



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES DE
PRODUCCIÓN EN LA EFICIENCIA DE CELDA
ELECTROLÍTICA DE MERCURIO EN LA
PLANTA ÁLCALIS PARAMONGA - PERÚ**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO PROFESIONAL
DE BACHILLER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

Autor:

Franco Bustamante Cesar Augusto

Asesor:

Mg. Purihuamán Leonardo Celso Nazario

Línea de Investigación:

Gestión de Operaciones y Logística.

Pimentel – Perú

2018

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Realidad Problemática.	7
1.2. Trabajos previos.....	8
1.2.1. Mejoras para reducir las pérdidas de calor e incrementar la eficiencia del proceso de acondicionamiento del electrolito.	8
1.3. Teorías relacionadas al tema	10
a) Celdas de Mercurio	11
b) Celdas de Diafragma.....	12
c) Celdas de Membrana	13
1.4. Formulación del problema.	22
1.5. Justificación e importancia.	22
1.6. Hipótesis.	23
1.7. Objetivos.....	23
CAPITULO II: MATERIAL Y MÉTODO	24
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.	25
2.1.1. Tipo de investigación:	25
2.1.2. Diseño de la investigación:	25
2.2. Población y muestra.....	25
2.2.1. Población.....	25
2.2.2. Muestra.....	25
2.3. Variables, Operacionalización.	26
2.3.1. Variable Independiente.	26
2.3.2. Variable Dependiente.....	26
2.3.3. Operacionalización.....	26
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	27
2.4.1 Procedimiento para la recolección de datos	28
2.4.2. Diagnóstico de la situación actual del Proceso de la producción de la soda cáustica al 50%	28
2.4.3. Análisis y determinación del ciclo del proceso.....	29
2.5. Procedimientos de análisis de datos.....	29
2.6. Aspectos éticos.....	29
2.7. Criterios de Rigor científico.....	30

CAPITULO III: RESULTADOS	31
3.1. Factores de producción en la empresa Quimpac S.A. Paramonga.	32
3.1.1. Factor que depende la eficiencia de las celdas electrolíticas	32
3.1.2. Factores que se controlan continuamente en el proceso.	33
3.1.3. Instrumentos o procesos que se usan para la medición de criterios críticos. .	34
3.1.4. ¿Dónde realizan la medición y cada que tiempo lo realizan?	34
3.2. Eficiencia de las celdas electrolíticas.....	35
3.2.1. Influencia de la concentración del Nacl	35
3.2.2. Influencia de la temperatura	35
3.2.3. Influencia del Ph.....	36
3.3. Correlación de variables que determinan la eficiencia en las celdas electrolíticas	37
3.4. Discusión de resultados	39
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
4.1. Conclusiones	42
4.2. Recomendaciones	43
Referencias	44
ANEXOS	46
Anexo I	46
Anexo II.	47

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de los factores de producción en la eficiencia de las celdas electrolíticas de mercurio en la planta álcalis Paramonga.

Mediante la investigación se pudo identificar los factores de producción que inciden en la eficiencia; los factores identificados fueron el Ph, la concentración de la salmuera y la temperatura. Con el control del pH se asegura el acondicionamiento de la salmuera, la concentración y la temperatura de la salmuera está relacionada directamente al consumo de energía.

Lo anterior favoreció para la formulación de la siguiente conclusión; cuando uno de parámetros identificados se encuentra fuera de los límites permisibles la eficiencia se verá afectada, por lo tanto, el control riguroso de estos parámetros nos asegura una eficiencia optima en las celdas electrolíticas.

Palabras clave: Influencia, factores, eficiencia

ABSTRACT

The objective of this research work was to determine the influence of production factors on the efficiency of the mercury electrolytic cells in the Paramonga alkali plant. Through research, it was possible to identify the factors of production that affect efficiency; The factors identified were pH, brine concentration and temperature. With the control of the pH the conditioning of the brine is assured, the concentration and the temperature of the brine is directly related to the energy consumption.

The above favored for the formulation of the following conclusion; When one of the parameters identified is outside the permissible limits, the efficiency will be affected, therefore, the rigorous control of these parameters assures an optimum efficiency in the electrolytic cells.

Keywords: Influence, factors, efficiency.

CAPITULO I:
INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática.

La electrolisis es un proceso electroquímico que consiste en aplicar una corriente eléctrica a una determinada sustancia iónica para separar los iones. Se produce en una celda con dos compartimentos o electrodos, el polo positivo (ánodo) que atrae a los iones negativos (Cl^-) y polo negativo (cátodo) que atrae a los iones positivos (Na^+).

La electrolisis se usa desde finales del siglo XIX en Europa y Estados Unidos, para la producción de la soda caustica, gracias a que la electricidad suponía una fuente económicamente viable y eficiente. Desde un comienzo las celdas electrolíticas con diafragma y con cátodo de mercurio fueron perfilándose como las dos formas de hacer electrolisis; en el mercado europeo las primeras en usarse fueron las de diafragma. (Gómez, 2017).

En 1884 surgieron los modelos de producción discontinua con diafragmas verticales de cemento, célula Griesheim Elektron, posteriormente en 1907 los diafragmas horizontales de amianto. De manera paralela se desarrollaron las células de mercurio, las primeras eran las llamadas Castner-kellner que se perfeccionaron con la célula Solvay. En 1970 aparecieron en el mercado las membranas, lo cual supuso un cambio tecnológico. (Gómez, 2017).

En la actualidad la empresa Quimpac S.A cuenta con 02 plantas cloro – soda, una ubicada en Oquendo – Callao y la planta Álcalis ubicada en la ciudad de Paramonga. La planta donde se realizará el estudio es la planta Álcalis, esta planta es netamente química y el fin supremo es la producción de soda caustica al 50%, para ello cuenta con 36 celdas electrolíticas, las cuales producen las 24 horas del día. La eficiencia directa de estas celdas depende del consumo de corriente por la

cantidad de soda producida. El objetivo de la presente investigación es determinar la influencia de los factores de producción en la eficiencia de celda electrolítica de mercurio

1.1.1. Situación problemática.

La eficiencia farádica de una celda electrolítica depende de 3 factores fundamentales, estos son el pH, la concentración de salmuera y la temperatura; cuando uno de ellos está fuera de los rangos permisibles el consumo de energía aumenta y esto hace que haya incrementos en los costos de producción de la soda cáustica.

1.2. Trabajos previos.

1.2.1. Mejoras para reducir las pérdidas de calor e incrementar la eficiencia del proceso de acondicionamiento del electrolito.

Los alumnos de la universidad nacional de San Marcos (Quintana & Elluz, 2017) realizaron la investigación con la finalidad Determina las pérdidas de calor existentes durante el calentamiento de electrolito rico para la etapa de electrodeposición, que se realiza en una planta de extracción por solventes de una empresa minera, la cual produce cátodos de cobre de alta pureza. Finalmente se busca determinar el ahorro en la energía que generaría el corregir estas fuentes de pérdidas de calor.

1.2.2. Optimización de los recursos productivos para la obtención de soda cáustica, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico y cloro licuado, considerando los riesgos de trabajo y ambientales, en la planta química.

El estudiante de la universidad De Guayaquil de la facultad de Ingeniería Industrial realizo un estudio con la finalidad Optimizar los recursos productivos de la empresa mediante la implementación de mejoras en el proceso de producción, considerando los riesgos ambientales y de trabajo.

Mediante el diagrama de causa – efecto, y el diagrama de Pareto, efectuó el diagnóstico de los problemas, y ha cuantificado, mediante reglas de tres simples y conversiones, obteniéndose pérdidas anuales por \$ 23,483.21, como consecuencia de las principales problemáticas que afectan a la planta que son causados por fallas en los métodos de trabajo y en la Seguridad e Higiene Industrial e Impacto Ambiental. Las soluciones propuestas que propuso fueron: la implementación de una línea de distribución de agua de servicios varios, un filtro biodegradable, redistribución de los equipos en el proceso de osmosis, implementación de una línea de agitación de aire y un programa de capacitación en Seguridad e Higiene Industrial, con lo cual se optimizan los recursos productivos (Soledispa Pisco, 2014).

1.2.3. Investigación de un Nuevo modelo sistema anódico para mejorar la eficiencia eléctrica en las celdas

En la universidad de ciencia y tecnología de Venezuela (Rojas, Malavé, & Birrot, 2012) realizaron la investigación que consiste en una simulación termoeléctrica para un nuevo modelo del Sistema Anódico, con un yugo de 4 puntas centrado y un bloque anódico de para ser usado en las Celdas. Debido a que la varilla anódica no está centrada en el yugo se incluye un incremento en el área inferior de la varilla anódica a objeto de mantener el mismo flujo de corriente a través de cada uno de los 4 brazos del yugo. El resultado de la simulación muestra que el nuevo modelo implica mayor eficiencia eléctrica de las celdas, ya que corrige las asimetrías en las distribuciones de temperatura, potencial eléctrico y densidad de corriente comparado al ánodo de 3 brazos.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. La empresa

QUIMPAC S.A., anteriormente conocida como Química del Pacífico S.A., se fundó en el año 1964, dedicándose a la producción y comercialización de soda cáustica, cloro, fosfato bicálcico y otros productos químicos, y sales para uso industrial y doméstico.

En 1994 QUIMPAC adquiere la empresa EMSAL S.A. (Empresa de la Sal S.A.) constituyéndose así en el principal productor de sal en el país.

En 1997 QUIMPAC adquiere el complejo Químico-Papelero de Paramonga (ex W.R. Grace & Sociedad Paramonga LTDA) duplicando de esta forma la capacidad de su planta química.

QUIMPAC es actualmente el único productor integrado de sal y productos químicos en el Perú, y uno de los cinco mayores productores de cloro-soda en Sudamérica.

Las operaciones de producción son realizadas en sus plantas situadas en Oquendo (Callao), Huacho (km 130 al Norte de Lima), Paramonga (km 210 al Norte de Lima) y Otuma, en Pisco (km 280 al Sur de Lima). Las oficinas administrativas están ubicadas en Oquendo.

QUIMPAC tiene presencia tanto en el mercado nacional como en el internacional. Los mercados atendidos por sus distintas divisiones abarcan todo el territorio nacional y países como Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Uruguay, Paraguay, Venezuela, Centroamérica, los Estados Unidos y Canadá (Quimpac, s.f.).

1.3.2. Electroquímica

Se conoce como electroquímica a la parte de la química que trata de la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas, ocupándose de la relación entre las reacciones de óxido-reducción, en las que tiene lugar la transferencia de electrones y la producción y uso de la corriente eléctrica y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa. En un sentido más amplio, la electroquímica es el estudio de las reacciones químicas que producen efectos eléctricos y de los fenómenos químicos causados por la acción de las corrientes o voltajes (Chang, 2007).

1.3.3. Tecnologías de Celdas Electrolíticas.

Existen tres tecnologías:

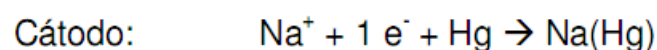
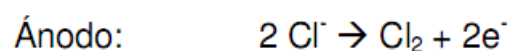
- Celdas de mercurio
- Celdas de diafragma
- Celdas de membrana

a) Celdas de Mercurio

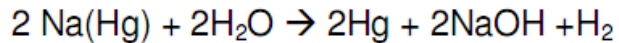
La electrólisis con celdas de amalgama de mercurio fue el primer método empleado para producir cloro a escala.

Se emplea un cátodo de mercurio y un ánodo de titanio recubierto de platino u óxido de platino. El cátodo está depositado en el fondo de la celda de electrólisis y el ánodo sobre éste, a poca distancia.

La celda se alimenta con cloruro de sodio y, con la diferencia de potencial adecuada, se produce la electrólisis.



A continuación, se procede a la descomposición de la amalgama de sodio (0,5% en peso de sodio) formada para recuperar el mercurio. La base sobre la que está la amalgama está ligeramente inclinada y de esta forma va saliendo de la celda de electrólisis y se pasa a un descomponedor relleno con grafito en donde se añade agua a contracorriente, produciéndose la reacción:

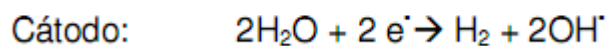
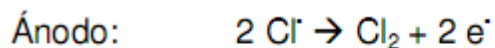


Al pasar por el descomponedor, se recupera el mercurio para su reutilización en el circuito.

Regulando la cantidad de agua que alimenta el reactor es posible obtener directamente la soda a su concentración de comercialización 50% en peso. En la Figura se esquematiza el proceso global (Casellos, Gómes, Molero, & Sardé, 2015).

b) Celdas de Diafragma

Este método se emplea principalmente en Canadá y Estados Unidos. Se alimenta el sistema continuamente con salmuera que circula desde el ánodo hasta el cátodo. Las reacciones que se producen son las siguientes:



Los compartimentos anódico y catódico se encuentren separados por un diafragma basado en amianto mezclado con diversos polímeros para mejorar su eficacia e incrementar su vida media (3 a 4 años): El amianto está en contacto directo con el cátodo. La salmuera se alimenta por el compartimiento anódico

en una concentración de 30%. En el ánodo se produce cloro, y parte de la salmuera migra hacia el cátodo por difusión puesto que el diafragma es poroso.

En el cátodo la reducción del agua produce hidrógeno e iones hidroxilo que junto con los iones sodio contenidos en la salmuera dan lugar a la sosa cáustica. Tanto el hidrógeno como la disolución de sosa contaminada con cloruro sódico salen por el parte interior del cátodo.

El ánodo es dimensionalmente estable mientras que el cátodo es una tela metálica de acero inoxidable recubierta con ciertos catalizadores como níquel expandido para minimizar el sobre voltaje de desprendimiento de hidrógeno (Camacho & Rios, 2013).

c) Celdas de Membrana

Se introdujeron en el mercado a partir de 1970. Las reacciones redox son las mismas que en las de diafragma. La diferencia fundamental y crucial con éstas es que en las celdas de membrana el material que separa el anolito del catolito es una membrana de intercambio catiónico perfluorada, selectiva a los iones sodio. Por lo tanto, el catolito no está constituido por la salmuera que difunde del anolito, sino por una disolución acuosa diluida de hidróxido sódico que se alimenta independientemente. Se obtiene así una disolución de sosa cáustica prácticamente exenta de iones cloruro.

La salmuera se alimenta por el compartimiento anódico a una concentración del 25% en peso y a una temperatura de 80 – 95 °C. La membrana de intercambio catiónico es el tipo bicapa y está diseñada para impedir el paso de iones cloruro del anolito al catolito, así como de los iones hidroxilo del catolito

al anolito. Por tanto, la pureza del cloro es superior a la obtenida en celdas de diafragma.

Mediante las reacciones químicas adecuadas, y partiendo de una membrana de intercambio catiónico sulfónicos, se introduce en la cara que se enfrenta al catolito una capa de grupos carboxílicos.

Regulando el espesor de la capa de grupos carboxílicos es posible obtener una membrana útil para obtener una concentración de hidróxido sódico en el catolito comprendida entre 30 y el 35 % en peso, con una eficacia de la corriente superior al 95 % y sin un excesivo aumento en el consumo específico de energía (Gourbe, 2007).

1.3.4. Descripción del Proceso la Planta Cloro-Soda por Medio de Celdas de Mercurio.

Flujograma Proceso la Planta Cloro-Soda

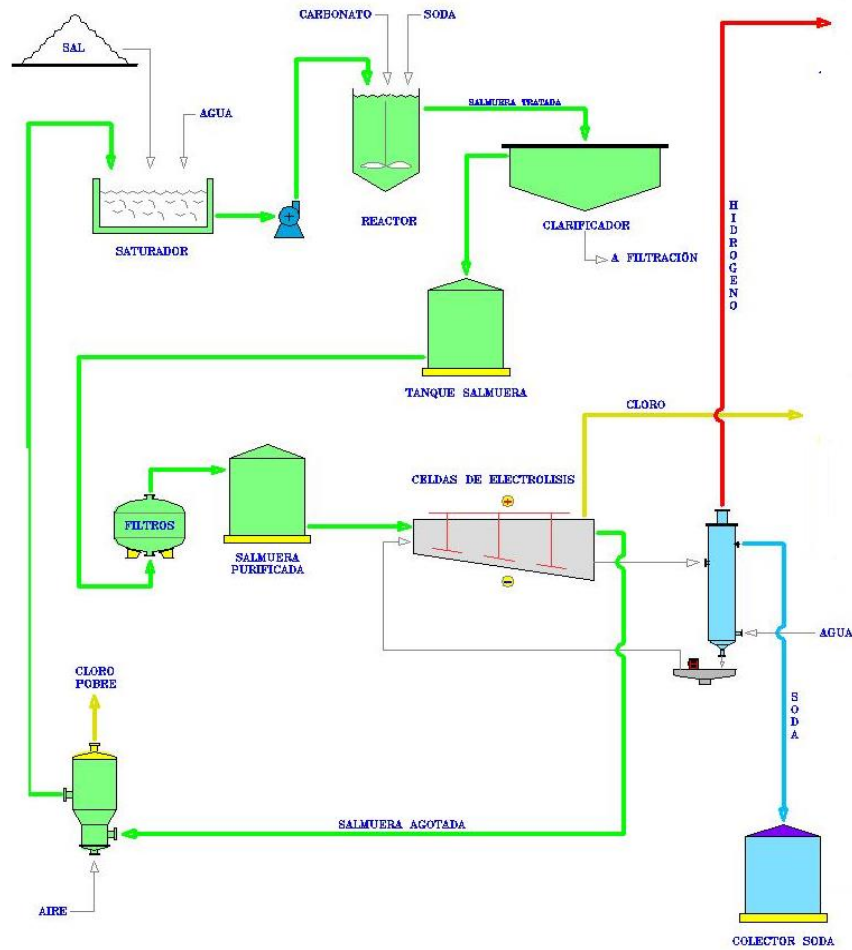


Figura N° 1: Flujograma Proceso la Planta Cloro-Soda

Fuente: Elaboración propia

Preparación y tratamiento de salmuera

La preparación de salmuera saturada es un proceso continuo. Para este fin se dispone de dos pozas de resaturación: Norte y Sur. Una poza de resaturación se encuentra en servicio y el otro en mantenimiento o stand by.

La sal procedente de las salinas de Huacho que se encuentra apilada en las canchas de almacenamiento, se añade con un cargador frontal a la poza de resaturación con una frecuencia de 3.5 paladas (12 Toneladas) por hora, a excepción entre horas punta, normalmente de 6:00 pm a 9:00 pm, donde se añade aproximadamente 4 paladas (12 Toneladas) en total. La salmuera en su paso por la poza de resaturación, se satura aproximadamente hasta 318 g/L.

Por otro lado, la salmuera declorada proveniente de los declorinadores, antes de ingresar a la poza de resaturación se le añade NaOH, para regular el pH entre 6.5 - 8.5. Una parte de esta salmuera va a la poza de resaturación y otra al tanque de salmuera saturada. La salmuera que va al resaturador sirve para disolver la sal, por consiguiente, se satura. En tanto que la salmuera que va al tanque de salmuera saturada sirve para diluir la salmuera hasta 305 - 315 g/L. De esta manera se evita que la salmuera saturada se cristalice en las tuberías y unidades del proceso.

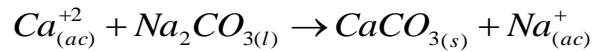
La poza de resaturación sale de servicio cuando no se alcanza la concentración deseada de cloruro de sodio, debido a una cantidad considerable de insolubles depositado en el tanque de saturación, por lo que es necesario realizar la limpieza y mantenimiento respectivo. Asimismo, ingresa en servicio la otra poza de resaturación, que se encontraba en stand by.

El Laboratorio Central de Paramonga toma muestras de salmuera saturada a la entrada y salida del tanque de salmuera saturada cada cuatro horas; analiza la concentración de NaCl, Ca⁺², Mg⁺² y mide pH, comunica los resultados al operador de salmuera y estos se registran en la planilla de control de proceso.

Tratamiento químico de la salmuera saturada

La salmuera de la poza de salmuera saturada es bombeada al reactor N°1, en donde se adiciona solución de carbonato de sodio (Na₂CO₃ 160 a 190 g/L), con el fin de reducir el contenido de iones Ca⁺² que contiene la salmuera, a través de la formación de CaCO₃.

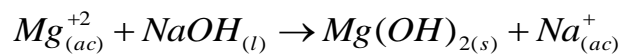
La siguiente reacción ocurre en el reactor N°1.



El tanque de almacenamiento de Na₂CO₃, cuenta con dos bombas, las cuales sirven para enviar la solución hacia el tanque cabeza desde donde se dosificará la solución de Na₂CO₃ al reactor N°1 y para homogenizar la solución en el tanque se cuenta con un agitador de paletas. El operador de salmuera controla el flujo de Na₂CO₃, a un porcentaje de abertura de válvula aproximadamente 25%, de manera que se obtenga un exceso de Na₂CO₃ entre 200 – 450 ppm en la salmuera.

La salmuera tratada en el reactor N°1 pasa por rebose hacia el reactor N°2, en donde se añade Soda Cáustica (NaOH 140 a 160 g/L) con el fin de reducir el contenido de iones Mg+2 que contiene la salmuera, obteniéndose Mg(OH)₂.

La siguiente reacción ocurre en el reactor N°2.



El tanque de preparación de NaOH diluida, cuenta con dos bombas, las cuales sirven para recircular la solución a preparar y transferir la solución preparada hacia un tanque cabeza, desde donde se dosificará la solución de NaOH al Reactor N° 2 y para homogenizar la solución en el Reactor se cuenta con un agitador de paletas. Se controla el flujo de NaOH diluida a un porcentaje de abertura de válvula aproximada de 35%, el cual se regula en función del pH: 10.1 - 10.4, dando un exceso de NaOH entre 200 - 350 ppm.

A la salmuera tratada en el reactor N° 2 que ingresa por rebose al clarificador, se le adiciona la solución de floculante (Magnafloc 611), con un porcentaje de abertura de válvula del 25% aproximadamente, con la finalidad de aglomerar los

sólidos en el fondo del Clarificador para su posterior evacuación a la Sección de Tratamiento de lodos.

Clarificación de salmuera saturada

El Clarificador está provisto de una rastra, la cual concentra los lodos decantados en la parte central inferior para ser evacuados cada cierto tiempo predeterminado.

El clarificador tiene una alarma acústica que se accionara en caso deje de funcionar la rastra.

La pérdida de calor se maneja con un techo flotante de tecnopor. El cual sólo será retirado o repuesto según sea el caso, cuando se tenga variaciones de temperatura que nos alejen del valor deseado en el clarificador.

El Laboratorio Central Paramonga toma muestras cada dos horas para determinar el valor de los parámetros establecidos Ca^{+2} , Mg^{+2} , NaOH, Na_2CO_3 y pH los cuales son comunicados al operador de salmuera; los resultados se registran en la planilla de control de proceso.

La purga de lodos se realiza en forma automática por medio de una válvula neumática ubicada en la parte central del Clarificador. La frecuencia de la purga varía según la concentración visual de insolubles, la cual se verifica según análisis de Laboratorio Central Paramonga (8% - 12% de sólidos), En la actualidad el tiempo de purga de lodos es de 110 segundos por cada 55 minutos de decantación (reposo).

Cuando el sistema de control automático no está en servicio la evacuación de los lodos se hace en forma manual cumpliéndose aproximadamente la misma frecuencia. Los lodos evacuados son enviados a la Sección de Tratamiento de Lodos.

Filtración de salmuera clarificada

La salmuera clarificada ingresa al tanque pre filtro por rebose del clarificador, mediante el empleo de una bomba se alimenta la salmuera clarificada a los filtros de arena. La salmuera decantada ingresa por la parte superior y por la parte inferior de los filtros se obtiene la salmuera filtrada. Se dispone de 6 filtros que funcionan en paralelo.

Para el lavado de filtros de arena (grava) se utiliza salmuera del tanque de Pre-filtro para remover los sólidos retenidos. El lavado de filtros de salmuera se realizará una vez en la primera y segunda guardia, la cual será realizada por el operador de salmuera. De esta manera se minimizará la probabilidad de obstrucción, caída excesiva de presión, mala calidad del filtrado, etc.

Acondicionamiento de salmuera Depurada

Se dispone de dos tanques de almacenamiento de salmuera depurada. Uno se encuentra en servicio y el otro en stand by. La salmuera filtrada ingresa al tanque de salmuera depurada. La salmuera depurada es bombeada a la Sección de Celdas Electrolíticas previa dosificación de HCl en la línea de succión de las bombas para regular la acidez de la salmuera ($2.5 < \text{pH} < 3.5$).

A la salida del tanque de salmuera depurada, ésta se mezcla con salmuera clorada que recircula hacia la Sección de Celdas Electrolíticas en circuito corto; la mezcla ingresa a las Celdas Electrolíticas. Esta mezcla se realiza con la finalidad de incrementar la temperatura y regular la concentración de cloruro de sodio de la salmuera de entrada a celdas electrolíticas.

Declorinación de salmuera clorada

En las celdas electrolíticas se produce la electrólisis de la salmuera obteniéndose cloro gas, soda cáustica e hidrógeno. A consecuencia de ello la concentración del cloruro de sodio en la salmuera disminuye, así mismo en la salmuera se disuelve una pequeña cantidad de cloro gas.

La salmuera clorada procedente de las Celdas Electrolíticas se receptiona en el tanque de salmuera Clorada de donde se bombea hacia los declorinadores que operan en serie y hacia las Celdas Electrolíticas en donde se mezcla con salmuera Depurada, lo que se conoce como circuito corto.

A la salmuera Clorada que ingresa a los declorinadores se adiciona HCl con la finalidad de bajar el pH entre 1.8 - 2.5 para que la salmuera libere el cloro absorbido y sea arrastrada por el aire insuflado. A este cloro con aire se le denomina Cloro Pobre y es enviado a la Sección de Abatimiento de Cloro. Los dos declorinadores funcionan en serie, la salmuera ingresa al primer declorinador por la parte superior y sale por la parte inferior; la salmuera que sale del primer declorinador ingresa por la parte superior al segundo declorinador y sale por la parte inferior.

La salmuera que se obtiene es enviada a la poza de restauración y/o tanque de salmuera saturada, previa dosificación de solución de soda cáustica, para regular el pH entre 6.5 - 8.5.

El Laboratorio Central Paramonga toma muestras de salmuera declorada cada cuatro horas; analiza la concentración de cloro y mide pH, comunica los resultados al operador de salmuera y se registran en la planilla de control de proceso.

1.3.5. Definición de términos básicos

- Sal Cloruro de Sodio: Materia prima de la Planta Álcalis Paramonga. Compuesto químico formado por cationes de sodio y aniones de cloro.
- Salmuera saturada: Solución saturada de Cloruro de sodio (NaCl) a una temperatura determinada (aprox. 315g/L a 70 °C).
- Salmuera declorinada o pobre: Solución diluida de cloruro de sodio (aprox. 240 g/L), proveniente de la sección de celdas electrolíticas; utilizada para diluir la sal del tanque de saturación.
- Paladas: Unidad de medida utilizada por el operador del cargador frontal para medir la sal añadida al tanque de saturación. La equivalencia por palada es de aprox. 3.4 TM con el cargador frontal KOMATSU.
- Floculante: Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión para facilitar su remoción.
- Magnafloc 611: Nombre comercial del floculante sólido utilizado en el tratamiento químico de la salmuera.
- Tanque Reactor: Tanque donde ocurre una reacción ó transformación química.
- pH: Indicador de la acidez o basicidad de una solución.
- Decantación: Proceso por el cual el material sólido de una solución se deposita en el fondo por efecto de la gravedad.
- Salmuera tratada: Es la salmuera que se obtiene del proceso de tratamiento químico.
- Salmuera clarificada: Es la salmuera que se obtiene del proceso de clarificación.

- Lodos: Solución con abundantes sólidos en suspensión procedente de la purga del decantador.
- Salmuera pre filtrada: Salmuera que se obtiene del proceso de clarificación.
- Salmuera clorada: Salmuera que se obtiene a la salida del proceso de las celdas electrolíticas.
- Filtración: Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que sólo permite pasar líquido a través de él.
- Filtro de grava o arena: Unidad de filtración que utiliza la grava como medio poroso.
- Salmuera depurada: Salmuera que se obtiene del proceso de acondicionamiento de salmuera.
- Celdas electrolíticas: Equipo donde se lleva a cabo la electrólisis de la sal.
- Electrólisis: Proceso químico que se utiliza para disgregar las moléculas de una sustancia cuando pasa por ella una corriente eléctrica.
- Cloro pobre: Mezcla de cloro con aire procedente de los declorinadores.

1.4. Formulación del problema.

¿Qué factores inciden en la eficiencia de las celdas electrolíticas de mercurio en la planta álcalis Paramonga?

1.5. Justificación e importancia.

La presente investigación se realiza debido al alto consumo de energía eléctrica en la electrolisis, la necesidad de hacer que el proceso sea más eficiente, con menos consumo de energía y por consecuente disminuir los costos de producción.

Determinar la influencia de los factores de producción en la eficiencia de las celdas electrolíticas nos dará alcances de qué medidas tomar para la mejora de la eficiencia en el proceso de la producción de soda caustica. La finalidad de este estudio es la detectar los procesos en los cuales es factible realizar una mejora y así poder incrementar la eficiencia en el proceso de la electrolisis.

1.6. Hipótesis.

H1. Detectando la influencia de los factores de producción en la eficiencia de celda electrolítica de mercurio, se podrá detectar las fases del proceso en las cuales se puede incidir en una mejora.

H0. Detectando la influencia de los factores de producción en la eficiencia de celda electrolítica de mercurio, No se podrá detectar las fases del proceso en las cuales se puede incidir en una mejora.

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo general.

Determinar la influencia de los factores de producción en la eficiencia de celda electrolítica de mercurio en la planta álcalis Paramonga – Perú.

1.7.2. Objetivos específicos.

- Analizar los factores de producción en la empresa Quimpac Paramonga.
- Determinar el nivel de eficiencia en las celdas electrolíticas.
- Aplicar técnicas de correlación de variables para determinar la influencia de los factores de producción en la eficiencia.

CAPITULO II:
MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación.

2.1.1. Tipo de investigación:

El tipo de la presente investigación es cuantitativa por que se recoge y analiza datos de los procesos para su posterior análisis.

2.1.2. Diseño de la investigación:

El diseño de la presente investigación es No experimental, porque se realiza sin manipular intencionalmente las variables, sino solo observando la situación actual para ser analizados y ver la factibilidad de mejora.

2.2. Población y muestra.

2.2.1. Población.

La población en este proyecto de investigación será la planta álcalis Paramonga.

2.2.2. Muestra.

La muestra de este proyecto serán las áreas de tratamiento de salmuera, salmuera y electrolisis, de la planta álcalis Paramonga.

2.3. Variables, Operacionalización.

2.3.1. Variable Independiente.

Influencia de los factores de producción en la eficiencia de las celdas electrolíticas

2.3.2. Variable Dependiente.

- Factores de producción.
- Eficiencia de las celdas electrolíticas.

2.3.3. Operacionalización.

Tabla 1

Tabla de Operacionalización de la Variable Independiente

Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos
Influencia de los factores de producción en la eficiencia de las celdas electrolíticas	0 - 100%	-Mejor eficiencia	-Observación -Entrevista	-Guía de observación -Cuestionario.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2

Tabla de Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Técnicas de recolección de datos	Instrumentos de recolección de datos
Factores de producción	0 - 100%	Ton. Producidas/ Energía consumida	*Observación *Entrevista	*Guía de observación *Cuestionario.
Eficiencia de las celdas electrolíticas.	0 - 100%	Ton. Producidas/ Energía consumida	*Observación *Recolección de datos históricos	*Guía de observación *Hoja de cálculo.

Fuente: Elaboración Propia

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

Para la presente investigación sobre la influencia de los factores de producción en la eficiencia de celda electrolítica de mercurio en la planta álcalis Paramonga - Perú, se aplicó la Investigación Documental que proporciona documentos bibliográficos y consultas de criterio. También se aplicó la Investigación de Campo, que proporciona obtener la información necesaria del área de estudio.

Para ello se usó los siguientes métodos de recolección de datos:

Método Deductivo: Método que permite identificar el problema en todo su contexto en los aspectos de carácter técnico y científico.

Método Inductivo: Permite obtener conclusiones generales a partir de indicios particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación (Definicion.de, s.f.)

Analítico: La teoría, hechos y acontecimientos fueron analizados técnicamente de tal forma que pueda entenderse estructurada coyunturalmente todos los aspectos relacionados con esta investigación.

Sintético: Este método permitió sintetizar la información relevante relacionada con este tema.

También se recurrió al uso de técnicas como:

Observación: Técnica que nos permite describir, conocer y registrar datos.

Guía de observación: Con este tipo de instrumento se obtuvo la información requerida. Para ello se realizará a través del modelo de guía elaborado que se muestra en el anexo I.

Cuestionario: Sirve para realizar la recolección de la información a los operarios y trabajadores, esto dará indicios de las anomalías posibles que estuviesen mermando la eficiencia. El modelo a aplicar se muestra en el anexo II.

2.4.1 Procedimiento para la recolección de datos

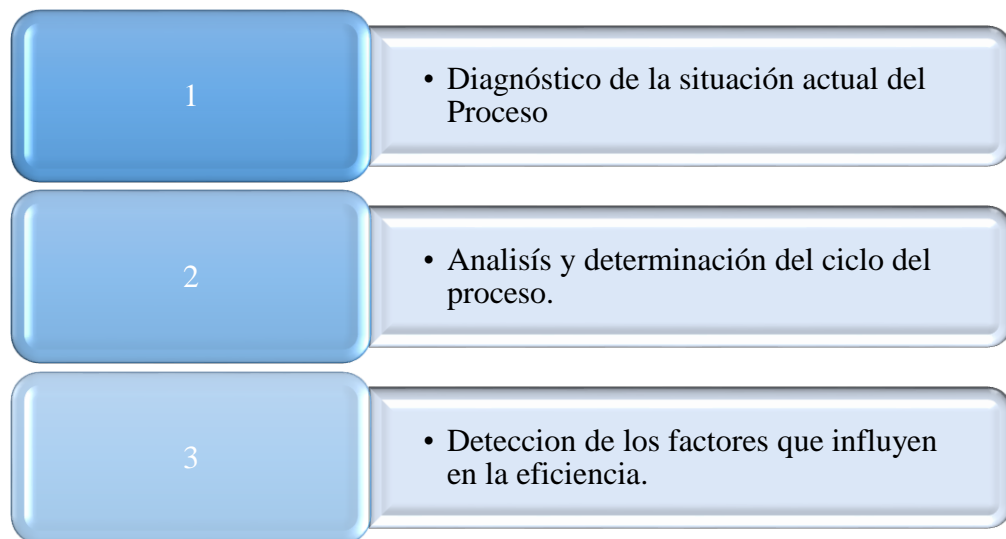


Figura N° 2: Diagrama de Proceso de Recolección de Datos
Fuente: Elaboración Propia

2.4.2. Diagnóstico de la situación actual del Proceso de la producción de la soda cáustica al 50%

- Se realizaron visitas al proceso al área de electrolisis referente a la producción de la soda caustica.
- Se visitó las áreas de tratamiento de salmuera y salmuera, con la finalidad de conocer el recorrido de la materia prima antes de ingresar a las celdas electrolíticas.

- c) Se revisó de la documentación de la empresa, concerniente al estudio realizado.

2.4.3. Análisis y determinación del ciclo del proceso.

- a) Se realizó recorrido guiado por un operario conocedor del proceso, para identificar las líneas del proceso productivo.
- b) Se realizaron observaciones registradas por una cámara fotográfica y entrevistas, las cuales serán usadas para analizar los posibles factores que estén afectando al proceso productivo.

2.5. Procedimientos de análisis de datos.

Para el análisis de los datos recolectados del proceso se utilizará la herramienta Microsoft Excel 2013 como programa estadístico, para ordenar los datos, realizar tablas, gráficos y la elaboración de las respectivas interpretaciones.

2.6. Aspectos éticos

Los criterios éticos considerados fueron:

Confidencialidad: Al momento de aplicar todos los instrumentos se tuvo en cuenta que todos los nombres de los colaboradores de la empresa, donde se realizó el estudio se mantuvieran en total reserva.

Consentimiento informado: Se garantizó que la información que nos brindaron voluntariamente los colaboradores de la empresa con intención de participar en la Investigación es correcta. Se les informó que con su consentimiento la forma que se usaría la información brindada, teniendo en cuenta sus derechos y responsabilidades.

Originalidad: Toda la información está amparada por teorías que sustenten la investigación, tomando en cuenta que no exista ningún indicio de plagio para así obtener resultados precisos y a su vez formales que conllevarían a resultados

definidos.

Veracidad: Se registró mediante fotografías la participación de los colaboradores de la empresa, con la finalidad de demostrar claramente la veracidad de la aplicación y resultados, constatando así la veracidad y confiabilidad de los resultados obtenidos (Maldonado Mondragon & Ysique Chavez, 2017).

2.7. Criterios de Rigor científico.

Confiabilidad: Se contrastó los datos obtenidos en los cuestionarios en diferentes momentos y con distintas personas, se buscó que estos concuerden con los resultados del mismo cuestionario, así se pudo comprobar que existe un alto grado de confiabilidad.

Validez: Los instrumentos aplicados en esta investigación han sido validados, pues fueron aplicados con anterioridad y se han obtenido resultados factibles.

CAPITULO III:
RESULTADOS

3.1. Factores de producción en la empresa Quimpac S.A. Paramonga.

El ciclo de producción analizado en el estudio para determinar la influencia de los factores de producción en la eficiencia de las celdas electrolíticas se muestra en el la

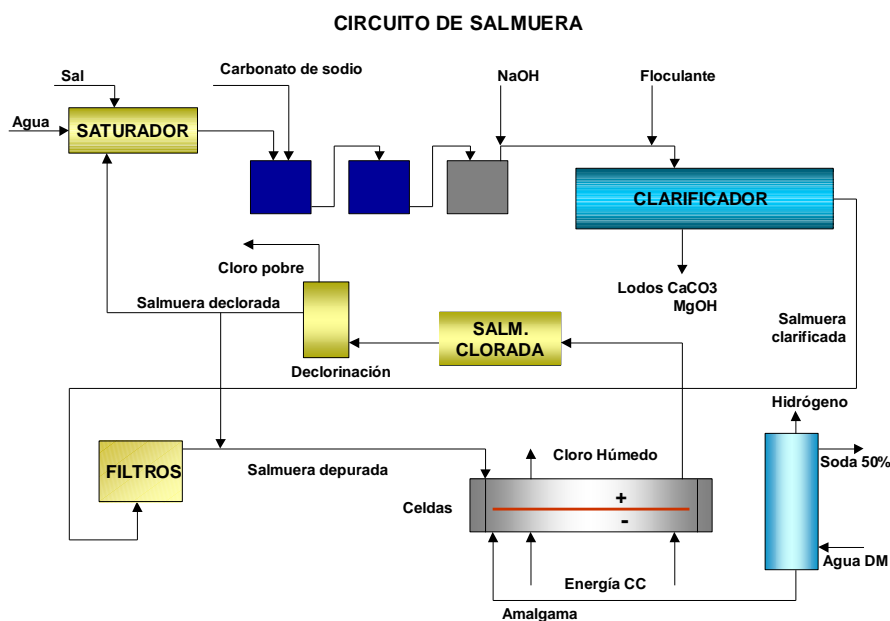


figura N°3

Figura N° 3: Circuito de Salmuera.
Fuente: Quimpac S.A.

3.1.1. Factor que depende la eficiencia de las celdas electrolíticas

Se realizó la entrevista a 16 trabajadores del área de celdas con la finalidad de recabar información a los factores que influyen en la eficiencia de las celdas electrolíticas, a continuación, se muestra el resultado de lo obtenido.

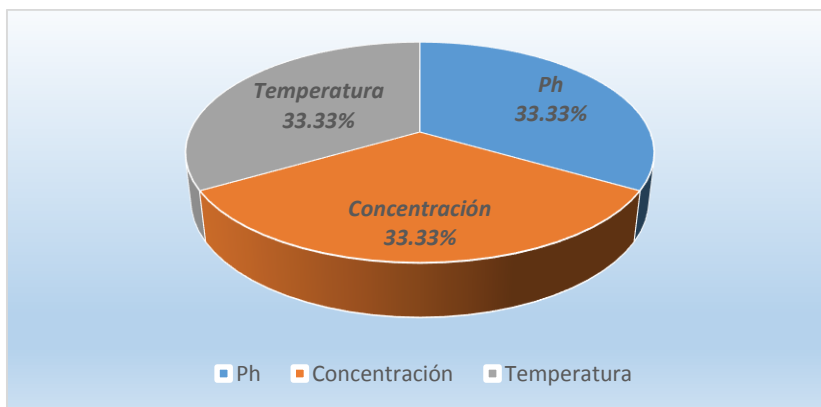


Figura N° 4 ¿De qué factores depende la eficiencia de las celdas electrolíticas?

Interpretación: El resultado que se muestra en la figura N° 6 indica existen 3 factores fundamentales que determinan la eficiencia de las celdas electrolíticas; estas son el pH, la concentración y la temperatura de entrada de las celdas electrolíticas.

3.1.2. Factores que se controlan continuamente en el proceso.

Se consultó a 04 supervisores de guardia con respecto a los factores que eran monitoreados continuamente en la producción y lo que respondieron fue lo siguiente:

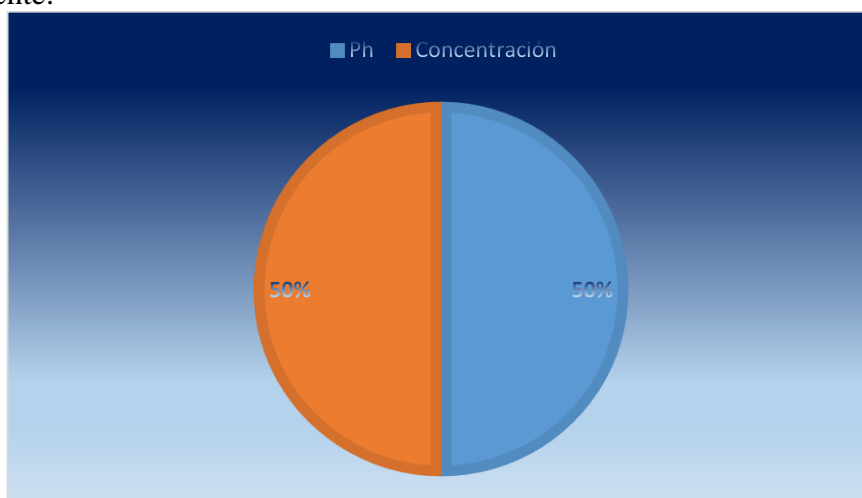


Figura N° 5 ¿Qué factores se controlan rigurosamente?

Interpretación: En el resultado a que se muestra en la figura N°7, indica que se controlan rigurosamente dos factores en la producción, que son el Ph y la concentración de la salmuera.

En este proceso de celdas electrolíticas de mercurio se registran los datos de la temperatura, pero no se puede incidir en ellas. la temperatura resulta como consecuencia de la electrolisis, siendo mayor en la salida de celdas y menor en la entrada de celdas. Cuanto mayor es la temperatura de entrada

a celdas, mayor será la eficiencia.

3.1.3. Instrumentos o procesos que se usan para la medición de criterios críticos.

Se consulto a los jefes de guardia con respecto a los criterios que se controlan rigurosamente en el proceso, el resultado de muestra en la siguiente figura.

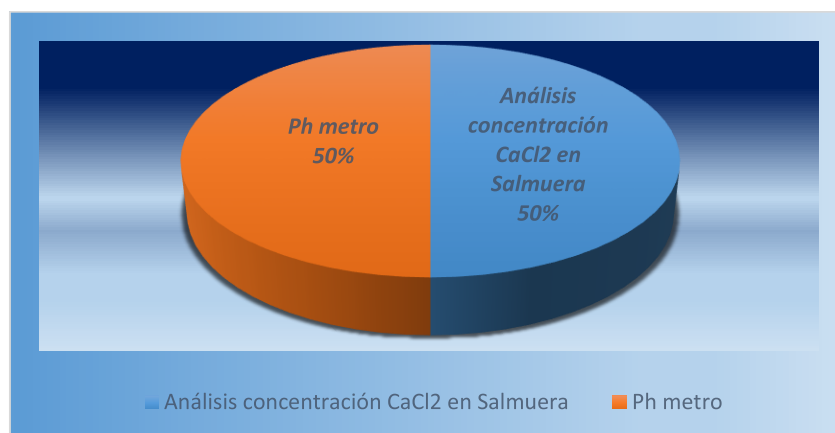


Figura N° 6 ¿Qué instrumentos usan para la medición de los criterios críticos?

Interpretación: En el resultado que se muestra en la gráfica, se puede apreciar que se usa un instrumento de medición de pH y un proceso para determinar la concentración de la salmuera.

3.1.4. ¿Dónde realizan la medición y cada que tiempo lo realizan?

Con respecto a la respuesta de esta pregunta se pudo recolectar la siguiente información.

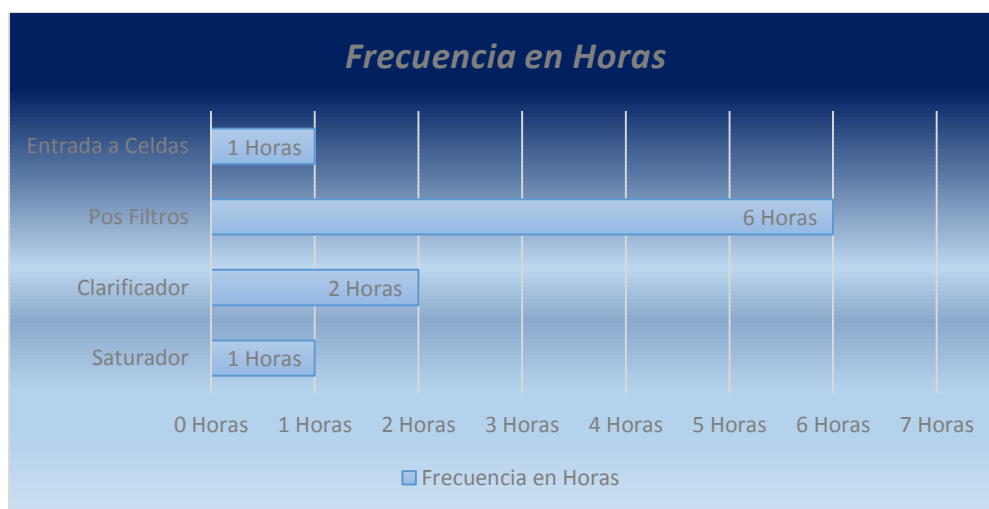


Figura N° 7 ¿Dónde realizan la medición y cada que tiempo lo realizan?

Interpretación: Del gráfico se puede deducir que la frecuencia de las mediciones que se realizan al proceso son más continuas en el resaturador de salmuera y en la entrada a las celdas electrolíticas, siendo con cada hora la toma de datos. Los análisis en el clarificador son realizados cada 2 horas y por último en los Pos-filtros de salmuera los análisis son cada 6 horas.

3.2. Eficiencia de las celdas electrolíticas

La eficiencia está condicionada a tres factores fundamentales, al variar alguna de ellas siempre habrá una variación en la eficiencia.

3.2.1. Influencia de la concentración del NaCl

La reducción de la concentración del cloruro de sodio incrementa el consumo de energía ya que incrementa el voltaje necesario en la celda electrolítica para movilizar los iones, cuando la concentración de salmuera disminuye por debajo de 280 g/l el consumo de energía se incrementa. Para mantener la concentración de la salmuera es necesario agregar sal al restaurador de salmuera (Gourbe, 2007).

3.2.2. Influencia de la temperatura

El rendimiento de las celdas electrolíticas depende notablemente de la temperatura del flujo de salmuera de entrada a celdas. Si no existen sistemas que permitan una regulación de la temperatura de entrada, las características de la salmuera y la eficacia de la electrolisis variarían según los cambios de temperatura estacionales.

Es recomendable trabajar a temperaturas altas, y esto requiere que en el ciclo del sistema no haya pérdidas de calor o encontrar alguna forma de aprovechar las diferencias de temperatura para calentar la salmuera al ingreso de las celdas. Según Blancke (2006) estima que el consumo de energía es de aproximadamente 120 - 170 kWh / tNaCl, este rango está afectado directamente por la temperatura

de ingreso del flujo de salmuera a las celdas electrolíticas, mientras más caliente sea la temperatura de ingreso menor será el consumo de energía eléctrica.

3.2.3. Influencia del Ph

El control del pH es muy riguroso en cada etapa del acondicionamiento de la salmuera, antes de ingresar a la poza de resaturación, se le añade solución de NaOH a la salmuera de clorada proveniente de los de cloradores, para regular el pH entre 6.5 - 8.5, de esta manera evitar posible emisión de gas cloro al ambiente.

Una vez saturada la salmuera y con la finalidad de precipitar el Mg en los rectores de salmuera, se alcaliniza la salmuera adhiriendo NaOH cual se regula en función del pH: 10.3 - 10.5.

La salmuera antes del ingreso a las celdas electrolíticas se le dosifica HCl con la finalidad de regular la acidez de la salmuera ($2.5 < \text{pH} < 3.5$); ajustando el pH en este rango favorece al desprendimiento de los iones Cl^- y Na^+ y minimizando las reacciones parasitas en la electrolisis.

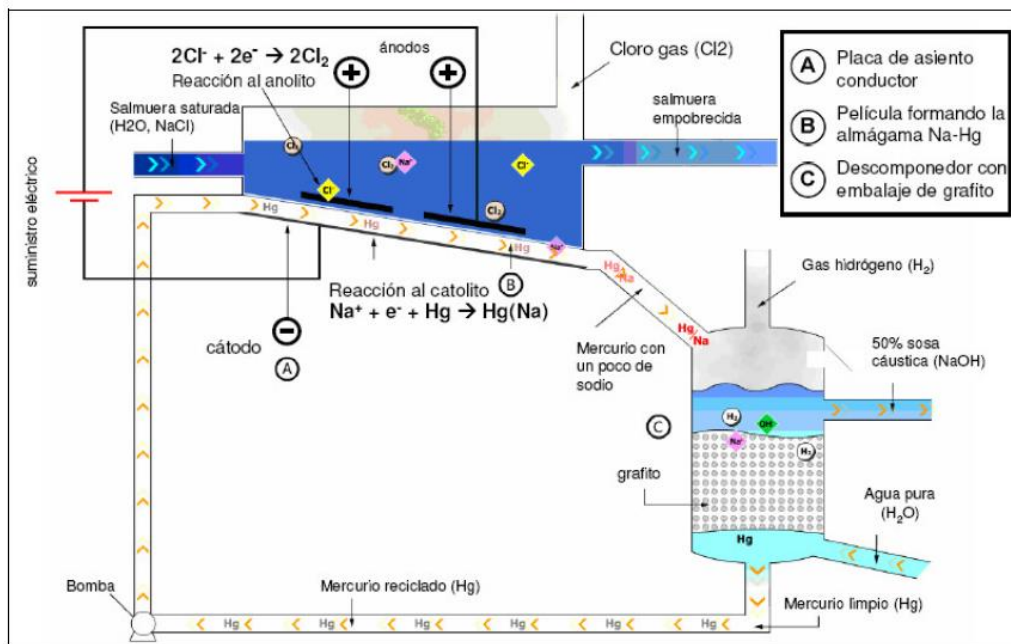


Figura N° 8 Esquema del proceso de fabricación de cloro y sosa utilizando celdas de mercurio
Fuente: <http://www.eurochlor.org/the-chlorine-universe/how-is-chlorine-produced/the-mercury-cell-process.aspx>

3.3. Correlación de variables que determinan la eficiencia en las celdas electrolíticas

A continuación, se presta las variables que se controlan con la finalidad de tener un proceso de electrolisis eficiente.

Tabla 3
Especificaciones de Control de Proceso para la Producción de Soda Cáustica Líquida

50% I

SALMUERA I						
Subproceso	Punto de Control	Parámetro	Unidad	Límite Mínimo	Límite Máximo	Valor Óptimo
Tratamiento de Salmuera Saturada	Entrada Celdas	Flujo	m ³ /h	130	300	---
		Temperatura	° C	---	80	75
	Circuito Corto	Flujo	m ³ /h	110	200	---
	Salida Celdas	Temperatura	° C	---	88	84
	Salida Clarificador (Purga de Lodos)	Timer	seg	0	120	---
Electrólisis de Salmuera	Sala de celdas	Carga	kA	10	151	---
		N° de Celdas	N°	28	36	---
Recepción y Almacenamiento de materia prima e insumos Reactivos	Tanque de solución de NaOH	Concentración	g/L	380	490	---
			%w/w	30	35	---
		Nivel	cm	40	350	---
	Tanque de solución de Na ₂ CO ₃	Concentración	g/L	160	205	---
			%w/w	14	17	---
		Nivel	cm	100	450	---

Nota: la siguiente tabla son las especificaciones del tratamiento primario que se le realiza a la salmuera.

Fuente: Quimpac S.A.

En la tabla 3 podemos apreciar los controles que se realizan a la salmuera previo al ingreso a las celdas electrolíticas. Se puede observar que la primera variable controlada es la temperatura, la temperatura ideal que se puede obtener es de 75 °C con la cual se puede

obtener la mejor eficiencia en el proceso, mientras esta temperatura se acerque más al límite máximo, la eficiencia del sistema será óptima. La temperatura de salida de las celdas es directamente proporcional a la temperatura de ingreso a celdas.

También se puede observar la adición de la soda caustica (NaOH) y el carbonato de sodio (Na₂CO₃) a la salmuera, la soda se emplea para incrementar el pH y así precipitar las impurezas que arrastra la salmuera (Ca y Mg), el carbonato se emplea como floculante.

Tabla 4
Especificaciones de Control de Proceso para la Producción de Soda Cáustica Líquida
50% II

SALMUERA II						
Subproceso	Punto de Control	Parámetro	Unidad	Límite Mínimo	Límite Máximo	Valor Óptimo
Tratamiento de Salmuera Saturada	Salida Declorador	pH	---	6.5	8.5	7.0
		Cl ₂	mg/L	20	80	---
	Salida Resaturador	NaCl	g/L	300	318	---
		Ca ⁺⁺	mg/L	---	250	---
		Mg ⁺⁺	mg/L	---	150	---
	Entrada Clarificador	Ca ⁺⁺	mg/L	---	5	0
		Mg ⁺⁺	mg/L	---	3	0
		NaOH	mg/L	200	550	---
		Na ₂ CO ₃	mg/L	200	450	---
	Salida Clarificador	pH	---	10.3	10.5	10.4
		pH	---	10.3	10.5	10.4
		Ca ⁺⁺	mg/L	---	5	0
		Mg ⁺⁺	mg/L	---	2	0
		NaOH	mg/L	200	550	---
		Na ₂ CO ₃	mg/L	200	450	---
		NaCl	g/L	295	315	---
		Fe ⁼	mg/L	---	0.10	---
	Turbidez	NTU	---	3	---	
	Entrada Celdas Electrolíticas	Ca ⁺⁺	mg/L	---	10	0
		Mg ⁺⁺	mg/L	---	4	0
		NaCl	g/L	280	305	290
		Na ₂ SO ₄	g/L	---	20	---
		Fe ⁼	mg/L	---	0.05	---
pH		---	2.5	3.5	3.0	
		NaCl	g/L	235	260	250

Salida Celdas Electrolíticas	pH	---	1.8	2.5	2.0
	Fe=	mg/L	---	0.10	---

Nota: la siguiente tabla son las especificaciones del tratamiento secundario que se le realiza a la salmuera.

Fuente: Quimpac S.A.

Los datos presentados En la tabla 4 pertenecen al tratamiento secundario de la salmuera, llamada así por que es el tratamiento que se le da a la salmuera después del proceso de la electrolisis, llamada también salmuera clorada, la cual es declorada y saturada para el reingreso a las celdas electrolíticas.

Se puede observar como la variación del pH ayuda en la adecuación de la salmuera, al salir de las celdas electrolíticas la salmuera tiende a ser acida, con la finalidad de desprender el cloro atrapado se le agrega soda hasta conseguir un pH neutro. Luego de la saturación de la salmuera agregando sal (NaCl) se alcaliniza la salmuera con la finalidad de precipitar el calcio y magnesio.

Finalmente, la salmuera se acidifica con la finalidad de favorecer al desprendimiento de los iones Cl⁻ y Na, en el proceso de la electrolisis.

3.4. Discusión de resultados

Luego de haber realizado la investigación, estudio y seguimiento del proceso de producción se observa que los factores que inciden en la eficiencia son el pH de la salmuera, la concentración de la salmuera y la temperatura de salmuera.

Conuerdo con el aporte de (Quintana & Elluz, 2017) que realizaron su investigación con la finalidad Determina las pérdidas de calor existentes durante el calentamiento de electrolito rico para la etapa de electrodeposición, que se realiza en una planta de extracción por solventes de una empresa minera, la cual produce cátodos de cobre de

alta pureza. Finalmente se busca determinar el ahorro en la energía que generaría el corregir estas fuentes de pérdidas de calor.

Por otra parte, (Rojas, Malavé, & Birrot, 2012) realizaron la investigación que consiste en una simulación termoeléctrica para un nuevo modelo del Sistema Anódico, con un yugo de 4 puntas centrado y un bloque anódico de para ser usado en las Celdas. Debido a que la varilla anódica no está centrada en el yugo se incluye un incremento en el área inferior de la varilla anódica a objeto de mantener el mismo flujo de corriente a través de cada uno de los 4 brazos del yugo. El resultado de la simulación muestra que el nuevo modelo implica mayor eficiencia eléctrica de las celdas, ya que corrige las asimetrías en las distribuciones de temperatura, potencial eléctrico y densidad de corriente comparado al ánodo de 3 brazos. En comparación a la investigación realizada este se centra en la mejora de los ánodos, en las celdas inspeccionadas se cuentan con yugos de 6 puntas de titanio, se tiene una buena distribución de temperatura. Esta tesis no hace más que confirmarnos la importancia que juega la temperatura en la mejora de la eficiencia.

Según Valenzuela, Matamala, & Videla (2017) en su estudio Reducción del consumo energético en plantas de electro-obtención de Cobre utilizando aleaciones de Titanio recubiertos en óxidos metálicos, nos dicen Debido a que el consumo energético de las plantas de EO (electro obtención) es bastante alto, una reducción de energía de estos órdenes de magnitud es significativo. Estimaciones preliminares, si se asume que toda la producción de cobre por plantas de EO en Chile fuese hecha con ánodos de plomo, implicarían una reducción de 91,37 millones de dólares anuales para la industria y un ahorro energético de 1,1 GWh al año.

El presente análisis fue hecho a nivel de laboratorio y no consideró efectos de escalamiento. Es probable que los beneficios se vean reducidos cuando se intenten

aplicar en la industria. Esto nos lleva a una segunda etapa que tiene relación con el costo de fabricación de ánodos de Ti/ MMO para saber si el ahorro anual en energía costearía la conversión tecnológica. Asimismo, es necesario analizar aspectos relacionados con el tiempo de vida del ánodo, como son la corrosión, durabilidad y dureza, para evaluar finalmente si esta aleación podría sustituir de manera efectiva a los ánodos de plomo.

En este tipo de plantas el mayor costo de producción es la de energía eléctrica; en el caso del estudio realizado si se cuenta con ánodos de titanio, el control riguroso de los parámetros hace que la electrolisis sea eficiente, pudiéndose así reducir el consumo energía.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El estudio fue realizado con la finalidad de determinar la influencia los factores de producción que inciden en la eficiencia de celda electrolítica de mercurio, luego de realizar el seguimiento del proceso de producción se llegó a la siguiente conclusión.

La temperatura de ingreso a las celdas electrolíticas es un factor determinante en la eficiencia energética, cuando este factor es alterado se incide directamente en el consumo de energía eléctrica.

Aumentando la temperatura de ingreso de la salmuera hace que la conductividad de salmuera incremente; al ser la conductividad la inversa o recíproca de resistencia eléctrica hace que la corriente pase sin obstáculo y por ende un menor consumo de energía eléctrica.

Alterando el pH en cada proceso del tratamiento de la salmuera esta hace que las impurezas de la salmuera se precipiten, atrapan el Cl_2 para que no pueda ser expulsado al ambiente y por último al acidificar la salmuera antes del ingreso a la electrolisis esta favorece al desprendimiento de los iones Cl^- y Na^+ y así se minimiza las reacciones parasitas en la electrolisis.

Controlando la concentración del cloruro de sodio se tendrá control del consumo de energía ya que una reducción en la concentración incrementa el voltaje necesario para movilizar los iones y por ende se incrementa el consumo de energía.

4.2. Recomendaciones

- a. Para no tener una pérdida de temperatura de la salmuera en el ciclo de alimentación y saturación de la salmuera sería recomendable aislar los tanques que se encuentran en el proceso.
- b. Instalar un intercambiador de temperatura que aproveche la temperatura de salida de la celda y así poder incrementar la temperatura de ingreso a celdas.
- c. Controlar frecuentemente la concentración y el pH de la salmuera

Referencias

- absorsistem.com. (s.f.). <https://www.absorsistem.com>. Obtenido de <https://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/descripci%C3%B3n-de-calderas-y-generadores-de-vapor>
- BLANCKE, W. (2006). Production of NaCl concentrated brine from seawater for chlor-alkali. Rosignano, Italia: SOLVAY.
- Camacho, E. M., & Rios, M. G. (2013). *Ingeniería Química*. Madrid: UNED.
- Casellos, M. J., Gómez, M., Molero, M., & Sardé, J. (2015). *Química Aplicada a la Ingeniería*. Madrid: UNED.
- Chang, R. (2007). *Electroquímica*. McGraw Hill.
- Definicion.de. (s.f.). <https://definicion.de/metodo-inductivo/>. Obtenido de <https://definicion.de>: <https://definicion.de/metodo-inductivo/>
- Eurochlor. (11 de 1997). <http://www.eurochlor.org>. Obtenido de <http://www.eurochlor.org/the-chlorine-universe/how-is-chlorine-produced/the-mercury-cell-process.aspx>
- García, R. (06 de 2018). <https://ingenieromarino.com>. Obtenido de <https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>
- Gómez, L. N. (01 de 07 de 2017). EL CLORO, PRODUCCIÓN E INDUSTRIA. España.
- Gourbe, M. (2007). *Evaluación de la reutilización de residuos salinos en la industria Cloro-Álcali*. Barcelona .
- Gregorio, D. L. (06 de 2001). <https://www.ecured.cu>. Obtenido de https://www.ecured.cu/Intercambiador_de_Calor
- latam.hach.com. (s.f.). <https://latam.hach.com>. Obtenido de https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf
- Maldonado Mondragon, A. K., & Ysique Chavez, S. d. (Julio de 2017). SISTEMA DE MEJORA CONTINUA BASADO EN EL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL. PIMENTEL, PERÚ.
- Quimpac. (s.f.). <http://www.quimpac.com.pe>. Obtenido de <http://www.quimpac.com.pe>
- Quintana, C., & Elluz, J. (2017). *Mejoras para reducir las pérdidas de calor e incrementar la eficiencia del proceso de acondicionamiento del electrolito*. Lima.
- Rivas, P. (08 de 2018). <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com>. Obtenido de <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/aislamiento-termico-para-tuberias/>

- Rojas, F., Malavé, I., & Birrot, A. (2012). *NUEVO MODELO DEL SISTEMA ANÓDICO PARA MEJORARLA EFICIENCIA ELÉCTRICA EN LAS CELDAS*. Puerto Ordaz.
- Schmittinger, P. (2000). *Cloro principios y practica industrial*. Toronto: WILEY-VCH.
- Silvano, M. A. (2008). *Evaluación del consumo de los servicios de aire de procesos e instrumentos, nitrógeno y vapor de la planta cloro soda*. Maracaibo.
- Soledispa Pisco, J. G. (2014). *Optimización de los recursos productivos para la obtención de soda cáustica, hipoclorito de sodio, ácido clorhídrico y cloro licuado*. Guayaquil.
- Uhdenora. (2018). *INFORME PROVISIONAL DE VISITA TÉCNICA – QUIMPAC – OQUENDO - PERU*. Lima.
- Valenzuela, P., Matamala1, L., & Videla, Á. (2017). Reducción del consumo energético en plantas de electro-obtención de Cobre utilizando aleaciones de Titanio recubiertos en óxidos metálicos. Chile.

ANEXOS

Anexo I

GUÍA DE OBSERVACIÓN	
Fecha	
Área	
IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO	
a. Identificación de líneas de entrada.	
b. Identificación de líneas de salida.	
c. Visualización de indicadores de temperatura.	
d. Visualización de indicadores de caudal.	
GRÁFICO DE LÍNEAS DE ENTRADA Y SALIDA	



Anexo II.

MODELO DE ENTREVISTA	
Especialista:	
Cargo:	
Años de Experiencia:	
Universidad de Origen:	
1.- ¿de qué factor depende la eficiencia para la producción?	

2.- ¿Cuáles son los puntos críticos que controlan rigurosamente?	

3.- ¿Qué instrumentos usan para la medición de sus criterios críticos?

4.- ¿Dónde realizan la medición y cada que tiempo lo realizan?