inconvenientes. A principios del siglo XVI, Paracelsus (1493-1541) afirmaba: "Todas las sustancias son venenosas, no existe ninguna que no lo sea. La debida dosis determina un veneno y un remedio", que trasladada a nuestros días podemos interpretarla como: "los productos no son buenos ni malos, depende de cómo se utilizan".

La industria del cloro está sometida a estrictas reglamentaciones y rigurosos controles de sus emisiones con objeto de garantizar actividades compatibles con la conservación del medio ambiente. La aplicación de estas disposiciones reglamentarias se verifica permanentemente. En muchos casos, los objetivos medioambientales que emanan de la aplicación de las políticas medioambientales de las empresas productoras de cloro, son mucho más estrictos que los límites que exige la propia administración.

Los subproductos generados son recuperados como materia prima en otros procesos, y los residuos finales, minimizados mediante el uso de nuevas tecnologías, son adecuadamente gestionados.

La correcta utilización del cloro y de sus derivados, no sólo no es perjudicial para el medio ambiente, sino que existen productos elaborados con cloro que están destinados a su mejora y conservación, tal es el caso del cloruro férrico, utilizado en el tratamiento de depuración de aguas.

El blanqueo de la pasta de papel así como tratamientos blanqueadores y desengrasantes en la industria textil mediante la utilización de cloro elemental o derivados clorados, exigen un correcto control para limitar las emisiones de compuestos organohalogenados. Ello es técnicamente posible, y los resultados obtenidos mediante procesos mixtos, en los que se combina el uso de derivados clorados con otros agentes blanqueantes (por ejemplo el agua oxigenada), ofrecen las mejores prestaciones en calidad, precio y preservación del medio ambiente.

La fabricación de PVC se ha convertido en la aplicación más importante del cloro. El PVC es el segundo plástico más consumido en el mundo. Presenta un análisis del ciclo de vida (ACV) muy favorable respecto a otros materiales, es reciclable, inocuo e inerte. Su dependencia del petróleo (recurso escaso) es la menor de todos los plásticos comerciales, pues éstos dependen en un 100 % del mismo y la molécula del PVC depende sólo en un 43 %, el resto procede de la sal común (recurso inagotable).

Respecto a otros productos organoclorados, se están desarrollando, conjuntamente con las autoridades medioambientales y de industria, especificaciones técnicas que regulen las clases, tipos y aplicaciones posibles para diversos productos recuperados, por ejemplo disolventes procedentes de las tintorerías.

La sosa cáustica otro de los productos fundamentales obtenido en esta tecnología es consumida fundamentalmente por la industria textil, se emplea además en la industria del jabón y los detergentes, la producción de hipoclorito, en la refinación del petróleo, la generación de electricidad, las industrias alimenticia, papelera, la goma, tratamiento de aceites y grasas, la obtención del aluminio y otros productos químicos y farmacéuticos. Por su importancia y como muestra del nivel de desarrollo industrial de los países entre los indicadores que se tienen en cuenta uno es precisamente la cantidad de sosa cáustica consumida.

El Hidrógeno encuentra aplicaciones diversas en la hidrogenación de grasas comestibles, la fabricación de elementos electrónicos, la generación de electricidad la síntesis de productos químicos y farmacéuticos y esta llamado a convertirse en el combustible del futuro por su abundancia y por no provocar efectos contaminantes al medio ambiente (**Lodos y Vigil., 2005**) en el contexto Iberoamericano se ha avanzado mucho en su aprovechamiento para generar energía eléctrica mediante el desarrollo de pilas combustibles (**Laborde., 2006**).

## 1.2 Tecnologías disponibles.

En la actualidad existen tres tipos de tecnologías establecidas a escala industrial mundialmente, las cuales toman el nombre en dependencia del tipo de electrodo utilizado en las celdas electrolíticas: celdas de cátodo de Mercurio, celdas de diafragma y celdas de membrana. **(Lindley., 1997).**

### I. Celdas con cátodo de Mercurio.

Un proceso conocido y de uso común para la producción de cloro y sosa cáustica es la electrólisis de la solución acuosa de cloruros alcalinos en las que se emplea el mercurio como cátodo **(Lindley., 1997); (Mac., 1980).** Fue el primer método empleado para producir cloro a escala industrial. Este tipo de celdas electrolíticas se basa en forma de una fina capa de dicho metal fluyendo que sirve de cátodo. Se utilizan ánodos de titanio recubiertos de platino, óxido de platino y otras sales metálicas. El cátodo es una capa fluvente de mercurio por el fondo del electrolizador y los ánodos forman un plano paralelo a este, a distancia regulable para minimizar las pérdidas óhmicas.

Esta tecnología se caracteriza por una alta eficiencia energética y productiva, pero tiene como inconveniente principal la utilización de grandes cantidades de mercurio como materia prima, el cual es considerado uno de los contaminantes más peligrosos de la naturaleza.

Las pérdidas de mercurio que pueden ocurrir en el sistema vienen derivadas de su contacto durante el proceso con diferentes corrientes de sustancias que intervienen en él, además de los derrames que por problemas mecánicos existen en el proceso, de los desechos que se obtienen en la etapa de purificación de la salmuera y en general en las diferentes fases del proceso, incluyendo su evaporación **(Lindley., 1997); (Mac., 1980).**

El proceso en dichas celdas se fundamenta en que el hidrógeno tiene una sobretensión mayor frente al mercurio que el sodio (por encima de un voltio, con gran densidad de corriente), esta elevada sobretensión permite separar sodio metálico en el cátodo y disolverlo en el mercurio al estado de amalgama. El proceso puede representarse mediante la siguiente reacción completa:



En la práctica esta reacción se produce en dos etapas ambas se encuentran en dependencia con el proceso y la disposición de los equipos:



El proceso electrolítico representado por la ecuación (2) se produce en el electrolizador o celda primaria, actuando el Mercurio como cátodo que capta el metal alcalino obtenido. **(Lodos y Vigil., 2005)**

La reacción (3) se produce cuando la amalgama que sale de las celda primaria y pasa al descomponedor de amalgama, se descompone allí de manera espontánea al contacto con agua, dando como resultado una disolución de hidróxido de sodio, desprendiendo hidrógeno, a la vez que se regenera el mercurio que vuelve a la celda primaria mediante bombeo. En la disolución acuosa de la Salmuera se produce de acuerdo a la Tabla 1.1 los siguientes productos:

**Tabla 1.1. Productos en la disolución de salmuera.**

<b>Iones presentes</b>	<b>Se descargan.</b>	<b>Subsisten</b>
H <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup>	Cátodo Hg: Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>
OH <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup>	Ánodo titanio: Cl <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>

El cloro se extrae por la parte superior de la celda primaria estando totalmente separado del ión OH<sup>-</sup>. Por consiguiente, si la salmuera ha sido purificada de modo suficiente no tiene lugar ninguna otra reacción secundaria, produciéndose un elevado rendimiento de corriente (95 %). Es fundamental que el mercurio circule bien y con buena agitación, dando como resultado una sosa cáustica de elevada calidad.

La producción de cloro y sosa cáustica utilizando la tecnología de cátodos de mercurio ha presentado, a la vez buenos resultados de eficiencia tecnológica, para lo cual se han hecho varios estudios de optimización de su diseño y operación **(Lindley., 1997); (Kaforov y Mesholkin., 1986)**, limitaciones por su amenaza al medio ambiente debido a su presencia en los residuos como en corrientes secundarias del proceso, pues como se sabe la industria química “puede resultar una caja de Pandora” con relación al medio ambiente **(Mercado., 2001)**, por lo que ha sido interés de los productores disminuir el mercurio presente en las aguas residuales de los procesos industriales **(Kleij., 1983)** para lo cual se han ensayado diferentes soluciones en el manejo de los residuales de la industria para minimizar costos de producción **(Kinsey., 2005)** para recuperar el mercurio presente en las aguas residuales **(Hermana., 1978); (Iln., 2002);(Macchi., 1985)** y se ha generado propuestas y acciones sobre las medidas de protección e higiene del trabajo en este sector industrial **(Timofieyer., 1985)**, siendo las nuevas tecnologías un interés de las diferentes empresas productoras de cloro **(Pereira., 2007); (Schneiders., 1991)**, y en la competencia de los suministradores de nuevas tecnologías **(Barjoveam., 2007); (Nordic., 2002)**

La tendencia mundial es la conversión de las plantas de cátodo de mercurio a plantas con tecnología de membrana en lo que ya se tiene a escala mundial una amplia experiencia. En Europa donde predomina la tecnología de mercurio, se han desarrollado soluciones tecnológicas tanto en el equipamiento, como en el

tratamiento de residuos que minimizan extraordinariamente el impacto de la producción existente por esta vía.

Esta tecnología logró en décadas anteriores superar a las demás; pero la ocurrencia de averías de grandes proporciones relacionadas con otras industrias que también utilizan mercurio en Japón y otros países y las consecuencias que sobre la población y el entorno natural tuvieron, ha hecho que se tenga cada día más conciencia por la comunidad mundial de la conveniencia de desecharla y que se incline hacia la producción mediante tecnologías con menores riesgos contaminantes.

Acuerdos adoptados internacionalmente afirman que los procesos que utilizan este metal, deben ser sustituidos en plazos aprobados por los países miembros en un futuro mediano (**González., 1984**).

Esta Tecnología es la que actualmente está instalada en Sagua la Grande.

## II. Celdas de diafragma.

Este método se usa principalmente en Canadá y Estados Unidos. Se emplea un cátodo perforado de acero o hierro y un ánodo de titanio recubierto de platino u óxido de platino.

Al cátodo se le adhiere un diafragma poroso generalmente hecho de fibras de asbesto y mezclado con otras fibras (por ejemplo con politetrafluoroetileno). Este diafragma separa al ánodo del cátodo evitando la recombinación de los gases generados en estos, lo cual permite que los iones pasen a través de él por migración eléctrica, pero reduce la difusión de los productos.

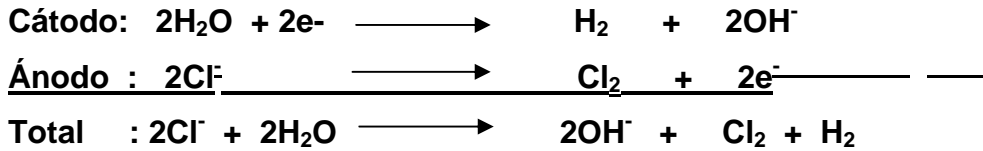
Una gran ventaja de la celda de diafragma es que puede funcionar con salmuera diluida (20%), bastante impura. Estas salmueras diluidas producen hidróxido de sodio diluido contaminado con cloruro de sodio. Se requiere de concentraciones de hidróxido de sodio, al 50%, y esto consume gran cantidad de energía aún cuando se empleen evaporadores de efecto múltiple. Se deben evaporar aproximadamente 2600 kilogramos de agua para producir una TM de sosa cáustica al 50% (**Lindley., 1997**); (**Mac., 1980**).

El fundamento de la electrólisis en celdas de diafragma es que al pasar la corriente por la celda tienen lugar los siguientes fenómenos, de acuerdo a la Tabla 1.2:

**Tabla 1.2. Fenómenos que ocurren en la celda electrolítica**

Electrodo	Iones presentes.	Se depositan.	Subsisten.
En el cátodo.	H <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
En el ánodo.	Cl <sup>-</sup> , OH <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>

En resumen:



Si el grado de transformación, (conversión de NaCl en NaOH) es elevado se produce una alta concentración de OH<sup>-</sup> y como el potencial de separación de los iones OH<sup>-</sup> en solución ácida está muy cerca del potencial del cloro: 1.67 V, se desprende fácilmente oxígeno en el ánodo que disminuye el rendimiento de corriente con relación al cloro.

Debido a la permeabilidad no selectiva del diafragma (generalmente de asbesto o de otros materiales más avanzados), pasan del compartimiento anódico, donde se alimenta la salmuera; al compartimiento catódico a través de dicho diafragma cantidades apreciables de la solución de cloruro de sodio, lo que conlleva a que la sosa cáustica obtenida contenga como impurezas dicha sal, requiriendo su separación posterior.

El costo creciente de la energía y las medidas conducentes a la preservación del medio ambiente, obligó a la búsqueda de nuevas tecnologías en las celdas electrolíticas. Las investigaciones más efectivas y de rápida puesta en explotación a escala industrial fueron llevadas a cabo en Japón, aunque ya es dominada en todo el mundo, la cual consiste en la sustitución del diafragma (de las celdas de diafragma) por una membrana permoselectiva de iones que solo permite que los iones sodios Na<sup>+</sup> sean los que migren hacia el compartimiento catódico previendo y evitando que los iones Cl<sup>-</sup> pasen a este lugar.

### III. Celdas de membrana.

El costo creciente de la energía obligó a la búsqueda de nuevas tecnologías en las celdas electrolíticas con el fin de disminuir su consumo. Las investigaciones más fabulosas de esta época fueron llevadas a cabo en Japón, la cual consiste en la sustitución del diafragma (de las celdas de diafragma) por una membrana intercambiadora de iones. Este diafragma sintético hecho de polímeros orgánicos especiales con permeabilidad controlada, junto con un nuevo procedimiento de evaporación, permiten obtener una solución de NaOH de alta concentración (48-50 %) y bajo contenido de sal, reduciendo el consumo de energía a 3,410 Kwh por tonelada de NaOH al 100 % para una densidad de corriente de 50 A/dm<sup>2</sup> y con un rendimiento de corriente del 81 %. **(Kuznetsov., 1969)**

Dentro del panorama desempeñado en aquella época de la utilización de membranas de cambio iónico. Se ha desarrollado un nuevo tipo de diseño de celdas en los que se conjugan los aspectos del uso de estas membranas y la utilización de cátodo de

Mercurio. Es la celda denominada MEMMER que ha tenido un muy limitado uso industrial.

El voltaje de las celdas puede ser disminuido para distintas membranas utilizadas. Las celdas han de operarse a alta temperatura entre (80 – 100 °C) debido a la gran influencia que esta variable tiene en el consumo energético. Además de las ventajas de la utilización del cátodo de Mercurio (pureza de la Sosa) presenta las siguientes ventajas sobre el proceso convencional del Mercurio:

- Menor consumo de energía como consecuencia de una operación a menor densidad de corriente, que influiría decisivamente en la duración de los ánodos.
- Mayor capacidad de agotamiento de la salmuera sin cambios apreciables en el voltaje de las celdas o en el porcentaje volumétrico de cloro obtenido.
- Menor contaminación con mercurio.
- Mayor sencillez de operación por eliminación del ajuste de los ánodos.
- Gran capacidad, debido a la disposición plana y vertical de la superficie eléctrica.

Debido a todos los problemas ocasionados por contaminación con mercurio, se han llevado a cabo diferentes estudios con el objetivo de eliminar el mercurio como cátodo de las celdas electrolíticas, de aquí que actualmente las celdas modernas de membranas utilicen acero como cátodo. **(Kuznetsov., 1969)**

Uno de los inconvenientes de la tecnología de celdas de membrana consiste en el grado de pureza requerido por las materias primas que van a ser alimentadas a los electrolizadores. De aquí que la salmuera además del tratamiento normal deba recibir uno complementario, que consiste en: **(Lewis., 1966)**

- Descloración final con sulfito.
- Filtración.
- Segunda purificación con resina intercambiadora.

Esto garantiza que la membrana, altamente sensible a impurezas, no se deteriore ya que es extremadamente cara.

El principio fundamental de funcionamiento de dichas celdas es la utilización de una membrana intercambiadora catiónica, usada para separar el compartimento anódico del catódico.

El cloro gas es producido en el compartimento anódico mientras la sosa cáustica se obtiene en el compartimento catódico

La membrana intercambiadora catiónica selecciona y solo permite que los iones sodios  $\text{Na}^+$  migren hacia el compartimento catódico previendo y evitando que los iones  $\text{Cl}^-$  pasen a este lugar.

De las tres tecnologías, esta está considerada la tecnología de punta a nivel mundial.

**1.2.1 Comparación entre los métodos de electrólisis.**

Al elegir las celdas electrolíticas hay que considerar varios puntos de vista, los principales factores a tener en cuenta son: **(Latiner., 1966)**

- El consumo de energía eléctrica.
- Concentración de la sosa producida.
- Calidad de la materia prima.
- Calidad de los productos.
- Requerimiento tecnológico.
- Impacto ambiental.

**Tabla 1.3. Características de trabajo de los diferentes tipos de celdas.**

<b>Características de trabajo</b>	<b>Diafragma</b>	<b>Mercurio</b>	<b>Membrana</b>
Consumo Energético (Kwh/t Cl <sub>2</sub> )	2300	3100	2700
Concentración final De la NaOH. (%)	12	50	30-32
Calidad de la salmuera	Normal	Pura	Muy pura
Calidad de la Sosa.	Alto contenido De cloruros	Alta	Alta
Requerimientos Tecnológicos.	Cambio diafragma Cada 2 años	Alto costo Mercurio.	Muy alto costo membrana
Impacto ambiental.	No	Si	No

Al parecer existen equivalencias de costos entre estos procedimientos, donde las celdas de diafragma superan a las de Hg en instalaciones de grandes producciones, donde la economía del sistema de evaporación de múltiple efecto consigue notables ahorros, si la pureza de la Sosa obtenida no es primordial.

En cambio, en instalaciones medias y pequeñas cuando se necesita sosa pura, el método del Hg parece ser el preferido.

A pesar de que las tecnologías con celdas de diafragma y de membranas presentan varias ventajas sobre la tecnología de Hg, las celdas con cátodo de Hg aseguran la mayor parte de la producción mundial.

**1.2.2 Distribución de los tipos de celdas en el mundo.**

La elección del tipo de celda a instalar depende básicamente de la economía y política general del país. Está claro que la tecnología del mercurio tiene sustanciales ventajas contrarrestadas con la contaminación del medio.

Han existido dos respuestas generales al problema del envenenamiento del mercurio: **(Heitz.,1986)**

- Controlar cuidadosamente el uso del mercurio en las plantas para asegurar que los efluentes no contengan cantidades peligrosas de mercurio.
- Discontinuar completamente el uso de plantas de mercurio.

Existen variadas tendencias a nivel mundial, por ejemplo los Estados Unidos han decidido reemplazar, tan rápido como su economía lo permita, sus celdas de mercurio. Japón se ha adelantado y ha barrido por completo con sus celdas de mercurio. Mientras en Europa la tendencia ha ido hacia un control del medio ambiente de las salas de celdas, un continuo monitoreo de los niveles de mercurio en los trabajadores y un cuidadoso tratamiento para remover el mercurio de los efluentes. La tabla 1.4 que presentamos a continuación muestra la distribución actual de los tipos de celdas en el mundo.

**Tabla 1.4**

Lugar	Mercurio (%)	Diafragma (%)	Membrana (%)
Europa	67	27	6
Japón	0	43	57
Estados Unidos	20	75	5
Resto del mundo.	40	50	10

La tendencia mundial es la conversión de las plantas de cátodo de mercurio a plantas con tecnología de membrana en lo que ya se tiene a escala mundial una amplia experiencia. En Europa donde como se puede apreciar de la tabla anterior, predomina la tecnología de mercurio, se han desarrollado soluciones tecnológicas tanto en el equipamiento, como en el tratamiento de residuos que minimizan extraordinariamente el impacto de la producción estudiada.

**1.3 Antecedentes de la producción de Cloro y Sosa Cáustica en Cuba.**

La producción de cloro y sosa cáustica en Cuba se remonta a la década de los años 30 del pasado siglo cuando se instaló en la ciudad de Sagua la Grande una pequeña instalación que utilizaba la energía eléctrica obtenida en una mini hidroeléctrica a partir de las aguas del río de que le da nombre a la ciudad. La industria pasó por varios dueños y adoptó diferentes nombres comerciales a lo largo de los años y además de las producciones asociadas, como son hipoclorito de sodio

y ácido clorhídrico se incorporaron además otras líneas de la rama inorgánica como silicato de sodio, sulfato de aluminio y ácido sulfúrico (**González., 1984**).

La planta utilizaba celdas de diafragma tipo Vorce con ánodos de grafito y cátodo de acero perforado, con diafragma de asbesto, su capacidad de producción era inferior a dos toneladas de cloro gas al día ya que en sus inicios contaba de una batería de 70 celdas con un amperaje de trabajo que no superaba 900 amperes, posteriormente se le añadieron otras baterías cada una de 70 celdas llegando a poseer cinco, para un total de 350 celdas que posibilitaba la obtención de unas 2500 toneladas de cloro gas y una producción correspondiente de 6300 toneladas de sosa cáustica al año. La planta disponía de evaporadores verticales de simple efecto con circulación forzada para la obtención de la sosa cáustica a la concentración de 50%.

Debido a la insuficiente capacidad de producción, motivada por el crecimiento de la población del país y el incremento de la actividad económica e industrial después del triunfo de la Revolución que requería la importación de varios de esos productos y en particular del cloro líquido, además de la ineficiencia tecnológica y económica, se decide la contratación de una nueva unidad productora con capacidad suficiente para satisfacer la demanda y en particular abastecer las necesidades de la sosa cáustica de elevada calidad (**González., 1985**).

La nueva planta fue contratada por la Empresa Electroquímica de Sagua, del entonces Comité Estatal de Colaboración Económica en los años 80, a la firma francesa Krebs & Cie. París, y se construyó en las cercanías de la propia ciudad de Sagua la Grande, tomando en consideración la experiencia acumulada en estas producciones, la ubicación geográfica de la unidad puesto que sería la única productora de su tipo en el país y otros aspectos relacionados con la logística de los suministros. Posibilitó que se adquiriera una planta con tecnología de cátodo de Mercurio, a un costo estimado de 10 millones de dólares para el equipamiento tecnológico, esta planta multiplicaba por 10 la anterior existente y para su momento constituía un paso de avance pues era la de mercurio la tecnología más eficiente de las disponibles (**Kafarov.,1986**)

Actualmente la planta dispone de 14 celdas electrolíticas con cátodo de mercurio para una producción máxima diaria de 48 toneladas de cloro gas y 108 toneladas de hidróxido de sodio al 50 % de concentración.

#### **1.4 Gestión del Conocimiento.**

La vida útil de una instalación industrial necesariamente se extiende hacia el futuro, por lo tanto el diseño óptimo debe tratar de asegurar las mejores condiciones futuras, de manera que mientras más incierto e impreciso es el pronóstico, más incierto e impreciso es el diseño óptimo, sin embargo, lo característico es que

acometamos solamente el paso inicial en una larga campaña de producción, que implicará la construcción de varios sistemas tecnológicos a través de los años por lo que el pronóstico es indispensable debido a que los errores en las respuestas del sistema tecnológico a las demandas futuras son penalizados costosamente, lo que refuerza la necesidad de determinar el mejor tamaño inicial en un sistema de procesos, así como las variables requeridas para su diseño y construcción, lo que se logra con un acertado sistema de pronóstico que descansa en una adecuada gestión de conocimiento en concordancia con una conducta proactiva que permita aprovechar las oportunidades que el desarrollo científico técnico pueda brindar a la competitividad de las tecnologías que se instalan, así como las fortalezas de la tecnología que mediante un análisis de concurrencia se seleccione, previendo acciones de innovación tecnológica que permitan mitigar en el tiempo las amenazas y las debilidades de la tecnología instalada.

Los pronósticos de interés para el ingeniero de procesos se dividen en pronósticos de negocios y pronósticos técnicos. El pronóstico técnico incluye predicciones de como la naturaleza puede responder a nuestras acciones; incluyendo las predicciones de vigilancia tecnológica, en temas de interés al proceso, como por ejemplo, las predicciones de la actividad y selectividad de catalizadores, la durabilidad de materiales de construcción, las necesidades para el mantenimiento y reemplazo de equipos, variaciones en las condiciones ambientales, tales como la pureza del agua y la temperatura del aire.

Un factor determinante en el pronóstico técnico, es el incremento de la competitividad técnica de la sociedad, por lo que en la estimación del diseño de una instalación industrial e incluso de la mejor capacidad inicial de un sistema de procesos en una economía dinámica está incluido la evolución de la ciencia y la técnica, así como, el incremento de la capacidad de aprendizaje tecnológico de los ingenieros de la planta,

Es por lo anterior, que la Gestión Tecnológica en organizaciones industriales, es la gerencia proactiva y sistemática de todos los factores, acciones y herramientas asociadas con la adquisición o generación de nuevo conocimiento en la empresa desde el momento inicial de concepción de un proyecto hasta la optimización del producto en el mercado, lo que desde luego incluye las necesarias transformaciones tecnológicas, que será necesario considerar en la vida productiva de una instalación que estará sometida a cambios en el entorno, tanto desde el punto de vista de la calidad y costo de las materias primas, así como las exigencias de la sociedad en lo social, ambiental y de calidad de los productos entre otros factores.

La nueva necesidad de la empresa o el incremento de una ya existente, que da origen un proyecto de cambio de capacidades, de calidad de los productos, de sustentabilidad energética o de soluciones ambientales en una instalación industrial existente o si fuera necesario, la creación de una nueva capacidad instalada, es denominado “problema primitivo” o “problema original”. La estrategia general en la solución del problema original incluye los siguientes aspectos:

- a) Definición cualitativa del problema original.
- b) Análisis alternativas a través de las cuales el problema original puede resolverse.
- c) Selección de la mejor alternativa para la solución del problema planteado.
- d) Preparación de la información requerida para diseñar la nueva instalación.

Entre todos estos aspectos, la búsqueda de diferentes alternativas constituye la premisa fundamental.

El desarrollo de cualquier alternativa implica la asignación de recursos, por ello el análisis de alternativas descansa en seleccionar la variante que implica un menor gasto, pues uno de los problemas económicos más importantes en la actualidad es la cuestión de los gastos y su efectividad en la producción. Entre los factores a considerar en el análisis de alternativas tenemos:

- a) Analizar las posibilidades nacionales de incremento de las capacidades productivas existentes.
- b) Estudiar la factibilidad económica de efectuar o no importaciones del producto.
- c) Decidir si se ejecutan inversiones para la instalación de nuevos centros productores.
- d) Seleccionar las mejores variantes tecnológicas para la ejecución de la inversión.
- e) Determinar la localización y tamaño de los nuevos centros de producción.
- f) Estudiar las posibilidades de destinar a la exportación una parte del producto.

El análisis de alternativas obliga a realizar estudios técnicos preliminares que coadyuvan a la formulación de diferentes variantes, que incluyen el estudio del incremento de las capacidades de producción mediante un estudio de las condiciones de operación del proceso y sus puntos limitantes, lo que permite la elaboración de variantes de ampliación de la capacidad de producción y con ello de los costos inversionistas y de producción, lo que es una de las tareas de inmediato alcance en una instalación industrial, a través del Análisis Complejo de Procesos **(González., 1991)**.

Una vez planteadas las alternativas factibles desde el punto de vista tecnológico, se requieren análisis complementarios de orden técnico - económico que aseguran en efecto la calidad de la producción, requerimientos en las facilidades generales de la planta, así como la estimación más correcta conforme a criterios económicos,

haciendo posible juzgar acerca de la conveniencia y oportunidad de la alternativa y llegar de esta manera a un proyecto de inversión.

Este análisis reduce las alternativas originales produciéndose lo que se conoce como tamizado, durante el cual, el ingeniero debe responderse a numerosas preguntas.

De todo lo anterior se comprende que para un buen desarrollo tecnológico se requiere contestar con la mayor objetividad estas preguntas, y que de ello dependerá la competitividad de la futura instalación, pues no podemos aquí olvidar, que una impronta de la época es que la tecnología incide cada vez mas en las posibilidades empresariales, y como se sabe el desarrollo tecnológico de la Industria Química, está vinculado también a la incertidumbre.

De cualquier modo los desarrollos competitivos de las empresas de la industria química tendrán que desarrollar con un nivel de riesgo y anticipación que podrán disminuirse en la medida que se despeje la incertidumbre en cualquiera de sus manifestaciones.

Como se comprende, tales metas del conocimiento no se pueden lograr sin una oportuna gerencia proactiva, pues, aunque al nivel del conocimiento, es posible prever que hacia los próximos cinco o diez años, esto sólo se logra a través de un riguroso trabajo de formulación y evaluación de proyectos, razón por la cual, como se ha dicho, la Gerencia de Desarrollo se complementa con la Gestión de Proyectos.

Por lo anterior, es imprescindible al gerenciar el conocimiento en la dirección técnico productiva de los procesos de la industria química, considerar la incertidumbre pues se ha hecho un problema cardinal de la ingeniería de procesos, al ser una necesidad de la práctica empresarial y además existir las bases científicas para enfrentar este reto **(González., 2003)**.

Coincidente con esta necesidad práctica, en Cuba los estudios aplicando el Análisis Complejo de Procesos que se iniciaron en la intensificación de instalaciones industriales existentes **(Rodríguez., 1988)**; **(Berberena., 1991)**; **(Regalado., 1992)** a través de su complejidad ha venido abordando con éxito la consideración de la incertidumbre tanto de la disponibilidad del equipamiento **(Rosa., 1996)**, como de los parámetros de operación de equipos e instalaciones industriales **(Pedraza.,1997)** o para determinar la necesidad de la profundización científica a través de investigaciones previas para la generación de empresas de base tecnológica **(Galián., 2006)**; **(Mendevedeff., 2007)**, en lo que ha demostrado ser de interés cardinal los aspectos metodológicos de la asimilación de tecnología desde el ángulo de la ingeniería de procesos **(Ley., 2006)**, y la integración de procesos considerando la incertidumbre en los balances de materiales de energía y de la

consideración de estos y la disponibilidad de los equipos, los que son sin dudas, contribuciones científicas trascendentales basadas en los trabajos de **(Rudd., 1980)**, tanto al diseño o intensificación de procesos, así como a la remodelación y reconstrucción de instalaciones industriales **(Gallardo., 1990)**, fundamentan que los procesos de solución de las limitaciones tecnológicas, de sustentabilidad energética y ambiental de una instalación existente, deben incluir tanto una etapa de intensificación, para agotar las posibilidades de aprovechamiento de la inversión ya realizada, y una segunda etapa inversionista para lograr las soluciones que no se alcancen en la etapa de intensificación, lo que es esencial para la obtención de tecnologías más limpias, lo que hace que la reconstrucción y modernización de las instalaciones de la industria química se constituya en una dirección fundamental de la investigaciones científicas presionada por las nuevas regulaciones ambientales **(González Cortés., 2004)**.

Por otra parte a nivel internacional las compañías líderes en el mercado de las tecnologías y de los servicios acometen acciones sistemáticas de vigilancia tecnológica y de benchmarking. Por lo que la industria cubana no puede estar ajena a estas tendencias.

La **Vigilancia tecnológica** es el esfuerzo sistemático y organizado por la empresa de observación, captación, análisis, difusión precisa y recuperación de información sobre los hechos del entorno económico, tecnológico, social o comercial, relevantes para la misma por poder implicar una oportunidad o amenaza para ésta. Requiere una actitud de atención y alerta.

De forma similar si una empresa desarrolla un nuevo producto o proceso de producción, el país en el que reside la empresa tendrá una ventaja comparativa, se crea una **brecha tecnológica**, hasta que el producto haya sido copiado (imitado) por el extranjero. Durante un tiempo el país innovador tendrá un monopolio y los otros países deberán importar el bien o la nueva tecnología, creándose de este modo comercio.

De acuerdo al estudio bibliográfico realizado la Empresa Electroquímica de Sagua en comparación con las empresas líderes mundiales en la producción de cloro y sosa tiene un desfase tecnológico de casi 10 años, cuestión esta que debe ser enmendada de inmediato en aras de la reducción de los consumos energéticos, incremento de la eficiencia productiva y menores daños al medio ambiente.

Sobre la base de lo anterior en el país se están acometiendo estudios para la instalación, dentro del marco de la Alternativa Bolivariana para Las Américas (ALBA) de un Complejo Petroquímico en la Ciudad de Cienfuegos, que tiene entre sus metas fundamentales la renovación tecnológica de la Empresa Electroquímica de Sagua, acorde a las tendencias mundiales, y la construcción de una nueva

planta de cloro y sosa en la provincia de Ciego de Ávila, sirviendo de base esta última industria, precisamente, al desarrollo petroquímico del país, a partir de la producción de PVC y un sin número de derivados.



## **CAPÍTULO 2. Análisis del proceso inversionista en la industria de cloro y sosa .**

Innegablemente el objetivo conocido de satisfacer el problema de impacto ambiental y la previa demanda de cloro para su posterior utilización en el amplio campo de la petroquímica, proyección vigente en nuestro país, así como el posterior desarrollo de la instalación productora de cloro y sosa cáustica, se puede lograr a través del reemplazo de la tecnología de celdas de cátodos de Mercurio por celdas de membrana, análisis realizado y aprobada la inversión para la transferencia de tecnología en la planta Cloro Sosa de Sagua La Grande y para la completa satisfacción de la demanda de este gas se pretende instalar una nueva planta de cloro y sosa con tecnologías de punta en la provincia de Ciego Ávila .

Como se ha dicho actualmente existen tres tipos de tecnologías desarrolladas a escala mundial con este propósito, las cuales toman el nombre del tipo de electrodo utilizado en las celdas electrolíticas: celdas de mercurio, celdas de diafragma y celdas de membrana, en la tabla 1.4 del capítulo anterior, se puede apreciar cómo grandes potencias económicas en el mundo, a pesar de contar con el capital necesario para invertir en tecnologías de avanzada, persisten en procesos donde las ganancias sean rápidas. No hay suficiente conciencia del daño que se provoca a la humanidad por la incorrecta preservación del medio ambiente, que en ocasiones pasa a ser el vertedero principal de los residuos contaminados y tóxicos. Sin embargo algunos países, ante los perjuicios ocasionados por el Mercurio han logrado sustituir las tecnologías de este tipo por otras de menor impacto ambiental, en sus inicios más costosas, a las que los países menos desarrollados no tienen fácil acceso.

### **2.1 Proyectos de renovación.**

Como se ha dicho un Proyecto orientado a crecer la competitividad tecnológica, la sustentabilidad energética y solucionar los problemas de impacto perjudicial al medio ambiente, conlleva primeramente una etapa de engrandecimiento con un reducido número de inversiones atacando las soluciones de los lugares frágiles del proceso industrial estudiado, pero necesariamente tendrá que evaluar las

alternativas de modernización y reconstrucción de la instalación mediante una inversión de renovación.

El primer caso, concierne a los equipos que están sujetos a averías irreparables, o que, aún siendo reparables, el costo de la reparación es tan elevado que no se aconseja la reparación. La renovación por desgaste es aquella en la que la renovación se ve aconsejada por haber alcanzado los gastos de reparación un cierto nivel. El envejecimiento económico de las tecnologías implica su obsolescencia, este fenómeno es típico del actual entorno en el que hay un constante progreso técnico.

La renovación de un equipo industrial se puede hacer aconsejable aunque este no haya alcanzado un nivel de desgaste suficiente, simplemente porque en el mercado ha aparecido otro proceso cuyas características permiten producir a menores costos unitarios o con una mayor precisión. Para un análisis de reemplazos los flujos de efectivo son un tanto más complejos, porque en este caso hay que encontrar un conjunto de flujos incrementales de efectivo.

### **2.1.1 Estudios previos inversionistas en la gestión de negocios de transferencia de tecnología en la industria química.**

En un proceso de transferencia de tecnología es necesario elaborar decisiones en un sentido u en otro. Desde luego, la elaboración de decisiones es una cuestión que está vinculada con el centro de actividades de la gerencia empresarial y una organización requiere elaborar varias alternativas de decisión, pues son necesarias para que pueda funcionar, adaptarse, progresar, sacar ventajas de oportunidades y sobrepasar las crisis.

### **2.2 La incertidumbre en la elaboración de una decisión inversionista para la transferencia de una Tecnología.**

La incertidumbre siempre está presente en las decisiones y al formularse una decisión debe reconocerse que algunos eventos son impredecibles. Frecuentemente, el conjunto de problemas con incertidumbre envueltos incluyen problemas de mercado y tecnología, así como cambios en las condiciones económicas y financieras que pueden contribuir a un fallo en los ingresos

económicos previstos y que deben ser considerados en el proceso de transferencia de tecnología.

La complejidad y el carácter multiobjetivo de la evaluación de una inversión, que se realiza en el contexto de una transferencia de tecnología, viene dado por los crecientes requisitos que el desarrollo viene imponiendo a las inversiones, esencialmente incrementados estos factores por los requerimientos de impacto ambiental. Así, en las últimas dos décadas el tema del medio ambiente ha pasado de la periferia al centro mismo del debate teórico y el proceso de toma de decisiones en muchas partes del mundo.

Es por ello, tiene gran importancia el aseguramiento de un nivel de seguridad para el impacto ambiental en el desarrollo industrial de los países y precisamente uno de los riesgos a que está sometida una inversión en la Industria Química es la incertidumbre en lo referente a la correcta operación de la planta, pues como se conoce en muchas instalaciones industriales hay tuberías y recipientes conteniendo gases a altas presiones o líquidos sobrecalentados en sistemas cerrados, por lo que para evitar que los accidentes se propaguen se han desarrollado herramientas para planificar medidas de protección contra nuevos accidentes en el interior o exterior de las instalaciones industriales.

Por otra parte, “en un proceso de transferencia de tecnología que se materializa a través de una inversión, está presente la incertidumbre en el entorno de la ingeniería, pertinente a los proyectos, que son aspectos influidos por factores indeterminados, los cuales no siempre pueden ser examinados exactamente hasta después de todo el ciclo de vida de un proyecto, por lo que son tomados a riesgo”, siendo imperioso minimizar ese riesgo.

El futuro y el horizonte económico de las inversiones difícilmente puede conocerse con precisión, pues una serie de factores o agentes externos incontrolables – ajenos al propio proyecto – condicionan e influyen sobre los resultados.

Lo anterior es así básicamente porque este carácter anticipado determina que el resultado del proyecto pueda estar totalmente equivocado y no necesariamente

por un mal trabajo del evaluador, ya que el resultado final dependerá del comportamiento de las variables que lo condicionan y sobre las cuales este no tiene ningún grado de control. Estas variables pueden ser: la naturaleza, la política económica, los cambios tecnológicos, los precios internacionales relativos, etcétera.

Para la preparación de un proyecto será necesario efectuar una serie de estimaciones de lo que se espera sean en el futuro los beneficios y costos asociados con el proyecto, lo que precisará que previamente se tomen un sinnúmero de decisiones respecto a casi la totalidad de las características que debiera tener el proyecto, las cuales influirán decisivamente en el resultado de la evaluación.

La dificultad de poder prever en qué áreas del entorno es posible que ocurran cambios, se ve incrementada por la imposibilidad de saber si ellos serán beneficiosos o contrarios a los intereses del proyecto. Muchas veces, mientras el inversionista está en la etapa de búsqueda de las fuentes de financiamiento para iniciar las inversiones proyectadas, los cambios en el entorno dejan obsoleto el resultado del estudio. En muchos casos, sin embargo, las distintas magnitudes que definen la inversión se conocen con un grado de aproximación tal que pueden ser consideradas en la práctica como ciertas o subjetivamente ciertas, sin que por ello se corra el riesgo de incurrir en errores importantes.

### **2.3 Vías para minimizar la incertidumbre en la inversión para la transferencia de una tecnología.**

El primer aspecto que se debe considerar para minimizar la incertidumbre en un proceso de transferencia de tecnología, es el estudio de factibilidad, que, así como el desarrollo de un producto o un proceso tiene su ruta con sus etapas, la transferencia de tecnología tiene las propias.

El estudio de factibilidad de una inversión, de cierta manera es un proceso de aproximaciones sucesivas, donde se define el problema por resolver. Para ello se parte de supuestos, pronósticos y estimaciones, por lo que el grado de preparación de la información y su confiabilidad depende de la profundidad con que se realicen tanto los estudios técnicos, como los económicos, financieros y de mercado, y otros que se requieran. En cada etapa deben precisarse todos

aquellos aspectos y variables que puedan mejorar el proyecto, o sea optimizarlo. Puede suceder que del resultado del trabajo pudiera aconsejarse una revisión del proyecto original, que se postergue su iniciación considerando el momento óptimo de inicio e incluso lo anterior no debe servir de excusa para no evaluar proyectos. Por el contrario, con la preparación y evaluación previa, será posible la reducción de la incertidumbre que provocarían las variaciones de los factores. El estudio de factibilidad es un proceso en el cual intervienen cuatro grandes etapas, a saber: idea, preinversión, inversión, operación.

La idea de un proyecto generalmente representa la realización de un diagnóstico que identifica distintas vías de solución.

La etapa de preinversión marca el inicio de la evaluación del proyecto y está compuesta por tres niveles: el perfil, la prefactibilidad y la factibilidad.

El nivel perfil, se elabora a partir de la información existente, del juicio común y de la experiencia. En este nivel frecuentemente se seleccionan aquellas opciones de proyectos que se muestran más atractivas para la solución de un problema o en aprovechamiento de una oportunidad. En el nivel de prefactibilidad se profundiza la investigación y se basa principalmente en informaciones de fuentes secundarias para definir, con cierta aproximación, las variables principales referidas al mercado, a las técnicas de producción y al requerimiento financiero. En términos generales, se estiman las inversiones probables, los costos de operación y los ingresos que demandará y generará el proyecto.

El estudio más acabado es el que se realiza en el nivel de factibilidad y constituye la culminación de los estudios de preinversión, que comprenden el conjunto de actividades relativas a la concepción, evaluación y aprobación de las inversiones, teniendo como objetivo central garantizar que la necesidad de acometer cada proyecto esté plenamente justificada y que las soluciones técnico-económicas sean las más ventajosas para el país. El análisis y evaluación de un proyecto requiere, por lo menos, según la metodología y la práctica vigentes, de la realización de tres estudios.

➤ Estudio de Mercado.

- Estudio Técnico.
- Estudio Económico - Financiero.

El estudio de mercado.

El estudio de mercado es más que el análisis de la oferta y demanda o de los precios del proyecto. Muchos costos de operación pueden pronosticarse simulando la situación futura y especificando las políticas y procedimientos que se utilizarán como estrategia comercial, mediante el conocimiento de los siguientes aspectos:

- El consumidor y las demandas del mercado y del proyecto, actuales y proyectadas.
- La competencia y las ofertas del mercado y del proyecto, actuales y proyectadas.
- Comercialización del producto o servicio del proyecto.
- Los proveedores y la disponibilidad y precios de los insumos, actuales y proyectados.

El estudio técnico.

El objetivo del estudio técnico consiste en analizar y proponer diferentes alternativas de proyecto para producir el bien que se desea, verificando la factibilidad técnica de cada una de las alternativas. A partir del mismo se determinarán los costos de inversión requeridos, y los costos de operación que intervienen en el flujo de caja que se realiza en el estudio económico-financiero. Este incluye: tamaño del proyecto, localización e ingeniería del proyecto.

El estudio de factibilidad se basará en la documentación técnica del proyecto elaborado a nivel de ingeniería básica, equivalente al proyecto técnico.

El establecimiento de relaciones contractuales para los trabajos de proyectos, construcciones y suministros es un factor determinante para el logro de la eficiencia del proceso inversionista que se analiza. A partir de ello se podrá establecer una adecuada estrategia de contratación, precisando los posibles suministradores nacionales y extranjeros, así como la entidad constructora.

### El estudio Económico-Financiero.

La evaluación económico-financiera de un proyecto, hecha de acuerdo con criterios que comparan flujos de beneficios y costos, permite determinar si conviene realizar un proyecto, o sea si es o no rentable y si siendo conveniente es oportuno ejecutarlo en ese momento o cabe postergar su inicio. En presencia de varias alternativas de inversión, la evaluación es un medio útil para fijar un orden de prioridad entre ellas, seleccionando los proyectos más rentables y descartando los que no lo sean.

Al evaluar una inversión, normalmente la proyección se hace para un período de tiempo inferior a la vida útil real del proyecto, por lo cual al término del período de evaluación es necesario estimar el valor que podría tener el activo en ese momento, por algunos de los tres métodos reconocidos para este fin, para calcular los beneficios futuros que podría generar desde el término del período de evaluación.

El resultado de la evaluación se mide a través de distintos criterios que, más que optativos, son complementarios entre sí. Los criterios que se aplican con mayor frecuencia son: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de recuperación de la inversión (PR) y la razón Beneficio / Costo (BC).

#### **2.3.1 Análisis bajo condiciones de incertidumbre y/o riesgo del proyecto.**

El comportamiento único de cualquier indicador económico es incierto. No es posible conocer con anticipación cuál de todos los hechos que pueden ocurrir y que tienen efecto sobre los indicadores que se toman en cuenta para calcular los diferentes criterios de decisión sucederá efectivamente. Al no tener certeza sobre los flujos futuros de caja que ocasionará cada inversión, se estará en una situación de riesgo o incertidumbre. Existe riesgo cuando hay una situación en la cual una decisión tiene más de un posible resultado y la probabilidad de cada resultado específico se conoce o se puede estimar. Existe incertidumbre cuando esas probabilidades no se conocen o no se pueden estimar.

#### **2.3.2 Análisis de sensibilidad de un proyecto.**

La evaluación del proyecto será sensible a las variaciones de uno o más parámetros, al incluir estas variaciones en el criterio de evaluación empleado, la

decisión inicial cambia. El análisis de sensibilidad, a través de sus diferentes modelos, revela el efecto que tienen las variaciones sobre la rentabilidad en los pronósticos de las variables relevantes.

Las variables relevantes son las que determinan el éxito o fracaso del proyecto. Su identificación permite profundizar en la estimación de sus previsiones. Cuanto mayor sea el intervalo de variación de los parámetros, mayor será la probabilidad de que nuestras decisiones sean las correctas, y aquellos parámetros a los que el resultado obtenido es más sensible deben estimarse con mayor precaución.

De acuerdo al número de variables que se sensibilicen en forma simultánea, el análisis puede clasificarse como unidimensional o multidimensional. En el análisis unidimensional, la sensibilización se aplica a una sola variable, mientras que en el multidimensional se examinan los resultados que se producen por la incorporación de variables simultáneas en dos o más variables relevantes. En este último caso se pueden utilizar las herramientas de la simulación de procesos, que de forma rápida y segura permiten realizar un estudio de sensibilidad multivariable.

#### **2.4 Rehabilitación Integral de la Planta Cloro Sosa.**

Debido a los resultados que la instalación alcanzó en el período comprendido entre los años 1997 - 1999 fue necesario aplicar un programa de acción encaminado a resolver los problemas existentes, para restituir el estado técnico de la misma y cuyos objetivos principales se centraron en dos aspectos fundamentales:

- Garantizar la seguridad operacional de manera integral, preservando la salud y la vida de los trabajadores que allí laboran e impedir la afectación al entorno en todas sus manifestaciones.
- Lograr la disponibilidad técnica de la instalación para de una manera eficiente enfrentar sus compromisos productivos.

La estrategia aplicada consistió en la planificación y ejecución de un programa de rehabilitación integral con alcance a todas las especialidades, con gran profundidad en las obras civiles y en particular en la sección de celdas

electrolíticas. Dicho programa se llevó a cabo en tres etapas en los años 1999, 2000, 2001 y completado en el 2002.

Mediante la ejecución de trabajos de rehabilitación en las tres reparaciones generales efectuadas, se logró la recuperación del estado técnico de la instalación por la eliminación de las deficiencias que afectaban los siguientes aspectos:

- La fiabilidad tecnológica,
- La seguridad operacional,
- La calidad de los productos,
- El medio ambiente,
- Los costos de operación.

Los principales trabajos ejecutados en cada una de las etapas fueron:

#### **I Etapa:**

- Sustitución de las vigas soportes del equipamiento de la electrolisis, en la sección de celdas pares, la reposición de todo el equipamiento, la reparación de suelos y canalizaciones interiores del área.
- Rehabilitación completa de la nave, pisos y canalizaciones interior del área de producción de hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico y el tratamiento de residuales.
- Reparación de las fosas de tratamiento de residuos mercuriales y sus sistemas asociados.

#### **II Etapa:**

- Sustitución de las vigas soportes del equipamiento de la electrolisis, en la sección de celdas impares, la reposición de todo el equipamiento, la reparación de suelos y canalizaciones interiores del área.
- Reparación de la nave y equipamiento de tratamiento de Cloro y su almacenamiento.

#### **III Etapa:**

Sustitución de las canalizaciones exteriores que conducen las aguas pluviales, albañales y químicas y la revisión integral de los sistemas eléctricos.

#### **2.4.1 Evaluación de las acciones desarrolladas y su repercusión al ambiente.**

En la primera etapa realizada en el año 2000 se ejecutaron trabajos diversos que comprendían todas las secciones de la planta, las de mayor envergadura eran las relacionadas con la restitución de las condiciones tecnológicas originales de las celdas, a continuación se reflejan aquellas que tienen relación con el mejoramiento del impacto medioambiental y de la actividad productiva.

Se realizaron trabajos que se ejecutaban por primera vez durante los 20 años de funcionamiento de la instalación como son:

- Cambio de los fondos de los electrolizadores a siete celdas de una sección.

Las celdas electrolíticas son equipos de dimensiones de 7.2 metros de longitud y 1.7 metros de ancho, donde ocurre el proceso electrolítico.

Los fondos, originalmente de 45 mm de espesor, por donde fluye el mercurio, producto de la abrasión de esta corriente habían sufrido desgaste en su superficie con pérdidas de espesor de 15 – 20 mm, además como parte del proceso tecnológico para lograr que existiera una buena transmisión de la corriente eléctrica existían zonas donde se les había aplicado un recubrimiento con cobre en su superficie que se había perdido con los 20 años de trabajo, empeorado por los salideros de salmuera ocurridos por carencias en la reparación de componentes con recubrimientos de ebonita propiciaba que hubiera penetración de suciedades en estos contactos, existiendo en algunos casos verdaderas barreras al paso de la corriente.

Se contrataron fondos nuevos a los que se les aplicó una técnica de deposición de cobre por soldadura en las áreas de contacto eléctrico para garantizar su calidad.

Se efectuó (en una sección de la planta), el cambio de cabezales de entrada, salida y cajas de lavado de los electrolizadores, así como los cuerpos de los descomponedores y otros componentes, recuperando esta sus condiciones técnicas originales.

- Desmontaje y montaje de vigas de carga y bases de descomponedores.

Las celdas electrolíticas se encuentran situadas en el nivel +4,42, su peso unitario total asciende a 15 900 Kg. teniendo un peso por apoyo de 1325 Kg. la estructura metálica está soportada en apoyos de concreto sobre vigas de carga que van de un lado a otro de las celdas.

Estas estructuras fueron sufriendo la agresión del medio ambiente, sumado a los salideros continuos de salmuera ácida, así como los impactos producidos por las explosiones que ocurrían en las celdas producto de problemas tecnológicos por la calidad de la salmuera, poco flujo de mercurio y otros problemas que provocaron que el soporte metálico de estas vigas estuviera corroído creándose zanjas y poros.

Estas vigas eran un foco de contaminación ya que sus estructuras agrietadas y porosas impedían su limpieza, ocultándose en los intersticios de las grietas grandes cantidades de mercurio las que fueron recogidas en su demolición.

Fueron sustituidas por vigas de cargas nuevas, realizándoseles a las vigas soporte un tratamiento a la parte metálica que garantizaba la recuperación de sus propiedades técnicas de la estructura de acero, también fue fundido el piso del área de celdas que estaba agrietado e impedía la recolección del mercurio por la característica áspera de su superficie. Posteriormente fueron recubiertas todas estas superficies con resinas especiales con el objetivo de sellar todos los poros además de brindarle protección química contra la corrosión.

Los descomponedores son elementos dentro del conjunto de celdas electrolíticas donde ocurre la segunda etapa del proceso de descomposición de la amalgama y conversión a sosa cáustica e hidrógeno.

Estos platos completamente destrozados por la corrosión de la sosa caliente en salideros continuos eran focos de contaminación ya que los depósitos de mercurio en su superficie eran imposibles de eliminar por las cavernas que existían.

Fueron sustituidos todos los platos de los descomponedores por nuevos, recubiertos con una resina epóxica, que los protege contra la corrosión.

Fueron demolidos y fundidos todos los sistemas de canalizaciones que se encontraban en un estado crítico, las mismas son las encargadas de conducir y almacenar de forma temporal el mercurio que sea derramado en el piso, estas se encontraban en un estado tal que al producirse un derrame del metal cuando inmediatamente se iba a proceder a su recuperación, este ya no se encontraba porque se canalizaba por el mal estado técnico de aquellas.

Durante el período de reparación fueron retiradas las tuberías, los tanques de almacenamiento temporal de agua y Sosa fueron limpiados, recuperándose de esta forma, de los pisos y vigas de hormigón 2 070 Kg. de Mercurio, lo que da una magnitud del gran foco de contaminación que existía en esa área.

En la segunda etapa del año 2001 se realizó el mismo trabajo, pero en la otra sección de las celdas. Estas se encontraban en estado más crítico ya que había transcurrido más tiempo, también las corrientes de aire en estas zonas eran más bajas por lo que la corrosión era más intensa.

Durante esta reparación los tanques de almacenamiento temporal de salmuera, las tuberías en general de la sección, así como los enlaces eléctricos y de instrumentación fueron retirados y limpiados, recuperándose durante la reparación un total de 1759 Kg. de mercurio incluidas en las grietas, pisos y tuberías.

También fueron demolidos y fundidos los pisos de esta sección procediendo a la reparación de los canales y posteriormente fueron recubiertas con una resina especial que le brinda resistencia química a derrames de sosa y ácidos, evitando la porosidad.

Culminadas las dos etapas más importantes para el restablecimiento de las características técnicas del proceso productivo se comenzaron a obtener resultados que mostraban los logros alcanzados.

Una vez mejorada la planta desde el punto de vista tecnológico, fue necesario acometer una última etapa donde se le dieron solución a los problemas de los drenajes, los cuales se solucionaron en el año 2002.

Las aguas pluviales, las aguas químicas, las aguas mercuriales y las aguas tratadas eran conducidas mediante un sistema de drenaje confeccionado por

rolos de concreto, esto sufrieron al pasar los años deterioro por corrosión producto de variaciones de PH por derrames de productos químicos agresivos, existiendo en diferentes puntos de la red interna, así como de los drenajes al río salideros que contaminaban los suelos y las aguas, se carecían, además, de registros adecuados para la toma de muestras, siendo esto una de las causas que provocó el impacto ambiental tan grave en el año 1998.

Todos los sistemas de drenaje, tanto las redes internas de enlace de la Planta, así como la conductora al río fueron sustituidas por tubos nuevos de PVC que tienen la ventaja de su poco peso lo que hace que el proceso de montaje se simplifique de forma marcada, además de poseer excelentes propiedades de resistencia química a todo tipo de material, tanto ácido como básico.

- Efectos en los indicadores tecnológicos.

Por la especificidad de las piezas de repuestos, algunos materiales especiales tales como resinas de intercambio iónico, resinas y otros materiales resistentes a la corrosión, los altos consumos energéticos y razones de seguridad, se hace imprescindible la aplicación constante de un régimen de mantenimiento adecuado, lo que implica disponer de la fuente de financiamiento segura y en el momento adecuado para mantener la instalación con la seguridad y fiabilidad debida. Por diferentes razones esta condición no se cumplió durante largos años, lo que motivó que el comportamiento de la instalación se viera afectado de manera reiterada en sus resultados generales. Los parámetros tecnológicos que definen el buen funcionamiento tecnológico son:

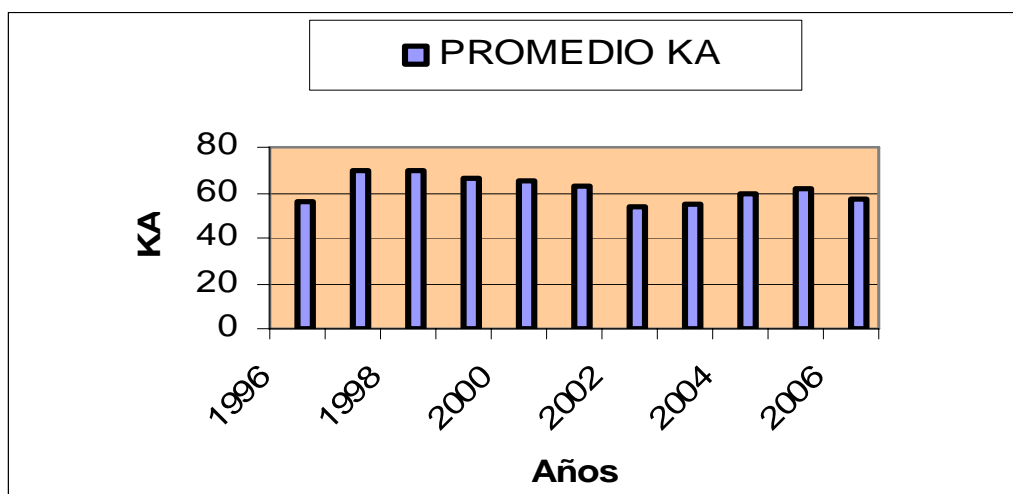
- Cantidad de celdas promedio en operación.

La planta cuenta con 14 celdas instaladas las cuales se encuentran capacitadas para trabajar independientemente una de otra, la mayor eficiencia se logra cuando todas funcionan ya que eléctricamente están conectadas en serie por lo que al encontrarse alguna fuera de servicio se consume cierta cantidad de energía que no tiene respaldo productivo. En el año 1998 hubo un bajo promedio de celdas (9.03), lo que representó solamente el 68% de las disponibles. Existió un salto cuantitativo en el uso de las celdas entre los años 1999 al 2000 y un mejoramiento paulatino, que como puede interpretarse demuestra la

recuperación de la capacidad de operación, que se ha mantenido en los años posteriores.

- Carga aplicada KA

La planta está diseñada para alcanzar cargas máximas de 115 KA, no obstante como se observa en la siguiente gráfica, los valores de carga promedio durante los años analizados se encuentran entre los 55 y 70 KA, lo que trajo como consecuencia el incumplimiento reiterado de los planes de producción, que se planifican en base de las demandas de los productos por los consumidores nacionales y las posibilidades de exportación que existan.



- Eficiencia electrolítica.

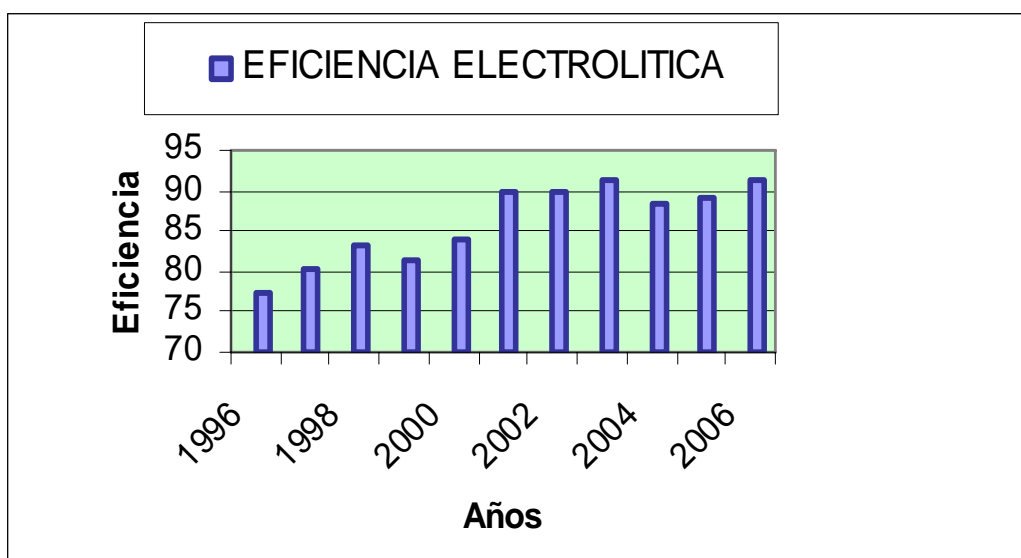
Es la relación entre la cantidad de sosa cáustica real producida y la cantidad teórica ( $Q_{\text{Teórica}}$ ) que se debe producir según la Ley de Faraday, que expresa que la producción en un proceso electroquímico depende de la cantidad de corriente aplicada (KA), la cantidad de elementos en funcionamiento (N) y el tiempo de operación en horas (T).

$$Q_{\text{Teórica}} = 40 / 26.8 \times E \times N \times KA \times T$$

En la práctica no se obtiene un 100% de eficiencia por un conjunto de diversos factores, entre los que se incluyen: la ocurrencia de reacciones secundarias parásitas, deficiencias en el estado del equipamiento que favorecen la ocurrencia de fugas y otros aspectos de operación.

En los años donde el deterioro de las celdas era marcado, una cantidad considerable de la energía que se suministraba se perdía en fugas de corriente producto de contactos deficientes provocados por salideros y dificultades causadas por la falta de mantenimientos por no disponer de los recursos necesarios, todo lo cual conllevaba a una baja eficiencia electrolítica.

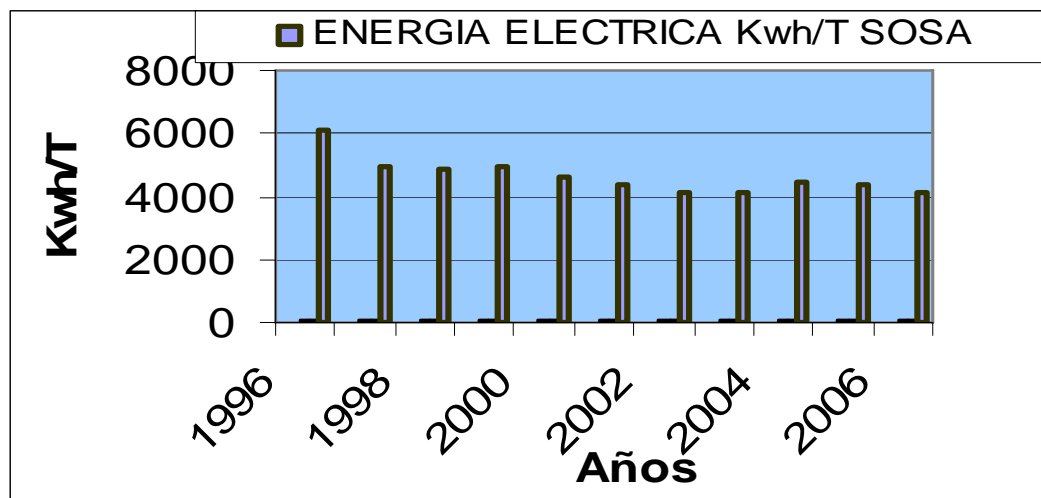
Con la instalación de componentes nuevos y fondos nuevos con contactos cobreados que aseguran el paso total de la corriente, la eficiencia aumentó, promediándose 89.15 en el 2002 y manteniéndose en los años siguientes por encima de ése valor.



- Índice de consumo de energía eléctrica.

Uno de los consumos fundamentales en el proceso electroquímico lo constituye la energía eléctrica, por lo que significa en la economía de la planta una disminución del índice de consumo de energía, lo que da una idea de eficiencia en el proceso, su estabilidad y rentabilidad.

El índice de consumo disminuyó desde que se realizó la rehabilitación integral de la planta, pues de un real de 4984 Kw/T sosa 100% en el año 1998 se ha logrado estabilizar en valores muy inferiores en los años posteriores.

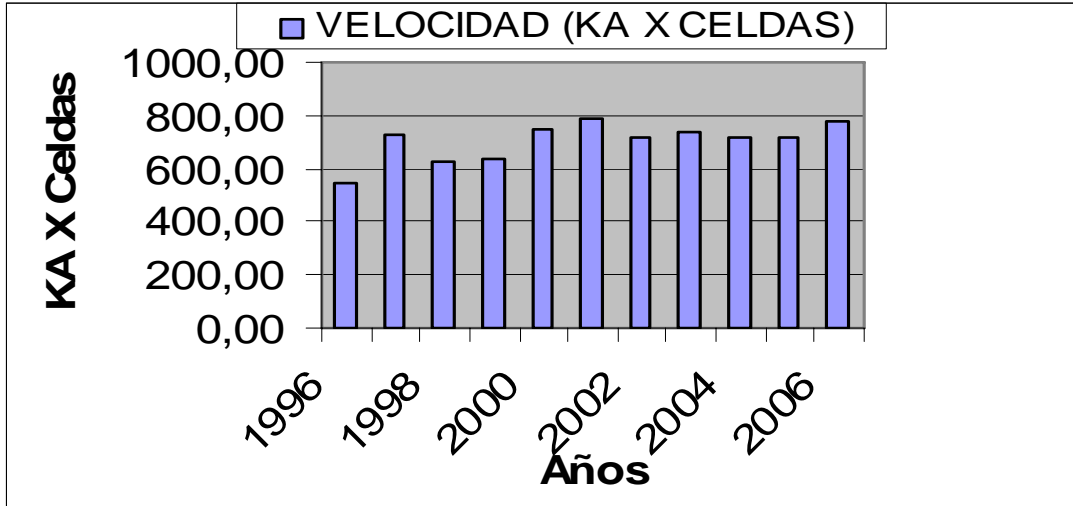


- Horas perdidas y cantidad de paradas de Planta.

Son dos parámetros que indican la estabilidad de operación de la planta, se observa que ambas han ido disminuyendo al restituirse las condiciones originales en el proceso de rehabilitación integral, en el caso de las paradas debe destacarse que solamente ocurrieron 75 paradas no planificadas y el resto fue por estrategia productiva y por limitaciones en el Sistema Electroenergético Nacional.

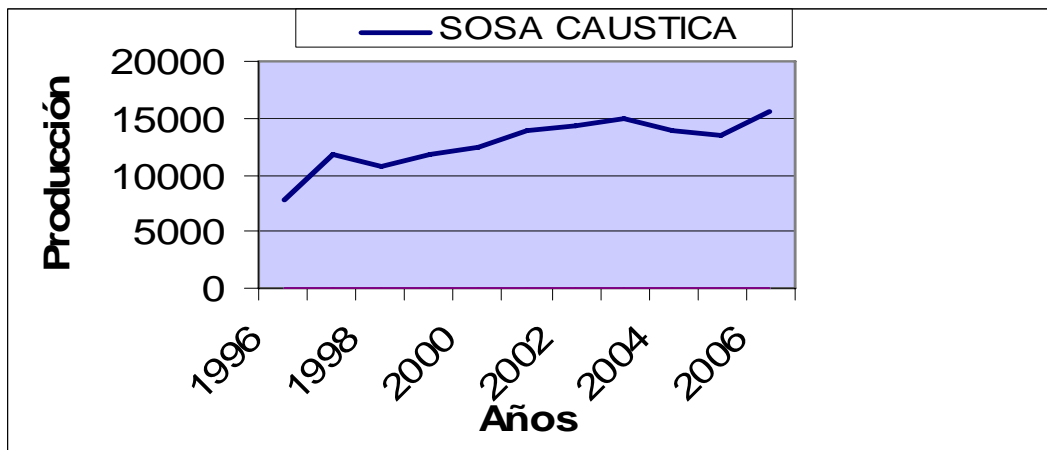
- Velocidad de la producción.

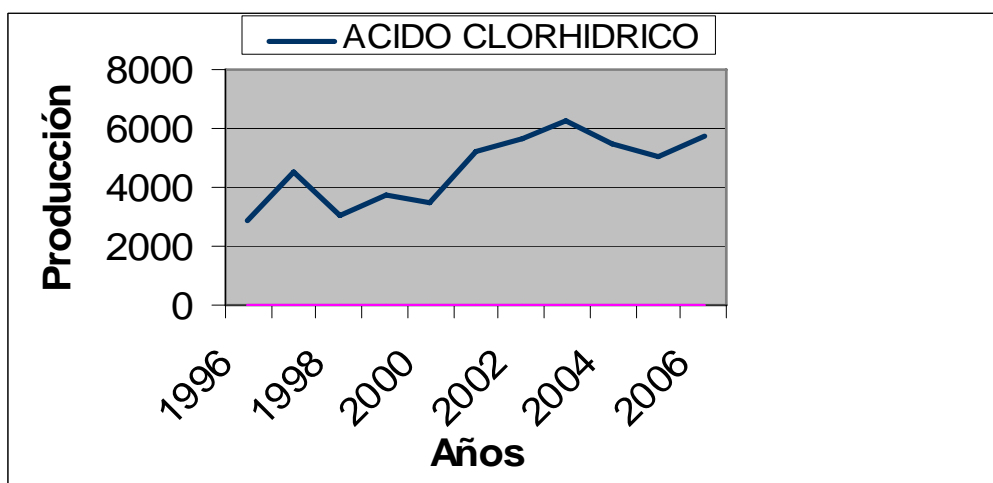
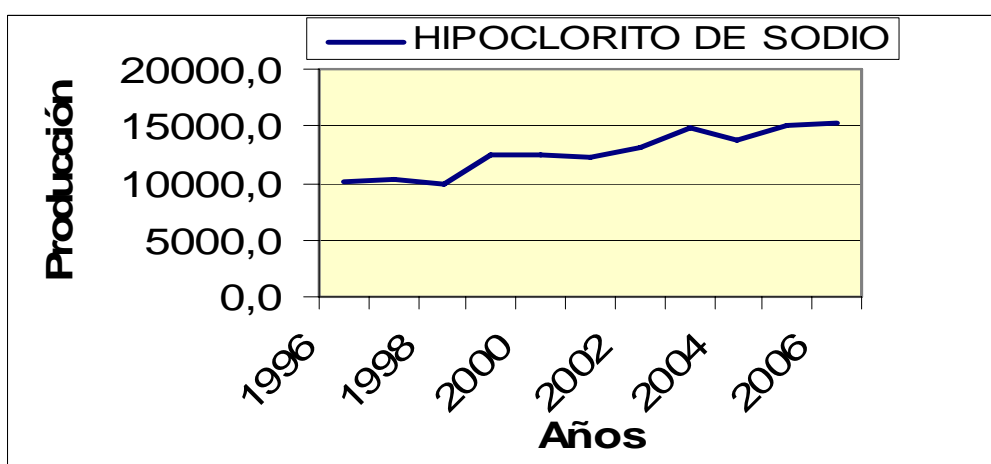
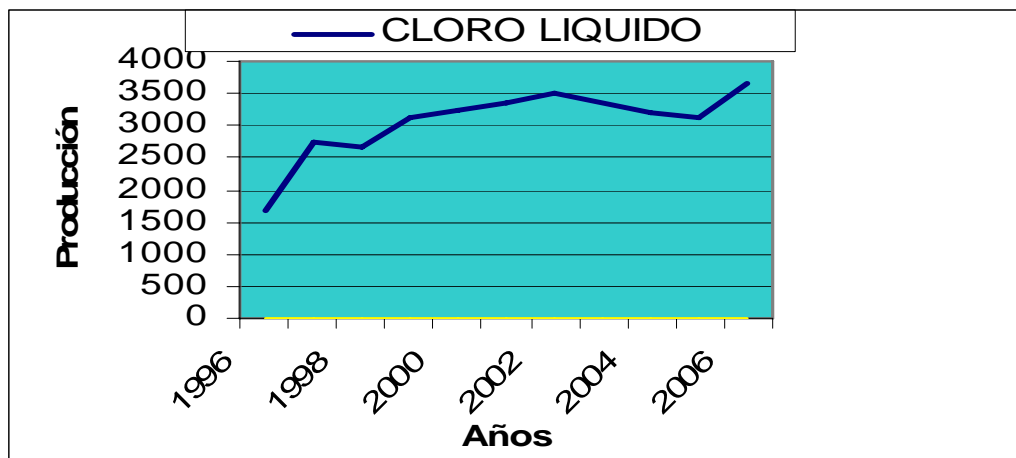
Un ejemplo claro de los efectos positivos de la rehabilitación total de la planta es el que se aprecia en la velocidad de la producción, que se obtiene del producto de la multiplicación de los promedios de celdas y el amperaje expresado en kilo amperes. Los resultados del año 2002 se deben a limitaciones en la demanda, no a incapacidad tecnológica para alcanzar cifras más altas



#### 2.4.2 Efectos en la Estabilización de la Producción.

Se observa en los gráficos siguientes cómo las cantidades de productos obtenidas se relacionan directamente con la estabilización de la planta después del proceso de rehabilitación.





En el caso del hipoclorito, las desproporcionadamente altas producciones obtenidas en los años críticos refleja ineficiencia en el proceso productivo al no ser capaz de licuar el cloro gas con un rendimiento eficiente lo que provoca la disminución de la sosa cáustica mercantil disponible.

Si el aumento de las producciones no tiene una pendiente positiva marcada es debido a que los más recientes planes de producción se han planificado por debajo de las capacidades productivas disponibles por carecer de mercado. La falta de mercado y la limitación de la asignación de la energía han sido las causas por la que aún teniendo reservas de capacidades productivas disponibles no se han utilizado con mayor intensidad.

La empresa desarrolla una continua gestión de mercadeo, habiendo dirigido sus principales esfuerzos a la exportación de los excedentes de producción y a la utilización de los productos en la sustitución de importaciones en renglones de la llamada Química Ligera, para el abastecimiento del turismo y el sector de ventas minoristas en divisas.

### **2.4.3 Efectos en el Medio Ambiente**

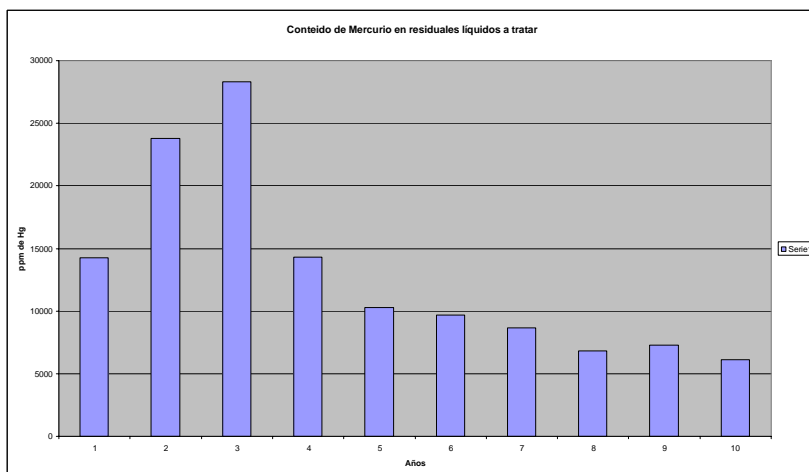
La mayor repercusión que provocaba el deterioro de la planta era sobre el medio ambiente que se encontraba contaminado por:

- Gases y vapores emitidos a la atmósfera por falta de hermeticidad, mal estado técnico de las celdas así como las obras civiles.
- Líquidos contaminados derramados al piso y canalizaciones, estas últimas permitían su filtración hacia el suelo y las aguas.
- Sólidos contaminados (lodos) que eran arrastrados y conducidos hacia los drenajes con las precipitaciones; así como canalizaciones en las piscinas contenedoras de las mismas.

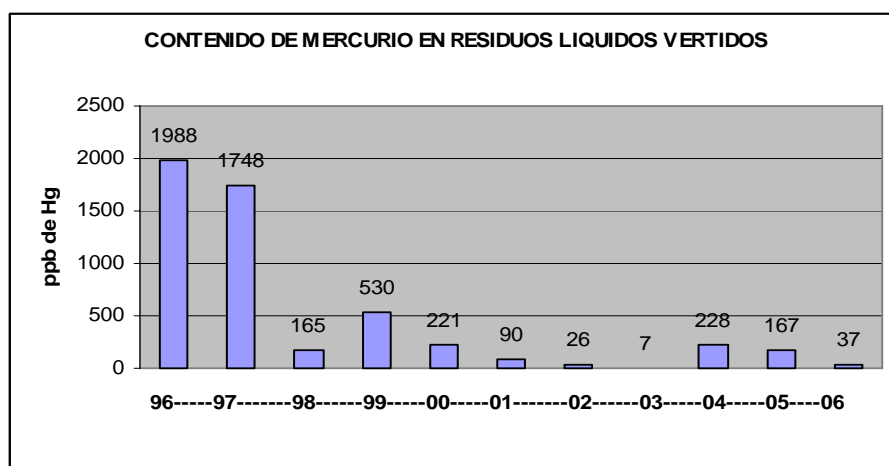
La repercusión que tuvo en el medio ambiente se refleja en el mejoramiento de los valores de los análisis de las aguas y el aire.

- En el caso de las aguas colectadas y provenientes de la limpieza de los pisos y sellos de las bombas (T-603), se observa como ha disminuido considerablemente después de realizadas las etapas I y II de la rehabilitación, lo que da una medida de la disminución de los salideros como consecuencia del mejoramiento de la hermeticidad de los sistemas.

Contenido de Mercurio en ppm en las aguas a tratar.



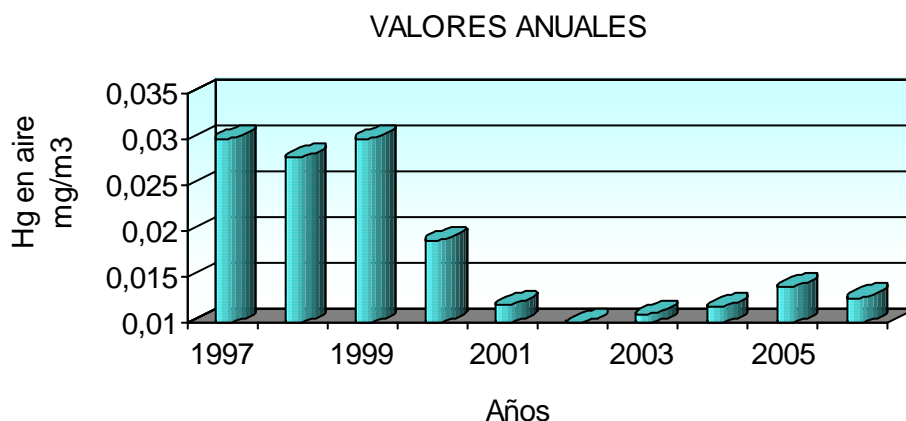
- En el caso de los valores de los análisis de las aguas tratadas, han disminuido de igual forma ya que con la estabilización productiva y económica de la planta, se ha garantizado que las resinas tipo mercaptanos, (con radicales  $-SH$ ) no falten, además de tener una mayor disciplina tecnológica en el área.



Referido a los valores en las aguas que son conducidas al río se observó cómo al restaurar la conductora y las redes internas estos valores disminuyeron, garantizando el vertimiento de las aguas según lo establecido. El aire es el mejor indicador de la contaminación del medio ambiente al ser analizado su contenido de mercurio.

En el gráfico se muestran los valores anuales de mercurio en el aire, se observa que en los años críticos que es el período que abarca las zonas de mayor

impacto ambiental 1997-1999 estos se encontraban en un valor aproximado de  $0.03 \text{ mg/m}^3$ , valor 3 veces superior al alcanzado en el período de recuperación a partir del año 2000, pero que ha tenido incrementos en los años más recientes por la incidencia de otros factores.



#### **2.4.4 Efecto en los seres humanos.**

La repercusión que tienen los problemas del medio ambiente en los seres humanos y en especial en los trabajadores de la planta ha sido la razón fundamental para que este proceso de rehabilitación se llevara a cabo.

Para tener una apreciación ilustrativa del comportamiento de la contaminación ambiental por concepto de mercurio y su efecto en los seres humanos se evaluó en un período de 6 años los valores de los análisis de mercurio inorgánico en el aire y su relación con los valores individuales de excreción urinaria de mercurio como indicador biológico.

Se apreció que existe una relación directa entre los valores de mercurio excretados por los trabajadores y los valores de mercurio en el aire.

La observación por puesto de trabajo indicó que aquellos que laboran en áreas más contaminadas como son los mecánicos y operadores de celdas, sala de control y salmuera dieron valores de mercurio en orina más altos.

La idea que siempre se ha tenido de preservar la salud de los trabajadores ha llevado desde las épocas de grandes crisis a adoptar medidas para evitar su contaminación.

Las medidas que aún se mantienen, excepto del régimen de trabajo que se ha variado a una semana trabajando y otra fuera han incidido en que los resultados medio ambientales no hallan tenido peores resultados.

Aún se continúa en el mejoramiento de las condiciones de la planta y adoptando medidas organizativas para evitar la contaminación de los trabajadores.

### **2.5 Efecto económico de la rehabilitación de la planta.**

Como se conoce, muchos son los factores que inciden en la eficiencia económica de una instalación, entre otros por ejemplo el suministro estable de energía eléctrica se vio grandemente afectada en el período analizado por lo que una evaluación del efecto económico de la rehabilitación ha tenido que hacerse con mucho cuidado, evitando que factores ajenos a los reales enmascaren los resultados.

1. La primera reparación fue la de mayor envergadura ya que como se explicó antes, además de acometerse todos los trabajos relacionados con el impacto medio ambiental se realizaron reparaciones en las estructuras civiles de otras áreas, además de la reparación general de equipos tecnológicos, esta tuvo un valor de \$ 2 333 481, de ellos fueron invertidos en trabajos relacionados con el ambiente el 75%, que ascendió a \$ 1 750 110.
2. En la segunda etapa, de menor complejidad con relación a la primera, se realizaron pocos trabajos no relacionados con la actividad principal de rehabilitación de la Planta y se invirtió un total de \$ 1 116 185, de ellos el 85% fue destinado a recursos y trabajos relacionados con el impacto ambiental que ascendió a \$ 948 757.
3. En la última etapa correspondiente a la reestructuración de los drenajes, el 90% del total invertido que ascendió a \$ 545 552 fue utilizado en la actividad principal, esto representa \$ 490 996.

El total del presupuesto invertido en la rehabilitación relacionado con el impacto ambiental fue de \$ 3 189 863 de un total general de \$ 3 999 218.

El resultado del proceso de reparación general de la planta se pudo apreciar rápidamente luego de haber concluido las 3 etapas. Ello se tradujo en un aumento de las producciones mercantiles de la planta, disminución del consumo

de energía para la producción, disminución del consumo de materias primas por un aumento de la eficiencia electrolítica y una disminución del número de trabajadores contaminados.

A continuación se muestran cálculos de la recuperación considerando el período 1997-1999 como crítico y 2000 - 2002 como períodos de rehabilitación.

**Tabla No 2.1. Comparación de Comportamiento.**

<b>Período</b>	<b>Crítico</b>	<b>Rehabilitación</b>	
Producciones promedio (T)	1997-1999	2000-2002	Diferencia
Sosa Cáustica	11 444	13 538	+ 2094
Cloro líquido	2 841	3 371	+ 530
Acido Clorhídrico	3 754	4 757	+ 1003
Hipoclorito de Sodio	10 905	12 655	+ 1750
Energía Kwh/T NaOH 100%	4 924	4 390	- 534
Eficiencia Eléctrica %	81,57	87,79	- 6,79
Trabajadores separados	30	16	-14

En base a los precios de venta por tonelada de cada producto y los ingresos obtenidos por las ventas de las diferencias después de la recuperación de la planta se tiene:

**Tabla No 2.2. Balance Económico Simple.**

<b>Productos (toneladas)</b>	<b>Precio Pesos/Ton</b>	<b>Diferencia (toneladas anuales)</b>	<b>Ingresos por las diferencias.(\$)</b>
Sosa Cáustica	245.00	2 094	513 030
Cloro líquido	487.25	530	258 242
Acido Clorhídrico	175.00	1003	175 525
Hipoclorito de Sodio	130.35	1 750	228 112
<b>TOTAL</b>			<b>1 174 909</b>

En el periodo del 2000 al 2002 se obtuvo una ganancia de \$ 3 524 727 por concepto de aumento de la producción.

Por concepto de disminución de los índices de consumo de energía eléctrica y materias primas (sal), cuyos precios promedios son 64,98 \$ / Mwh y 52 \$/tonelada respectivamente lo que representa un ahorro que se muestra a continuación:

- Cálculo del valor de la energía ahorrada.

$$534\text{Kwh} / \text{T Sosa } 100\% * 13538 \text{ T Sosa } 50\% * 1 \text{ T Sosa } 100\% / 2 \text{ T Sosa } 50\% = 3614\ 646 \text{ kwh} = 3\ 614,6 \text{ Mwh}$$

$$3\ 614,6\text{Mw} * \$ 64,98/\text{Mwh} = \$ 234\ 837 \text{ en el año. Del } 2000\text{-}2002 = \$ 704\ 511$$

- Ahorro de materias primas.

$$0.0679 * 0.90 \text{ T sal} / \text{T Sosa} * 13\ 528 \text{ T Sosa} = 826 \text{ T sal} * \$ 52 \text{ T sal} = 42\ 988$$

$$\text{En el período de } 2000\text{-}2002 = \$ 128\ 964$$

- Ahorro de fuerza laboral.

Por concepto de disminución de personal para el mantenimiento de celda se obtuvo un ahorro que se muestra en las Tablas 2.3 y 2.4.

**Tabla 2.3. Ahorro por disminución de personal en plantilla.**

Concepto	Cantidad
Plantilla original de mecánicos de celda	30
Plantilla actual de mecánicos de celda	16
Reducción	14
Salario	\$ 300
Salario anual ahorrado	\$ 50 400
En el período de 2000-2002	\$ 151 200

**Tabla 2.4. Resumen Total de ahorro.**

Concepto	Valores (\$)
Producciones	3 524 727
Energía	704 511
Materias primas	128 964
Salario	151000
Total	4 509 402

Si se analiza la recuperación obtenida en el período 2000 - 2002 se lograron valores y ahorros superiores al valor total de la rehabilitación que ascendía a \$ 3 995 218, cuyo valor se recuperó en 2,65 años.

## **2.6 Selección de la tecnología de reemplazo.**

Para determinar y evaluar las alternativas para reemplazar las tecnologías existentes, como parte de este trabajo se realizó un estudio de vigilancia tecnológica como se explicó en el Capítulo I, teniendo en cuenta las principales tendencias mundiales de este tipo de industria, no solamente desde el punto de vista de la eficiencia, sino también del cuidado y protección del medio ambiente. El impacto de los resultados científicos en la economía nacional solo será real en la medida que se transfieran los avances y el conocimiento en forma de tecnología a los procesos productivos.

La problemática científico técnica del entorno empresarial obliga a buscar formas que potencien este vínculo entre las universidades y las empresas de manera que se logre un mayor impacto del conocimiento desarrollado en las empresas, lo que indudablemente incide en la Política Científica de los Centros de Generación de Conocimientos.

La transferencia de resultados de la actividad científica se ha visto limitada en los últimos años, lo que tiene su fundamento entre otros factores en que la industria química es altamente dependiente de materias primas de importación y de portadores energéticos, así como de grandes y sistemáticos gastos en mantenimiento para la conservación de la capacidad productiva y competitiva, lo que requiere disponer de fuentes de financiamiento constantes.

Por otro lado, todos los problemas de una industria, tienen una base en su tecnología por lo que deben buscarse soluciones mediante la base de las técnicas de solución de problemas industriales.

### **2.6.1 Análisis de la conversión de la tecnología de celdas de Mercurio por celdas de membrana.**

Para el análisis de la reconversión tecnológica de celdas de mercurio por celdas de membrana se tuvo en cuenta y se analizaron los equipos que pudiesen ser reutilizados y los que necesariamente tienen que ser adquiridos, con vistas a lograr el mejor equilibrio entre el valor de la inversión y la futura fiabilidad de la instalación.

### **2.6.2 Descripción del proceso productivo con la tecnología de membranas.**

El proceso se inicia con la disolución de cloruro de sodio en grano, en equipos apropiados, para alcanzar una concentración de 300 gramos por litros, posterior a éste paso la salmuera es sometida a procesos de eliminación de impurezas, como son: calcio, magnesio, hierro, aluminio y otros metales hasta los límites donde es posible su reducción por procesos químicos y físicos (decantación y filtración) siendo necesario a la salida de este tratamiento garantizar los parámetros de dureza total establecidos. Hasta este punto el proceso es similar al utilizado en la preparación para uso en celdas de cátodo de mercurio.

Para estar apta para el uso en electrolisis con celdas de membrana debe ser sometida posteriormente a un pulido fino, mediante el paso por columnas de resinas de intercambio iónico, para la eliminación hasta niveles permisibles (20 ppb) de algunos elementos indeseables (fundamentalmente calcio y magnesio) que pasan la filtración primaria y que son perjudiciales al proceso, ya que provocarían afectación a los electrolizadores por su deposición sobre la superficie de las membranas, que conlleva a que esta pierda su permeabilidad, lo que sería una afectación negativa, considerable e irreversible de la eficiencia de corriente que puede alcanzarse en el proceso. Se requieren, además, de otras etapas para la destrucción de cloratos y eliminación de sulfatos.

Ya lista la salmuera se le acondiciona el pH y la temperatura y es alimentada a los electrolizadores por gravedad o con ayuda de bombas, según sea el tipo de celda seleccionada.

A la salida de proceso de electrólisis, la salmuera empobrecida proveniente del anolito, posee una alta concentración de cloro libre disuelto que en lo adelante sería perjudicial para todo el proceso de tratamiento y filtración, por lo que se acidifica y somete a procesos de descloración sucesivas, primero por soplado

con aire a baja presión o mediante vacío y así se despoja de las cantidades más importantes de cloro, posterior a esto se somete a una descloración secundaria por la adición de sulfito de sodio en solución, que con su alto carácter reductor lleva hasta cero el contenido de cloro libre, posteriormente requiere de una etapa de eliminación de cloratos y sulfatos por medios químicos, quedando la salmuera lista para ser reciclada en circuito cerrado, iniciándose nuevamente entonces el proceso de reconcentración en los saturadores y repitiendo todo el ciclo innumerables veces. El movimiento de la salmuera se realiza por bombas centrifugas.

El cloro húmedo procedente de la electrolisis es sometido a un proceso similar al que se obtiene mediante el proceso de cátodo de mercurio.

Se obtiene a la salida de los electrolizadores solución de hidróxido de sodio al 32% que luego es concentrada mediante un sistema apropiado de evaporación hasta alcanzar una concentración del 50% de NaOH, que es una calidad comercializable en las condiciones del mercado nacional, siendo entonces transferida hasta tanques de almacenamiento del producto terminado. La posibilidad de obtener el producto en estado sólido favorece la transportación, pero implica un importante consumo energético que no se justifica ya que el uso final del producto es en estado líquido, cabe señalar que este producto, a diferencia del obtenido por el proceso de mercurio, se encuentra libre de todo vestigio de dicho metal. La unidad de concentración de hidróxido de sodio debe incluirse en el alcance de la nueva inversión.

Como resultado de cualquier proceso electrolítico de este tipo se genera también hidrógeno gas que sale directamente de las celdas, se comprime a baja presión y se envía a la atmósfera, a la planta de envasado o se aprovecha en la elaboración de ácido clorhídrico por proceso de síntesis directa, al reaccionar con el cloro en las unidades de fabricación, que en número de dos existen actualmente y que pudiesen ser reutilizadas.

Al igual que el hidróxido de sodio que se describió con anterioridad, el hidrógeno no tiene que ser tratado para eliminar mercurio, como es necesario en la instalación actual.

Las secciones de producción de hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico se mantienen de manera similar con cualquiera de los procesos.

Los residuales líquidos y sólidos que se generan con la utilización de la tecnología de membrana están libres de mercurio, por lo que solo deben ser ajustados en PH antes de ser extraídos de la Planta, lo que reduce considerablemente los gastos de operación por concepto de su tratamiento en comparación con el proceso de mercurio.

### **2.6.3 Relación de equipos y sistemas que se deben adquirir para realizar el cambio tecnológico.**

- Celdas electrolíticas de membrana, con sus facilidades asociadas.
- Sistemas adicionales para el tratamiento de salmuera.
- Sistema de evaporación de hidróxido de sodio.
- Adecuación de los sistemas de residuales líquidos y sólidos.
- Obtención de agua blanda y desmineralizada. Enfriamiento atmosférico del agua.
- Sistemas de control y medios de informática y computación.
- Facilidades para mantenimiento.
- Medios de control analíticos apropiados.

Los países y firmas líderes en el desarrollo de la tecnología de celdas de membranas a escala mundial son:

<b><u>País</u></b>	<b><u>Firma</u></b>
USA	Oxitech
Inglaterra	Ineos Chlor
Italia-Alemania	UHDE - De Nora
Japón	Asahi Kasei y Asahi Glass

### **2.7 Equipos o sistemas que se pudiera analizar su reutilización:**

- Transformadores rectificadores de corriente: Al utilizar celdas bipolares se analizaría el aprovechamiento que pudiese hacerse de estos equipos a partir del arreglo de celdas que se decida más conveniente.
- Sala de control: Esta sala es funcional para la nueva tecnología pero deben adecuarse los equipos registradores y demás instrumentos. Para esta tecnología no es necesaria la reposición del sistema de control de ánodos, pues las celdas trabajan a voltaje fijo, determinado por una distancia ánodo cátodo invariable. Se requiere la adición de una importante aplicación de medios computarizados y sus correspondientes programas.
- Sistema primario de salmuera: Recipientes, filtros, grúa para la alimentación de sal y algunos sistemas de tuberías. Depende de la solución que se defina respecto al posible efecto residual por haber estado en contacto con Mercurio.
- Planta de licuación de cloro: De esta planta se aprovecharían los equipos de tratamiento (lavado y secado) si su estado técnico lo aconsejara. En el caso de los compresores de enfriamiento, la sustitución del refrigerante actual puede implicar el cambio total del sistema instalado.
- Planta de Hipoclorito de Sodio: Se puede reutilizar totalmente, sin necesidad de inversiones de consideración, por estar sus equipos construidos en Titanio básicamente.
- Planta de Ácido Clorhídrico: Pudiese ser aprovechada totalmente y no requiere de inversiones mayores para lograr su estabilidad.
- Almacenamiento y Llenado de Cloro y almacenamiento de Sosa Cáustica: No existe dificultad para el aprovechamiento de estas instalaciones.
- Laboratorio de análisis: Prácticamente las técnicas analíticas son las mismas, deben adicionarse los medios necesarios para la evaluación de la calidad de la salmuera y dotarlo de las facilidades para medir el comportamiento de las membranas de intercambio iónico.

La decisión de la reutilización de este equipamiento requiere de un profundo trabajo que permita diagnosticar su estado y por ende su fiabilidad operacional.

### **2.7.1 Equipos que dejarán de ser utilizados:**

1. Celdas de Mercurio: No son reutilizables, de hecho se eliminan todas y sus sistemas que comprenden:
  - Catorce electrolizadores con una carga unitaria de 1,5 t de Mercurio.
  - Sistema de circulación de mercurio y descomponedores de amalgama.  
Se eliminan 14 bombas de mercurio y seis toneladas de grafito granulado.
  - Sistema de tratamiento primario de hidrógeno (enfriamiento y condensación). Se eliminan 14 intercambiadores que son fuentes de posibles salideros de hidrógeno con alta carga contaminante de mercurio.
  - Sistemas de lavado de agua de los cabezales de entrada y salida, con esto se eliminan el trabajo de 2 bombas y un intercambiador y dos recipientes que contienen agua mercurial.
  - Sistemas de control y ajuste de la posición de los ánodos.
  - Sistema de tratamiento de hidrógeno, en lo referente a la eliminación del Mercurio por enfriamiento con agua y tratamiento con salmueras cloradas que aumentan el volumen de mercurio en la salmuera.
2. Destilador para sólidos mercuriales: Este equipo solo será necesario en el proceso de limpieza de los residuales generados durante el cambio tecnológico, posteriormente se paraliza y se elimina totalmente.
3. Sistema de tratamiento de residuales sólidos y líquidos: Deja de ser necesaria totalmente toda la sección mediante la cual se elimina el mercurio de los residuales líquidos que incluye 4 bombas, 2 columnas que contienen 1,5 m<sup>3</sup> de carbón activado cada una, que debe ser sustituido una vez por año y que genera sólidos mercuriales, 2 columnas de resina especial para la eliminación del mercurio por intercambio iónico que llevan dos cargas de resina cada una de 1,5 m<sup>3</sup>, los recipientes de tratamiento y regeneración de la resina, las fosas de recolección y otros medios. Bombas, filtros y otros medios utilizados en el tratamiento de los sólidos contaminados, también dejan de ser necesarios.
4. Depósitos para el confinamiento de residuos sólidos mercuriales: En función de la calidad de sal, la planta ha generado entre 1 y 2 m<sup>3</sup> por día de material

sólido, por lo que se acumulan en 27 años de funcionamiento más de 3600 m<sup>3</sup> de lodos que contienen sulfuro de mercurio y que deben mantenerse conservados a perpetuidad.

5. Almacenamiento de hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico: Deben ser sustituidos por su deficiente estado.
6. Sistemas de enfriamiento atmosférico, suavización y desmineralización de agua. Por su estado y los requerimientos del nuevo proceso deben ser sustituidos por similares apropiados a las solicitudes del nuevo proceso.

### **2.7.2 Ampliación de las capacidades de producción de Cloro en el país como base de la industria petroquímica.**

Como parte de los acuerdos suscritos entre Cuba y Venezuela y como parte de la Alternativa Bolivariana para Las Américas (ALBA) se prevé el montaje, tomando como núcleo esencial a la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” de Cienfuegos, de una poderosa Industria Petroquímica en la región central del país.

Como punto de partida para la mejor proyección de la industria petroquímica en Cuba, de conjunto con Venezuela, fueron analizadas preliminarmente las condiciones reales existentes en el país, las que unidas a las capacidades existentes y posibilidades de ampliación para la refinación de petróleo, posibilitan este programa de desarrollo el cual se planifica ejecutar en un período de 5 años, comprendido del 2008 al 2012, con un monto estimado de cuatro mil millones de dólares.

Esto exige un riguroso estudio de factibilidad técnico económica de la estrategia inversionista de diferentes alternativas de producción de los derivados del petróleo, entre estas alternativas un papel fundamental lo desempeña el montaje de una planta para la producción de PVC.

Como se sabe el 80 por ciento de la utilización industrial del cloro y el ácido clorhídrico, va dirigido a la producción de compuestos de hidrocarburos clorados (solventes y agentes limpiadores), plaguicidas y el plástico clorado PVC (miembros de la primera y segunda generación de productos de la sal).

El PVC es el objetivo privilegiado de la producción de cloro; casi la mitad de la producción mundial de cloro, aproximadamente 18 millones de toneladas anuales, están destinada a satisfacer la demanda de las plantas petroquímicas que producen dicha sustancia.

El PVC también conocido como policloroetileno, es un polímero sintético fabricado a partir del gas etileno o eteno ( $C_2H_4$ ) y el cloro (Cl). El cloro lo suministran las plantas de cloro-sosa, como un subproducto de la producción de hidróxido de sodio.

En la actualidad, alrededor del 60% del PVC en el mundo se utiliza en la industria de la construcción, versátilmente utilizado desde tuberías y conductos hasta múltiples formas de revestimiento, aislantes, etc. y el restante 40% forma parte de innumerables artículos que inundan la vida cotidiana de los consumidores en: zapatos, carteras y maletines de “semicuero”, tarjetas, cortinas, cajas, cubos, llaveros, juguetes, envases, cables, persianas y otros.

Sobre esta base se prevé el montaje de una planta de Cloro - Sosa. Con capacidad de producción de 100.0 mil t/año y un valor estimado de la inversión de 150 millones de dólares. Un análisis económico más detallado se muestra en el siguiente capítulo.

Esta producción permitirá la producción alrededor de 120 mil toneladas de PVC por año, con una inversión estimada de 400 millones de USD.

En estos momentos la empresa mixta CUVENPEQ, constituida en el marco de estos acuerdos se encuentra en la fase de intercambio de información para poder realizar los estudios de factibilidad de los proyectos principales.

Sobre esta base en el próximo capítulo se realiza un estudio preliminar de factibilidad de la Planta de Cloro Sosa del Polo Petroquímico de Cienfuegos.

**CAPITULO 3 Estudio de Factibilidad.**

**3.1 Estudio de mercado.**

La Empresa Electroquímica de Sagua con sus plantas de cloro y sosa cáustica ha sido la única productora nacional en esta rama de la industria química por más de 65 años, su ubicación y permanencia en el mercado nacional la hace más ventajosa ante los competidores externos. Sus producciones de cloro licuado, hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico e hidrógeno van dirigidas a importantes sectores de la economía nacional con diversos fines, distribuidos en todo el país. La distribución de los productos por consumo es aproximadamente la siguiente:

**Tabla 3.1. Principales usos de los productos.**

Producto	Utilización (% del total comercializado)			
	Purificación de Aguas de consumo y piscinas	Generación eléctrica, producción de níquel y refinación de crudo	Industria Alimenticia y azucarera	Jabonería e higiene
Cloro líquido	100			
Sosa Cáustica		60	22	13
Hipoclorito de Sodio	65			14
Acido Clorhídrico		46	46	5

El proceso se caracteriza por ser sus producciones obtenidas de manera simultánea, caso conocido como producción conjunta, lo que motiva que las posibilidades de ventas de cada producto condicionan los niveles de producción del resto.

**Hidróxido de Sodio:** Este producto es el de mayor uso dentro de la economía nacional, encuentra su aplicación en la industria del jabón, para el tratamiento de agua, en la generación de electricidad, en la industria azucarera y en otros muchísimos sectores. La demanda nacional supera las posibilidades de

producción de la planta, por las limitaciones presentes en la utilización de cloro y sus productos asociados. Entre los principales clientes se puede señalar a la Industria de Jabonería y Perfumería. Es importante destacar la inclusión de las industrias del Níquel y azucarera y la generación de energía eléctrica y la industria alimenticia.

**Cloro Licuado:** Por no existir en el país desarrollo en la industria petroquímica u otras actividades que utilicen el cloro como materia prima, la aplicación fundamental de este producto es como desinfectante en la potabilización del agua, por lo que el principal cliente por los volúmenes de consumo es el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, que consume casi la totalidad del cloro líquido contemplado en el plan, así como importantes cantidades de hipoclorito de Sodio, el cual es además utilizado por el INDER, MINSAP y el MINED, organismos que consumen alrededor del 80 % del plan. Constituye el cloro líquido un renglón exportable, lo cual se efectúa desde hace varios años de manera creciente a países del área del Caribe.

**Ácido Clorhídrico:** Las capacidades instaladas superan la demanda nacional en estos momentos, situación que no era así hace algunos años, ya que por la contracción de la zafra azucarera disminuyó sensiblemente y no se avizoran incrementos en su demanda para los años venideros, situación que obliga a dedicar todos los esfuerzos en su exportación, hacia República Dominicana y Jamaica, países hacia donde se realizan ventas desde en año 1999 y se prevén posibilidades en Venezuela. Otros consumidores del producto son los laboratorios del Polo Científico de la capital, algunas empresas del SIME y las empresas de Perforación y Extracción de Petróleo.

**El Hidrógeno:** encuentra aplicación cautiva en la producción de ácido clorhídrico y se envasa a alta presión para destinarse a la purificación de argón, en el enfriamiento de turbinas en las Centrales de Generación Eléctrica y se prevé además su uso en la refinación de crudo.

Como se explicó anteriormente la fuente de ingresos de la planta lo constituyen la venta de sus cinco producciones, teniendo en cuenta este factor se diseñó el pronóstico de ventas para facilitar el análisis del proyecto. Se determinó el nivel

de ingresos teniendo en cuenta dos variantes, la tecnología de celdas de mercurio y la de celdas de membrana.

En las **Tablas 3.2 y 3.3** se muestran el pronóstico para el primer año de operación.

El pronóstico de ingresos para la tecnología de mercurio se hizo según el Plan de Negocios del año 2006 y para los 5 primeros años, a partir del año 6 hasta el 8 se reduce en un 10% y para los años 9 - 10 en un 12% como consecuencia del deterioro de la instalación y la posible carencia de mercurio.

**Tabla 3.2 Pronóstico de Ingresos por Ventas (tecnología de Mercurio).**

Productos	Valor Ventas (MP)
Hidróxido de Sodio	2875.0
Cloro líquido	1623.0
Ácido Clorhídrico	1995.4
Hipoclorito de Sodio	2497.5
Total	8990.0

Para la tecnología de membrana en el primer año se tomó el 80% de las ventas planificadas para el 2006, el segundo año el 90%, los tres años siguientes se mantienen las del plan y para los años 6-7 van aumentando en un 5%, año 8 un 7% y años 9-10 en un 10%.

**Tabla 3.4 Pronóstico de Ingresos por Ventas (tecnología de membrana).**

Productos	Valor Ventas (MP)
Hidróxido de Sodio	2300.0
Cloro líquido	1298.0
Ácido Clorhídrico	1596.7
Hipoclorito de Sodio	1997.6
Total	7192.2

### 3.1.1 Estudio Técnico.

Para determinar la producción se tuvo en cuenta en la tecnología actual, que sus condiciones técnicas en los últimos años del proyecto no serán las mismas, debido a los efectos corrosivos del proceso productivo unido a lo antigua que es la planta, el deterioro debe incrementar. Se tomó como base la producción

planificada del 2006 para los 5 años primeros, a partir del año 6 –8 comienza a disminuir en un 10% y del 9-10 en un 12%, en la **Tabla 3.4** se muestra esta proyección.

**Tabla 3.4 Pronóstico de producción para la tecnología de Mercurio. (Ton)**

Productos	Años									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cloro líquido	3450	3450	3450	3450	3450	3105	3105	3105	3036	3036
Acido Clorhídrico	5459	5459	5459	5459	5459	4913	4913	4913	4804	4804
Hipoclorito de Sodio	13498	13498	13498	13498	13498	12148	12148	12148	11878	11878
Hidróxido mercantil	11762	11762	11762	11762	11762	10586	10586	10586	10351	10351
Hidróxido total	12394	12394	12394	12394	12394	11155	11155	11155	10907	10907

En la tecnología de membrana la capacidad de proyectada para la planta es similar a la actual, se pronosticó el primer año trabajar a un 80% de la capacidad planificada para el 2006, en el segundo año aumentará a un 90%, en los años 3-5 se mantendrá como la del plan y ya para el año 6 aumentará en un 5%, en el 8 en un 7% y en los años 9-10 en un 10%, en la **Tabla 3.5** se muestra esta proyección.

**Tabla 3.5 Pronóstico de producción para la tecnología de Membrana. (Ton)**

Productos	Años									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cloro Liquido	2760	3105	3450	3450	3450	3622	3622	3691	3795	3795
Ácido Clorhídrico	4367	4913	5459	5459	5459	5732	5732	5841	6005	6005
Hipoclorito de Sodio	10798	12148	13498	13498	13498	14173	14173	14443	14848	14848
Hidróxido Mercantil	9410	10586	11762	11762	11762	12350	12350	12585	12938	12938
Hidróxido total	9915	11155	12394	12394	12394	13014	13014	13262	13633	13633

### 3.1.2 Costo de la Inversión.

Para realizar la inversión se deben adquirir los siguientes equipos.

- **Celdas electrolíticas:** Su valor aproximado del orden de \$ 1 750 .0 MCUC, constituye este el equipamiento de mayor valor dentro de la inversión y se considera que pudiesen ser 3 electrolizadores que trabajarán en paralelo con 21 placas ánodos y cátodos cada uno de ellos y sus respectivas membranas.

Con estos equipos se incluyen todos los sistemas de alimentación de salmuera y la salida y circulación de hidróxido de sodio, cloro e hidrógeno.

Trabajos asociados con el montaje de las nuevas celdas:

1. Cimentaciones para el montaje de los electrolizadores.
2. El movimiento de las barras de cobre para llevar la electricidad hasta el nuevo sitio.
3. Facilidades de canales para la recogida de agua y residuos generados por la nueva tecnología.
4. Movimiento de todas las tuberías que alimentan y salen del electrolizador con las materias primas o los productos acabados.
5. Equipos para el mantenimiento y reparación de las membranas averiadas.
6. Instrumentos para la medida por flujo másico de la producción realizada.

Para la ejecución de estos trabajos se estima un valor de \$300.0 MCUC.

- Sistema de tratamiento de salmuera: Su valor estimado es de 500.0 MCUC. En este punto deben incorporarse como nuevos los siguientes agregados al sistema actual de salmuera.
  1. Sistema automático de dosificación de sulfito de sodio por control de potencial REDOX para el control de los niveles de cloro a la salida de la descloración primaria.
  2. Sistema de tratamiento de la salmuera por resinas de intercambio iónico para la eliminación hasta mínimos niveles de calcio y magnesio y los sistemas de vigilancia y protección de los parámetros requeridos.
  3. Sustitución del sistema de filtración y sus facilidades asociadas
  4. Sustitución de las bombas de salmuera acorde con las necesidades del flujo.
  5. Sustitución de las tuberías que se necesiten así como la adecuación de la instrumentación a los requerimientos nuevos.
- Sistema de evaporación de hidróxido de sodio: Su valor aproximado es de 750.0 MCUC. Este sistema incluye el sistema de evaporación de doble efecto, la caldera de vapor y los sistemas asociados al manejo de la alimentación de materia prima y producto terminado.

- Adecuación de los sistemas de residuales líquidos y sólidos: Valor previsto de de \$50.0 MCUC.
  - Tratamiento de agua blanda y desmineralizada: Su valor es del orden de 1000 MCUC. Estas facilidades deben ser completamente remodeladas pues la capacidad actual es baja y existe la necesidad en esta tecnología de contar con agua de extrema calidad para la preparación de la salmuera y la sosa cáustica.
  - Trabajos asociados a la Ingeniería básica: Valor del orden de 450.0 MCUC.
- En base a lo anterior el Costo estimado total sería de orden de 3900.0 MCUC.

### **3.1.3 Materias primas utilizadas en el proyecto.**

Los gastos de materias primas y materiales auxiliares relacionados con la nueva tecnología difieren en el material utilizado como cátodo, que a diferencia de las celdas de Mercurio donde el material del cátodo es mercurio, el material a utilizar es acero inoxidable o níquel activados con recubrimientos metálicos. El valor de activación de estos ánodos esta en función del área y es del orden de mil CUC por unidad, al ser suministrado nuevo tiene un período previsto de utilización de seis años.

La preparación del personal para adecuarlo técnica y profesionalmente al nivel que requiere la modernidad de la nueva tecnología es un aspecto fundamental a tomar en consideración en el desarrollo del proyecto, ya que tanto por la introducción de equipamiento de punta, como en los sistemas de operación y mantenimiento del mismo se utilizan instrumentos y medios computarizados, requieren ser dotados de las habilidades y conocimientos apropiados para su eficiente desempeño, lo cual tiene necesariamente que incluirse entre las obligaciones a cumplir por la firma que suministre la tecnología.

Con la aplicación de esta tecnología no solo se deja de consumir mercurio sino que además otros materiales auxiliares como grafito, carbones y resinas que se utilizan para desmercurizar el agua que se vierte al río, dejan de ser necesarios.

Para una mejor comprensión del tema en la tabla 3.6 se muestran las materias primas y materiales auxiliares que dejan de utilizarse y en las tablas 3.7 y 3.8 se hace un desglose de los materiales que se utilizan en cada tecnología, para así

poder observar el ahorro en valores que se obtiene con la tecnología de membrana. Para el cálculo se tomó como base un nivel de producción similar en ambas variantes de 12394 toneladas métricas anuales de sosa cáustica al 100% de concentración.

**Tabla 3.6 Materas primas y materiales auxiliares que dejan de utilizarse.**

<b>Materiales que se dejan de consumir</b>	<b>Valores (\$)</b>
Mercurio metálico	181315
Carbones , grafitos, ayuda de filtración	93732
Resinas	21912
<b>Total</b>	<b>296959</b>

**Tabla 3.7 Materias primas y materiales auxiliares. (Mercurio)**

<b>Base: Unidades de NaOH 100% a producir al año: 12394</b>				
<b>Materia Prima</b>	<b>UM</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad (T)</b>	<b>Total (\$)</b>
Sal	t	52,25	11154,6	582827,85
Carbonato	t	211,58	123,94	26223,22
Tierra de Infusorios	t	437,72	9,9152	4340,08
Mercurio	Kg	22,6644	8000	181315,20
Ácido Sulfúrico	TM	69,88	247,88	17321,85
Refrigerante Freón -22	Kg	4,293	250	1073,25
Nitrógeno	M <sup>3</sup>	0,43	1919,5	825,38
Carbón Fundafill	Kg	9,172	200	1834,40
Resina Aniónica	m <sup>3</sup>	1829	1,2	2194,80
Resina Catiónica	m <sup>3</sup>	1794	1,2	2152,80
Grafito ES-20	Kg	14,4224	1500	21633,60
Carbón Activado F-400	Kg	2,2	1000	2200,00
Resinas de intercambio iónico	M <sup>3</sup>	50189,9	1,4	70265,87
Resina aniónica	Kg	5,606	3344	18746,46
Sulfito de Sodio	Kg	0,7304	2500	1826,00
Peróxido de Hidrógeno	Kg	1	1000	1000,00
Sulfuro de Sodio		0,8584	1000	858,40
Inhibidor	Kg	3,88	1300	5044,00
Otros				270412,80
Transportación				96260,47
Otros Gastos				21495,00
<b>Total</b>				<b>1330924.72</b>

**Tabla 3.8 Materias primas y materiales auxiliares (Membrana).**

<b>Base: Unidades de NaOH 100% a producir al año: 12394</b>				
<b>Materia Prima</b>	<b>UM</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total (\$)</b>
Sal	t	52,25	11154,6	582827,85
Carbonato	t	211,58	123,94	26223,23
Tierra Infusoria u otro a definir	t	437,72	9,9152	4340,08
Reactivación de Cátodos	UM	800	13,6334	10906,72
Ácido Sulfúrico	TM	69,88	247,88	17321,85
Refrigerante Freón -22	Kg	4,293	250	1073,25
Nitrógeno	M <sup>3</sup>	0,43	1919,5	825,39
Reactivación de Ánodos	UM	-	13,6	17680,00
Resina Aniónica	m <sup>3</sup>	1829	1,2	2194,80
Resina Catiónica	m <sup>3</sup>	1794	1,2	2152,80
Reparaciones de membranas	m <sup>2</sup>	-	148,7	118960,00
Sulfito de Sodio	Kg	0,7304	2500	1826,00
Peróxido de Hidrógeno	Kg	1	1000	1000,00
Sulfuro de Sodio	tm	0,8584	1000	858,40
Inhibidor	Kg	3,88	1300	5044,00
Otros				269448,82
Transportación				96260,48
Otros Gastos				21495,00
<b>Total</b>				<b>1181511,91</b>

### 3.4 Materiales asociados al mantenimiento de la planta.

Los gastos asociados a la tecnología están relacionados en gran medida con recursos de importación, esta tecnología genera alta dependencia de materiales y recursos especiales del exterior. Se estima que estos disminuyan, ya que la planta sufre una reducción del número totales de bombas centrifugas en cantidad y tamaño, y de muchas de las actividades cotidianas asociadas con la atención a las instalaciones para el manejo de los residuales líquidos y sólidos que contienen mercurio, además del engomado de piezas de repuesto de las celdas que ya no es necesario.

#### 3.4.1 Energéticos.

La energía eléctrica es por su importancia en valor, el segundo elemento más importante en la producción de cloro e hidróxido de sodio en cualquiera de las variantes tecnológicas, la tecnología de membranas logra una reducción del índice de consumo de energía respecto a la tecnología de mercurio de 1100

Kwh/t de hidróxido de sodio, con esta reducción se logra un índice de 2382 Kwh/t de hidróxido de sodio, a este consumo de energía deben agregarse los gastos adicionales de 140 Kwh./t de hidróxido de sodio, que corresponden a los gastos para elevar la concentración del hidróxido de sodio desde 32% hasta 50%. El índice actual promedio de 3482 Kwh./t de hidróxido de sodio producida, se reduce en un 28% aproximadamente si se comparan las tablas 3.9 y 3.10 donde se muestra el consumo de energía eléctrica para un nivel de producción de 12394 TM de hidróxido de sodio se puede ver el ahorro. Para calcular el consumo de energía eléctrica reflejado en las tablas se utilizó la producción de hidróxido de sodio del plan 2006 que es la que se ha tomado como base para todos los cálculos, en el caso de energía para auxiliares se multiplica el índice de consumo por 323 días de trabajo al año, en energía de electrólisis se multiplica el índice de consumo por las toneladas producidas y se divide entre 2000 y la energía para mantenimiento que es estimada.

Aquí se aprecia la necesidad de emplear una Gestión Energética Empresarial en el Proyecto, que utilice los enfoques más modernos que se han generado en el contexto nacional y también en el contexto internacional. En lo que es imprescindible una gestión estratégica integral que incluya lo tecnológico para lograr la eficiencia energética en ambiente competitivo.

Los costos energéticos son uno de los parámetros controlables que pueden determinar la rentabilidad de una industria, en especial del tipo analizada, al respecto, en una economía de mercado las empresas pueden entrar en bancarrota por hacer un manejo inadecuado de sus costos y sus volúmenes de producción, factores que están directamente relacionados con el uso del insumo energético.

La empresa tiene implementado su Sistema de Gestión Energética basada en estos conceptos, así como están identificados los Puestos Clave en cada una de las secciones del proceso productivo.

**Tabla 3.9 Consumo energía eléctrica (tecnología de Mercurio).**

<b>Energía Total para 12394 TM/año de NaOH 100%</b>	<b>Índice de Consumo</b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Valor total (\$) 2124185.23</b>
Energía para Electrólisis	3482KWh/tm	21577	1625683.05
Energía para Auxiliares	20KWh/día	6460	486696.41
Energía para Mantenimiento	-	156	11805.77

**Tabla 3.10 Consumo energía eléctrica (tecnología de Membrana).**

<b>Energía Total para 12394 TM/año de NaOH 100%</b>	<b>Índice de Consumo</b>	<b>Consumo (MWh)</b>	<b>Valor total (\$) 1554304.00</b>
Energía Electrólisis	2522KWh/tm	15628	1177436.12
Energía de Auxiliares	15KWh/día	4845	365063.3
Energía para Mantenimiento	-	156	11805.77

### 3.4.2 Análisis de la fuerza de trabajo.

Desde el punto de vista operacional se mantiene la misma fuerza de trabajo. El personal actual tiene el nivel suficiente para asimilar la nueva tecnología. La mano de obra para dar las reparaciones forma parte de la plantilla de la empresa que en su UEB de Mantenimiento tiene la estructura necesaria para acometerlos, con la nueva tecnología se pronostica una disminución de dichos gastos, esto se refiere a la brigada de mecánicos de celdas (encargados del mantenimiento de las celdas), taller de la goma (engoman los repuestos específicos de las celdas), e incluso la brigada de mecánica, representando un ahorro de \$128609.98.

### 3.4.3 Otros gastos.

- Se reducen los gastos adicionales por medios de protección ya que no será necesario el uso de medios individuales de protección, tales como caretas y filtros especiales para mercurio y materiales para el aseo personal que representan un valor de \$38600, así como se disminuye el pesquisaje profiláctico en el Profilatorio Nacional Obrero por concepto de lo cual se incurre en un gasto de \$8400.

- Se reducen los gastos del monitoreo medio ambiental en \$35000 aproximadamente cada 5 años para el estudio de la contaminación de los sedimentos del fondo del río Sagua la Grande y la Bahía de Isabela de Sagua, especies marinas, aguas superficiales y subterráneas.
- Los demás gastos pueden considerarse similares para ambas tecnologías.

### **3.5 Análisis de inversión de la nueva instalación industrial para la producción de Cloro y Sosa en el Polo Petroquímico de Cienfuegos.**

La valoración económica es parte fundamental del Análisis de un Proceso y en la mayoría de los casos es quien determina si se debe o no acometer una inversión.

El análisis técnico-económico permite determinar si la inversión proyectada es capaz de satisfacer los requerimientos que la han originado y si la misma es factible económicamente, valorando objetivamente los resultados y determinando cuáles son los factores que más afectan su eficiencia económica.

Los métodos para estimar costos son muy importantes en el cálculo de la factibilidad económica de un proyecto y en la toma de decisiones cuando hay varias alternativas; además los costos de inversión y de producción estimados son utilizados en el cálculo de indicadores económicos.

Considerando como base del análisis la estrategia inversionista desarrollada por el MINBAS y la empresa mixta CUVENPEQ surgida en el marco de los acuerdos del ALBA, se estimó un costo de inversión inicial de adquisición de equipamiento de 150 000 000.00 USD. Sobre esta base se realiza el análisis económico.

### 3.5.1 Análisis Económico.

#### Costos directos de inversión:

	%	
	---	
Equipamiento		\$150 000 000
Instalación de equipos	35	\$ 52 500 000.00
Tuberías	10	\$ 15 000 000.00
Instrumentación y control	6	\$ 9 000 000.00
Instalaciones eléctricas	8	\$ 12 000 000.00
Edificaciones y procesos auxiliares	10	\$ 15 000 000.00
Facilidad de servicios	40	\$ 60 000 000.00
Terreno	4	\$ 6 000 000.00
		$\Sigma = \$169 500 000.00$

#### Costos Indirectos:

Índice	% de CD	
Ingeniería y supervisión	2%	\$ 3 390 000.00
Gastos de construcción	7%	\$ 11 865 000.00
Contingencias	5%CFI	-----
		$\Sigma = \$ 11 865 000.00$

#### Capital fijo invertido: CFI

$$\text{CFI} = \text{CD} + \text{CI}$$

$$= \$ 169 500 000.00 + \$ 11 865 000.00 + 5\% \text{ CFI}$$

$$= \$ 181 365 000.00 + 5\% \text{ CFI}$$

$$\text{CFI} = \$ 190 910 526.3$$

$$\text{Capital de trabajo} = 10\% \text{CTI}$$

#### Costo Total Invertido: CTI

$$\text{CTI} = \text{CFI} + 10\% \text{CTI}$$

**CTI =** \$ 212 122 807.00

**Costo de producción de la planta de Cloro Sosa**

**Base: 270 días de trabajo**

**Costos directos: CD**

**CD =**  $\Sigma$  (mp+mo+superv+utilid+mtto y reparaci+suministros+laboratorios)

1- Materia prima: mp

- Cloruro de sodio = 12 931 875.00 \$/a

2 - Utilidades

- Electricidad = 70 870.464 \$/a

2- Mano de obra: M.O

- 3 Ing químico = 500.00 \$/mes
- 15 operarios = 250.00 \$/mes

M.O = 52 500.00 \$/a

1. Supervisiones = 10% MO = 5 250.00 \$/a
2. Mantenimiento y reparación = 2%CFI = 3818210.526 \$/a
3. Suministros = 10% de mtto y reparac = 381821.0526 \$/a
4. Laboratorios = 10% de M.O = 5 250.00 \$/a

**CD = 17 265 776.58 \$/a**

**Cargos fijos: CF**

- 1- Depreciación = 10% **CFI** = \$ 19 091 052.63
- 2- Seguros = 1%**CFI** = \$ 1 909 105.263
- 3- Impuestos = 0,4%**CFI** = \$ 763 642

**CF=** \$ 21 763 799.89

**Costos Indirectos: CI**

**CI =** 50% (MO + Supervis + Mtto)

**CI =** \$ 1 943 755.263

**Gastos Generales: G.G**

- 1- Administración = 15%(MO+ Supervis + Mtto)= \$ 573 519.0789
- 2- Distribución y venta = 2%CTP
- 3- Investigación y desarrollo = 5%CTP

$$\text{CTP} = \text{CF} + \text{GG}$$

$$\text{CF} = \text{CD} + \text{CI}$$

$$\text{CTP} = 44\,674\,033.13 \text{ \$/a}$$

$\text{VP}$  = Precio de venta del Producto\*Volumen de Producción

Aquí se incluyen los volúmenes de producción de cloro y sosa cáustica.

$$\text{VP} = 65\,895\,500.00 \text{ \$/a}$$

### 3.5.2 Análisis económico por métodos dinámicos.

El análisis de rentabilidad de la inversión propuesta se realizan a través de los métodos dinámicos de análisis es decir por medio del cálculo del **(VAN)** y la **(TIR)**; para esto es necesario el valor de la inversión y el costo de producción para cada año de explotación de la planta, además se necesita conocer el tiempo de vida útil del proyecto, el capital disponible por la empresa, el préstamo que se obtiene del banco y el período en que se paga dicho préstamo, para lo que se propone una tasa de interés.

La vida útil para una planta de cloro se toma como 10 años según (Peter M. S. 1968). Se consideró que la empresa no cuenta con el capital para la inversión, el cual se obtendrá por un préstamo a pagar en un período de 8 años, según convenios, utilizándose una tasa de interés de un 12%. Con estos datos se calcula el valor que cada año debe regresar al banco (devolución financiera), a partir de la siguiente ecuación:

$$V_f = \frac{V_p (1+i)^n + i}{(1+i)^n - 1}$$

donde:  $V_f$ , devolución financiera;  $V_p$ , valor del préstamo;  $i$ , tasa de interés;  $n$ , años convenidos para el pago.

Este valor fluye en los flujos de caja de cada año del proyecto, hasta que se pague la suma total que constituye el préstamo.

El valor actual neto o valor capital de una inversión **(VAN)**, es el valor actualizado de todos los flujos de cajas esperadas es decir, es igual a la diferencia entre el valor de los cobros menos el valor actualizado de los pagos, el mismo se calcula por la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F_{mi}}{(1+r)^i} - C_o$$

donde: **C<sub>o</sub>**, costo inicial de la inversión o préstamo que se obtiene del banco;  
**F<sub>mi</sub>**, flujo de caja neto correspondiente al año **i**; **r**, tasa de interés; **n**, número de años

En términos absolutos, se podrá afirmar que un proyecto tiene que tener valor actual neto positivo para ser deseable, siendo la variante que tenga mayor (**VAN**) la preferible.

La tasa de rendimiento interno (**TIR**) es el tipo de descuento que hace equivalente los valores actuales de los flujos netos y el costo de inversión. Se trata de hallar el valor de **r** para el cual se cumple que:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F_{mi}}{(1+r)^i} - C_o = 0$$

donde: **r**, es el tipo de rendimiento interno en %.

Si **TIR** > tasa de descuento, es favorable hacer el proyecto.

Si **TIR** < tasa de descuento, no es favorable.

Si **TIR** = tasa de descuento, es indiferente.

Mediante una Hoja de cálculo del programa Microsoft Excel (Ver Anexo 1) se calcularon esos indicadores financieros, obteniéndose los siguientes resultados:

**VAN** = \$ 21 142 254.3

**TIR** = 18%

**PRD** = 8,8 años

De acuerdo a estos valores, como se puede observar la inversión en una Planta para la producción de cloro y sosa se justifica y contribuiría al desarrollo perspectiva de la industria del Plástico.

Es bueno aclarar que el período de recuperación al descontado es grande, sin embargo se justifica por la gran cantidad de dinero que se necesita invertir para este tipo de procesos con tecnologías de punta.

### **Conclusiones**

1. El desarrollo futuro de la industria de PVC y de una poderosa industria Petroquímica en el país depende de grandes capacidades de producción de cloro y sosa, con alta eficiencia y sin repercusión en el medio ambiente, donde la Empresa Electroquímica de Sagua la Grande, junto con la nueva instalación que se proyecta en Palo Alto, en Ciego de Ávila, deben desempeñar un papel fundamental.
2. La aplicación de tecnologías de punta para la producción de cloro y sosa, como lo son las tecnologías de membrana y de diafragma, contribuirá al desarrollo prospectivo de esta industria y a estar dentro de la tónica a nivel mundial para este tipo de producciones.
3. Con el trabajo se demuestra la factibilidad técnico económica para la reconversión tecnología a membranas de la Empresa Electroquímica de Sagua la Grande, dado por los siguientes factores:
  - Disminución de los impactos al medio ambiente.
  - Reutilización o venta de gran cantidad de equipos, lo que repercute en ahorros por cambio de tecnologías.
  - Disminución de daños a la salud de los trabajadores.
  - Incremento de la capacidad de producción de cloro y sosa y de otros productos.
  - Disminución en materias primas y materiales auxiliares que dejan de utilizarse con la tecnología de membranas, tales como: mercurio metálico, carbones, grafitos, ayuda de filtración y resinas.
  - La tecnología de membranas logra una reducción del índice de consumo de energía respecto a la tecnología de mercurio de 1100 Kwh/t de hidróxido de sodio.
  - Se reducen los gastos adicionales por medios de protección.
  - Se reducen los gastos del monitoreo medio ambiental.
  - Se demuestra la factibilidad técnica y económica de la reconversión propuesta.
4. La instalación de una nueva Planta para la producción de cloro y sosa en Palo Alto, Ciego de Ávila, dentro de los acuerdos del ALBA, es factible según el análisis económico realizado, con un VAN = \$ 21 142 254.3, una TIR = 18% y un PRD = 8,8 años . Es bueno señalar que el Periodo de Recuperación al Descontado es alto, pues

procesos de este tipo, con tecnologías de membranas requieren un elevado capital inicial de inversión del orden de los 200 millones de dólares (para el caso de la propuesta de CUVENPEQ).

### **Recomendaciones**

1. Estudiar con más profundidad el proceso de reconversión de la empresa Electroquímica de Sagua y de la nueva instalación productora de cloro y sosa cáustica sobre la base de las múltiples incertidumbres presentes en precios de equipamiento, posibles suministradores y posibles esquemas tecnológicos a emplear.
2. Realizar un trabajo que incluya la integración material y energética de las plantas productoras de cloro y sosa, de PVC y sus derivados.

**Bibliografía**

1. Alexeiv, V. N. Análisis cuantitativo. (1988).
2. Autran, L. F. y otros. Evaluación y decisión multicriterio. Reflexiones y experiencias. Editorial Universidad de Santiago. Chile, 2001
3. Bed, K. J.: "Estimating performance in uncertainty", Chemical Engineering Progress, July, 23-29. 1981.
4. Barjoveam,G.: Membrane Technology in the Chemical Industry. Environmental engineering and Management Journal. V 6, No. 1, pp 75. January/February 2007.
5. Berberena González, V. Intensificación de la planta de acabado de la industria textil "Desembarco del Granma". Tesis en opción al Grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba, 1991.
6. Botta, N. Safety Technical Blog. Rosario, Argentina, 2005.
7. Caldwell, D.L. Comprehensive Treatise of Electrochemistry. (1981).
8. Carballo Lataza, J.: Estudio de Factibilidad para el cambio de tecnología de celdas de mercurio por celdas de membrana en la planta Cloro Sosa perteneciente a la empresa Electroquímica de Sagua. Tesis en opción al título de master en Economía, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, Noviembre 2005.
9. CUVENPEQ. Estrategia Inversionista del Complejo Petroquímico de Cienfuegos. Presentación UCLV, febrero, 2008.
10. Chaviano, L. J. Pedraza Garciga, E González Suárez., N. González Suárez .Minimización de la incertidumbre del impacto ambiental de la producción de PVC en Cuba. MEDIO AMBIENTE SIGLO XXI. Santa Clara, ISBN: 959-250-033-9. Cuba, 2001.
11. Ente Vasco de Energía. (EVE). Implantación de la Gestión Energética Integral. Marzo 1999.
12. Fernández M. Tecnología y gestión del Medio Ambiente. Desarrollo Sostenible y Planificación Energética. EOI-AMERICA/ESIB, 2000.

13. Fyir, Ch.: ABC of Chlor –Alkali: Additional demand, Balance of Chlorine and caustic, cycles in demand. The 2005 US chlor álcali Conference. Houston Nov, 2005 UNEP. Global Mercury Assessment .Geneva. Switzerland, 2002.
14. Galián Barreyro, C. E.: Vías para la asimilación de tecnologías resultado del conocimiento de la industria química a través de los Parques Tecnológicos en la colaboración sur –sur. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Cuba, 2006.
15. Gallane, P. Tratato di Ingegneria Electrochimica. (1973).
16. Gallardo Aguilar, I. Análisis de alternativas para la ampliación y reconstrucción de fábricas en la industria del papel. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 1990.
17. García Ara, Leoncio J.: Actuaciones para la minimización del impacto del vertido de sustancias peligrosas en la Industria Química. Jornadas ADECAGUA, 2002.
18. González Cortés, M. “Impacto global de una tecnología más limpia en la fabricación de papel para ondular”. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2004.
19. González S, E., González R, V., Schuart, L. Aspectos técnico – económicos en la proyección de Plantas Químicas. UCLV. Santa Clara. Cuba, 1987
20. González Suárez, E. J. Turrado Saucedo, M. C. Area, L. A. Lozano Uribe. La gerencia de conocimientos mediante la aplicación del análisis de procesos. Cu.03013. ALTEC 2003. ISBN 970-31-0265-4. México. 2003.

21. González Suárez, E. U Hauptmanns. Minimización de la incertidumbre en la evaluación de la calidad de la Gestión Ambiental cuando se usa la biomasa como fuente para la obtención de productos químicos. Centro Azúcar 1, ISSN: 0253-5777. 2003.
22. González Suárez, E. Los estudios previos para minimizar la incertidumbre en la absorción (asimilación) de tecnologías que emplean la biomasa como fuente de productos químicos y energía. Editado por CYTED. Páginas 154. ISBN: 959-16-0305-3. Buenos Aires, 2005.
23. González Suárez, E., N. González Suárez, C. E. Galián, L. M. Peralta Suárez. Impacto de las Consultarías de Innovación en el desarrollo de la industria química y fermentativa, mediante la transferencia de tecnologías a la industria. Jornadas Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Posadas, Misiones, Argentina. Noviembre 2007.
24. González Suárez, N. Algunas consideraciones acerca de la Planta Cloro Sosa. Ponencia. Unión de Empresas de Fertilizantes. MINBAS. La Habana. 1984.
25. González Suárez, N. Análisis de la Capacidad de Producción Potencial de la Planta Cloro Sosa. Informe para Encuentro sobre Explotación de Plantas. MINBAS. La Habana. 1985.
26. González Suárez, N. Estrategia de reconversión de una instalación de la industria química. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, 2008.
27. González Suárez, N. Lothar Schuart, Marlen Morales Zamora, Erenio González Suárez. Aplicación del análisis de procesos en la asimilación de nuevas tecnologías para la modernización en el caso de alto deterioro del estado técnico de la instalación. XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering and V Argentinean Congress of Chemical Engineering (ICCE-ACCE 2006). Buenos Aires. 1 al 4 de October del 2006.
28. González Suárez, N., E. González Suárez. Aplicación del Análisis de Procesos en la Asimilación de nuevas tecnologías para la modernización

- en el caso de alto deterioro del estado técnico de una instalación. Revista Tecnología Química. Vol. XXVII, No. 1, 2007, pp. 5-9 ISSN 0041 – 8420.
29. González Suárez, N., Julia Carballo Lataza, Marlén Morales Zamora, Erenio González Suárez. Estudio previo inversionista para minimizar la incertidumbre en la modernización de una instalación industrial. XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering and V Argentinean Congress of Chemical Engineering (ICCE-ACCE 2006). Buenos Aires. 1 - 4 October 2006.
30. González, E. Aplicación del Análisis de Procesos a la intensificación de diferentes industrias en Cuba. Disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias. Santa Clara, UCLV, Cuba. 1991.
31. Heitz, E. And Kreysa, G. Principles of Electrochemical Engineering. (1986).
32. Hermana, T. E. Recuperación de Mercurio en aguas residuales. Metalurgia y Electricidad, Nro. 4, pág. 27.1978.
33. Iln, I. A. Ryaboschaspko: Heavy metal contamination in European and Hemispherical Scal. EMEP. Status Report pp 16. 3/2002.
34. Kafarov, V.; Meshalkin, V.; Badell, M. Análisis y Optimización de la producción de Cloro y Sosa Cáustica. Revista Química., Vol. XVI, Química. No.2.Noviembre. Pág.5. La Habana. 1986.
35. Kanunians, I. L. Diccionario Químico enciclopédico. (1983).
36. Kinsey, J. S. Characterization of Mercury Emissions at a Chlor –alkali Plant, volúmenes I and II. U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, Research Triangle Park, NC, EPA-600/R-02007a y EPA-600/R-02-007b.2005.
37. Kleij, M.J. Mercury removal by activated carbon in salt electrolysis. Norit. N.V. Report, The Netherlands.1983.
38. Laborde, M. Producción y purificación de hidrógeno a partir de bioetanol y su aplicación en Pilas de combustibles, ISBN:987-05-1795. Buenos Aires, 2006.

39. Lauchy, A. La incertidumbre económica en las inversiones de Plantas Químicas a partir de biomasa. Centro azúcar, 1-2003.
40. Ley Chong, N., Contribución a los métodos de asimilar tecnologías, aplicado a un caso de producción de biocombustibles. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Cuba, 2006.
41. Lindley, Dr Andrew A. An Economic and Environmental Analysis of the Chlor Alkali Production Process. Mercury Cells and Alternative Technologies. Prepare for the European Commission (DG III C-4, Chemicals, plastics, rubber). Final Report 30 June 1997
42. Lodos, J.T., Vigil, E. Hydrogen as an energy carrier for developing countries. Pp 3-9. HYPOTHESIS, Habana, 2005.
43. Mac Ketta, John and Cunningham, William. Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Editorial McGraw Hill, USA, 1980.
44. Macchi, G. and others. Optimization of mercury removal from Chloralkali industrial wastewater by starch xantate. Environmental Technology Letters, Vol.6, pág.369.1985.
45. Medel Pacheco, F. Alternativas Técnico Económicas de diversificación del Ingenio San Javier, Informe al gobierno de la Provincia de Misiones, Posadas, Argentina, Noviembre del 2005.
46. Medellín Cabrera, E. L. R. Vega González: Evaluación de Tecnología: Herramienta de Gestión Útil para la Transferencia. Conferencia en I Jornadas Iberoamericanas de Absorción (Asimilación) de Tecnologías Empleando Biomasa. La Antigua (Guatemala), Junio 28 a Julio de 2004.
47. Mendevedeff, M Universidad Nacional de Misiones, Argentina. Con la tesis: Posibilidades microbiológicas, tecnológicas y económicas de producción de un Agente fungicida empleando materias primas disponibles a bajo costo en Argentina, Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Cuba, 2007.

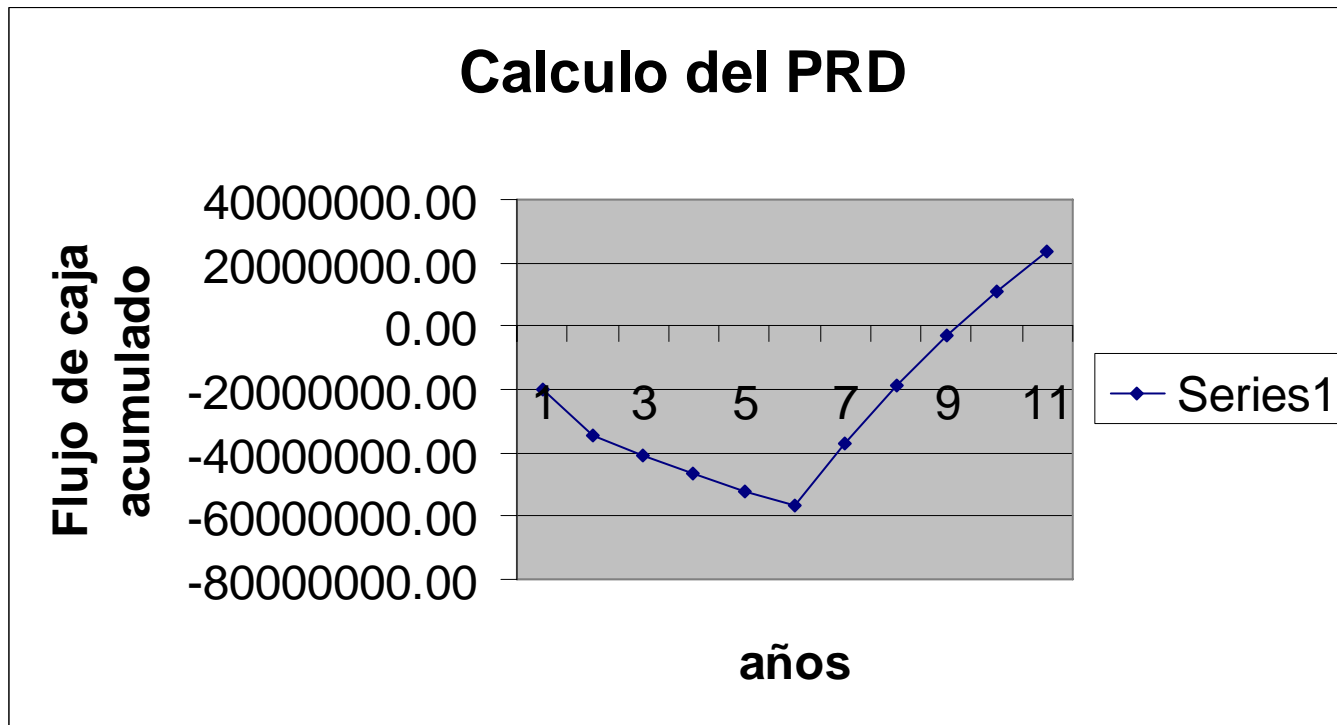
48. Mercado, A., P. Testa. Tecnología y ambiente. El desafío competitivo de la industria química y petroquímica venezolana. Fundación POLAR. ISBN: 980379035-8.pp372. Caracas, 2001.
49. Mercury to membrane conversion Project. Budgetary Price Offer. CAC Nro: 3811341 - Rev.0. December, 2005.
50. Ministerio de Economía y Planificación. Metodología para la evaluación de los Estudios de Factibilidad de las Inversiones en Industrias. La Habana, 1976.
51. Nordic Council of Ministers. Mercury a global pollutant requiring global initiatives. Copenaghe, Pág. 69. 2002.
52. Office of Industrial Technologies. Advanced Chlor-Alkali Technologies. Energy Efficiency and removable energy U.S. Department of Energy. January 2002.
53. Pedraza Garciga, J. Vías para la minimización de la incertidumbre en los parámetros de diseño de una instalación de la industria química. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba, 1997.
54. Pereira, S., K.V. Peinemann. Membrane technology in the Chemical Industry. Environmental Engineering and Management Journal. Vol 6, Nro. 75-76. January/February.2007. Timofieyer; A. F. Higiene del Trabajo en la producción electrolítica de Cloro y Sosa Cáustica; Editorial Jimia, Moscú.1985.
55. Prías Caicedo, O. F.: Gestión estratégica integral de la eficiencia energética en ambientes competitivos". Tesis en opción al título de magíster en Eficiencia Energética. Universidad "Carlos Rafael Rodríguez", Cuba, Abril 2006.
56. Rajan, G.G., "Optimizing Energy Efficiencies in Industry". Editorial McGraw Hill, USA, 2003
57. Regalado Cipriano, N. Alternativas tecnológicas y energéticas para la intensificación de la industria cerámica en Cuba. Tesis en opción al Grado

- científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba, 1992.
58. Rodríguez Rico, I. Determinación de las condiciones óptimas de operación de la Planta de Pulpa del combinado de Papeles Blancos de Jatibonico. Tesis en opción al Grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba, 1988.
59. Rosa Domínguez, E. Metodología para el análisis de alternativas inversionistas en la industria de procesos químicos considerando la incertidumbre en la fiabilidad de los equipos. Tesis de disertación en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 1996.
60. Rudd, D.F. C.C. Watson: “Strategy of Process Engineering”. E. R., pp. 269/273. La Habana, 1980
61. Sánchez Machado, R. Evaluación de proyectos de inversión, Curso para Diplomados y Maestrías, Universidad Central de Las Villas, Cuba. Septiembre 1998.
62. Sapag Chain, N.: Evaluación de proyectos: no solo una cuestión de números, Universidad de Chile, p.17, 197pp. Chile, 1994.
63. Schneiders, K.; Luke B. Safety and economy of membrane cells. UHDE, Electrolysis Department, Germany International Chlorine Symposium, London. 1991
64. Sinibaldi, M. Silvia. La industria de cloro álcali. Documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles aplicables a la industria. ISBN: 84-393-6100-9. Julio 2003.
65. Suárez Suárez, A.: Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa, Ediciones Pirámide S.A., p.123, 878 pp, Madrid, España, 1993.
66. Urquijo, J. L. Análisis de proyectos, Ediciones Deusto, Madrid, España, 137 pp., 1993.
67. Viego, P.: Gestión energética empresarial. Editorial Universidad de Cienfuegos. 2002.

68. Vizzio, Miguel A “Estudio de Caso: Ordenamiento de la Formulación, y Evaluación Financiera”. Editora: Maestría en Formulación, Evaluación y Administración de Proyectos de Inversión. Córdoba, Argentina, 1996.
69. Wright, J: Caustic soda Business Review .The 2005 US Chlor alkali Conference. Houston Nov, 2005.
70. [www.navactiva.com](http://www.navactiva.com)

### Anexo # 1

VAN 21,142,254.30 USD  
TIR 18%  
PRD 8,8 años





## Anexo # 2 Sistemas que se añaden y se sustituyen

