

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

**Mejora en el suministro de energía para un sistema de
electrólisis en la producción de hipoclorito de sodio**

Trabajo de Graduación presentado para optar al grado académico
de Licenciado en Ingeniería Química

Lilian Beatriz Batres Villagrán

Guatemala

2005

BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

**Mejora en el suministro de energía para un sistema de
electrólisis en la producción de hipoclorito de sodio**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

**Mejora en el suministro de energía para un sistema de
Electrólisis en la producción de hipoclorito de Sodio**

BIBLIOTECA

D E I

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de Graduación presentado para optar al grado académico
de Licenciado en Ingeniería Química

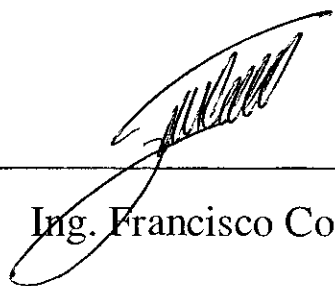
Lilian Beatriz Batres Villagrán

Guatemala

2005

Vo. Bo. :

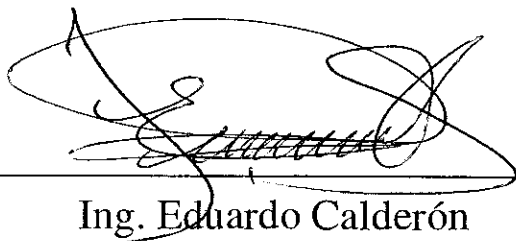
(f)



Ing. Francisco Contreras

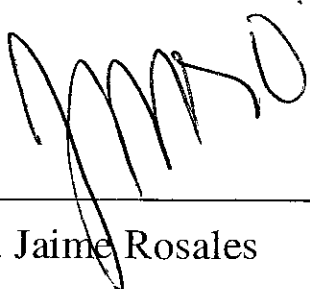
Terna Examinadora:

(f)



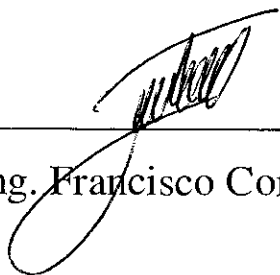
Ing. Eduardo Calderón

(f)



Ing. Jaime Rosales

(f)



Ing. Francisco Contreras

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
III. JUSTIFICACIÓN	33
IV. OBJETIVOS	34
V. PROBLEMA A RESOLVER	35
VI. METODOLOGÍA.....	36
VII. RESULTADOS	37
VIII. DISCUSIÓN	44
IX. CONCLUSIONES.....	57
X. RECOMENDACIONES.....	58
XI. BIBLIOGRAFÍA	59
XII. APÉNDICE Y ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Comportamiento de descomposición del hipoclorito de sodio en diferentes condiciones de concentración inicial de cloro y condiciones de almacenaje.	5
Tabla No. 2 Agentes del Mercado Mayorista	21
Tabla No. 3 Listado de los generadores de electricidad en Guatemala	24
Tabla No. 4 Listado de comercializadores de energía eléctrica para Guatemala	24
Tabla No. 5 Listado de grandes usuarios de energía eléctrica en Guatemala.....	25
Tabla No. 6 Listado de distribuidores de energía eléctrica en Guatemala.....	26
Tabla No. 7 Listado de los transportistas de electricidad en Guatemala	27
Tabla No. 8 Requerimiento total de potencia para el sistema del electrolizador.....	37
Tabla No. 9 Suministro actual de energía eléctrica para el sistema del electrolizador....	37
Tabla No. 10 Resumen de análisis costo beneficio de las distintas opciones de mejora al suministro de energía eléctrica.....	40
Tabla No. 11 Equipo requerido para la realización de la fase 2 del proyecto, Instalación de un UPS en la línea de suministro.....	43
Tabla No. 12 Ficha técnica del electrolizador	61
Tabla No. 13 Ficha técnica del rectificador	61
Tabla No. 14 Corriente requerida por electrolizador	62
Tabla No. 15 Relación entre la densidad de corriente y el sobre potencial aplicado a un sistema de óxido reducción de agua y cloro.....	63
Tabla No. 16 Resumen de cálculo de voltaje requerido por celda del electrolizador.....	64
Tabla No. 17 Histórico de paros menores sufridos en el electrolizador.	65
Tabla No. 18 Composición de paros causados por defectos en el suministro eléctrico. .	65
Tabla No. 19 Componentes del electrolizador.....	65
Tabla No. 20 Costo del deterioro forzado.....	66

Tabla No. 41	Flujo de caja para proyecto de instalación de un UPS después de haber instalado una línea dedicada que provee el 27 % de eliminación de los defectos en el suministro.....	81
Tabla No. 42	Análisis costo beneficio de la instalación de un UPS posterior a la instalación de una línea dedicada entregando un 27 % de reducción de defectos en el suministro de energía eléctrica.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Diagrama de la celda electroquímica para producción de cloro e hidróxido de Sodio.....	8
Figura No. 2 Diagrama de flujo cualitativo de la producción de hipoclorito de sodio.....	11
Figura No. 3 Circuito de carga de un capacitor	13
Figura No. 4 Circuito de descarga de un capacitor.....	13
Figura No. 5 Composición de la producción de energía por tecnología.....	22
Figura No. 6 Promedio de precios de energía eléctrica en el Mercado Spot.....	28
Figura No. 7 Diagrama de bloques del rectificador.....	61

RESUMEN

En la planta de producción de hipoclorito de sodio se utiliza como método de producción la electrólisis de salmuera, utilizando un ánodo de titanio y un cátodo de níquel. El electrolizador consume 950 kW h de energía eléctrica. El equipo está diseñado para operación continua, y se recomienda parar el equipo como máximo dos veces al año. La planta de producción se encuentra en el departamento de Escuintla donde el suministro de energía eléctrica se ve afectada por micro cortes, provocados por variaciones en el voltaje y desfase de las líneas. En promedio se sufren alrededor de 55 micro cortes mensuales, los cuales inciden en paros menores en el equipo que equivalen a un mínimo de 30 minutos para lograr la estabilización y arranque del equipo, lo que anualmente tiene un impacto de 333 horas de paro.

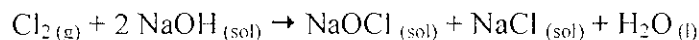
Se determinó que actualmente las pérdidas totales inflingidas por la calidad del suministro de energía eléctrica suman un total de Q 740,250 anuales equivalente al 14 % de la factura anual de electricidad. Esto se desglosa en un 52 % debido a pérdida de capacidad de producción, 30 % por el deterioro forzado que sufre el equipo, 14 % por pérdida de productividad de la operación y un 4 % debido a compras externas de hipoclorito. Para eliminar dicho problema se hicieron tres propuestas como solución, la instalación de un equipo de UPS, por sus siglas en inglés significa suministro de energía sin interrupciones, industrial en la alimentación del electrolizador, la instalación de una línea de alimentación exclusiva desde la subestación que provee la electricidad hacia la planta y la instalación de un generador de combustión.

Posterior al análisis de las propuestas se recomendó la instalación de una línea dedicada y posterior a su instalación medir el índice de mejora, y si éste es menor al 27% proseguir a la instalación de un UPS.

I. INTRODUCCIÓN

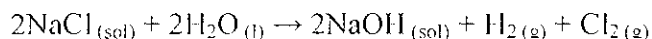
El hipoclorito de sodio tiene un amplio uso como blanqueador y también como desinfectante, tanto a nivel industrial, como en el hogar. El término de hipoclorito se utiliza para todas las sales del ácido hipocloroso, compuesto que tiene poca aplicación debido a su alta inestabilidad. La comercialización de hipoclorito inició en 1972 en Francia. El método de producción inicial era mediante la absorción de cloro en una solución débil de hidróxido de potasio, que por costos se sustituyó por hidróxido de sodio. Hoy en día la producción de hipoclorito de sodio todavía se lleva a cabo mediante la reacción entre cloro e hidróxido de sodio, obteniendo una concentración entre un rango de 5.25 a 15.75 % fracción en masa de hipoclorito de sodio acorde a la siguiente reacción:

Ecuación No. 1



En la planta de fabricación de hipoclorito de sodio, tanto el cloro como el hidróxido de sodio se producen mediante la electrólisis del cloruro de sodio, como se presenta en la siguiente reacción:

Ecuación No. 2



El equipo de electrólisis consume aproximadamente el 1 % del total de energía eléctrica que se comercializa en el mercado spot de Guatemala, lo que coloca a la empresa entre la clasificación de grandes usuarios de energía. El mercado spot es el término utilizado para describir transacciones basadas en una entrega inmediata de producto, esta determinado por la oferta y demanda horaria del mismo, es una forma de mercado flexible que permite que se acomode la negociación a los picos de demanda que sufren bienes tales como la electricidad.

La energía eléctrica constituye casi el 80 % del costo total de manufactura del hipoclorito de sodio, por lo que se vuelve un elemento clave del proceso de producción. Actualmente el mercado de energía eléctrico guatemalteco no puede garantizar un flujo constante de corriente, por lo que la calidad del fluido eléctrico se ve afectada por variaciones, micro cortes y cortes. El equipo de electrólisis es altamente sensible a la corriente eléctrica, dado a que es el elemento clave de su funcionamiento. Esto incide directamente en el proceso de producción de hipoclorito de sodio como una merma en un 5 % en la productividad de la planta.

Este trabajo tuvo como objetivo encontrar una solución a la problemática de suministro energético actual. El principal reto se presentó dado a que no hay muchos equipos con requerimientos energéticos tan elevados, por lo que se ha tenido que proponer una solución de tecnología personalizada a las necesidades del electrolizador. El factor determinante para la elección de una de las opciones propuestas a lo largo del trabajo fue la rentabilidad del proyecto y el valor actual neto de la inversión.

II. ANTECEDENTES

A. Electroquímica

La electroquímica comprende los procesos de conversión química que se basan en el uso de la electricidad para inducir reacciones de óxido reducción con base en los potenciales de reacción. Sus aplicaciones principales incluyen la fabricación de cloro, hidróxido de sodio, aluminio, cobre y magnesio. El corazón de este proceso es la celda electroquímica, que es un sistema de corriente directa aplicada a través de un ánodo y un cátodo, este es el equivalente al reactor. La restricción de un proceso electroquímico es que las reacciones de óxido reducción deben llevarse a cabo a la misma velocidad de transferencia de carga y los iones producidos en la reacción deben transferirse a través del sistema a la misma velocidad, esto es para mantener el balance de cargas a través de la reacción. Además debe existir una forma de remover los productos constantemente del sistema, esto generalmente se realiza mediante el uso de membranas que facilitan la separación de los productos. (Jackson & Moran, 2001)

Por la naturaleza del proceso, toda reacción electroquímica produce dos productos, uno en el cátodo y otro en el ánodo y en la mayoría de los casos los productos que se obtienen son de un alto grado de pureza. Por regla general, la electricidad tiende a ser componente de mayor impacto al costo de producción, por ende se considera como un factor crítico tanto en el diseño como mantenimiento del sistema. (Jackson & Moran, 2001)

Para determinar el requerimiento energético de un sistema de electrólisis se debe cuantificar tanto la corriente como el voltaje necesario para llevar a cabo la reacción. El requerimiento de corriente se basa en el balance de energía de las reacciones de óxido reducción. Siempre se debe hacer un ajuste para compensar la eficiencia de la corriente causada por reacciones paralelas, o ineficiencias en transferencia de corriente a través de los contactos. El requerimiento de voltaje se ve afectado por el potencial de reacción de la

celda, la densidad de corriente, el sobrevoltaje, la resistividad del electrolito y la existencia de separadores en la celda. El potencial de reacción es un dato teórico que se corrige mediante la aplicación de un factor de sobrevoltaje. El sobrevoltaje se determina en base a la actividad electroquímica del sistema, la facilidad de transporte de los iones a través del electrolito, las condiciones de proceso, y la densidad de corriente. El sobrevoltaje generalmente se encuentra entre el 20 % y 55 % del potencial de la reacción, dependiendo de los factores listados anteriormente. La resistividad del electrolito es afectada por la concentración de iones conductivos, el espaciamiento entre los electrodos y la conductividad de la solución. La resistividad de la solución se calcula en base a la ley de Ohm. Al integrar todos estos factores se puede determinar el voltaje que consumirá una celda, y con la corriente se determina el requerimiento energético del sistema. (Jackson & Moran, 2001)

B. Producción de hipoclorito de sodio

1. Propiedades del hipoclorito de sodio. El hipoclorito de sodio (NaOCl) es un líquido amarillo verdoso con un leve aroma a cloro que se caracteriza por ser un agente oxidante que reacciona de forma violenta con ácidos para producir gas cloro. (Perry, 1999)

Se les denomina hipocloritos a las sales del ácido hipocloroso, compuesto que tiene poca aplicación dado a su inestabilidad. Los factores que tiene más impacto sobre la descomposición incluyen: la concentración de hipoclorito de sodio, la alcalinidad de la solución, la temperatura (tanto de preparación como de almacenaje), concentración de impurezas, exposición a la luz, fuerza iónica de la solución, y el contacto con impurezas orgánicas. Entre más concentrada esté una solución de hipoclorito de sodio, su tendencia a la descomposición será mayor. En cuanto a pH se pueden obtener las soluciones más estables de hidróxido de sodio en un rango de 11 a 13, además el exceso de hidróxido de sodio permite reducir el impacto de la luz en la velocidad de descomposición del hipoclorito de sodio, aunque a la vez, si se adiciona en exceso, retarda la acción del mismo e incrementa los daños a textiles. Entre mayor sea la temperatura de exposición

del hipoclorito incrementa su descomposición, además la presencia de metales tales como el cobalto, cobre y níquel provocan la descomposición catalítica de la solución. (OxyChem, 2004)

Tabla No. 1 Comportamiento de descomposición del hipoclorito de sodio en diferentes condiciones de concentración inicial de cloro y condiciones de almacenaje.

% Inicial de cloro disponible	Condiciones de almacenaje	Tiempo de descomposición		
		Tiempo de vida (días)	% de Cloro disponible	% de reducción
18.0	Temperatura ambiente	60	9.0	50%
		10	15.0	10%
16.7	26.7 °C	25	13.4	20%
		43	11.7	30%
16.0	25 °C	61.7	8.0	50%
	4 °C	200	5.0	0%
5.0	24 °C	22	5.0	1%
		43	4.5	10%
		85	4.0	20%
		200	3.4	33%
3.0	Temperatura ambiente	1700	1.5	50%

El hipoclorito de sodio generalmente no es compatible con metales y es altamente reactivo con peróxidos, sales metálicas y agentes reductores. Su aplicación principal es de bactericida, es un blanqueador y desinfectante doméstico. (Perry, 1999)

2. Proceso de producción. La mayoría de los procesos de producción de hipoclorito de sodio se basan en la reacción entre gas cloro e hidróxido de sodio. La variable que determina la concentración final del hipoclorito de sodio es la concentración de la solución de hidróxido de sodio que se alimente a la reacción. El hipoclorito de sodio

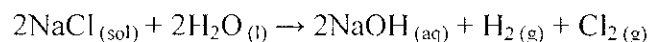
también se puede producir mediante la adición de cloro a carbonato de sodio, aunque esta vía de producción es menos estable. (Perry, 1999)

En el caso de producción de hipoclorito de sodio llevado a cabo en este estudio se utilizan dos fases para su producción. La primera fase consiste en la producción de gas cloro e hidróxido de sodio por medio de la electrólisis de salmuera. La segunda fase consiste en la combinación del gas cloro (Cl_2) e hidróxido de sodio (NaOH) en un reactor empacado para producir el hipoclorito de sodio (NaOCl). (Perry, 1999)

La ventaja de la producción de utilizar electrólisis en el proceso de producción de hipoclorito de sodio es que no se requiere contar con un sistema de transporte o almacenaje de hipoclorito de sodio. Este sistema permite la producción de hipoclorito de sodio en el sitio, permitiendo mantener bajos inventarios de producto, y un tiempo relativamente corto de permanencia previo a su dilución, lo que reduce pérdidas de producto por su degradación. Otra ventaja del uso de electrólisis es que se utiliza el cloro para reducir el pH y no se requiere del uso de un ácido adicional. Aunque se debe considerar que el mantenimiento y compra de un sistema de electrólisis es sumamente costoso. Por lo que se debe evaluar el volumen de producción para la rentabilidad de dicho proceso. (OxyChem, 2004)

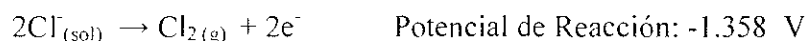
La electrólisis consiste en descomponer la sal en sus elementos, sodio y cloro, por medio del paso de corriente eléctrica a través de la solución. Se produce gas cloro, soda cáustica e hidrógeno en una proporción de 1/1.13/0.028, esta proporción es la unidad electroquímica (ECU) de la reacción. (Perry, 1999)

La electrólisis consiste en el proceso de inducir cambios químicos en una solución, por ejemplo la separación de un compuesto iónico, por medio de exposición a la electricidad. Durante la electrólisis de la salmuera se generan tres productos principales; hidrógeno (H_2) (cátodo), que se forma en el electrodo negativo; gas cloro (Cl_2) que se genera en el electrodo positivo (ánodo) e hidróxido de sodio. El balance general de la reacción se presenta a continuación:

Ecuación No. 3

(Perry,1999)

La reacción que se lleva a cabo en el ánodo es la siguiente:

Ecuación No. 4

(Perry,1999)

La reacción que se lleva a cabo en el cátodo es la siguiente:

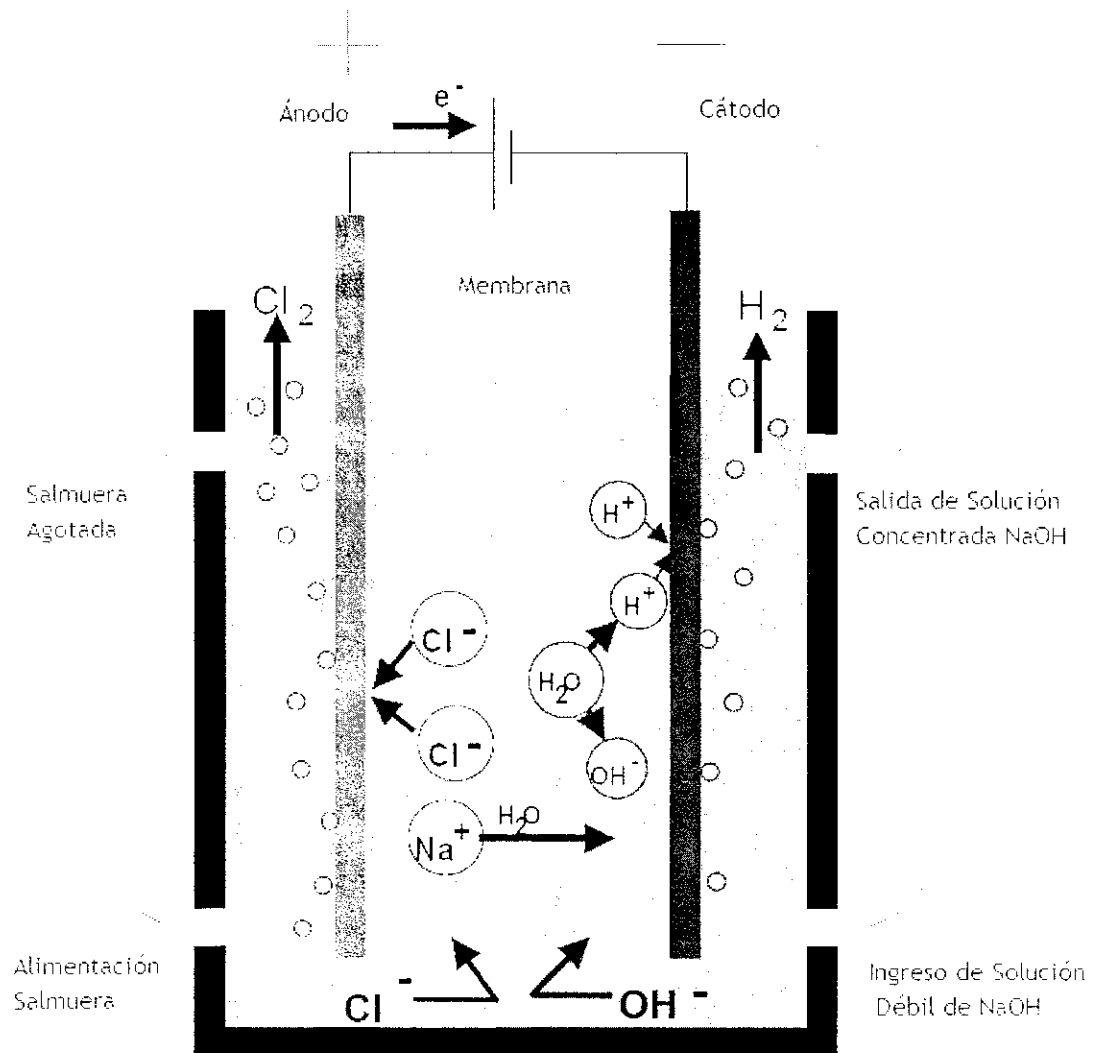
Ecuación No. 5

(Perry,1999)

Lo que determina la eficiencia y la calidad de la reacción llevada a cabo en el electrolizador es la pureza de la alimentación y el control de las condiciones de operación. Los principales componentes del electrolizador son el ánodo, cátodo y membrana de separación. En el compartimiento del ánodo se alimenta salmuera concentrada (aproximadamente a 300 g/L), donde se oxida según la ecuación No. 4, y se libera salmuera agotada. Luego en el compartimiento del cátodo se alimenta una solución de hidróxido de sodio débil, esto con el propósito de favorecer el equilibrio de la reacción y ocurre la reducción del agua acorde a la Ecuación No. 5. Los productos del ánodo son el gas cloro e iones sodio que migran a través de la membrana hacia el lado del cátodo. Los productos del cátodo son el gas hidrógeno y los iones hidróxido que se combinan con los iones sodio para producir hidróxido de sodio. La membrana funciona como un separador semipermeable gas – líquido para no permitir la mezcla del gas cloro con el gas hidrógeno, además no permite la migración de los iones negativos a través de la membrana. (Bichlor Training Manual, 2001)

A continuación se presenta un diagrama de la celda electroquímica utilizada para este proceso:

Figura No. 1 Diagrama de la celda electroquímica para producción de cloro e hidróxido de sodio



(Bichlor Training Manual, 2001)

El equipo para llevar a cabo la electrólisis del cloruro de sodio debe ser diseñado de tal forma que no se combinen el cloro y el hidrógeno formados en el ánodo y cátodo respectivamente, dado a que si esto sucede, puede llevarse a cabo una reacción explosiva. El aparato cuenta con una membrana semipermeable que separa los dos electrodos, por ende a los productos reactivos de la reacción. En el proceso de electrólisis de la salmuera se reduce el agua en el cátodo dado a que es más fácil de reducir que los iones de sodio. En el ánodo se lleva a cabo la oxidación del cloro, a pesar de que el agua posee un

potencial de oxidación mayor que el del cloro, variación ocasionada por el flujo de agua hacia el cátodo. El potencial de la celda utilizada depende directamente de la corriente que fluye a través de él. (Perry,1999)

La diferencia entre el potencial de equilibrio (cuando la corriente es igual a cero) y el potencial desarrollado al pasar corriente por la celda se denomina sobrevoltaje. La magnitud de este sobrevoltaje depende de la composición del electrodo y el electrolito, así como de la corriente. Teóricamente, este proceso permite la obtención de una solución de hidróxido de sodio al 50 % (p/p) al concentrar el electrolito removido posterior a la electrólisis, que se puede concentrar por medio de evaporación del agua. En el caso de la producción de hipoclorito de sodio, la solución de hidróxido de sodio diluida se utiliza para reaccionar con el gas cloro, mientras que el hidrógeno se libera al ambiente. (Perry,1999)

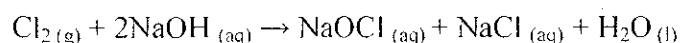
Existen tres clases de celdas electrolíticas para llevar a cabo el proceso, de diafragma, mercurio y de membrana. El equipo de electrólisis utilizado en dicha planta consiste en un conjunto de celdas compuestas por membranas de intercambio iónico, con estas membranas se puede producir hidróxido de sodio concentrado a voltajes bajos de operación. La transferencia de carga se lleva a cabo por medio del movimiento selectivo de iones de sodio a través de la membrana desde el anolito hacia el catolito. No existe un flujo de líquido a través del separador, además la membrana es impermeable hacia los iones de cloro o los iones hidróxido, por lo que el anolito no se vuelve básico. Esto presenta la ventaja que el producto cáustico se produce sin contaminación de iones de cloro. (Perry.1999)

El proceso de electrólisis que se lleva a cabo en la planta de producción de cloro se describe a continuación. Salmuera purificada por intercambio iónico es alimentado a un flujo controlado al electrolizador, pasando por un calentador / enfriador, a un tanque y a través de un filtro grueso para impedir el paso de sólidos a el electrolizador. La salmuera y la soda cáustica se alimentan a cada módulo de ánodo y cátodo mediante una

serie de tuberías flexibles. Estas tuberías alimentan a una serie de distribuidores para garantizar una distribución de flujo óptima. La salida de las tuberías se encuentra ubicada en la parte superior de los módulos para minimizar el espacio ocupado por gases sobre el área efectiva de la membrana. Gas cloro se remueve del ánodo mientras que los iones sodio migran a través de las membranas al electrolito del cátodo para combinarse con los iones de hidroxilo. El hidrógeno que se produce en el cátodo se extrae junto con la soda cáustica recombinada. (Bichlor Training Manual, 2001)

La solución de hipoclorito de sodio se produce mediante la absorción de cloro en el hidróxido de sodio.

Ecuación No. 6

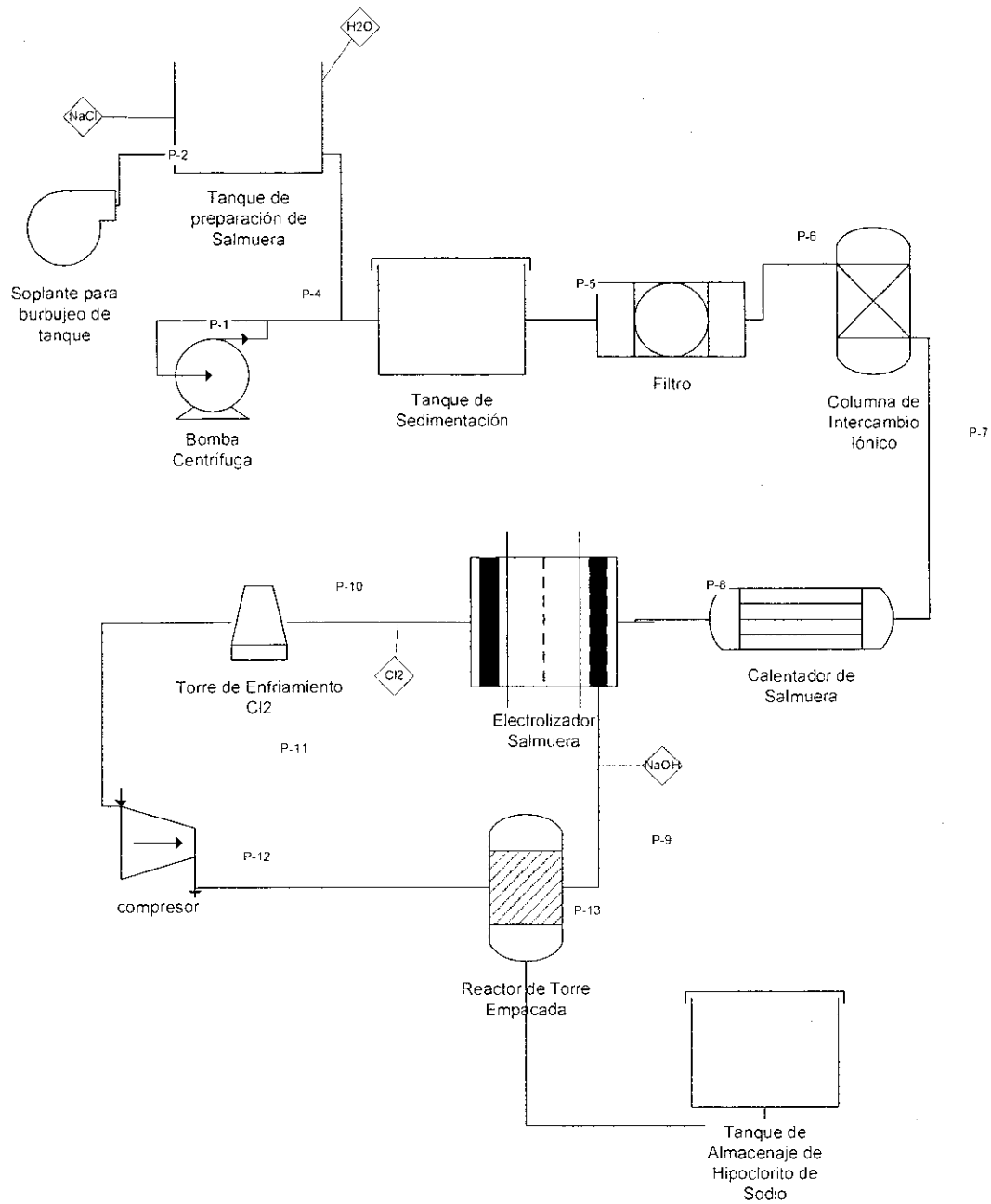


Consiste en una reacción rápida y exotérmica. Se puede llevar a cabo en una producción por lotes o en una producción continua. En general, la concentración inicial de la solución de hidróxido de sodio determina la concentración final obtenida de hipoclorito de sodio. (Perry,1999)

La fuerza de las soluciones de hipoclorito de sodio se pueden describir como porcentaje de cloro disponible y como porcentaje de hipoclorito de sodio. El término de cloro disponible se refiere a la cantidad de cloro equivalente al poder oxidante del hipoclorito presente en la solución. (Oxychem, 2004)

En la planta de cloro, la producción de hipoclorito de sodio se lleva a cabo al introducir el gas cloro y el hidróxido de sodio a un reactor de contacto. (Perry,1999)

Figura No. 2 Diagrama de flujo cualitativo de la producción de hipoclorito de sodio



Por la inestabilidad del hipoclorito de sodio, el sistema de producción debe utilizar tanques y tuberías plásticas para evitar la contaminación con metales del producto, ya que estos ocasionan una descomposición acelerada del hipoclorito. Posterior a la producción del hipoclorito se debe filtrar con un filtro de 1 o 0.5 micrones para auxiliar la eliminación de impurezas, además debe proceder a un procedimiento de sedimentación y decantación. Para la dilución del hipoclorito de sodio se debe utilizar agua suave, para no agregar impurezas adicionales al producto. (OxyChem, 2004)

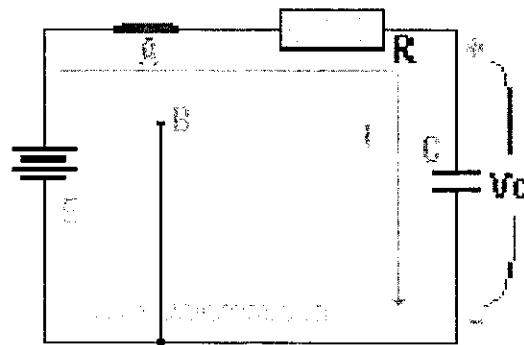
C. Electricidad

1. **Capacitares.** Un capacitor se define como todo dispositivo que puede almacenar la carga eléctrica. La capacitancia de dos conductores es la magnitud de la razón de la carga en uno de ellos a la diferencia de potencial entre ellos cuando tienen carga opuesta. La cantidad de carga de un capacitor se puede variar mediante la diferencia de potencial entre las placas del mismo. La unidad de capacitancia es el faradio (F). Los conductores que tengan una capacitancia de 1 faradio a una diferencia de potencial de 1 volt, almacenan 1 coulomb de carga. Entre los tipos de capacitores que existen se encuentran los ajustables, que son aquellos en donde la distancia entre las placas se puede regular mediante un dispositivo mecánico. Además existen los capacitores electrolíticos así como también los variables. Los capacitores pueden ser cerámicos, de papel, de papel metalizado, de plástico y de mica. (Lea & Burke, 1999)

La definición de capacitancia refleja uno de los usos prácticos de los capacitores: se aplica una diferencia de potencial conocida al capacitor, el cual entonces almacena la carga. Para cargar un capacitor, se le debe conectar una fem que suministre la energía necesaria para separar la carga en cantidades iguales positiva y negativa en los dos conductores. Inevitablemente el circuito contiene una resistencia inherente al sistema. Al cargar un capacitador se acumula hasta igualar la diferencia de potencial del capacitor con el fem de de la batería, en este momento la corriente del circuito es cero. (Lea & Burke, 1999)

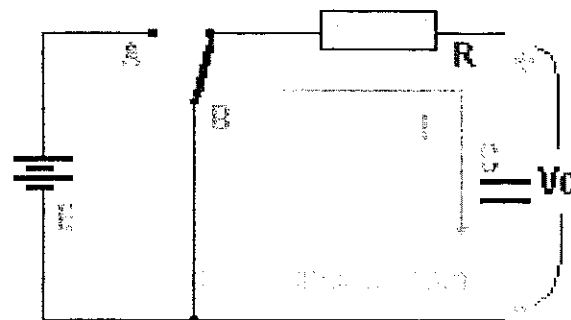
La fem efectúa trabajo para cargar el capacitor y también para impulsar a la corriente a través del resistor. El trabajo efectuado sobre el resistor se disipa en forma de calor. La energía electrostática almacenada en el capacitor es igual al trabajo efectuado en cargarlo, por lo que es directamente dependiente de la cantidad de carga. Para almacenar más energía dentro de un capacitor se debe aumentar la diferencia de potencial a través de él, diferencia que se ve limitada por el campo eléctrico que pueda manejar el capacitor sin destruirse. (Lea & Burke, 1999)

Figura No. 3 Circuito de carga de un capacitor



(www.unicrom.com. 2004)

Figura No. 4 Circuito de descarga de un capacitor



(www.unicrom.com. 2004)

Los capacitores se pueden conectar entre sí para aumentar a la vez la diferencia de potencial total y la energía total que almacena el sistema. Un capacitor conectado en

paralelo permite un aumento en la cantidad de energía almacenada sin cambiar el voltaje. Una conexión en serie permite el incremento de la capacidad de diferencial de potencial total en el sistema. Se pueden combinar sistemas conectados en serie y paralelo para alcanzar los objetivos de carga y potencial requeridos.(Lea & Burke, 1999)

El diseño de un capacitor práctico que almacene una gran cantidad de energía presenta problemas dado a que el dispositivo requiere de grandes superficies de conductores, pero a la vez la separación entre ellas debe ser mínima para ocupar un volumen razonable. Las placas cargadas de un capacitor, en un diseño de placas paralelas, se atraen entre sí, por lo que se debe incurrir en medios mecánicos para separarlas. El campo eléctrico formado entre las placas puede producir una ruptura eléctrica (ionización) del aire, que transporta carga a través del espacio, o que, cuando el voltaje es suficientemente alto, puedan producir descargas que destruyan el aparato. Todos estos problemas se resuelven colocando una capa de material aislante, o dieléctrico, entre las placas conductoras. (Lea & Burke, 1999)

2. Generadores. Una máquina eléctrica es un transformador de energía, puede ser que convierta energía eléctrica en mecánica o mecánica en eléctrica. Una máquina eléctrica que convierta energía mecánica en eléctrica se denomina generador. Casi todos los generadores convierten energía por medio del uso de un campo magnético. En la generación de energía. otro elemento clave es el transformador, herramienta que modifica el voltaje de una corriente alterna dada. Existen cinco clases principales de generadores:

Generador con excitación externa:

Son aquellos en los cuales el flujo de campo magnético se origina en una fuente de potencia externa, independiente del generador en sí mismo.

Generador en derivación:

Son aquellos en los cuales el flujo de campo se obtiene al conectar el circuito de campo directamente a través de las terminales del generador.

Generador en serie:

Son aquellos en los cuales el flujo de campo se produce conectando el circuito de campo en serie con el inducido del generador.

Generador compuesto acumulativo:

En este tipo de generador, tanto el campo en derivación como el campo en serie están presentes y sus efectos se suman.

Generador compuesto diferencial:

Estos generadores se caracterizan por que tanto el campo en derivación como el campo en serie se encuentran presentes, pero sus efectos se restan.

(Chapman, 1993)

Los generadores de circuito cerrado se comparan según sus voltajes, potencia nominal, eficiencias y regulaciones de voltaje. Los generadores se impulsan mediante una fuente de potencia mecánica que suele llamarse motor primario del generador. (Chapman, 1993)

Cuando la carga de potencia necesaria es mayor a la que sólo un generador puede producir, se debe recurrir a conectar generadores en paralelo. Los generadores, para poder ser conectados en paralelo, deben contar con características de voltaje-corriente declinantes. Si la carga del generador aumenta, entonces la corriente de carga aumenta y

la tensión terminal disminuye. La corriente en los generadores en paralelo son aditivas. (Chapman, 1993)

Los generadores sincrónicos son máquinas sincrónicas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna. El rotor de un generador sincrónico es esencialmente un gran electroimán. En general, los generadores sincrónicos se utilizan conectados en paralelo, a menos que sea un generador de emergencia. Arrancar un generador en paralelo es conveniente dado a que varios generadores pueden alimentar más carga que uno solo, además se aumenta la confiabilidad del sistema de potencia, otra ventaja es que permite que las máquinas operen cerca de su carga nominal, y por ende de forma más eficiente. (Chapman, 1993)

3.Sistema de energía eléctrica en Guatemala

En Guatemala existen tres entidades encargadas de velar por las necesidades de todos los sectores que utilizan energía eléctrica. Estas son el Ministerio de Energía y Minas (MEM), la comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y el Administrador del Mercado Mayorista (AMM). Las funciones de dichas entidades están divididas según las características de cada sector. El MEM está encargado de la elaboración de políticas, planes de Estado y programas indicativas del subsector. La CNEE es un ente fiscalizador por lo que tiene bajo su cargo la regulación de la administración de la energía. El AMM funge como un administrador de las transacciones del mercado mayorista y la operación del Sistema Nacional Interconectado (SNI). (CNEE, 2004)

a. *Ministerio de Energía y Minas.* El Ministerio de Energía y Minas (MEM) es la entidad gubernamental creada con el objetivo de promover el desarrollo de la exploración, producción y comercialización de hidrocarburos, de recursos mineros y el aprovechamiento de los recursos hidroeléctricos, termoeléctricos y geotérmicos, así como las actividades del subsector eléctrico. (MEM, 2004)

La Dirección General de Energía (DGE) es la dependencia del Ministerio de Energía y Minas, que tiene como propósito formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos promoviendo el empleo de energías renovables y el uso eficiente de los recursos energéticos para mejorar la calidad de vida de la población guatemalteca. Así como también promover las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en industria, agricultura, ambiente y salud. Estableciendo las condiciones mínimas de seguridad a fin de proteger la salud, los bienes y el medio ambiente. (MEM, 2004)

b. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) fue creada a través de la Ley General de Electricidad, contenida en el Decreto Número 93-96 del Congreso de la República, publicado en el Diario de Centroamérica el 15 de noviembre de 1996. A su vez, el Reglamento de la Ley General de Electricidad está contenido en el Acuerdo Gubernativo Número 256-97, que fue publicado en el Diario de Centroamérica el 2 de abril de 1997. (CNEE, 2004)

El objetivo principal de esta entidad es crear condiciones propicias y apegadas a la ley para que las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica sean susceptibles de ser desarrolladas por toda persona individual o jurídica que desee hacerlo, fortaleciendo este proceso con la emisión de normas técnicas, precios justos, medidas disciplinarias y todo el marco de acción que permita, a los empresarios y usuarios, condiciones de seguridad y reglas de acción claras para participar con toda propiedad en este nuevo modelo, factor fundamental en la modernización existente en torno al Subsector Eléctrico y, consecuentemente, en el desarrollo económico y social del país. (CNEE, 2004)

Los parámetros que debe controlar la CNEE son la calidad y la incidencia de la misma en la energía eléctrica. En cuanto a la calidad de energía suministrada por el distribuidor se evalúa la regulación de tensión, las fallas en el balance de tensión en servicios trifásicos, la distorsión armónica y el “flicker”. En materia de la incidencia en

la calidad de la energía eléctrica por el usuario se mide la distorsión armónica, el “flicker” y el factor de potencia. (CNEE, 2004)

Distorsión Armónica: Distorsión de la onda senoidal de corriente o de tensión eléctrica de frecuencia nominal, ocasionada por la presencia de otras señales eléctricas senoidales de frecuencias diferentes y múltiples de dicha frecuencia. (CNEE, 2004)

Flicker: Variación rápida y cíclica de la tensión, que causa una fluctuación correspondiente en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia detectable por el ojo humano. (CNEE, 2004)

La CNEE además es la encargada de realizar los estudios para verificar la capacidad disponible del sistema de transporte del fluido eléctrico. También se encarga de estudiar las corrientes de cortocircuito excesivas u otros efectos que puedan afectar la vida útil de los equipos existentes. Otro de los aspectos evaluados es la calidad del servicio prestado por los proveedores de energía, así como también monitorear los nicles de tensión como las posibles sobrecargas. (CNEE, 2004)

c. *Administrador del Mercado de Mayoristas.* El Administrador del Mercado Mayorista es una entidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre participantes del Mercado Mayorista de Electricidad, que asegura la competencia en un mercado libre, con reglas claras que promuevan la inversión en el sistema eléctrico, y que vela por el mantenimiento de la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica en Guatemala. (AMM, 2004)

En 1996, el Gobierno de la República de Guatemala puso en marcha el ordenamiento de la industria eléctrica del país, emitiendo la Ley General de Electricidad, Decreto No. 93-96 y su reglamento en el acuerdo gubernativo No. 256-97. En el artículo 44 de la Ley se crea el Administrador del Mercado Mayorista (AMM), una entidad privada, sin fines de lucro, cuyas funciones son:

- Coordinar la operación de centrales generadoras, interconexiones internacionales y líneas de transporte al mínimo costo para el conjunto de operaciones del mercado mayorista, en un marco de libre contratación de energía eléctrica entre agentes del mercado mayorista.
- Establecer precios de mercado de corto plazo para las transferencias de potencia y energía entre generadores, comercializadores, distribuidores, importadores y exportadores; específicamente cuando no correspondan a contratos libremente pactados.
- Garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica en el país.

(AMM, 2004)

Además de las funciones anteriores, el AMM debe realizar las siguientes actividades:

Programación de la operación:

El AMM es responsable de planificar anualmente la forma en que se cubrirán las necesidades de potencia y energía del sistema, tratando de optimizar el uso de los recursos energéticos disponibles. La programación anual es revisada y ajustada semanal y diariamente. (AMM, 2004)

Supervisión de la operación en tiempo real:

El AMM debe vigilar el comportamiento de la demanda y la operación del parque generador, así como del sistema de transporte. Asimismo, debe mantener la seguridad del suministro verificando constantemente las variables eléctricas del sistema y respetando las limitaciones de equipos e instalaciones asociadas. (AMM, 2004)

Administración de las transacciones:

El AMM debe cuantificar los intercambios de Potencia y Energía entre los participantes del MM y valorizarlos utilizando el Precio de Oportunidad de la Energía y el Precio de Referencia de la Potencia. Para ello, el AMM debe diseñar e implementar un sistema de medición que permita conocer en forma horaria la energía y potencia producida y/o consumida. Además, administrará los fondos que surgen de las transacciones entre los agentes que operan en el Mercado Mayorista. (AMM, 2004)

1) Agentes del Mercado Mayorista. Los agentes del Mercado Mayorista, están definidos en el artículo 5 del Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista, y son: Generadores, Distribuidores, Transportistas y Comercializadores. Además de los agentes, se define también a los Grandes Usuarios. Cualquier agente y gran usuario es llamado en general: participante. (AMM, 2004)

Los participantes del Mercado Mayorista tienen los siguientes derechos y obligaciones, definidos en el artículo 6 del Reglamento del AMM:

Obligaciones:

- No realizar actos contrarios a la libre competencia.
- Cumplir con las normas emitidas por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
- Obedecer las instrucciones de operación del Administrador del Mercado Mayorista.
- Instalar y mantener en buenas condiciones, los equipos de medición que le sean requeridos por el AMM.
- Los consumidores deben tener contratos de potencia, que les permita cubrir sus requerimientos de demanda firme.

(AMM, 2004)

Derechos:

- Operar libremente en el mercado mayorista, de acuerdo a la Ley.
- Acceso a la información sobre modelos y metodología utilizados por el AMM para la programación y el despacho.

(AMM, 2004)

Tabla No. 2 Agentes del Mercado Mayorista

Generadores:	Potencia Máxima de por lo menos 10 MW
Distribuidores:	Tener por lo menos 20,000 usuarios
Transportistas:	Potencia firme conectada de por lo menos 10 MW
Comercializadores:	Comprar o vender bloques de energía asociada a una potencia firme de al menos 10 MW
Grandes Usuarios:	Demanda máxima de al menos 100 KW

(AMM, 2004)

Generadores:

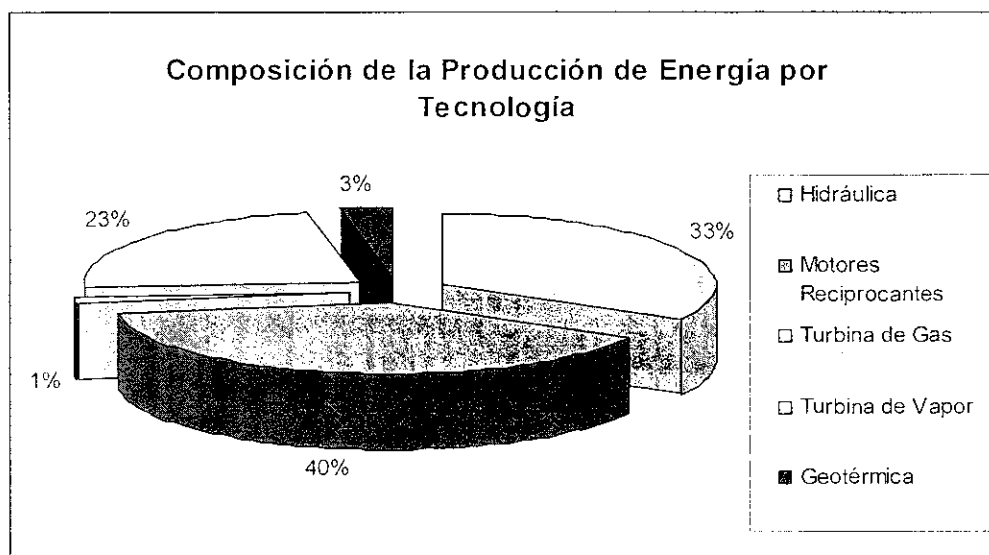
Los generadores son los encargados de la producción de energía. Son empresas dedicadas a la producción de energía eléctrica. Se pueden clasificar según la fuente primaria de energía utilizada para la generación, por el tipo de tecnología utilizado y por la operación dentro del sistema en energía eléctrica. En la siguiente figura se muestra la capacidad instalada en el sistema eléctrico nacional. (AMM, 2004)

Clasificación por fuente primaria de energía:

- Hidráulicas
- Térmicas (Bunker, Diesel, Carbón, Bagazo)
- Eólicas
- Geotérmicas

(AMM, 2004)

Figura No. 5 Composición de la producción de energía por tecnología



(AMM, 2004)

Clasificación por su operación del sistema (Utilización según la demanda de energía)

- Unidades de base
- Unidades de carga media
- Unidades de pico

(AMM, 2004)

El costo de la energía eléctrica depende del tipo de generador utilizado para la transformación de la energía. Según la necesidad del sistema se utilizan los distintos tipos

de generación de energía. La oferta de energía se construye según las características de suministro de los generadores como se puede observar en la Figura No. 5. (AMM, 2004)

Oferta base:

Es la energía producida por las unidades base del sistema, se le llama oferta base por que es una oferta constante. Las dos variables más importantes para este tipo de generación son el costo y la capacidad de producir la misma cantidad de energía de forma continua por largos periodos de tiempo. Usualmente para cubrir la oferta base se utilizan generadores vapor por ser muy robustos y tener un bajo costo de operación. Este tipo de generadores es muy poco flexible para modificar la cantidad de energía generada y tiene un alto costo el dejar de generar energía o realizar un paro en la producción. (AMM, 2004)

Oferta carga media:

Para esta categoría la flexibilidad y el costo son las variables mas importantes. Se busca tener la mayor flexibilidad al menor costo. Usualmente se utilizan hidroeléctricas para este tipo de oferta, dado que presentan una mejor capacidad de seguir la carga demandada. (AMM, 2004)

Oferta pico:

La flexibilidad y confiabilidad son las características principales para los generadores de esta categoría. Para poder suministrar electricidad en los picos de demanda se necesitan equipos que tienen un costo alto de generación. En esta categoría se encuentran los generadores que utilizan gas y los generadores por motores. (AMM, 2004)

Tabla No. 3 Listado de los generadores de electricidad en Guatemala

No.	NOMBRE
1	CENTRAL AGROINDUSTRIAL GUATEMALTECA S.A. (INGENIO MADRE TIERRA)
2	CENTRAL GENERADORA ELÉCTRICA SAN JOSÉ LTDA. (SAN JOSÉ)
3	CÍA. AGRÍCOLA INDUSTRIAL SANTA ANA S.A.
4	COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD CENTROAMERICANA (CECSA)
5	COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA (COMEGSA)
6	CONCEPCIÓN S.A. (INGENIO CONCEPCIÓN)
7	EMPRESA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE (EGEE)
8	GENERADOR ELÉCTRICA DEL NORTE LIMITADA (GENOR)
9	DUKE ENERGY
10	HIDROELÉCTRICA SECACAO S.A.
11	INGENIO LA UNIÓN S.A.
12	INGENIO MAGDALENA S.A.
13	HYDROWEST DE GUATEMALA, LTD.
14	PANTALEÓN S.A. (INGENIO PANTALEÓN)
15	PUERTO QUETZAL POWER LLC (POP LLC)
16	SIDERÚRGICA DE GUATEMALA S.A. (SIDEGUA)
17	TAMPA CENTROAMERICANA DE ELECTRICIDAD LTDA.
18	TEXTILES DEL LAGO S.A. (AMATEX)
19	COMERCIALIZADORA DUKE
20	POLIWATT LTDA.
21	TECNOGUAT. S.A.
22	MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD, S.A.
23	COASTAL TECHNOLOGY GUATEMALA LTDA.

(AMM, 2004)

Comercializadores:

Tabla No. 4 Listado de comercializadores de energía eléctrica para Guatemala

No.	NOMBRE
1	CENTRAL COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA (CCEESA)
2	COASTAL TECHNOLOGY GUATEMALA LTDA.
3	COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD CENTROAMERICANA (CEC)
4	COMERCIALIZADORA DE ELECTRICIDAD INTERNACIONAL S.A. (CEI)
5	COMERCIALIZADORA DUKE ENERGY DE CENTRO AMÉRICA, LTDA.
6	COMERCIALIZADORA ELÉCTRICA DE GUATEMALA S.A. (COMEGSA)
7	CONEXIÓN ELÉCTRICA CENTROAMERICANA S.A. (CONEC)
8	MAYORISTAS DE ELECTRICIDAD (MEL)
9	POLIWATT LIMITADA (POLIWATT)

(AMM, 2004)

Grandes usuarios:

Los grandes usuarios son los titulares o poseedores del bien inmueble que recibe el suministro de energía. Para calificar como gran usuario se debe tener una demanda de al menos 100 kW.

Tabla No. 5 Listado de grandes usuarios de energía eléctrica en Guatemala

No.	NOMBRE
1	BANCO DE OCCIDENTE, S.A.
2	COMPAÑÍA DE DESARROLLO BANANERO DE GUATEMALA S.A. (BANDEGUA)
3	CEMENTOS PROGRESO S.A.
4	CODACA GUATEMALA, S.A. (MOTORES HINO)
5	COMPAÑÍA AGRÍCOLA DIVERSIFICADA S.A. (COAGRO)
6	COMPAÑÍA BANANERA GUATEMALTECA INDEPENDIENTE S.A. (COBIGUA)
7	COMPAÑÍA INDUSTRIAL CORRUGADORA GUATEMALTECA S.A.
8	EDITORIAL VISIÓN 3001 S.A.
9	EMERGIA GUATEMALA S.A.
10	ENVASES INDUSTRIALES DE CENTROAMÉRICA S.A.
11	HOMEMART S.A.
12	INDUSTRIAS DEL ATLÉNTICO, S.A.
13	INSTITUTO DE RECREACIÓN DE LOS TRABAJADORES DE LA EMPRESA PRIVADA DE GUATEMALA (IRTRA)
14	J & R ROPA DEPORTIVA
15	PICHIILINGO RESORT & MARINA S.A.
16	EMPRESA PORTUARIA NACIONAL SANTO TOMAS DE CASTILIA (PORTUARIA)
17	PROCESADORA UNITAB S.A.
18	PROCTER & GAMBLE INDUSTRIAL DE GUATEMALA S.A.
19	PROMOCIONES TURÍSTICAS NACIONALES S.A.
20	PRODUCTOS DE LA TIERRA S.A. (PROTISA)
21	RADIOTELEVISIÓN GUATEMALA S.A.
22	STANDARD FRUIT DE GUATEMALA S.A.
23	TELFONCE, S.A.
24	TELEVISIETE S.A.
25	VALORES TURÍSTICOS S.A.
26	CERVECERIA CENTRO AMERICANA, S.A.

(AMM, 2004)

Distribuidores:

Un distribuidor de energía eléctrica es la persona, individual o jurídica, titular o poseedora de instalaciones destinadas a distribuir comercialmente energía eléctrica. A continuación se presenta el listado de los distribuidores de energía eléctrica en Guatemala.

Tabla No. 6 Listado de distribuidores de energía eléctrica en Guatemala

No.	NOMBRE
1	DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE OCCIDENTE (DEOCSA)
2	DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE (DEORSA)
3	EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA S.A. (EEGSA)
4	EEM GUALAN. ZACAPA
5	EEM GUASTATOYA. EL PROGRESO
6	EEM HUEHUETENANGO
7	EEM JALAPA
8	EEM JOYABAJ. EL QUICHE
9	EEM PUERTO BARRIOS. IZABAL
10	EEM QUETZALTENANGO
11	EEM RALHULEU
12	EEM SAN MARCOS
13	EEM SAN PEDRO PINULA. JALAPA
14	EEM SAN PEDRO SACATEPEQUEZ. SAN MARCOS
15	EEM SANTA EULALIA. HUEHUETENANGO
16	EEM ZACAPA

(AMM, 2004)

Transportistas:

Los transportistas son aquellos que poseen una concesión de transporte de energía eléctrica, por ende es el responsable de la transmisión y transformación que está vinculada, desde el punto de entrega de dicha energía por el generador hasta el punto de recepción por el distribuidor o gran usuario, según sea el caso.

Tabla No. 7 Listado de los transportistas de electricidad en Guatemala

No.	NOMBRE
1	EMPRESA DE TRANSPORTE Y CONTROL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL INDE (ETCEE)
2	TRANSPORTISTA ELÉCTRICA CENTROAMERICANA S.A. (TRELEC)

(AMM, 2004)

2) *Principios del Mercado Mayorista.* Los generadores compiten por suministrar la energía. Son despachados en función de su costo variable, es decir, el costo que les representa suministrar un kW h. El costo variable es declarado periódicamente y los generadores hidroeléctricos declaran un valor del agua. (AMM, 2004)

Todos los participantes consumidores deben cubrir su demanda de potencia por medio de un contrato con un participante productor pagando un cargo por potencia. Esto permite cubrir los costos fijos (costos de inversión) de los generadores. (AMM, 2004)

Existen tres tipos de mercado:

Mercado de oportunidad de la energía: En el Mercado de Oportunidad se realizan transacciones de energía al precio de oportunidad de la energía (precio spot Figura No. 7), que es el máximo costo variable en que se incurre cada hora para abastecer un kW h adicional (costo marginal de corto plazo). (AMM, 2004)

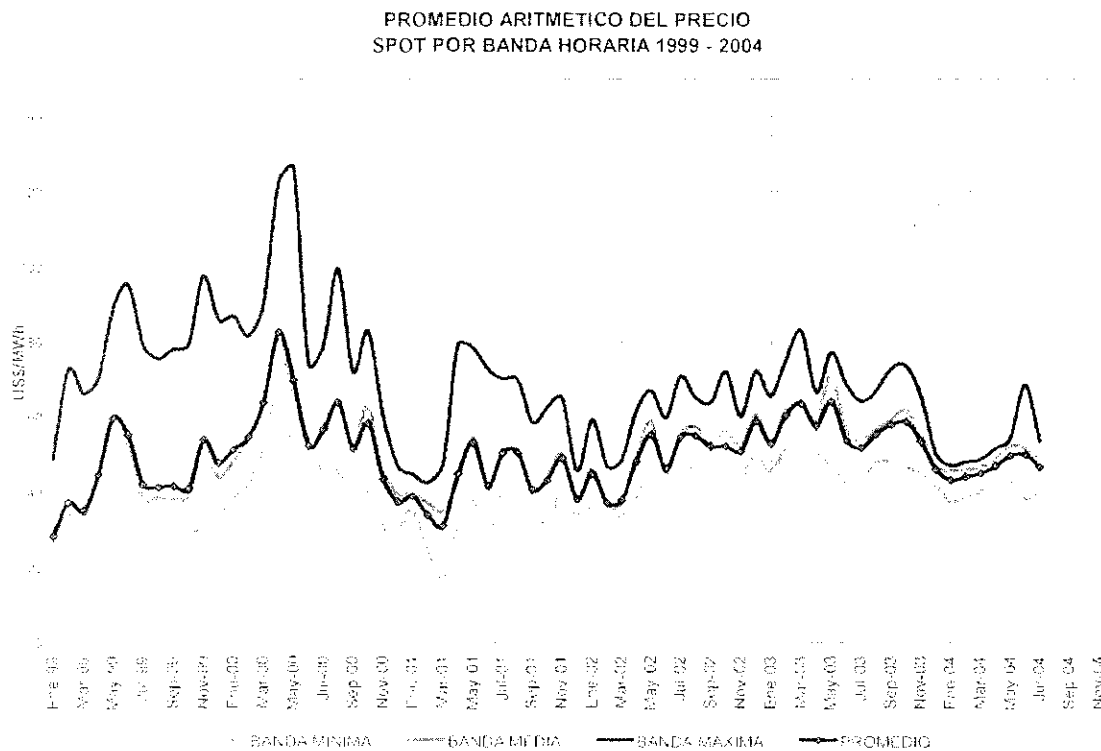
Mercado a término (contratos): En este mercado los Participantes pueden pactar libremente las condiciones de compraventa de potencia y energía través de contratos. Poseer un contrato en el Mercado a término, implica operar en el Mercado de Oportunidad para transar los saldos. (AMM, 2004)

Mercado de Desvíos de Potencia: En el Mercado de Desvíos de Potencia se compran los faltantes de los participantes productores que no puedan suministrar la potencia que tienen comprometida. Asimismo, en este mercado se compran los faltantes de los

participantes consumidores que tienen una demanda mayor que la cubierta por contratos. (AMM, 2004)

Para que el MM funcione, se requiere la coordinación de la operación de las centrales generadoras, de las líneas de transmisión y de las transacciones que se realizan entre los participantes del mercado. Para lograrlo, en algunos países se ha creado dos entidades independientes: Un Operador del Sistema responsable de llevar a cabo la operación en tiempo real, verificar las restricciones de la red y estudios eléctricos y otro Operador del Mercado responsable de coordinar las transacciones comerciales entre los participantes. En Guatemala solo existe una entidad privada, responsable de la operación del mercado y del sistema, que es el Administrador del Mercado Mayorista. (AMM, 2004)

Figura No. 6 Promedio de precios de energía eléctrica en el Mercado Spot



(AMM, 2004)

3) *Despacho de carga*. El despacho de carga es la forma en que se programa el funcionamiento de las plantas generadoras para cubrir la demanda del sistema, en un momento determinado, de tal manera que se obtenga el costo mínimo de operación, respetando las restricciones técnicas de confiabilidad y calidad de suministro. (AMM, 2004)

El objeto del despacho es determinar el programa de carga de la oferta disponible, que permita abastecer la demanda prevista para el mercado mayorista en un período de tiempo determinado, minimizando el costo total de operación, tomando en cuenta las condiciones de compra mínima de energía obligada de los contratos existentes, las restricciones de transporte y los requerimientos operativos de calidad y de confiabilidad, de conformidad con los criterios, principios y metodología establecidos en las Normas de coordinación. (AMM, 2004)

El despacho debe considerar como demanda a cubrir la correspondiente a los participantes consumidores y como oferta a los participantes productores. El despacho considera la existencia de demanda con interrupciones y el costo de restricciones al suministro. (AMM, 2004)

Decisiones que los participantes generadores toman a partir del programa de despacho:

El despacho de carga es importante, porque de los resultados obtenidos se pueden tomar decisiones que tienen relación con:

- Ventas de energía.
- Presupuesto de combustibles.
- Programar mantenimiento de las plantas
- Determinar niveles de reserva.
- Establecer la coordinación hidrotérmica

(AMM, 2004)

El despacho de carga incluye:

- Programa de carga,
- Riesgo de desabastecimiento, con el seguimiento de fallas de larga duración, comienzo o fin de fallas de corta duración y de corresponder, Programa de Restricciones al Suministro,
- Combustibles previstos,
- Identificación de generación forzada,
- Asignación de servicios complementarios,
- Programas de Intercambios por importación y exportación, y programa de carga en las interconexiones internacionales,
- Precios de oportunidad previstos.

(AMM, 2004)

Los criterios para la realización del despacho son:

- Necesidad de energía según la carga del sistema que se representa por la curva diaria del sistema.
- La potencia disponible de cada unidad generadora, su costo de operación, o el precio contratado para la venta de energía para el despacho en una hora determinada.
- Los criterios de calidad y seguridad estipulados en la normativa correspondiente.
- Las restricciones del sistema de transporte de energía eléctrica.

(AMM, 2004)

Con esta información se forma el "apilamiento de plantas" con el cual se abastecerá la necesidad del sistema eléctrico. Esta lista de apilamiento de plantas, donde se ordenan los generadores en base a la demanda mínima del sistema eléctrico necesaria para que se utilice sus servicios es conocida como la lista de mérito. (AMM, 2004)

El AMM tiene la responsabilidad de realizar la supervisión en tiempo real de la operación del sistema, a través del Centro de Despacho de Carga (CDC). De esta forma la AMM debe garantizar por medio del CDC:

- La realización de las maniobras pertinentes para el despacho de carga por medio de los agentes.
- La seguridad y continuidad del servicio.
- La coordinación de operación del sistema de transporte y de las interconexiones

(AMM, 2004)

4) *Costo de operación.* El costo de operación es función de los costos variables de generación (valor del agua y costos variables térmicos y precios de la energía de los contratos), los costo de energía no suministrada (Energía producida que no fue utilizada en el sistema eléctrico), el costo de las pérdidas (a un punto de referencia) y sobre costos por generación forzada. (AMM, 2004)

El cálculo del costo de la operación y la determinación del costo de energía de los usuarios de la electricidad se determina posterior al despacho. Actualmente no existe todavía en Guatemala un proceso por el cual el costo por usuario se pueda determinar en tiempo real. El proceso de post-despacho incluye:

- Cálculo horario del precio de oportunidad de la energía.
- Cálculo del costo por los servicios complementarios y su asignación de cargos a pagar a los participantes del mercado mayorista que corresponda.
- Identificación de la generación forzada, calculando los correspondientes sobre costos y su asignación de cargos a pagar a los participantes del mercado mayorista que corresponda.

- Realizar el seguimiento de fallas de corta y larga duración e informar a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica su finalización o permanencia esperada.
- Estimaciones de racionamientos.
- Volúmenes de las transacciones de los distintos mercados.

(AMM, 2004)

III. JUSTIFICACIÓN

Una planta de producción de hipoclorito de sodio utiliza como materias primas salmuera y electricidad. La salmuera se lleva a un electrolizador donde se obtiene gas cloro y soda cáustica. Luego, el gas cloro se pone en contacto con la soda en una torre de reacción empacada obteniendo el hipoclorito de sodio.

Actualmente la productividad del electrolizador se ve mermada por la inconstancia del flujo de electricidad. El equipo posee una alta sensibilidad hacia las variaciones del flujo eléctrico, por lo que hasta un micro corte incide en un paro de hasta una hora. La electricidad se adquiere en el mercado spot como gran usuario. El mercado eléctrico guatemalteco no puede garantizar un flujo constante, razón por la cual se deben buscar alternativas en sistemas y equipos que compensen la calidad deficiente en el servicio.

El impacto de los cortes de energía eléctrica llega a un nivel de pérdida de productividad de alrededor de un 5 % mensual. Además de esto la variabilidad del flujo eléctrico reduce el tiempo de vida de los componentes del electrolizador, ya que el equipo está diseñado para operar de forma continua, parando, como máximo, una vez al año.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivos generales

Diseñar y evaluar un sistema viable de suministro, alternativo o complementario, de energía eléctrica que garantice una producción continua por medio de eliminación cortes.

B. Objetivos específicos

- Hacer un análisis de los requerimientos energéticos para el óptimo funcionamiento del electrolizador.
- Evaluar opciones alternas de suministro que garanticen la eliminación o reducción de cortes de energía eléctrica.
- Determinar los equipos necesarios para la mejor opción considerada, y su dimensión.
- Realizar el análisis financiero para determinar la viabilidad de las distintas opciones.
- Recomendar el sistema de suministro de energía eléctrica en base a las conclusiones obtenidas.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente, en la planta de producción de hipoclorito de sodio, se está experimentando una pérdida de productividad del 5 % mensual en el proceso de electrólisis de salmuera. La productividad se ve mermada por paros inflingidos en el electrolizador al experimentar cortes en el suministro de energía eléctrica. Además se debe tomar en consideración el impacto que tienen dichos paros en la vida útil del equipo, ya que el mismo está diseñado para operar de forma continua. La raíz causa de dicha pérdida se reduce a la inconstancia en el suministro de energía eléctrica que ofrece el mercado guatemalteco. Más del 99 % de los cortes son causados por desalineaciones en las fases que hacen que el interruptor de medio voltaje a la entrada del sistema se active, cortando el suministro de energía al electrolizador.

VI. METODOLOGÍA

La metodología a seguir para la realización de este trabajo profesional comprende de cinco etapas básicas, las cuales se describen a continuación:

- Análisis de requerimientos energéticos del equipo de electrólisis de salmuera.
 - Se estudiará el suministro actual de energía eléctrica que posee el equipo, y la infraestructura existente para el suministro eléctrico.
 - Se determinará qué requisitos debe cumplir el suministro energético para asegurar el óptimo funcionamiento del electrolizador.

- Evaluación de potenciales soluciones al problema de suministro eléctrico.
 - Con base en los requerimientos del sistema, determinados en el inciso anterior, se proseguirá a la investigación de opciones para la mejora del suministro eléctrico de la planta.
 - Se determinarán si existen regulaciones o legislaciones involucradas con las soluciones propuestas para considerarlos en el análisis.

- Determinación de clase y dimensión del equipo necesario para cada opción.
 - Dadas las soluciones propuestas se investigará qué equipo y accesorios requiere cada una.
 - De acuerdo a los requerimientos energéticos determinados en a) se realizará la dimensión del equipo y los accesorios necesarios en cada caso.
 - Se evaluará la infraestructura necesaria para la instalación de cada una de las opciones evaluadas.

- Análisis financiero de cada solución para determinar su viabilidad.
 - Se determinará el costo de capital de la completa instalación de cada opción evaluada.
 - Se cuantificará la pérdida actual incurrida por el suministro actual de energía eléctrica.
 - Se calculará el valor presente neto de cada inversión para seleccionar la opción más rentable para la planta.

- Selección y diseño final del sistema para mejorar suministro de energía eléctrica al electrolizador.
 - Una vez elegida la solución más rentable, se hará una revisión más detallada del diseño del sistema considerando todos los factores relevantes.
 - Se elaborará la recomendación para el Gerente de la planta para que según eso se tome un plan de acción.

VII. RESULTADOS

A. Requerimiento energético del equipo de electrólisis

Tabla No. 8 Requerimiento total de potencia para el sistema del electrolizador.¹

Corriente (kA)	Voltaje por celda (V)	Total de celdas	Voltaje total (V)	Potencia total (kW h)
11.609	-3.556	23	81.788	949

Tabla No. 9 Suministro actual de energía eléctrica para el sistema del electrolizador.²

Equipo	Potencia (kW h)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Alimentación	Tipo
Transformador	1,500	13,800	90	Línea directa	AC
Rectificador	1,500	600	15,000	Transformador	AC
Electrolizador	950	81.788	11.609	Rectificador	DC

¹ Para cálculos referirse a la sección de Apéndices y Anexos, Cálculo de requerimiento teórico de energía eléctrica para el electrolizador. (Pág. No. 62)

² Referirse a sección de Apéndices y Anexos. fichas técnicas del equipo evaluado. (Pág. No. 61)

B. Evaluación de opciones de mejora al sistema de suministro actual

1. Instalación de sistema de UPS en la alimentación del electrolizador.

a. *Descripción general.* Esto consiste de la instalación de un UPS industrial que proteja al equipo del electrolizador de las irregularidades en la línea de alimentación. Un UPS es un banco de capacitores que permite el almacenaje de energía sin necesidad de baterías. Su base de funcionamiento es un sistema de generación constante, al interrumpirse el suministro de energía, el generador continua girando, esto cubre un máximo de un minuto en lo que entra en funcionamiento la planta de emergencia. Además, este equipo cancela frecuencias armónicas de energía (Las armónicas afectan gravemente el funcionamiento del electrolizador) y mejora el factor de potencia.

b. *Impacto sobre variables de costo.* Elimina los micro cortes de energía eléctrica causados por las distorsiones en el suministro de energía eléctrica, disminuyendo dramáticamente el deterioro forzado. Además eliminaría el impacto de los micro cortes en la capacidad de producción y aumentaría el grado de confiabilidad de la operación.

2. Línea dedicada de energía eléctrica a la planta.

a. *Descripción general.* Esto se refiere a cambiar la alimentación de energía eléctrica de la planta por una línea dedicada, que sería una línea de alimentación exclusiva desde la subestación que nos provee la electricidad hasta la planta. El proyecto consiste en instalar el cableado y los postes para recibir una alimentación directa de la subestación.

b. *Impacto sobre variables de costo.* La ventaja más importante de utilizar una línea dedicada es que se ahorraría el pago de VAD, que es el costo de distribución de

energía eléctrica que se debe pagar a TRELEC, la empresa que maneja el sistema de postes y líneas de suministro de energía. Esto representa un ahorro de Q1,730,000 anuales. Otro beneficio es que se reducen los defectos en la corriente de energía ya que no posee interferencia de las alimentaciones de otros clientes. Además el 20 % de los cortes eléctricos se deben a la falta de mantenimiento de las líneas de suministro de la empresa eléctrica, o a bifurcaciones mal diseñadas para la alimentación de otros clientes. Poseer una línea dedicada garantiza una mejora en la calidad del suministro eléctrico, por ende una reducción en las interrupciones y defectos en el suministro de energía.

3. Generador de energía eléctrica.

a. *Descripción general.* Consiste en la instalación de un generador de energía eléctrica específicamente para el suministro del electrolizador. Se requiere de un generador de 1.5 MW de potencia, dado a que no hay un sistema de generación de vapor en la planta, se tendría que recurrir a un generador de combustión, preferiblemente de bunker.

b. *Impacto sobre variables de costo.* Al utilizar un sistema independiente de generación se ahorraría el consumo eléctrico que se incurre debido al electrolizador, además se eliminarían todos los defectos del suministro de energía eléctrica.

C. Análisis financiero de opciones de mejora del suministro eléctrico

Las medidas para realizar el análisis financiero de las opciones de mejora del suministro eléctrico fueron el VAN, valor presente neto, y el TIR, tasa interna de retorno. Se utilizó una tasa de descuento del 20 % y se evaluaron los proyectos a un plazo de cinco años.

Tabla No. 10 Resumen de análisis costo beneficio de las distintas opciones de mejora al suministro de energía eléctrica.

Opción	Capital (Q)	VAN ³ (Q)	TIR ⁴ (%)	Tiempo de recuperación (meses)
UPS, sistema de suministro sin interrupciones. ⁵	1,192,000	425,940	38 %	38
Línea dedicada de suministro eléctrico. ⁶	1,480,000	2,510,430	98 %	13
Generador exclusivo para electrolizador. ⁷	2,728,000	-13,682,666	NA	NA
Instalación de UPS posterior a línea dedicada (20 % defectos eliminados) ⁸	1,192,000	142,087	26 %	49
Instalación de UPS posterior a línea dedicada (27 % defectos eliminados) ⁹	1,192,000	43,484	22 %	55

³ VAN calculado a un plazo de cinco años.

⁴ Se utilizó una tasa de descuento del 20 %.

⁵ Referirse al Análisis Costo-Beneficio de la instalación del sistema de UPS. (Pág. No. 70)

⁶ Referirse al análisis costo beneficio de la instalación de la línea dedicada, (Pág. No. 74)

⁷ Referirse al Análisis costo beneficio de la instalación de un generador, (Pág. No. 77)

⁸ Referirse al apartado Primer escenario. "Línea dedicada instalada y funcionando entregando como resultado una reducción en los micro cortes del 20 %." (Pág. No. 78)

⁹ Referirse al apartado

D. Equipo requerido para instalación de mejora en suministro

Después del análisis financiero de las opciones de mejora en el suministro de energía eléctrica se recomienda dividir el proyecto en dos fases.

1. Fase 1 “Instalación de línea dedicada”

a. *Alcance.* Como primera fase del proyecto se recomienda la instalación de una línea dedicada de suministro para la planta. Esto es por que al realizar dicha instalación se percibe tanto una mejora en la calidad del suministro por la eliminación de interferencias en la fase final de transmisión sino que además se elimina uno de los rubros del costo de la energía eléctrica. La eliminación del pago del VAD (valor agregado de distribución), que es el peaje que se paga por el uso de la línea de suministro, es lo que hace que el proyecto sea sumamente rentable, dado a que elimina Q1,730,000 al año del costo de energía eléctrica.

b. *Consideraciones.* Para la realización del proyecto se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación
a. Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación (meses)
20 %	142,087	26 %	49

Segundo escenario. “Línea dedicada instalada y funcionando, beneficio máximo permisible para instalación de UPS.”, (Pág. No. 80)

			(meses)
20 %	142,087	26 %	49

- Se requiere de un derecho de paso en el terreno colindante para la instalación de los postes y el cableado desde la subestación hasta la planta.
- Se requiere de autorización de la empresa eléctrica para utilizar la subestación de Santa María Márquez como alimentación para la línea dedicada que se quiere instalar.
- La instalación del cableado debe realizarse a 18m sobre el suelo, ya que el terreno colindante se utiliza para la siembra de caña, por lo que el cableado debe estar fuera del alcance de las llamas a la hora de que se realice la quema de los campos.
- Es necesaria la realización de un estudio de impacto ambiental.
- Se debe realizar un estudio eléctrico que verifique que las nuevas instalaciones eléctricas cumplan con los requisitos de corto circuito para garantizar un diseño y operación segura.
- La empresa tendrá que absorber el costo y diseño del programa de mantenimiento para la línea dedicada.

c. *Equipo.* El proyecto sólo requiere la instalación del cableado de la subestación Santa María Marqués y los postes hasta la acometida de la planta.

2.Fase 2 “instalación de UPS en la línea de suministro”

a. *Alcance.* Se recomienda que la segunda fase del proyecto se inicie por lo menos después de haber cumplido tres meses de completación del primer proyecto. Esto es para monitorear el impacto que tenga el suministro por línea dedicada en la calidad de la energía. Consiste en instalar un equipo de UPS en la entrada de la alimentación del electrolizador. Este sistema debería eliminar más del 99 % de los defectos en el

suministro de energía. Por lo que, a pesar de que el proyecto no tiene una rentabilidad muy alta, entrega beneficios intangibles como lo que la garantía de una operación continua y estable.

b. Consideraciones. Se deben tomar las siguientes consideraciones al ejecutar la segunda fase del proyecto de mejora en el suministro de energía:

- Se debe actualizar el análisis financiero del proyecto con las condiciones de suministro observada después de la instalación de la línea dedicada. Si al finalizar la fase 1 del proyecto se observa una mejoría en la calidad del suministro de energía eléctrica de un 27 % ya no es rentable continuar con la fase 2 del proyecto.
- Se debe realizar un estudio eléctrico de las instalaciones al integrar el UPS para garantizar que cuente con los dispositivos de seguridad necesarios.
- Se debe generar un plan de mantenimiento e inspección del equipo nuevo.

c. Equipo

Tabla No. 11 Equipo requerido para la realización de la fase 2 del proyecto, Instalación de un UPS en la línea de suministro.

Marca	Modelo	Capacidad
Caterpillar	UPS 1200	1200 kW

VIII. DISCUSIÓN

El propósito de este trabajo era encontrar la solución óptima para la resolución del problema observado en el sistema actual de suministro de energía eléctrica. El problema principal que se percibe en el proceso de producción de hipoclorito de sodio es en la operación de electrólisis, dado a que se utiliza un equipo sumamente sensible, y las variaciones en el suministro eléctrico provocan micro cortes que inciden en un mínimo de 30 minutos de paro mientras se estabiliza la operación. Considerando que actualmente hay un promedio de 55 paros menores mensuales, aunque el tiempo de estabilización sea corto, por la frecuencia equivale a un mínimo de 28 horas de producción al mes. Además, se debe agregar el impacto que estos cortes tienen sobre la vida útil del equipo, por las tensiones implícitas en el procedimiento de paro y arranque.¹⁰

Se diseñó la metodología de tal forma que permitiera el diagnóstico del factor crítico, o el de más peso, en los fallos percibidos actualmente y a la vez se definieran los lineamientos que debería cumplir una solución para realmente reflejar una mejora en el sistema. El trabajo realizado se puede categorizar en cuatro fases, diagnóstico, consolidación de propuestas, análisis de factibilidad, diseño final. La razón por la cual se estructuró así fue para empezar entendiendo el problema a fondo, esto mediante el diagnóstico de la situación actual. La expectativa es que cubriera desde variables afectadas por el problema afectado y las causas raíz para que se esté incurriendo en la pérdida actual. Una vez definido el panorama se prosiguió a seleccionar aquellos proyectos que podrían mejorar o eliminar la falla actual. Esto con el propósito de hacer un estimado financiero de la información preliminar de cada opción y seguir investigando aquellas que prometan mejor rendimiento del capital a invertir. Luego, de acuerdo a la depuración de las distintas propuestas se podría proseguir a realizar la recomendación final.

¹⁰ Referirse a Tabla No. 17 Histórico de paros menores sufridos en el electrolizador. (Pág. No. 65)

Para iniciar el proceso de diagnóstico se estudió el diseño del electrolizador y el sistema que lo integraba. Se utilizó una combinación de información del manual del equipo y los registros históricos de consumo para generar el panorama actual. El electrolizador que se utiliza para la producción de gas cloro en el proceso de producción de hipoclorito en la planta de producción está integrado a una serie de componentes que permiten su funcionamiento. El electrolizador es una agrupación de una serie de celdas electroquímicas en las cuales se lleva a cabo la reacción de oxidación del cloro y reducción del agua. Por ende, la potencia requerida por el electrolizador se ve definida por el potencial de reacción de celda y la capacidad de la celda se va a definir por la densidad de corriente que se va a manejar en el equipo.

El potencial de celda¹¹ teórico se ve afectado por variables como la separación entre el ánodo y cátodo del equipo, que causa un aumento en la resistencia de paso, y también por la resistencia misma del electrolito, por lo que se le debe agregar un sobre potencial que contrarreste estos factores. El equipo de electrólisis está diseñado para manejar una densidad de corriente de 5.08 kA/m^2 a través de las celdas. Por lo que el requerimiento teórico del electrolizador es de 81.8 V de corriente directa a $11,609 \text{ A}$ ¹².

El suministro al electrolizador se realiza por medio de un rectificador que tiene una potencia máxima de $1,500 \text{ kW}$, con capacidad de hasta 600 V de potencia y $15,000 \text{ A}$ de corriente. El rectificador se alimenta desde la línea directa de suministro que ingresa $13,800 \text{ V}$ de potencia AC. La eficiencia de consumo eléctrico es del 72% en cuanto a consumo requerido por el electrolizador y potencia consumida por el rectificador. El grueso del 28% de energía que se pierde es parte por la eficiencia del rectificador al hacer la conversión de corriente alterna a directa. La alimentación del rectificador se encuentra protegido por un interruptor de media tensión, se determinó que el dispositivo afectado por las irregularidades de la distribución eléctrica es el interruptor, dado a que cualquier variación en el suministro afecta a este dispositivo directamente, causando que

¹¹ Referirse a Potencial de conversión en la sección de Apéndice y Anexos, (Pág. No. 62)

¹² Referirse a Cálculo de requerimiento teórico de energía eléctrica para el electrolizador en la sección de Apéndice y Anexos. (Pág. No. 62)

se active, cortando la energía alimentada al rectificador. El interruptor está graduado para activarse cuando las variaciones en el fluido eléctrico se sobrepasen de los límites de variaciones que tolera el rectificador.

El impacto en el costo del sistema actual de suministro eléctrico se debe a tres factores, la pérdida de productividad que se tiene debido al tiempo que pasa fuera de funcionamiento el equipo, el desgaste que estos paros causan al equipo y el costo de capacidad de producción. Actualmente, la calidad del suministro de energía eléctrica, incide en un total de Q 740,250 anuales. Esto representa el 14 % del gasto total en energía eléctrica anual en el electrolizador.

La pérdida de productividad abarca, tanto a la pérdida, en cuanto el costo fijo de operación que se debe pagar, este el equipo produciendo o no, como el tener que recurrir a proveedores externos de hipoclorito para abastecer la producción. La compra externa de hipoclorito tiene un doble impacto al costo, dado a que el proveedor lo vende al menos al doble que el precio de manufactura interna, y la planta, además, debe pagar los costos fijos de la operación de manufactura. El costo de capacidad se refiere a que el equipo no se utiliza en su total capacidad, porque no se puede depender de su continuidad de producción. Esto ha tenido impacto en limitar iniciativas como la venta de hipoclorito de sodio en rastras y tener una fuente de ingreso adicional para la compañía.

La pérdida más importante en cuanto a costo percibido es el costo de capacidad de producción, ya que suma un total de Q388,411 al año, lo que representa un 55 % del total del valor de la pérdida. En un inicio se había sobredimensionado el equipo de producción de hipoclorito de sodio para tener la flexibilidad de respuesta a un incremento en la demanda del producto diluido, como para poder comercializarlo concentrado en forma de rastras de hipoclorito de sodio al 13 %. Debido a la inestabilidad del sistema de producción, la venta de rastras de hipoclorito se tuvo que detener, por lo que este factor se debe considerar en el análisis del impacto de los defectos del suministro de energía. El costo de capacidad de producción se calcula con base en las ganancias que serían percibidas al vender lo que no es capaz de producir el equipo en sus condiciones actuales.

La causa básica del costo de capacidad son los paros menores que sufre el equipo. Esto se elimina prácticamente al eliminar los micro cortes, ya que son un factor de inestabilidad en el sistema, que impacta en la reducción de la confiabilidad de la operación y por ende mermando la capacidad de producción esperada.¹³

El deterioro forzado es consecuencia de la frecuencia de los paros en el equipo, básicamente por el desgaste que tiene en los componentes el proceso por el paro repentino y la tensión que ocasiona el arranque. En el caso del electrolizador, tiene un total de tres años de vida, y ya se le debe hacer una reconstrucción total en cuanto a los componentes principales, que son los ánodos, cátodos y membranas de intercambio. El equipo de electrólisis está diseñado para parar alrededor de una vez al año, pero con la inestabilidad actual del suministro eléctrico puede llegar a parar hasta diez veces en un día. Obviamente, esto causa una merma en la vida útil del equipo. El valor del impacto de esto en el costo de mantenimiento del electrolizador es de Q224,690 anuales, lo que representa el 30 % de las pérdidas totales debido a defectos en el suministro de energía eléctrica al sistema. El impacto del deterioro forzado se cuantificó según a la vida útil promedio de los componentes, información que comparte el proveedor, y la vida útil real percibida. Se utilizó como base el costo cotizado para la readecuación del equipo. Además, se prorrateó el deterioro forzado en las tres causas observadas, la operación, el diseño y el impacto de los micro cortes.¹⁴

Los paros mayores inciden principalmente en la planeación de producción, causando la compra de rastras de hipoclorito a proveedores externos, elevando los costos de producción, tanto por el precio de la materia prima como el costo fijo implícito en mantener la unidad de producción de hipoclorito. Por la reducida frecuencia de los paros mayores, estos afectan el costo con un total de Q 86,445 anuales (13 % de la pérdida total), principalmente por el costo de rastras y el impacto a la productividad. La compra

¹³ Referirse a la sección de Costo de capacidad de producción en la sección de Apéndice y Anexos en la página 66)

¹⁴ Referirse a la sección de Costo total de deterioro forzado en el apartado de Apéndice y Anexos, (Pág. No. 65)

de hipoclorito externo, rastras, tiene un impacto anual de Q240,000, pero sólo Q23,040 son atribuibles a cortes en el suministro de energía eléctrica, por lo que representa un 4 % de la pérdida total. El impacto total de pérdidas de productividad es de Q104,110 anuales, el 14 % de la pérdida total, causadas por 429 horas fuera de operación. El impacto de la productividad se cuantificó en base a las horas hombre que están desaprovechadas al entrar en un paro de producción.¹⁵

A. Evaluación de opciones de mejora al sistema de suministro actual

Los defectos en el suministro de energía se pueden dividir en dos tipos, paros mayores y paros menores. Los paros mayores se dan cuando el suministro eléctrico se ve interrumpido, ya al ocurrir esto se inicia el proceso de paro / arranque del equipo, que como mínimo toma diez horas. Los paros menores son aquellos debidos tanto a variaciones en el flujo eléctrico como a la desalineación de las fases, estos disparan el interruptor de media tensión causando un paro en el rectificador¹⁶ lo cual incide en 30 minutos para estabilizar la operación.

Ambos tipos de paros son importantes ya que tienen un impacto en el equipo, ya sea por frecuencia o por duración. Los paros menores, por frecuencia, tienen un mayor impacto en cuanto al deterioro forzado del equipo y en cuanto al costo de capacidad de producción. Los paros mayores tienen mayor impacto en cuanto a productividad y en la compra de hipoclorito a proveedores externos. Debido a fallas en el suministro eléctrico hay un total de 668 paros anuales, de los cuales prácticamente el 100 % son paros menores causados por micro cortes. Esto incide en un total de 429 horas fuera de

¹⁵ Referirse a Costo de defectos de suministro de energía eléctrica en el apartado de Apéndice y Anexos, (Pág. No. 67)

¹⁶ Referirse a Tabla No. 13 Ficha técnica del rectificador, (Pág. No. 61)

operación, donde el 78 % del tiempo es debido a los micro cortes y el 22 % restante por los paros mayores.¹⁷

Se determinó de acuerdo a registros mensuales de consumo, que los paros menores son el factor más crítico que se debe eliminar, ya que a pesar de ser el 78 % del tiempo de paro, contra 22 % de tiempo perdido debido a paros mayores, consisten en prácticamente el 100 % del número de paros que sufre el electrolizador. Por ende, la eliminación de los paros menores elimina el 100 % del deterioro forzado del electrolizador, y el 78 % de pérdidas por productividad. Por lo que si se eliminan los paros menores se elimina el 87 % del costo infligido por los fallos en el suministro eléctrico.¹⁸

El impacto anual de los paros menores en el costo es de un total de Q 605,055 al año, mientras que el impacto de los paros mayores es de Q86,504 anuales. La pérdida total del suministro eléctrico es de Q 691,559 anuales. Esto equivale a un 16 % del costo total del consumo eléctrico actual.¹³

El problema principal detectado en el suministro actual de energía eléctrica fue el de los micro cortes causados por defectos en la calidad de la alimentación de energía, ya sea por picos en la potencia o desalineación de las fases. Como soluciones potenciales se determinaron tres: instalación de un sistema de UPS, instalación de línea dedicada u la generación de energía interna.

Con las soluciones propuestas se prosiguió a realizar una evaluación primaria de los proyectos para proseguir el análisis en la propuesta que representara un mayor beneficio a la planta. Para realizar la evaluación primaria se utilizó un estimado del beneficio que cada proyecto podría entregar. Esto se calculó de acuerdo a las variables en

¹⁷ Referirse a Tabla No. 18 Composición de paros causados por defectos en el suministro eléctrico. (Pág. No. 65)

¹⁸ Referirse a Costo de defectos en sistema actual de suministro eléctrico en la sección de Apéndice y Anexos. (Pág. No. 64)

las cuales cada proyecto tenía impacto, ponderando su valor en relación a el grado en el cuál incidían en una mejora percibida en el sistema. Además se realizó un estimado del costo de la inversión requerida por cada una y costos de mantenimiento, esto para realizar un análisis costo beneficio preliminar para cada proyecto.

Todos los análisis costo beneficio se realizaron a cinco años plazo, esto principalmente por que ese es el tiempo de vida estimado de un equipo funcionando en condiciones estables, de esta forma se puede evaluar si el proyecto va a generar un retorno antes de tener que reinvertir en acondicionamiento de equipo. Se utilizaron como medidas de salida de desempeño económico el valor presente neto de la inversión (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).¹⁹ Se utilizó una tasa de descuento del 20 % por el riesgo de inversión que presenta el país. El promedio de la tasa activa de interés ha estado alrededor del 13.5 %, por lo que el costo estimado de la inversión del capital debería estar alrededor de 13.5 % \pm 4 % por los picos de variación que se pueden observar en la tendencia de históricos 2003 a 2005.²⁰

Según el resumen de resultados del análisis financiero preliminar²¹ de los proyectos propuestos es claro que la opción de mejora más viable es la instalación de una línea dedicada de suministro de energía eléctrica. Este proyecto presenta una tasa interna de retorno del 98 % y un VAN de Q 2,510,430, lo cual lo hace extremadamente atractivo. Seguido por el proyecto de instalación de un UPS en la alimentación del electrolizador con un retorno de 38 % y un VAN de Q 425,940.

¹⁹ Referirse a sección de Evaluación de opciones de mejora al sistema de suministro actual en el apartado de Apéndice y Anexos, (Pág. No. 38)

²⁰ Información observada en el historial del Banco de Guatemala, históricos a partir de enero del 2003 hasta marzo del 2005.

²¹ Referirse a Tabla No. 10 Resumen de análisis costo beneficio de las distintas opciones de mejora al suministro de energía eléctrica. En el apartado de Análisis financiero de opciones de mejora del suministro eléctrico en la sección de resultados, (Pág. No. 40)

El proyecto de generación interna de energía no resultó rentable, principalmente por el costo del combustible, ya que para generar la potencia requerida para alimentar el equipo se estimaba un consumo mínimo de 318 L/hora de combustible, lo que equivale a un 230 % del costo actual del kW h sólo por el impacto del combustible. Por ende, el proyecto de generación se descartó, principalmente por que sólo se podría disponer de un generador a base de combustión, ya que no se tiene producción de vapor en la planta actualmente.

La razón principal detrás de la rentabilidad del proyecto de instalación de una línea dedicada es que uno de los beneficios aparte de la mejora en la calidad del suministro eléctrico es que se ahorraría el 26 % del costo de energía eléctrica al no tener que pagar el peaje por uso de las líneas de distribución de TRELEC. Además la inversión de la cual se requiere es pequeña, dado a que sólo se debe realizar la instalación de los postes y las líneas de distribución para un tramo de 1 Km, que es la distancia entre la planta y la subestación más cercana.²² El ahorro total que esto representa es de Q1,872,145 anuales. Además de la eliminación de uno de los rubros de cobro para la energía eléctrica es la instalación de una línea dedicada es que se reduce los defectos en la corriente de energía ya que no posee interferencia de las alimentaciones de otros clientes y se eliminan los defectos causados por falta de mantenimiento del último tramo de las líneas de distribución. Principalmente porque el 80 % de los micro cortes son causados por falta de mantenimiento de las líneas de transporte, ya que la oxidación de los componentes de transferencia es frecuente, por el clima de Escuintla, y esto causa efectos como lo son el desfase de las líneas y las variaciones del voltaje. Otro factor es que la subestación que alimenta a la planta actualmente, alimenta al menos dos plantas de producción grandes antes de alimentar a la planta de producción de hipoclorito de sodio, esto genera aún más defectos en el suministro por interferencias en la línea.

²² Referirse a Línea dedicada de energía eléctrica a la planta. En la sección de Apéndice y Anexos. (Pág. No. 72)

El grueso del beneficio obtenido por la instalación de la línea dedicada está en el ahorro del pago del VAD, peaje de transporte. Para el análisis costo beneficio del proyecto se estimó que si iba a tener un 20 % de mejora en la calidad bajo el supuesto que el poseer una línea dedicada garantiza una mejora de un 20 % en la calidad del suministro eléctrico. Esto es porque no se tiene información a la fecha del porcentaje de los defectos directamente causados por el tramo que se va a dejar de utilizar. Por lo que en el peor de los casos se estaría teniendo un proyecto con un beneficio de Q1,739,500 anuales, valor que está Q132,664 por debajo del valor inicial. El impacto en el VAN del proyecto si no se observara mejora en la calidad de suministro de energía eléctrica es de un -11 %, reflejándose como una reducción de Q 264,500 en el VAN. Además tiene un impacto en el TIR de -8 %, con una diferencia de 98 % a 95 %. Como se puede observar, la rentabilidad del proyecto no se ve afectada por el grado de mejora que se perciba en el suministro. Por lo que se recomienda llevar a cabo la instalación de la línea dedicada como primera medida de mejora ya que el proyecto sigue siendo el más rentable de la cartera de opciones, aunque no garantiza una mejora en el suministro actual.

Debido a la incertidumbre en cuanto al grado de mejora que se puede esperar de este proyecto se decidió integrar una segunda fase al proyecto, que consiste en la instalación de un UPS, creando una opción combinada que garantiza que se solucione la mayor parte del problema que sea económicamente factible. La primera consiste en llevar a cabo el proyecto de instalación de la línea dedicada a la planta. Luego se proseguirá a hacer un diagnóstico del impacto real del proyecto en cuanto a la mejoría observada en el suministro. Esto con el propósito que se cuantifique que grado de mejora se ha obtenido con el proyecto y los defectos observados a pesar del proyecto, para validar si continuar con la segunda fase con base en a la rentabilidad. Aunque el porcentaje de mejoría observada justifique llevar a cabo la segunda fase, obviamente la rentabilidad de este segundo esfuerzo es mucho menor que el de la primera fase, pero se debe realizar ya que tiene beneficios intangibles atados, como lo son la confiabilidad del proceso lo que

implica la liberación de recursos para invertirlos en actividades de mejora a la operación.

23

El criterio para realizar o no la segunda fase es tener una tasa de retorno igual o mayor al 22 %. Este criterio se ha elegido en base al costo de capital que maneja la empresa, por lo cual este es el requisito de retorno mínimo para que el proyecto haga sentido. Para esto, se requiere dar seguimiento al impacto en el suministro eléctrico del proyecto de línea dedicada un mínimo de tres meses. Si se observa una mejoría en la calidad del suministro eléctrico arriba del 27 % el proyecto ya no es rentable. Por lo que esta verificación es clave para seguir el proceso de mejoría. Ya que si la línea dedicada causa una mejora mayor, no es rentable invertir más en la resolución de los defectos restantes en el suministro. Esto se debe principalmente a que el equipo que pueda regular o mejorar el fluido eléctrico es sumamente caro, por lo que las inversiones requeridas son mayores al valor de la pérdida incurrida.²⁰

La instalación de un sistema de UPS presenta las ventajas de regularizar el suministro de energía en la entrada del electrolizador ya que el sistema garantiza la eliminación de más del 99 % del problema de suministro de energía eléctrica. Esto es debido a que se cancelan las distorsiones armónicas en el suministro eléctrico, se protege ante transitorios, ofrece una regulación del voltaje y corrige el factor de potencia. El UPS funciona como un generador instalado en la línea que funciona mientras se esté suministrando energía, al cortarse el flujo eléctrico el generador sigue rotando lo que prolonga suministro al menos un minuto más, mientras que la planta de emergencia entra en acción.²⁴

Las ventajas que presenta la instalación de un sistema de UPS en la alimentación del electrolizador es que permitiría al electrolizador seguir funcionando si se cae el

²³ Referirse a sección de Escenarios de compra de UPS al instalar la línea dedicada en el apartado de Apéndice y Anexos. (Pág. No. 78)

²⁴ Referirse a sección de Especificaciones de UPS CAT 1200 en el apartado de Apéndice y Anexos, (Pág. No. 83)

interruptor de media tensión y cubre el tiempo en lo se abre el interruptor y regulariza la energía del rectificador. Esto promete eliminar el impacto de los micro cortes en el sistema, que actualmente resultan en el 87 % de la pérdida actual, afectando las variables de deterioro forzado, costo de capacidad de producción y productividad. Esto se traduce a un beneficio anual de Q 647,246. Dado a que se llevará a cabo la primera fase, se espera que haya cierto grado de eliminación de los micro cortes, por lo que el beneficio de este proyecto se reduciría. El análisis financiero de la primera fase se realizó considerando un 20 % de mejora en el suministro eléctrico actual, lo que dejaría un área de oportunidad de Q 569,492 anuales de beneficio al eliminar el 80 % de fallas restantes. Por eso es imperativo reevaluar el sistema posterior a la instalación de la línea dedicada, para actualizar el beneficio del proyecto de acuerdo al grado de mejora observado.²⁵

Se consideró la instalación del UPS a la entrada de la alimentación del rectificador, para eliminar la caída del interruptor de media tensión y tener una alimentación continua de energía, pero dado a que la alimentación está a 13,800 V no se encuentra en el mercado disponibilidad de un UPS con esa capacidad de voltaje. Principalmente porque la aplicación más común de los UPS es para la protección de equipos que utilizan bajo voltaje, los UPS de potencia mayor a 1,000 kW se usan para proteger redes de computadoras, que a pesar de requerir una potencia elevada, operan a bajos voltajes.

Para la instalación del equipo de UPS se requiere como costo de equipo el aparato en sí. Se tiene contemplado el uso de un sistema Caterpillar UPS 1200. Tiene una capacidad de respaldar 1,200 k VA y por lo que cubre la demanda del electrolizador. Este es un UPS industrial que funciona a base de volantes, su base de funcionamiento es básicamente un generador que está en constante movimiento, y al cortarse el suministro eléctrico, este continua girando lo que puede dar hasta 1 minuto, ya sea para que se regularice la alimentación o entre la planta de emergencia. La ventaja de utilizar un UPS de volante, es que ocupa $\frac{1}{4}$ del área que ocupa un UPS que funciona en base a baterías,

²⁵ Referirse a sección de UPS. Sistema de suministro eléctrico sin interrupciones., en término de Impacto sobre variables de costo en el apartado de Apéndice y Anexos. (Pág. No. 68)

además el 70 % de veces que falla un UPS la causa son las baterías. El UPS además ofrece un rango de 96 % a 97 % de eficiencia en el consumo eléctrico. Además no necesita un equipo de enfriamiento adicional. El mantenimiento que se requiere es sólo de cambio de filtros de aire y mantenimiento liviano a dispositivos de control.

En lo que respecta a gastos de infraestructura se requiere la adecuación de las instalaciones, dado a que el equipo requiere de un área de 10m de largo, 2m de alto y 1m de profundidad para su instalación. Luego se debe incluir el costo de instalación y los estudios eléctricos pertinentes para asegurar que el sistema esté operando en condiciones adecuadas y acordes al arreglo que se maneja actualmente en la planta. El estimado de la inversión total del proyecto es de Q1,192,000, dónde Q 960,000 será capital y el resto gastos asociados de estudios e instalación.

Como costos fijos del proyecto se consideró el costo del mantenimiento, que según el proveedor consiste en inspecciones y cambio de filtros de aire, se estimó un valor del 5 % del equipo para cubrir los gastos de mantenimiento que requiera, ya que se ha investigado que el costo ideal del mantenimiento es del 2.5 % del valor en libros de un activo. Por ende se estima que se requerirá de un total de Q 55,200 anuales para cubrir el mantenimiento del equipo.²⁶ Se duplicó el valor ideal del costo de mantenimiento, ya que actualmente no se maneja un equipo similar en la planta, se está dando un margen adicional para cubrir las ineficiencias en el mantenimiento, ya sea por que se recurra al pago de un contratista o se incurra en sobre gastos por falta de conocimiento del sistema.

Se estimó que el proyecto de la instalación de línea dedicada entregaría un 20 % de mejora en los defectos del suministro eléctrico para llevar a cabo el análisis financiero. Este dato se debe confirmar luego de cerrar la primera fase para actualizar los datos y ver si todavía es válida la ejecución de la segunda fase del proyecto. El beneficio percibido total equivale a Q 569,492 anuales por la eliminación del 80 % de las fallas actuales,

²⁶ Referirse a la sección referente a UPS. Sistema de suministro eléctrico sin interrupciones. En el apartado de Costo de equipo estimado, (Pág. No. 69)

dónde 20 % se ha remediado con la primera fase. En este panorama se tendría un VAN de Q 142,087 y una TIR del 26 %. Se puede observar que el proyecto sí tiene sentido económico aunque no tiene un atractivo muy alto en cuanto a la inversión. Pero se recomienda llevar a cabo el proyecto por los beneficios intangibles que tiene asociados, y a la hora que aumente la producción de la planta, este factor de restricción crecerá en peso.²⁷

Se hizo el ejercicio de ver cuál era el máximo grado de mejora en el suministro eléctrico por la primera fase del proyecto que podría tolerar el proyecto antes de perder su rentabilidad. Para ello se estudió el valor mínimo de beneficio para que la TIR fuera equivalente al 22 %, dónde el beneficio se calculó en términos de la mejora observada en el sistema por la alimentación mediante la línea dedicada. De este ejercicio se observó que el beneficio mínimo que debe entregar el proyecto es de Q 515,731, lo cual se obtiene al tener un 27 % de mejora en el suministro eléctrico. Por lo que la restricción para llevar a cabo la instalación del UPS es que no se observe más del 27 % de mejora en la calidad del suministro eléctrico.²⁸

Por lo que se recomienda iniciar la instalación de la línea dedicada, que aparte de los ahorros anteriormente descritos, elimina los defectos en el suministro eléctrico causados por la interferencia provocada por el suministro a otras plantas y aquellos causados por falta de mantenimiento de las líneas de transmisión en el tramo desde la subestación hasta la planta. Una vez completada la instalación, cuantificar el grado de mejora observado, y si es menor al 27 % proseguir a la instalación de un UPS en la entrada del electrolizador, con lo que ya se eliminaría el 100 % del problema.

²⁷ Referirse a Primer escenario. "Línea dedicada instalada y funcionando entregando como resultado una reducción en los micro cortes del 20 %." En la sección de Apéndice y Anexos. (Pág. No. 78)

²⁸ Referirse al Análisis costo beneficio de la instalación de un UPS posterior a la instalación de una línea dedicada entregando un 27 % de reducción de defectos en el suministro de energía eléctrica. En la sección de Apéndice y Anexos, (Pág. No.82)

IX. CONCLUSIONES

- Actualmente las pérdidas totales inflingidas por la calidad del suministro de energía eléctrica suman un total de Q 740,250 anuales equivalente al 14 % de la factura anual de electricidad. Esto se desglosa en un 52 % debido a pérdida de capacidad de producción, 30 % por el deterioro forzado que sufre el equipo, 14 % por pérdida de productividad de la operación y un 4 % debido a compras externas de hipoclorito.
- Al analizar las distintas opciones para mejorar la calidad del suministro eléctrico se determinó que la solución más rentable es la instalación de una línea dedicada desde la subestación Santa María Marqués hasta la planta, ya que se obtuvo un VAN de Q 2,510,430 y una TIR de 98 %.
- Recurrir a una solución combinada de dos fases, instalación de una línea dedicada e instalación de un UPS para la alimentación del electrolizador para eliminar al 100 % los defectos en el suministro de energía eléctrica, la segunda fase sólo se debe ejecutar si la instalación de la línea dedicada reduce menos del 27 % de los defectos en el suministro.

X. RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones se presentan las siguientes recomendaciones:

- Proseguir con la instalación de una línea dedicada desde la subestación más cercana, Santa María Marqués. Se recomienda realizar dicha instalación mediante una subcontratación, ya que la planta no cuenta con el equipo ni personal calificado para llevar a cabo el programa de mantenimiento e inspección de las líneas instaladas.
- Posterior a la instalación de la línea dedicada medir el índice de mejora en la calidad del suministro por un mínimo de tres meses. Si el índice de mejora es menor al 27 % con respecto al actual, se recomienda proseguir a la instalación de un UPS CAT 1200 en la alimentación del electrolizador.
- Investigar el consumo de energía eléctrica del electrolizador, dado a que actualmente se tiene una eficiencia de utilización del 77 % de la energía eléctrica que se alimenta en el rectificador. Esto representa un total de Q 845,000 anuales, por lo que se debería verificar qué porcentaje es debido a la eficiencia del rectificador y qué porcentaje se debe a ineficiencias en el electrolizador. Ya que existen recubrimientos que reducen pérdidas de energía en los contactos hasta en un 98 %.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Administrador de Mercados Mayoristas de Guatemala. <http://www.amm.org.gt>
- (2) Chapman, Stephen. 1993. *Máquinas Eléctricas*. 2ª ed. Madrid, McGraw-Hill. 350 págs.
- (3) Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala. <http://www.cnee.gob.gt/>
- (4) Enríquez, Gilberto. 1986. *Líneas de Transmisión y redes de distribución de potencia eléctrica*. Madrid, Limusa. 250 págs.
- (5) Estados Unidos de Norte América. 1970. Bureau of Naval Personnel. *Electricidad Básica*. 2ª ed. Nueva York, Publicaciones Dover. 146 págs.
- (6) INEOS Chlor Limited. 2001. *Bichlor Training Manual*. INEOS Chlor. 319 págs..
- (7) Jackson, Bob y Stephen Moran. 2001. «Harnessing Electrochemistry». *Chemical Engineering*. 2001 (4): 88-91
- (8) Lea, Susan y John Burke. 1999. *Física, La naturaleza de las cosas*. México, International Thomson Editores. 210 págs.
- (9) McCabe, W.L., J.C. Smith, P. Harriot. 1991. *Operaciones básicas de ingeniería química*. 4ª ed. Madrid, McGraw-Hill/Interamericana. 1112 págs.
- (10) Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. <http://www.mem.gob.gt/>
- (11) Oxychem. *Manual de Hipoclorito de Sodio*. www.oxychem.com

(12) Perry, Robert H., Don W. Green, James O. Maloney. 1992. *Manual del Ingeniero Químico*. 3ª ed. México, McGraw-Hill/Interamericana. págs. var.

(13) Unicrom. *Electrónica*. www.unicrom.com

XII. APÉNDICE Y ANEXOS

A. Fichas técnicas del equipo evaluado

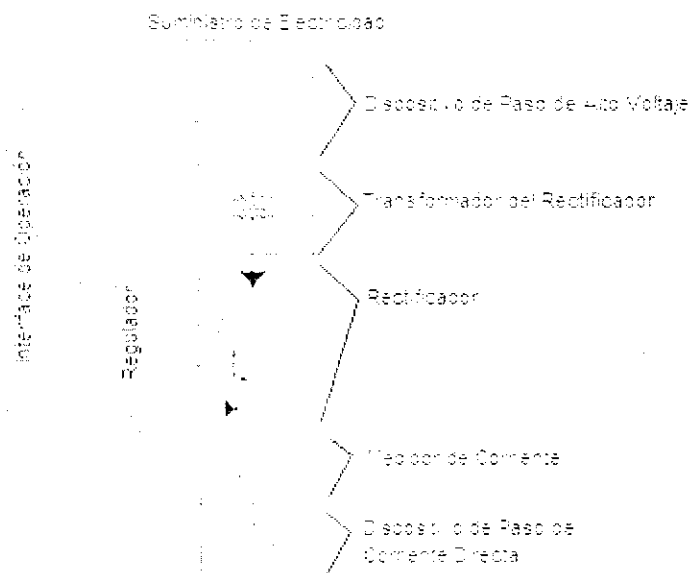
Tabla No. 12 Ficha técnica del electrolizador

Marca	Modelo	Capacidad
Ineos	BiChlor	23 celdas de electrólisis

Tabla No. 13 Ficha técnica del rectificador

Marca	Modelo	Alimentación (V)	Potencia (kW)	Corriente (A)
Rapid Power Technology	Water Cooler	13,800	1,500	15,000

Figura No. 7 Diagrama de bloques del rectificador.



B. Cálculo de requerimiento teórico de energía eléctrica para el electrolizador

El requerimiento energético del electrolizador viene determinado por dos factores, la corriente que necesita el sistema y el voltaje que debe mantener.

1. **Corriente requerida.** La corriente requerida se define por la densidad de corriente que se necesite en las celdas para lograr la capacidad de producción diseñada y el área a la cuál se le debe aplicar esta densidad.

Tabla No. 14 Corriente requerida por electrolizador

Superficie de membranas (m ²)	Densidad de corriente (kA/m ²)	Corriente total (kA)
2.895	4.01	11.609 ²⁹

(Bichlor Training Manual, 2001)

2. Potencial de conversión

a. Cálculo de sobre potencial requerido en las celdas del electrolizador.

Dado a que el sobre potencial varia en proporción a la densidad de corriente que se maneja en el sistema, en base a los datos presentados por Jackson y Moran³⁰ se elaboró la siguiente relación entre densidad de corriente y sobre potencial requerido para el sistema estudiado:

²⁹ Referirse a Bibliografía (Pág. No58)

³⁰ Referirse a Bibliografía (Pág. No.58)

Tabla No. 15 Relación entre la densidad de corriente y el sobre potencial aplicado a un sistema de óxido reducción de agua y cloro.

Densidad de corriente (kA/m ²)	Sobre potencial (%)
1.55	22 %
2.33	35 %
3.10	42 %
4.65	50 %
5.43	53 %

Con esto se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.917 para una ecuación logarítmica de la relación de la densidad de corriente con el sobre potencial en el caso de la reducción del cloro y oxidación del agua:

Ecuación No. 7

$$\text{Sobre potencial} = 0.2426 \times \text{Ln (densidad de corriente)} + 0.1303$$

Substituyendo los valores correspondientes al sistema de electrolización que se maneja en la planta de producción de hipoclorito de sodio, se obtiene el valor del 52 % de sobre voltaje. Esto representa un valor de 1.15 V de sobre potencial para cada celda.

b. Voltaje requerido por celda. El voltaje por celda está determinado por el potencial de conversión teórico sumado al sobre potencial que tenga que aplicarse para compensar resistividad tanto del electrolito, cómo de la densidad de carga.

Tabla No. 16 Resumen de cálculo de voltaje requerido por celda del electrolizador.

Descripción	Potencial (V)
<i>Potencial del ánodo</i> ³¹	-1.358
<i>Potencial del cátodo</i> ³²	-0.828
Potencial de reacción	-2.186
<i>Sobre potencial</i> ³³	-1.150
<i>Resistencia electrolítica</i> ³⁴	-0.220
Total Voltaje requerido por celda	-3.556

C. Costo de defectos en sistema actual de suministro eléctrico

El impacto en el costo del sistema actual de suministro eléctrico se debe a tres factores: la pérdida de productividad que se tiene debido al tiempo que pasa fuera de funcionamiento el equipo, el desgaste que estos paros causan al equipo y el costo de capacidad de producción.

Los defectos en el suministro de energía se pueden dividir en dos tipos: paros mayores y paros menores. Los menores se refieren a aquellos de una duración por debajo de los 10 minutos. En el caso del suministro eléctrico, son aquellos ocasionados por micro cortes debidos a variaciones en el voltaje de la línea, o desalineación de las fases.

³¹ Referirse a Ecuación No. 4. (Pág. No. 7)

³² Referirse a Ecuación No. 5. (Pág. No. 7)

³³ Referirse a cálculo de sobre potencial (Pág. No. 62)

³⁴ Esta se define por la distancia entre el ánodo y el cátodo de la celda y la densidad de corriente.

Estos micro cortes causan que el interruptor se active, cortando el suministro de energía al equipo.

Tabla No. 17 Histórico de paros menores sufridos en el electrolizador.

MES	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
No. Paros Menores	68.2	48.7	81.5	50.7	49.5	34.3

Tabla No. 18 Composición de paros causados por defectos en el suministro eléctrico.

Tipo de Paro	No. Paros No. / año	Tiempo h/año	% de Paros	% de Tiempo
Menor	666	333	100 %	78 %
Mayor	2	96	0 %	22 %
TOTAL	668	429	100 %	100 %

1. Costo total de deterioro forzado. El deterioro forzado es consecuencia de la frecuencia de los paros en el equipo, básicamente por el desgaste que tiene en los componentes el proceso por el paro repentino y la tensión que ocasiona el arranque.

Esto se midió usando como parámetro la vida útil según el proveedor de los componentes del electrolizador y su desempeño real.

Tabla No. 19 Componentes del electrolizador

Componente	Cantidad (No.)	Vida Útil (años)	Vida Real (años)	Costo ³⁵ (Q)
Cátodo de níquel	23	6	3	110,110
Ánodo de titanio	23	6	3	110,110
Membrana de intercambio iónico	23	3	2.5	36,960

Tabla No. 20 Costo del deterioro forzado

% Vida útil con respecto a ideal	Impacto en costo (Q/año)	Causa básica		
		Operación (Q/año)	Diseño (Q/año)	Electricidad (Q/año)
38 %	674,076	224,690	224,690	224,690

2. Costo de capacidad de producción. En un inicio se había sobredimensionado el equipo de producción de hipoclorito de sodio para tener la flexibilidad de respuesta a un incremento en la demanda del producto diluido, como para poder comercializarlo concentrado en forma de rastras. Debido a la inestabilidad del sistema de producción, la venta de rastras de hipoclorito se tuvo que detener, por lo que en el análisis del impacto de los defectos del suministro de energía eléctrica este factor se debe considerar. El costo de capacidad de producción se calcula con base en las ganancias que serían percibidas al vender lo que no es capaz de producir el equipo en sus condiciones actuales.

Tabla No. 21 Costo de capacidad de producción de hipoclorito de sodio debido a paros.

³⁵ Incluye costo de prorrateado de mantener inventario de repuestos disponibles, el transporte e impuestos.

Tiempo de paro total (h/año)	Tiempo de paro incide en producción (h/año)	Tiempo de oportunidad (h/año)	Costo de capacidad de producción (Q/año)
429	57.6	371.4	388,411

3. Costo de defectos de suministro de energía eléctrica

Tabla No. 22 Impacto en el costo de los paros menores por energía eléctrica.

Variable de costo	Deterioro forzado	Productividad		Oportunidad	Total
		Personal	Producción		
Valor total de pérdida (Q)	224,690 ³⁶	104,110	36,000	388,411 ³⁷	753,211
% Impacto paros menores ³⁸	100 %	78 %	78 %	100 %	NA
Costo por paros menores. (Q)	224,690	81,205	28,080	388,411	722,386

Tabla No. 23 Impacto en el costo de los paros mayores por energía eléctrica.

³⁶ Referirse a Tabla No. 20 Costo del deterioro forzado (Pág. No. 66)

³⁷ Referirse a Tabla No. 21 Costo de capacidad de producción de hipoclorito de sodio debido a paros. (Pág. No. 66)

³⁸ Referirse a Tabla No. 18 Composición de paros causados por defectos en el suministro eléctrico. (Pág. No. 65)

Variable de costo	Deterioro forzado	Productividad		Total
		Personal	Producción	
Valor total de pérdida (Q)	224,690 ³⁹	104,110	36,000	364,800
% Impacto de paros mayores ³⁵	0 %	22 %	22 %	NA
Valor de pcausada por paros mayores. (Q)	0	22,904	7,920	30,824

D. Opciones de mejora

1. UPS, Sistema de suministro eléctrico sin interrupciones.

a. *Descripción general.* Esto consiste de la instalación de un UPS industrial que proteja al equipo del electrolizador de las irregularidades en la línea de alimentación. Un UPS es un banco de capacitores que permite el almacenaje de energía sin necesidad de baterías, cancela frecuencias armónicas de energía (Las armónicas afectan gravemente el funcionamiento del electrolizador) y mejora el factor de potencia.

b. *Impacto sobre variables de costo.* Elimina las distorsiones en el equipo por presencia de desfases en el suministro de energía eléctrica, disminuyendo dramáticamente el deterioro forzado. Además eliminaría el impacto de los cortes de duración mayor a un segundo.

Tabla No. 24 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de UPS

³⁹ Referirse a Tabla No. 19 Costo del deterioro forzado. (Pág. No. 72)

Defecto	Grado de mejora	Beneficio percibido (Q/año)
Pérdidas por paros menores	100 %	722,386 ⁴⁰

c. *Costo de equipo estimado.* El equipo que se requiere es un UPS con capacidad de suministrar 1,500 kW de potencia a un voltaje de 13,800 V AC para proteger la alimentación del rectificador⁴¹.

Tabla No. 25 Costo estimado de capital

Componente	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total (Q)
CATERPILLAR UPS 1200	1	960,000	960,000
Instalación	1	144,000	144,000
TOTAL	2	1,104,000	1,104,000

Además del costo del equipo en sí, se debe incluir el impacto del costo de mantenimiento de estos componentes. Se ha observado que el estándar es que el mantenimiento de un equipo tenga el costo de 2.5 % del valor en libros, en este estudio se utilizó una aproximación del 5 % del valor en libros del activo para estimar el costo de mantenimiento. Otro factor que se debe incluir, son los estudios eléctricos que se deben realizar al modificar componentes del suministro eléctrico actual en la planta.

⁴⁰ Referirse a Tabla No. 24 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de UPS. (Pág. No. 68)

⁴¹ Referirse a Tabla No. 13 Ficha técnica del rectificador. (Pág. No. 61)

Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo.

Descripción	Costo (Q)
Mantenimiento de UPS (Q/año)	55,200
Estudios Eléctricos (una vez al inicio del proyecto) (Q)	88,000

El costo de los estudios eléctricos está holgado, por si se diera el caso que se tenga que incluir un estudio de impacto ambiental al instalar los nuevos componentes del sistema.

d. Análisis Costo-Beneficio. Para el análisis costo-beneficio se consideró un valor de tasa de descuento del 20 % anual. Además se tomó una depreciación del equipo a cinco años plazo.

Tabla No. 27 Flujo de caja para el proyecto de instalación de un UPS.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión ⁴² (Q)	-1.104,000					
Otros costos ⁴³	-88,000					

⁴² Referirse a Tabla No. 25 Costo estimado de capital. (Pág. No. 69)

(Q)						
Beneficio ⁴⁴		722,386	722,386	722,386	722,386	722,386
(Q/año)						
Mantenimiento		-55,200	-55,200	-55,200	-55,200	-55,200
(Q/año) ⁴⁰						
Depreciación		-220,800	-220,800	-220,800	-220,800	-220,800
(Q/año)						
Total beneficio		446,386	446,386	446,386	446,386	446,386
(Q/año)						
Impuestos		-89,277	-89,277	-89,277	-89,277	-89,277
(Q/año)						
Total después		357,109	357,109	357,109	357,109	357,109
de impuestos						
(Q/año)						
Depreciación		220,800	220,800	220,800	220,800	220,800
(Q/año)						
Flujo de caja	-1,192,000	577,909	577,909	577,909	577,909	577,909
(Q/año)						

Se realizó el análisis costo beneficio a cinco años plazo considerando que la vida útil del equipo está en ese rango de tiempo. Además, por ser un proyecto que se quiere justificar por ahorros, el interés es que el capital se recupere de la forma más rápida posible.

⁴³ Referirse a Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo. (Pág. No. 70)

⁴⁴ Referirse a Tabla No. 24 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de UPS, (Pág. No. 68 .

Tabla No. 28 Análisis costo beneficio de instalación de UPS

Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación (meses)
20 %	425,940	38 %	38

2. Línea dedicada de energía eléctrica a la planta.

a. Descripción general. Esto se refiere a cambiar la alimentación de energía eléctrica de la planta por una línea dedicada. Básicamente se debe instalar el cableado desde la subestación eléctrica más cercana hasta la planta, para recibir una alimentación directa de la subestación. El cableado sería exclusivamente para uso de la empresa y el mantenimiento estaría bajo su responsabilidad.

b. Impacto sobre variables de costo. La ventaja más importante de utilizar una línea dedicada es que se ahorraría el pago de VAD, que es el costo de distribución de energía eléctrica que se debe pagar a TRELLEC, la empresa que maneja el sistema de postes y líneas de suministro de energía. Esto representa un ahorro de Q1,730.000 anuales. Otro beneficio es que se reduce los defectos en la corriente de energía ya que no posee interferencia de las alimentaciones de otros clientes. El 20 % de los cortes eléctricos se deben a falta de mantenimiento de las líneas de suministro de la empresa eléctrica, o a bifurcaciones mal diseñadas para la alimentación de otros clientes. Por ende el poseer una línea dedicada garantiza una mejora de un 20 % en la calidad del suministro eléctrico.

Tabla No. 29 Beneficio obtenido por la instalación de una línea dedicada para el suministro de energía eléctrica.

Defecto	Grado de mejora	Beneficio percibido (Q/año)
Micro cortes en el fluido eléctrico. ⁴⁵	20 %	142,000
Paros intermedios por falta de mantenimiento a las líneas de distribución. ⁴⁶	100 %	30,824
Ahorro por exoneración de pago de VAD	100 %	1,730,000
TOTAL BENEFICIO		1,902,824

c. Costo de equipo estimado

Tabla No. 30 Costo estimado de capital

Componente	Cantidad	Costo Unitario (Q)	Total (Q)
Compra e instalación de cableado y postes.	1	400,000	400,000
Compra de equipo auxiliar para la instalación	1	160,000	160,000
Costo total de equipo			560,000

⁴⁵ Referirse a Tabla No. 22 Impacto en el costo de los paros menores por energía eléctrica. (Pág. No. 67)

⁴⁶ Referirse a Tabla No. 23 Impacto en el costo de los paros mayores por energía eléctrica. (Pág. No. 67)

Tabla No. 31 Otros costos asociados a la compra del equipo

Descripción	Costo
Mantenimiento de cableado y postes (Q/año)	67,200
Derecho de paso para cableado. (Q)	800,000
Estudios eléctricos e impacto ambiental (Q)	120,000
TOTAL	987,200

d. Análisis costo beneficio

Tabla No. 32 Flujo de caja para proyecto de instalación de línea dedicada.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-560,000					
⁴⁷ (Q)						
Otros	-920,000					
Costos ⁴⁸ (Q)						
Beneficio ⁴⁹		1,902,824	1,902,824	1,902,824	1,902,824	1,902,824
(Q/año)						
Mantenimien		-67,200	-67,200	-67,200	-67,200	-67,200
to (Q/año) ⁴⁸						
Depreciación		-128,000	-128,000	-128,000	-128,000	1,366,100
(Q/año)						
Total		1,707,624	1,707,624	1,707,624	1,707,624	1,366,100
Beneficio						

⁴⁷ Referirse a Tabla No. 30 Costo estimado de capital (Pág. No. 73)

⁴⁸ Referirse a Tabla No. 31 Otros costos asociados a la compra del equipo (Pág. No. 74)

⁴⁹ Referirse a Tabla No. 29 Beneficio obtenido por la instalación de una línea dedicada para el suministro de energía eléctrica. (Pág. No. 73)

(Q/año)						
Impuestos	-341,524	-341,524	-341,524	-341,524	1,366,100	
(Q/año)						
Total después de impuestos	1,366,100	1,366,100	1,366,100	1,366,100	1,366,100	
(Q/año)						
Depreciación	128,000	128,000	128,000	128,000	128,000	
(Q/año)						
Flujo de Caja	-1,480,000	1,494,100	1,494,100	1,494,100	1,494,100	1,494,100
(Q/año)						

Tabla No. 33 Análisis costo beneficio de la instalación de una línea dedicada.

Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación (meses)
20 %	2,510,430	98 %	13

3. Generador de energía eléctrica.

a. *Descripción general.* El objetivo de este proyecto sería la instalación de un generador de energía eléctrica específicamente para el suministro del electrolizador. Se requiere de un generador de 1.5MW de potencia, de combustión de Diesel o Bunker.

b. *Impacto sobre variables de costo.* Al utilizar un sistema independiente de generación se ahorraría el consumo eléctrico que se incurre debido al electrolizador, además se eliminarían todos los defectos del suministro de energía eléctrica.

Tabla No. 34 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de generación eléctrica

Defecto	Grado de mejora	Beneficio percibido (Q/año)
Paros menores ⁵⁰	100 %	722,386
Paros mayores ⁵¹	100 %	30,824
Costo de consumo de energía eléctrica	-140 %	-6,463,700
TOTAL BENEFICIO		-5,710,490

c. *Costo de equipo estimado.* Para estimar el costo de la instalación del equipo y adecuación de las áreas se utilizó el 10 % del valor total del activo como base de referencia. Dado a que éste es un análisis preliminar, no era necesaria mayor exactitud.

Tabla No. 35 Costo estimado de capital

Componente	Cantidad	Costo unitario (Q)	Total (Q)
Generador Cummins 1.5 MW	1	2,400,000	2,400,000
Instalación del equipo, adecuación de las áreas.	1	240,000	240,000
TOTAL			2,640,000

En el análisis costo beneficio también se debe incluir el impacto del mantenimiento, costo anual en el que se tendrá que incurrir. También cualquier clase de estudios requeridos antes de proseguir a la instalación.

Tabla No. 36 Otros costos asociados a la compra del equipo

⁵⁰ Referirse a Tabla No. 22 Impacto en el costo de los paros menores por energía eléctrica. (Pág. No. 67)

⁵¹ Referirse a Tabla No. 23 Impacto en el costo de los paros mayores por energía eléctrica. (Pág. No. 67)

Descripción	Costo
Mantenimiento de generador (Q/año)	120,000
Estudios eléctricos e impacto ambiental (Q)	88,000
TOTAL	208,000

d. Análisis costo beneficio

Tabla No. 37 Flujo de caja para instalación de un generador de energía eléctrica.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	-2,640,000					
⁵² (Q)						
Otros	-88,000					
Costos ⁵³ (Q)						
Beneficio	-2,728,000	-5,710,490	-5,710,490	-5,710,490	-5,710,490	-5,710,490
(Q/año)						
Mantenimien		-120,000	-120,000	-120,000	-120,000	-120,000
to (Q/año) ⁵³						
Depreciación		-528,000	-528,000	-528,000	-528,000	-528,000
(Q/año)						
Total		-6,358,490	-6,358,490	-6,358,490	-6,358,490	-6,358,490
Beneficio ⁵⁴						
(Q/año)						
Impuestos		1,271,698	1,271,698	1,271,698	1,271,698	1,271,698

⁵² Referirse a Tabla No. 30 Costo estimado de capital (Pág. No. 73)

⁵³ Referirse a Tabla No. 31 Otros costos asociados a la compra del equipo (Pág. No. 74)

⁵⁴ Referirse a Tabla No. 34 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de generación eléctrica (Pág. No. 76)

(Q/año)						
Total después de impuestos (Q/año)		-5,086,792	-5,086,792	-5,086,792	-5,086,792	-5,086,792
Depreciación (Q/año)		528,000	528,000	528,000	528,000	528,000
Flujo de Caja (Q/año)	-5,456,000	-4,558,792	-4,558,792	-4,558,792	-4,558,792	-4,558,792

Tabla No. 38 Análisis costo beneficio de la instalación de un generador de energía eléctrica.

Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación (meses)
20 %	-13,682,666	NA	NA

4. Escenarios de compra de UPS al instalar la línea dedicada. La rentabilidad del proyecto de instalación de línea dedicada es sumamente elevada, dado a que elimina un rubro del costo total de electricidad. Por lo que se recomendaría proseguir en la instalación de la línea dedicada. Dado a que un porcentaje de los fallos en el suministro actual de energía son causados por falta de mantenimiento de las líneas de transporte, se esperaría una mejora, pero no una total eliminación del problema, queda abierta la opción de la instalación de un UPS para la erradicación total de los defectos en el suministro. Se debe hacer un análisis financiero del proyecto de la instalación del UPS eliminando los beneficios que ya se han cubierto con el proyecto de línea dedicada.

a. Primer escenario. "Línea dedicada instalada y funcionando entregando como resultado una reducción en los micro cortes del 20 %." El beneficio percibido

sería equivalente al 80 % del beneficio estimado en el caso inicial de UPS.⁵⁵ Mientras que el costo del equipo⁵⁶ permanece igual. Por lo que se realizó el análisis de costo beneficio alterando los valores del beneficio percibido.

Tabla No. 39 Flujo de caja para proyecto de instalación de UPS al haber instalado la línea dedicada, obteniendo un 20 % de reducción en el impacto de micro cortes.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión ⁵⁷ (Q)	-1,104,000					
Otros Costos ⁵⁸ (Q)	-88,000					
Beneficio ⁵⁹ (Q/año)		569,492	569,492	569,492	569,492	569,492
Mantenimiento (Q/año) ⁶⁰		-55,200	-55,200	-55,200	-55,200	-55,200
Depreciación (Q/año)		-220,800	-220,800	-220,800	-220,800	-220,800
Total Beneficio (Q/año)		293,492	293,492	293,492	293,492	293,492
Impuestos (Q/año)		-58,698	-58,698	-58,698	-58,698	-58,698

⁵⁵ Referirse a Tabla No. 24 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de UPS (Pág. No. 68)

⁵⁶ Referirse a Tabla No. 25 Costo estimado de capital y la Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo. (Pág. No. 70)

⁵⁷ Referirse a Tabla No. 25 Costo estimado de capital (Pág. No. 69)

⁵⁸ Referirse a Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo. (Pág. No. 70)

⁵⁹ Referirse a Tabla No. 24 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de UPS (Pág. No. 68)

⁶⁰ Referirse a Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo. (Pág. No. 70)

Total después de impuestos (Q/año)		234,793	234,793	234,793	234,793	234,793
Depreciación (Q/año)		220,800	220,800	220,800	220,800	220,800
Flujo de caja (Q/año)	-1,192,000	455,593	455,593	455,593	455,593	455,593

Una vez completado el flujo de caja se calcularon las medidas para el análisis financiero del retorno del proyecto.

Tabla No. 40 Análisis costo beneficio de instalación de un UPS luego de haber instalado la línea dedicada para la planta, considerando un 20 % de mejora en el suministro eléctrico.

Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación (meses)
20 %	142,087	26 %	49

b. Segundo escenario. “Línea dedicada instalada y funcionando, beneficio máximo permisible para instalación de UPS.” Dado a que el grado de mejora en la calidad del suministro de energía por la instalación de la línea dedicada no está garantizado, esto es por que la línea dedicada se va a instalar desde la subestación Santa María Márquez, por lo que los defectos de ese punto en adelante se eliminarían, pero los anteriores se seguirían acarreado.

Existe un beneficio intangible a la eliminación de los defectos en el suministro de energía eléctrica, principalmente por que se tendría una operación estable y confiable. Por ende se consideró que para justificar la compra e instalación de un UPS un TIR del 22 %

sería satisfactorio, dado a que se está utilizando una tasa de descuento del 20 % para la evaluación de los proyectos.

Para obtener un TIR del 22 % la línea dedicada debe entregar como máximo un 27 % de disminución de defectos en el suministro de electricidad. Por lo que el beneficio obtenido del proyecto sería equivalente al 67 % del valor total del proyecto de instalación de un UPS.

Tabla No. 41 Flujo de caja para proyecto de instalación de un UPS después de haber instalado una línea dedicada que provee el 27 % de eliminación de los defectos en el suministro.

Año	0	1	2	3	4	5
Inversión ⁶¹ (Q)	-1,104,000					
Otros costos ⁶² (Q)	-88,000					
Beneficio ⁶³ (Q/año)		520,036	520,036	520,036	520,036	520,036
Mantenimien to (Q/año) ⁶⁴		-55,200	-55,200	-55,200	-55,200	-55,200
Depreciación (Q/año)		-220,800	-220,800	-220,800	-220,800	-220,800
Total beneficio (Q/año)		244,036	244,036	244,036	244,036	244,036
Impuestos		-48,807	-48,807	-48,807	-48,807	-48,807

⁶¹ Referirse a Tabla No. 25 Costo estimado de capital, (Pág. No. 69)

⁶² Referirse a Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo. (Pág. No. 70)

⁶³ Referirse a Tabla No. 24 Beneficio obtenido por la instalación de un sistema de UPS, (Pág. No. 68 .

⁶⁴ Referirse a Tabla No. 26 Otros costos asociados con el equipo. (Pág. No. 70)

(Q/año)						
Total después de impuestos (Q/año)		195,229	195,229	195,229	195,229	195,229
Depreciación (Q/año)		220,800	220,800	220,800	220,800	220,800
Flujo de caja (Q/año)	-1,192,000	416,029	416,029	416,029	416,029	416,029

Se calcularon las medidas del análisis financiero del proyecto con base en el flujo de caja.

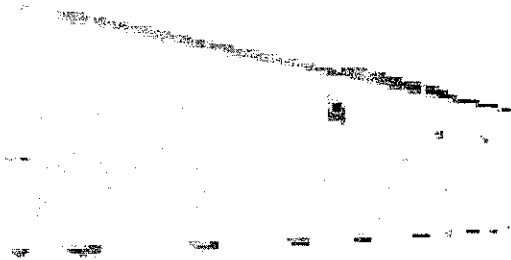
Tabla No. 42 Análisis costo beneficio de la instalación de un UPS posterior a la instalación de una línea dedicada entregando un 27 % de reducción de defectos en el suministro de energía eléctrica.

Tasa de descuento	VAN a 5 años (Q)	TIR	Tiempo de recuperación (meses)
20 %	43,484	22 %	55

E. Especificaciones de UPS CAT 1200

SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD SIN INTERRUPCIONES (U P S)

CATERPILLAR



SERIE UPS 1200, SISTEMA DE UN SOLO MÓDULO 1200 k VA/960 ekW, 60 Hz

Caterpillar está liderando el Mercado de la generación de potencia con incomparable ingeniería desarrollando equipo flexible, confiable y rentable.

CARACTERÍSTICAS

- Diseño más compacto
- Eficiencia del 94%
- Cancelación de Armónicos
- Protección ante transitorios
- Regulación de voltaje de alta velocidad
- Corrección del factor de potencia
- Alimentación superior e inferior
- Temperatura de 40° C en todo el sistema
- Distorsión mínima de la corriente de entrada.
- Uso de tecnología de energía cinética.
- Monitoreo remoto
- Instalación sencilla
- Bajo costo de mantenimiento
- Capacidad de expansión
- Panel de operación a color
- Opción de integración con operación de generador de emergencia

PROTECCIÓN CONFIABLE PARA APLICACIONES CRÍTICAS

El sistema de UPS de Caterpillar provee protección constante ante variaciones, picos e interrupciones en el suministro de energía que pueden afectar las operaciones o causar pérdida de información o capacidad del sistema.

Adicionalmente, el uso de un generador de emergencia puede incrementar la confiabilidad del sistema de suministro continuo de energía.

DISEÑO SUPERIOR

El diseño del sistema y el uso de componentes digitales robustos suman el sistema de UPS más confiable disponible en el Mercado. La protección se suministra en el paquete más pequeño en la industria con eficiencia y desempeño superiores.

SOPORTE ALREDEDOR DEL MUNDO

- Centros de distribución alrededor del mundo para partes y equipo.
- Técnicos de fábrica certificados y entrenados para soporte en cualquier aspecto del sistema de UPS.

SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD SIN INTERRUPCIONES (U P S)



ESPECIFICACIONES

ALIMENTACIÓN	
VOLTAJE	490 VAC 3 FASES
RANGO DE VOLTAJE	± 10% A 15%
FRECUENCIA	60 HZ
FACTOR DE POTENCIA	0.99
DISTORSIÓN ARMÓNICA DE CORRIENTE	
CARGA LINEAL	< 3%
CARGA NO LINEAL	< 8%
TIEMPO DE ACCIÓN	1 A 15 SEGUNDOS
SALIDA	
VOLTAJE	490 VAC
TIEMPO DE RECUPERACIÓN	50 MILLISEGUNDOS

DIMENSIONES Y PESOS

GABINETE COMPLETO	
FONDO	1.016 m
ALTO	1.981 m
ANCHO POR UNIDAD	1.000 m

DATOS TÉCNICOS

KVA MAXIMO	1200
KW MAXIMO	960
VOLTAJE ALIMENTACIÓN	480
VOLTAJE SALIDA	480
ALIMENTACIÓN AC CORRIENTE NOMINAL	1242 A
SALIDA AC	1445 A
EFICIENCIA DEL SISTEMA	94%

ELEVACION DE FRENTE DEL SISTEMA UPS 1200S

