



FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL, CIVIL Y QUIMICA.

DESARROLLO DE UNA METODOLOGIA QUE PERMITA LA DISMINUCION  
DE LA CANTIDAD DE ADITIVO COADYUVANTE UTILIZADO EN EL PROCESO DE  
PRODUCCION CLORO-SODA

TESIS

Para obtener el título de  
INGENIERA QUIMICA

Presenta

LUCÍA ESTEFANNY GÓMEZ VÁSQUEZ

Directora  
ING. LAURA DAZA, M.Sc

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.  
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER.  
PROYECTO DE GRADO.

## *Dedicatoria*

---

Dedico de manera especial a mi hermano, pues fue él, el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional; sentó en mi la base de responsabilidad y deseos de crecer, en el tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlo cada día más.

A mis padres quienes me brindaron las herramientas necesarias para forjar hoy en día la mujer que soy y su valioso esfuerzo por darme siempre lo mejor.

A Carolina Gómez Aguilar por su gran corazón, por la enorme confianza que deposito en mí, su entrega y sobre todo, por ser ese motor que necesitaba cuando quería rendirme. Gracias por llegar a mi vida y ser aportante.

Finalmente dedico este logro a Abelardo Mejía por su amor incondicional, paciencia y apoyo en mis peores momentos.

Por ustedes lo doy todo.

## *Agradecimientos*

---

Al concluir este proyecto, manifiesto mis agradecimientos con la empresa QUIMPAC DE COLOMBIA S.A por permitirme afianzar mis conocimientos en tan grandiosa compañía, una empresa moderna, dinámica y sobre todo humana.

Agradezco también al Ingeniero Manuel A. Echeverry por su acompañamiento, apoyo, confianza y amistad para la realización de este proyecto.

Mi agradecimiento lo hago extensivo a todos los que me han brindado su tiempo en explicaciones e informaciones, al grupo de operarios de Planta y finalmente al personal de analistas de laboratorio.

Gracias.

## RESUMEN

---

El presente proyecto se realizó en Quimpac de Colombia S.A., y persiguió como objetivo, desarrollar una metodología que permitiera la disminución de aditivo coadyuvante implementado en el proceso Cloro-Soda. Para este propósito, se planteó desarrollar una estrategia basada en la interacción - respuesta de variables importantes que interfieren en la relación calcio/magnesio, donde implementando una metodología estadística ANOVA se acotaron problemáticas que interferían en la variación de ésta relación.

De esta forma se identificaron los tipos de errores que se presentan en el proceso y se trabajó en la corrección y estandarización de cada uno de ellos, partiendo de los casos de solución inmediata y continuando con aquellos de verificación a mediano plazo.

Finalmente, se desarrolló una estrategia que permitió aumentar la eficiencia operacional de la bomba que funciona como punto de suma en la entrada del proceso y esta previa al control de variable de respuesta, ya que esta demostró según análisis estadístico ser la variable que presenta mayor ruido al sistema, seguidamente se implementó técnica de control de la concentración del batch de aditivo que ingresa al proceso, se estandarizó el punto de control y finalmente se solicitó la implementación de un operario extra para el área, y es así como se trabaja en cada punto que genera interferencia, mejorando de esta forma los límites de control y logrando disminuir la variación de la relación Ca/Mg

## *Prefacio*

---

Quimpac de Colombia S.A. es una empresa dedicada a la producción de Soda Caustica, Cloro líquido, Hipoclorito de Sodio, Cloruro Férrico, Cloruro Férrico anhidro, entre otros. Con el paso del tiempo, Quimpac S.A., ha llevado a cabo proyectos enfocados al reemplazo de equipos y/o tecnologías a fin de optimizar procesos. En las plantas de producción de Cloro-Soda la materia prima, cloruro de sodio; es tratada a través de diversas operaciones que funcionan para remover impurezas como sulfito de calcio, cloruro de magnesio, aluminio, sílice, metales pesados, y así garantizar el buen funcionamiento de equipos para finalmente obtener un producto de calidad.

El proceso utilizado para la obtención de estos productos es la electrólisis de la solución de cloruro de sodio en agua desmineralizada a través de celdas de membranas, proceso que se realiza con previo acondicionamiento de la salmuera, en donde, básicamente la sal se disuelve en agua y en las unidades de saturación por medio de tratamiento químico con carbonato de sodio, soda cáustica, cloruro de Sodio, se permite eliminar las impurezas indeseables en el proceso. Este tratamiento primario tiene como complemento otras operaciones como floculación, filtración, ultrafiltración y posterior a la electrólisis, se realiza la decloración de la salmuera.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
RESUMEN.....	4
PREFACIO.....	5
ABREVIATURAS.....	10
PROBLEMÁTICA EN PLANTA.....	12
JUSTIFICACION .....	14
OBJETIVOS GENERALES Y ESPECIFICOS .....	15
<b>Capítulo 1. INDUSTRIA CLORO SODA.....</b>	<b>16</b>
INTRODUCCION .....	16
A nivel Mundial.....	16
A nivel nacional.....	17
Brinsa (Refisal).....	18
Mexichem Colombia.....	18
Quimpac de colombia S.A.....	18
Calidad del Proceso actual.....	19
PRODUCCION MEDIANTE ELECTROLISIS .....	21
Celdas de Mercurio .....	22
Celdas de Diafragma .....	23
Celdas de Membrana .....	25
Comparativa de diferentes Tecnologías .....	26
<b>Capítulo 2. QUIMPAC DE COLOMBIA S.A.....</b>	<b>29</b>
GENERALIDADES .....	30
Producción de Salmuera .....	31
Tratamiento Químico (Tratamiento Primario) .....	32

Purificación (Tratamiento Secundario) .....	34
<b>Capítulo 3. METODOLOGIA DE DESARROLLO .....</b>	<b>36</b>
REVISIÓN DEL PROCESO Y MUESTREO.....	38
Puntos de toma de muestra.....	38
Comportamiento de la relación a través del proceso.....	38
Set de reactores.....	39
Cuantificación Calcio/Magnesio en Lixiviadores.....	39
Aporte CaCl <sub>2</sub> y concentración Batches.....	40
Relación Ca/Mg en Bomba O2P001 A/B .....	40
Permeado del SRS y línea de Planta II.....	41
Aporte de Sal al Lixiviador.....	42
Caracterización de espuma.....	42
APLICACIÓN ESTADÍSTICA.....	43
<b>Capítulo 4. RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
REVISIÓN DEL PROCESO Y MUESTREO.....	46
Puntos de toma de muestra.....	46
Comportamiento de la relación a través del proceso.....	47
Set de reactores.....	48
Cuantificación Calcio/Magnesio en Lixiviadores.....	50
Aporte CaCl <sub>2</sub> y concentración Batches.....	51
Caudal volumétrico de descarga por bomba p-181 A/B.....	51
Concentración Batches Cloruro de Calcio.....	54
Permeado del SRS y línea de Planta II.....	57
Aporte de Sal al Lixiviador.....	58
Caracterización de espuma.....	62
APLICACIÓN ESTADÍSTICA.....	64
<b>Capítulo 5 DIAGNOSTICO Y DISEÑO.....</b>	<b>71</b>

Caudal volumétrico de descarga por bomba p-181 A/B.....	71
Concentración Batches Cloruro de Calcio.....	74
Aporte másico de sal al lixiviador.....	76
Carta de Control.....	77
<b>Conclusiones .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>Anexo 1. PFD Proceso de Salmuera (Bomba o3P001 A/B).....</b>	<b>82</b>
<b>Anexo 2. PFD Proceso previo a Electrolisis .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo 3. Cloruro de Calcio Americano .....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo 4. Tabla Hidrométrica.....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo 5. Cálculos de preparación de batches de cloruro de calcio.....</b>	<b>86</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRAFICA .....</b>	<b>89</b>



## ABREVIATURA

---

Hg: *Mercurio*

Na<sup>+</sup>: *Ion Sodio*

Cl<sup>-</sup>: *Ion Cloro*

CaCl<sub>2</sub>: *Cloruro de Calcio*

NaOH: *Hidróxido de Sodio*

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: *Carbonato de Sodio*

Al: *Aluminio*

Ba: *Bario*

Co: *Cobalto*

Fe: *Hierro*

Mn: *Manganeso*

Ni: *Níquel*

Pb: *Plomo*

(CO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>: *Carboneato*

(OH)<sup>-</sup>: *Hidróxido*

$(SO_4)$ : *Sulfato*

Si: *Silicio*

Sr: *Estroncio*

$NH_3$ : *Amoniaco*

Br: *Bromo*

TOC: *Carbono Orgánico Total*

F: *Flúor*

$ClO_3$ : *Cloratos*

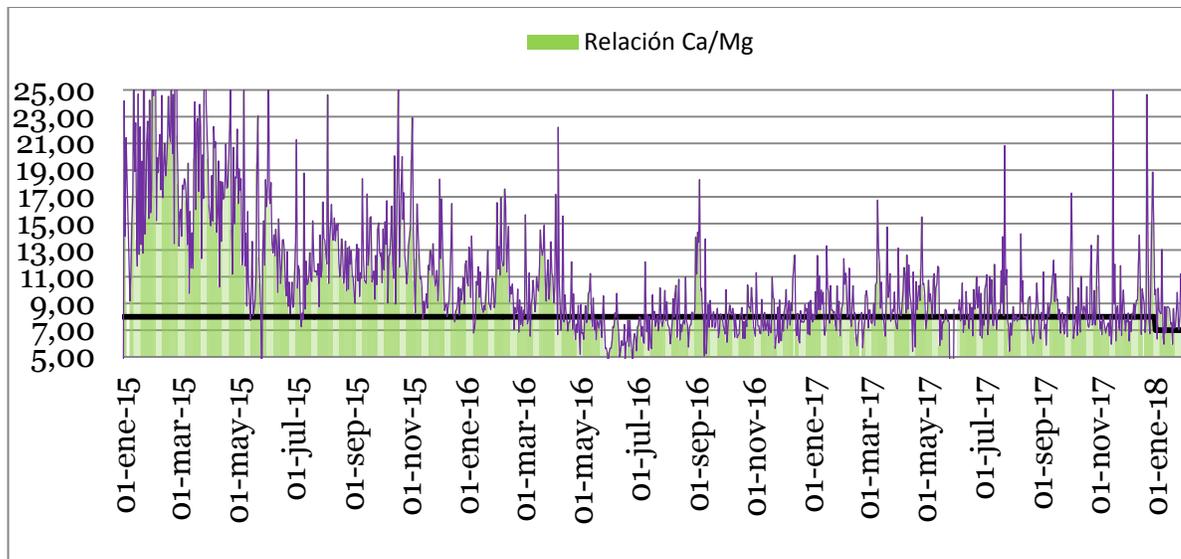
SRS: *Sulphates Renoval System (Sistema de Remoción de sulfatos)*

## *Problemática en Planta*

---

En Quimpac de Colombia S.A, una de las problemáticas presentadas es mantener la relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  con la que ingresa la materia prima al sistema y el comportamiento de ésta a través del mismo; observándose que la variación presentada en la relación ha llegado a generar paradas de emergencia de planta, debido a la obstrucción del set de filtros por pulso reversible, daño en las torres de intercambio iónico, incremento de voltaje en las membranas de los electrolizadores y disminución de eficiencia en los mismos.

El mejoramiento continuo de la calidad y la reducción de costos son imprescindibles para que una empresa se mantenga en la industria, por tal razón, en Quimpac de Colombia S.A. durante los últimos años el tema de tratamiento químico implementado para la producción Cloro-Soda ha sido de gran interés. A partir de lo anterior se ha evaluado el comportamiento en la relación calcio/magnesio (*figura 1.*), y la aplicación de los aditivos químicos usados en el tratamiento primario de la salmuera.



*Figura 1. Comportamiento Relación Calcio/Magnesio. Fuente: Quimpac de Colombia S.A*

En la actualidad esta relación debe mantenerse en siete (7) como valor máximo, haciendo uso de insumos como el  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , que actúan como coadyuvantes, sin embargo, en la práctica esta relación varía considerablemente durante el día alcanzando valores hasta de quince (15), observándose un aumento en la dosificación de insumos que se relaciona directamente con el aumento de costos, así mismo, se suma a lo anterior que la estrategia de dosificación actual no es la mejor para atender los cambios de dicha variable debido a la baja capacidad de respuesta del operario en turno y funcionamiento de algunos equipos.

## Justificación

---

La justificación de este proyecto radica en dos principales aspectos: la necesidad en planta descrita en la sección anterior y las ventajas que ofrece controlar la variación de la relación  $Ca^{+2}/Mg^{+2}$  de forma adecuada.

En general, si al manipular un proceso de producción se usan modelos de control adecuados se tendrá, como resultado, un proceso eficiente. Es así como, en el presente proyecto se pretende llevar a cabo la implementación de un sistema que logre disminuir los costos del proceso y la varianza que se lleva en el mismo, asociados con la cantidad de coadyuvante necesario para el control de esta relación anualmente. Los datos se estudiarán a partir de métodos analíticos que serán aplicados a sistemas estadísticos deductivos, permitiendo obtener de esta forma una respuesta funcional para el mejoramiento del proceso. El resultado obtenido al finalizar este proyecto evidenciará el ahorro en costos a partir de la implementación de esta metodología.

### **5.1. Objetivo General**

---

Desarrollar una metodología que permita la disminución de la cantidad de aditivo coadyuvante utilizado en el proceso de producción de Cloro-Soda en QUIMPAC DE COLOMBIA S.A

### **5.2. Objetivos específicos**

---

- Estandarizar la ejecución del método actual de dosificación del aditivo coadyuvante en el área de Salmuera
- Definir los límites esperados de la relación  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  con la dosificación implementada actualmente.
- Desarrollar una estrategia que permite identificar factores operacionales relevantes a fin de minimizar la varianza del proceso

## Capítulo 1

# INDUSTRIA CLORO SODA

Centramos este proyecto en el sector Cloro-Soda y el avance tecnológico que éste ha implementado con el tiempo, hasta enfocarnos en lo que hasta hoy posiciona a QUIMPAC DE COLOMBIA S.A como empresa líder en la industria química a nivel nacional e internacional.

### INTRODUCCION

#### A NIVEL MUNDIAL

La industria del cloro-Soda produce cloro ( $\text{Cl}_2$ ) e hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) o hidróxido de potasio ( $\text{KOH}$ ), mediante la electrólisis de una solución salina. Las principales tecnologías aplicadas en la fabricación del cloro son la electrólisis en celdas de mercurio, diafragma y membrana, utilizando principalmente cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) como materia prima.

Iniciada la producción en 1890, la industria cloro soda actualmente cuenta con una capacidad de producción anual próxima a 35,107 toneladas de cloro. El consumo energético necesario para tal capacidad de producción es de 108 MWh. [MARTÍNEZ, 2003]

La distribución geográfica de los procesos cloro-álcali por diversas partes del mundo difiere de una manera apreciable con respecto a la capacidad de fabricación de cloro. El año 2001 era la siguiente:

- Europa Occidental, donde predomina el proceso de celda de mercurio: 54% [MARTÍNEZ, 2003]
- Estados Unidos, donde predomina el proceso de celda de diafragma: 75% [MARTÍNEZ, 2003]
- Japón, donde predomina el proceso de celda de membrana: > 90 % [MARTÍNEZ, 2003]

El sector del cloro-soda en Europa se ha desarrollado con el tiempo y es geográficamente disperso. La coproducción de cloro y de hidróxido de sodio en cantidades prácticamente iguales es inevitable. Ambos productos se utilizan para usos finales muy diferentes con unas dinámicas de mercado diversificadas y, sólo en contadas ocasiones, la demanda de ambos coincide.

Dentro de los innumerables usos del cloro destaca la fabricación de cloruro de vinilo para la producción de resinas de PVC con un 34% aproximadamente, es decir, 1/3 del total, (MARTÍNEZ, 2003). La sosa cáustica que va asociada a la fabricación del cloro tiene aplicación en metalurgia, aluminio, vidrio, jabones, detergentes, textil, pulpa y papel, química básica, industria alimenticia, en depuración de aguas residuales y de otros sectores industriales. (Expósito, García, & Aldaz, n.d. 1999)

## A NIVEL NACIONAL

La industria cloro soda actualmente en Colombia se distribuye bajo 3 compañías.

## BRINSA – (REFISAL)

Brinsa S.A nace en 1994, una vez los accionistas compran Álcalis de Colombia al estado colombiano. Brinsa se ha consolidado como líder en la producción y comercialización de sal y blanqueadores, alcanzando también una destacada posición como proveedor de químicos para la industria. Actualmente Brinsa S.A tiene participación en todo el mercado nacional y también el mercado internacional, exportando a países del Caribe, Centro y Suramérica. (BRINSA, 2018)

## MEXICHEM COLOMBIA

Localizada en Bogotá, produce hipoclorito de Sodio, cloruro férrico y otras especialidades. Tiene una capacidad de producción de 22,280 ton/año, que se integran por 2,000 ton/año de Sosa, 1,800 ton/año de Cloro; 14,400 ton/año de hipoclorito de sodio y 4,080 ton/año de cloruro férrico (NP, 2007)

## QUIMPAC DE COLOMBIA

Quimpac de Colombia S.A. antes Prodesal S.A. ha sido durante muchos años la más importante empresa productora de cloro-soda, posicionándose como líder dentro de la industria química nacional e internacional. Sus modernas instalaciones, sofisticados equipos, la calidad profesional de su gente y la tecnología de membrana, la más reciente evolución para la producción electrolítica de cloro-soda, la han llevado a ser hoy día una empresa líder que distribuye sus productos con altos estándares de calidad y eficiencia. (QUIMPAC DE COLOMBIA S.A)

La planta principal y sede administrativa se encuentran ubicadas en la zona rural del municipio de Palmira (Valle), sobre la carretera que de Yumbo conduce al aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón (Palmaseca), en un área superior a 51 Ha, con amplio espacio para futuras expansiones.

## CALIDAD DE PROCESO ACTUAL

Quimpac de Colombia S.A implementa en la actualidad tecnología de membrana para el proceso de producción Cloro Soda, siendo empresa líder en aplicar procesos limpios que no generen significativos impactos ambientales. Sin embargo, las celdas de membrana como otras tecnologías contienen intrínsecamente ciertas desventajas como los altos costos de inversión que deben implementarse para su mantenimiento y óptimo funcionamiento.

El proceso actual de producción de cloro y soda por membrana es muy sensible a elementos que puedan deteriorar la membrana o en tal caso perjudicarla. Para ello, necesita un control riguroso en cuanto a permisibilidad de límites en metales. En la *tabla 1.1* tomamos a consideración las especificaciones de la salmuera para el proceso.

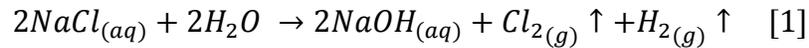
**Tabla 1.1** Especificaciones de Salmuera previo ingreso a celdas de membrana con una densidad de corriente 3.1 kA/m<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>Impurezas</b>	<b>Und</b>	<b>Limite Superior</b>	<b>Influencia</b>
<b>Ca+ / Mg</b>	ppb	20	CE/ HV
<b>I</b>	ppm	0.2	CE
<b>Al</b>	ppm	0.1	CE/ HV
<b>Ba</b>	ppm	0.5	CE/ HV
<b>Co</b>	ppm	0.01	
<b>Fe</b>	ppm	0.05	
<b>Hg</b>	ppm	0.1	
<b>Mn</b>	ppm	0.05	
<b>Ni</b>	ppm	0.01	HV
<b>Pb</b>	ppm	0.05	
<b>[CO<sub>3</sub>]<sup>-</sup></b>	g/l	1.0	
<b>[OH]<sup>-</sup></b>	g/l	0.25	
<b>[SO<sub>4</sub>]<sup>-</sup></b>	g/l	8	CE
<b>Si</b>	ppm	5	
<b>Sr</b>	ppm	0.4	
<b>NH<sub>3</sub></b>	ppm	1.85	
<b>Br</b>	ppm	50	
<b>F</b>	ppm	1	
<b>ClO<sub>3</sub></b>	g/l	1	CE
<b>TOC</b>	ppm	7	

*HV: Aumento Voltaje; CE: perdida Eficiencia*

Así, la salmuera deberá ser tratada para eliminar los componentes que puedan dañar las membranas que conforman los electrolizadores, para ello, las salmueras sufren un tratamiento químico que ayuda a optimizar el proceso previo a electrolisis y de esta forma posteriormente purificar los productos obtenidos.

El proceso de obtención de cloro y soda se obtienen conjuntamente como productos principales de la electrolisis de una solución Salina. Reacción global [1]

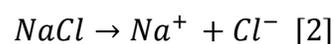


Existen tres (3) tipos de tecnologías aplicadas para la fabricación de cloro, que difieren en el tipo de celda empleada:

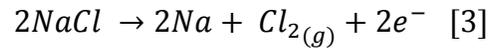
- Celdas de mercurio
- Celdas de diafragma
- Celdas de membrana.

## PRODUCCIÓN MEDIANTE ELECTROLISIS

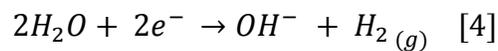
La electrólisis de manera general es un proceso de óxido-reducción electroquímico, que consiste en aplicar una corriente eléctrica a una determinada sustancia iónica para separar los iones. Se produce en una celda con dos compartimentos o electrodos, el polo positivo (ánodo) que atrae a los iones negativos ( $Cl^-$ ) y polo negativo (cátodo) que atrae a los iones positivos ( $Na^+$ ). (De, Qu, & Inorg, 2017). Cada proceso representa un método diferente de mantener el cloro producido en el ánodo, separado del hidrogeno y la soda, los cuales son producidos en el cátodo. Las reacciones químicas involucradas en este proceso son las mismas independientes del tipo de celda utilizado. (La & Cloro, n.d. 2001) En primer lugar, se da la disolución de Sal [2]



Y como reacciones intermedias encontramos que, la reacción anódica principal es la oxidación de los iones Cloro en la salmuera para formar cloro gaseoso [3].

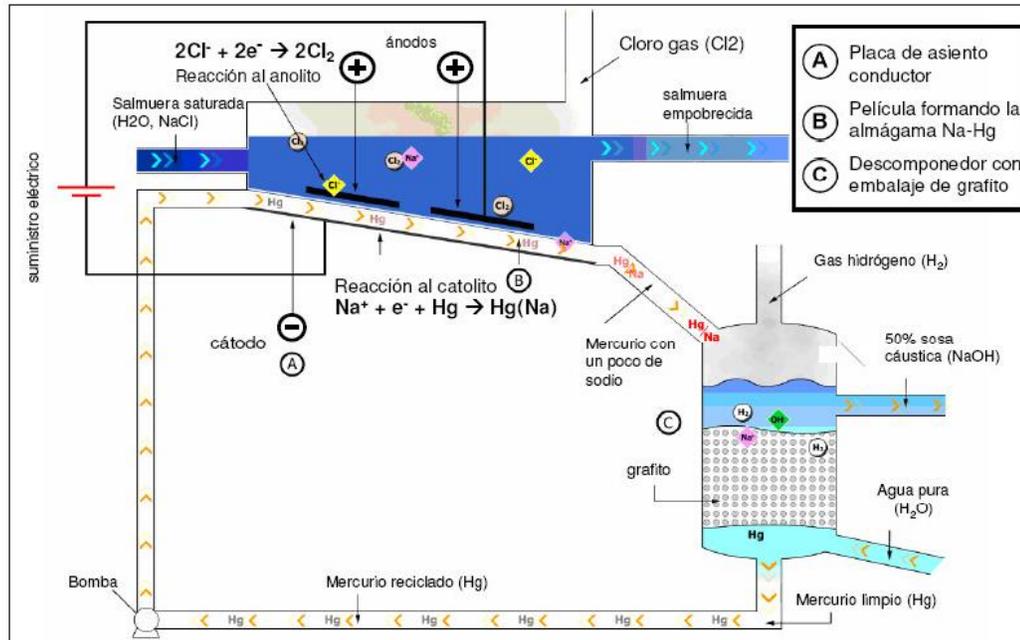


Dando lugar a la segunda reacción que se lleva a cabo en los electrolizadores, siendo ésta la catódica [4], donde se realiza la reducción (descomposición) de agua en iones hidroxilos e hidrogeno gaseoso.



## CELDA DE MERCURIO

Las primeras plantas cloro-sosa diseñadas empleaban las denominadas “celdas de mercurio” (Expósito et al., n.d. 1991). En el proceso de mercurio se utilizan dos celdas. En el electrolizador primario ingresa una solución de cloruro de sodio (salmuera) saturada (aprox. 25%) y purificada. Esta celda está ligeramente inclinada de tal forma que la salmuera recorre la celda en la parte superior. En la parte inferior circula una corriente de mercurio, la que opera como cátodo. El sodio se reduce a sodio metálico en contacto con el mercurio formando una amalgama. La amalgama sodio/mercurio es enviada a un descomponedor donde reacciona con agua oxidando al sodio metálico y descomponiendo el agua en hidróxido e hidrógeno. El mercurio, ahora libre de sodio es reenviado al electrolizador primario. (La & Cloro, n.d. 2001). En la *figura 1.1* se puede apreciar el proceso con más detalle.



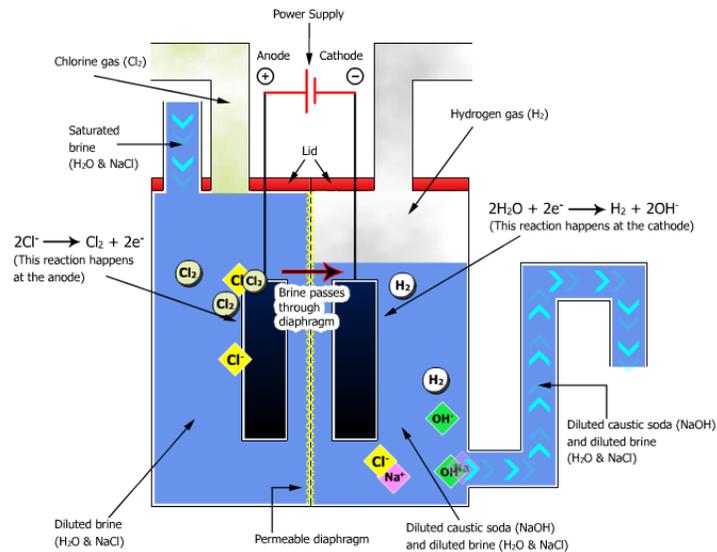
*Figura 1.1:* Esquema del proceso de fabricación de cloro y sosa utilizando celdas de mercurio. Tomado de: EURO CHLOR. (19 Jun 2017)

Este tipo de celdas implican el uso de grandes volúmenes de Hg metálico, desarrollando problemas medioambientales, por lo que han sido progresivamente eliminadas desarrollando plantas con las denominadas “celdas de diafragma”.

## CELDAS DE DIAFRAGMA

En la *Figura 1.2* se esquematiza una celda de diafragma. Los compartimentos anódico y catódico se encuentran 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 compartimento 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 iones hidroxilo e hidrógeno que junto con los iones sodio contenidos en la salmuera dan lugar a la soda cáustica. Tanto el hidrógeno como la disolución de soda contaminada con cloruro sódico salen por el parte interior del cátodo. (Gourbe, 2007)



*Figura 1.2:* Esquema del proceso de fabricación de cloro y soda utilizando celdas de diafragma. Tomado de: EURO CHLOR. (19 Jun 2017)

Algunos inconvenientes de este tipo de celdas están relacionados con el uso de diafragma de amianto.

- No es una barrera selectiva de Iones, originando disminución de los rendimientos de obtención de los productos y una menor calidad de estos. (Gourbe, 2007)
- La resistencia eléctrica del diafragma es alta, obligando a trabajar densidades de corriente entre 1500 -2000 A/m<sup>2</sup>. (Gourbe, 2007)

- El asbesto es un material cancerígeno. (Gourbe, 2007)

## CELDA DE MEMBRANA

La última generación de plantas cloro soda utiliza las denominadas “celdas de membrana”. En este tipo de celdas el diafragma ha sido sustituido por una membrana polimérica selectiva a cationes, lo que mejora considerablemente el rendimiento y la pureza de los productos, sin embargo; el proceso de celda de membrana tiene ventajas ecológicas intrínsecas en comparación con los dos procesos más antiguos, ya que no utiliza ni mercurio ni asbesto, y es el más eficiente desde el punto de vista energético; a pesar de estas ventajas, el cambio tecnológico a las pilas de membrana ha sido lento. (Gourbe, 2007)

Estas celdas tienen la ventaja además de producir una solución de sosa extremadamente pura y de consumir menos electricidad. La *figura 1.3* sintetiza el proceso de producción de Cloro soda con este tipo de celdas.

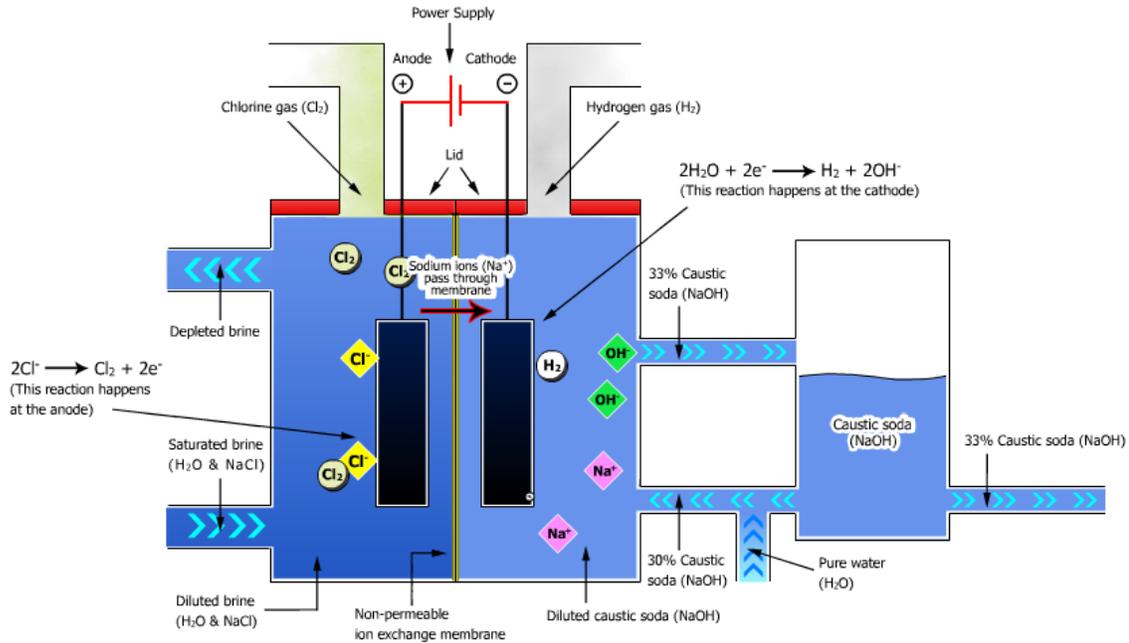


Figura 1.3: Esquema del proceso de fabricación de cloro y soda utilizando celdas de membrana. Tomado de: EURO CHLOR. (19 Jun 2017)

## COMPARATIVA DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS

La principal diferencia de los tres (3) tipos de electrolisis descritos anteriormente es que en las celdas de mercurio no existe como tal una separación física entre el ánodo y el cátodo como sucede en el caso de las celdas de diafragma o membrana. En la tabla 1.2 se muestra una comparación generalizada de estas tecnologías.

*Tabla 1.2* Datos comparativos para los tres tipos de tecnología utilizadas en la industria Cloro- Soda. Fuente: OCHOA, 1996A

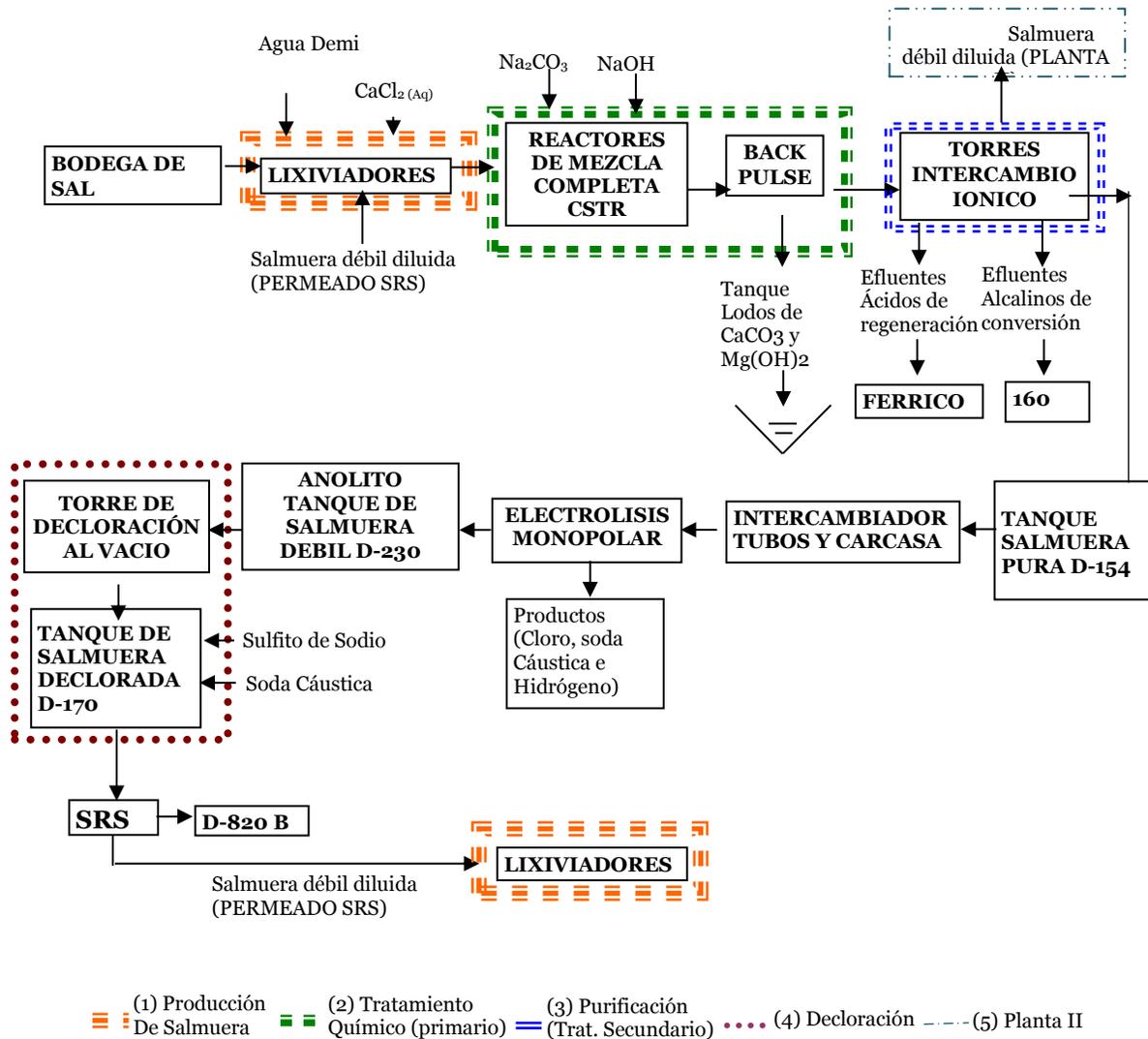
Datos	Celda Mercurio	Celda de Diafragma	Celda de Membrana
<b>Ventaja</b>	Produce NaOH de alta calidad		Proceso energéticamente más eficiente
<b>Desventaja</b>	Proceso menos eficiente energéticamente	Usa asbesto en celdas con potencial emisión al ambiente	Altos costos de inversión
<b>Voltaje de la Celda. (V)</b>	3.9- 4.2	2.9 – 3.5	3-3.6
<b>Eficiencia de Corriente Cl<sub>2</sub> Producido (%)</b>	97	96	98.5
<b>Concentración NaOH antes de la evaporación (%)</b>	50	12	33
<b>Consumo energético (Kwh/T)</b>	3100	2900	2700
<b>Necesidad de Purificar Salmuera</b>	Pequeña	Media	Grande
<b>Impacto ambiental</b>	Alto	Medio	Bajo

A partir del compromiso de responsabilidad ambiental y las ventajas que concede cada una de las tecnologías anteriormente descritas, es que en Quimpac de Colombia S.A las celdas electrolíticas son a partir de membrana.

## Capítulo 2

### QUIMPAC DE COLOMBIA S.A.

En la *figura 2.1.* Se sintetiza las operaciones principales implementadas en la producción Cloro Soda de Quimpac de Colombia S.A.



*Figura 2.1.* Diagrama de Bloques del Proceso de Salmuera en Quimpac de Colombia. Fuente: Autor.

De la anterior figura, hay una serie de operaciones que resultan suficientes para la electrolisis por membrana, sin embargo, en la *Figura 2.2 (anexos)* se detalla únicamente los procesos de producción y tratamiento primario, que conforman el área de salmuera, pues en las operaciones que se tratan hasta este punto está sustentando el objetivo principal de este proyecto.

## GENERALIDADES

La planta cloro Soda instalada vía Yumbo, Valle del Cauca a partir de sal cruda, agua desmineralizada y electricidad está diseñada para producir:

127 TMD Soda Caustica (100%)

110.9 TMD Cloro gas

28.8 TMD/Planta I Hidrogeno Gas.

Esta planta está constituida por:

- **ÁREA DE MANEJO Y PROCESAMIENTO DE SALMUERA:** Aquí se prepara la salmuera para ser enviada a las celdas de los electrolizadores.
- **SALA DE CELDAS:** Formada por dos circuitos de electrolizadores de operación independiente. Cada circuito está formado por quince (15) elementos para un total de treinta (30).
- **PROCESAMIENTO DE CLORO:** El cloro es succionado por compresores hacia las etapas de procesamiento de Cloro, pasando por un sistema de enfriamiento, filtrado y secado con el fin de reducir al máximo el contenido de agua,

posteriormente ingresa a un sistema de compresión, licuación y almacenaje de Cloro líquido para su disposición final.

- **PROCESAMIENTO SODA CAUSTICA:** Esta área tiene como fin, concentrar soda caustica al 32% que sale de celdas, y por medio de un proceso de evaporación se concentra a 50% para su almacenamiento y despacho a cisternas.
- **PROCESAMIENTO DE HIDROGENO:** El hidrogeno producido por los electrolizadores, pasa por un sistema de enfriamiento, lavado y compresión, donde se distribuye a una unidad de síntesis de ácido clorhídrico y el resto a venteo atmosférico

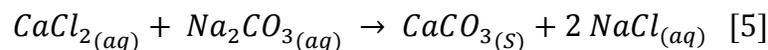
## PRODUCCIÓN DE SALMUERA

Esta área proporciona a partir de una disolución de sal sólida, con una salmuera débil (proveniente de electrolizadores) y agua desmineralizada, una solución de salmuera concentrada de 320g/l, esta salmuera debe permanecer entre los 60- 70°C, en los 4 compartimentos de los lixiviadores, seguido a esto ingresa a un set de reactores, es aquí donde se realizan técnicas de precipitación, sedimentación y posteriormente es enviada a filtración para remover calcio, magnesio y otros metales hasta sus límites de solubilidad. (Proceso, Produccion de soda en Venezuela. n.d.), sin embargo, en el último compartimento de los lixiviadores (Tanque D-120) previo a iniciar tratamiento primario, una solución de Cloruro de Sodio ( $\text{CaCl}_2$ ) de concentración entre 19-22%p/p es adicionada mediante la salida de la línea de la bomba P181 A/B (Bomba de desplazamiento positivo) y así incrementar la proporción  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  en la salmuera sin tratar.

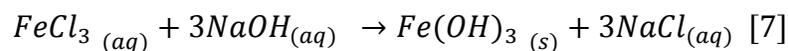
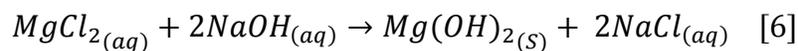
## TRATAMIENTO QUÍMICO (TRATAMIENTO PRIMARIO)

En la zona de tratamiento primario y con la ayuda de aditivos químicos se llevan a cabo una serie de reacciones con el fin de convertir impurezas solubles contenidas en la salmuera en impurezas insolubles.

En un primer reactor de tipo CSTR (03R002A), con una velocidad de agitación de 75 RPM y un volumen de 30 m<sup>3</sup> cerca del fondo, ingresa una salmuera a la que previamente se le adiciona Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en una concentración entre 18-22%p/p con el fin de llevar a cabo la primera reacción de precipitación de Calcio de la salmuera sin tratar [1] y formar un CaCO<sub>3</sub> insoluble.



En un segundo reactor (03R002B) con salmuera procedente del primero, se inyecta NaOH en un caudal de 136 l/h con el fin de llevar a cabo la segunda reacción para formar Mg(OH)<sub>2</sub> insoluble y de esta forma lograr precipitar Magnesio [6] y metales [7].



En práctica, se añade suficiente soda cáustica para mantener un exceso de 0.2 g/l de NaOH, en la salmuera tratada, asegurando así que la reacción sea llevada lejos hasta el lado del producto.

Y finalmente, la salmuera ingresa cerca del fondo al tercer reactor (03R002C) donde reacciona durante 1 hora a una velocidad de agitación de 48RPM, completando así 2 horas de residencia a través del set de reactores. La relación de los cationes calcio y magnesio entrando a los filtros de salmuera son fundamentales para poder formar una pre-capa apropiada que permita una operación más estable, es por ello que la salmuera después de éste tiempo es transportada a través de la línea por la bomba 03POO1 A/B y así ingresa al set de filtros, denominados Back pulse.

La salmuera tratada químicamente fluye desde la bomba 03POO1 A/B hacia el set de Back Pulse, donde después de completar el proceso de llenado, la secuencia operacional procederá con el proceso de filtración, durante este periodo de 32000 segundos (8.8h) los filtros trabajan en paralelo con 15000 segundos de diferencia (4.2h) el uno del otro. Trascurridos estos 32000 segundos, el filtro ingresa a un retrolavado manipulado por un controlador de lógica programable, PLC, que contiene un lazo de control de salida que consta de un controlador temporizador y una alarma diferencial de presión. La *tabla 2.1* especifica la secuencia típica del retrolavado.

*Tabla 2.1.* Secuencia típica de retrolavado en los Back Pulse. Fuente: Autor.

<b>Actividad</b>	<b>Parámetro referencia</b>
1. Filtro Fuera de Línea	
2. Drenado del Retrolavado	300 segundos
3. Abre Válvulas de Venteo	
4. Presión del Gas de	37-42KPa

<b>Actividad</b>	<b>Parámetro referencia</b>
Retrolavado	
5. Tiempo Sedimentación del Lecho	60 segundos
6. Retrolavado	
7. Entrada Alimentación	10m <sup>3</sup> -15m <sup>3</sup> (Abre válvulas 15%)
8. Alineación al proceso	15000 segundos después, el segundo filtro sale de línea

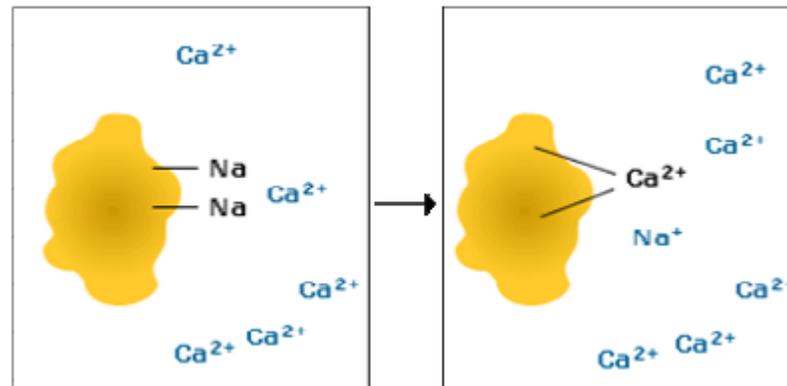
La salmuera saliente de los Back Pulse fluye hacia el tanque de alimentación de las torres de intercambio iónico, “salmuera pura” (05DOO2), donde será mejorada la calidad de esta salmuera.

### PURIFICACIÓN (TRATAMIENTO SECUNDARIO)

La función de esta área es la de mejorar la calidad de la salmuera removiendo más cationes (calcio y magnesio) y lograr una alimentación de salmuera “ultra pura” al tanque 06DOO3, necesaria para el correcto funcionamiento de las celdas de membrana.

La salmuera filtrada del tanque 05DOO2 es bombeada al sistema de intercambio Iónico, conformado por tres columnas conectadas en serie, en donde se remueven los iones de calcio, magnesio, y otros iones presentes en la salmuera, mediante un proceso

de intercambio de los mismos por iones sodio localizados en la resina. La *figura 5* ejemplifica el esquema del principio de Intercambio Iónico



*Figura 5. Principio de intercambio Iónico. Tomado de: (GRAGEDA, Mayo, 2006)*

Posteriormente, la salmuera ultra pura es llevada a 82°C a través de un intercambiador de calor para entrar al área de electrólisis. La salmuera agotada o débil es aquella que retorna de la sala de electrólisis y es almacenada en un tanque receptor, para pasar por el proceso de dechloración con la finalidad eliminar el cloro contenido, y destrucción de cloratos formados como producto indeseado, en la sala de celdas.

## Capítulo 3.

### METODOLOGIA DE DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo la metodología expuesta en la *tabla No 3.1*. Donde el proceso experimental se dividió en tres (3) actividades que ayudan definir y enfocar las posibles problemáticas que se presentan y que están directamente relacionadas con la variación de la relación, estas actividades están desglosadas en éste y el próximo capítulo.

Tabla No 3.1 Cronograma de Actividades

<b>Etapas</b>	<b>Actividad</b>
<b>I</b>	Revisión proceso y Muestreo
<b>II</b>	Aplicación Estadística
<b>III</b>	Diagnóstico y diseño (Cap.4)

Con la información obtenida se construyó un esquema de problemáticas, que nos permite obtener las pautas del diseño y evitar soluciones similares entre sí, de tal manera que no se dupliquen recursos y esfuerzos diferenciando en componentes separados cada acción a ejecutarse en el proyecto.

Para la respectiva etapa de muestreo se tomaron en cuenta cada uno de los equipos que conforman el área de salmuera y que se especifican en la *tabla No. 3.2*

*Tabla No 3.2. Plan de muestreo general*

Etapa del proceso	Método	Analito
<b>Lixiviadores</b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>02P001 A/B</b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>R-01</b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>Salida R-02</b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>Salida R-03</b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>03P001 A/B</b>	<i>Volumetría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>D-160</b>	<i>Espectrofotometría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>Permeado SRS</b>	<i>Espectrofotometría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>
<b>Planta II</b>	<i>Espectrofotometría</i>	<i>Calcio y Magnesio</i>

Para obtener un resultado acerca del instrumento que más fuente de variación este sumando al sistema, cada uno de los anteriores puntos se agrupan en 3 (tres) grandes categorías, de las cuales solo una será tomada en cuenta al final del proyecto como punto estándar de control. Estas categorías se exponen en la figura 3.1



Figura 3.1. Categorías definidas como punto de control. Fuente: Autor

## REVISIÓN DEL PROCESO Y MUESTREO

Esta revisión de proceso se realiza con la finalidad de conocer bajo qué criterios se hacen las respectivas correcciones del proceso, para eso en esta primera etapa metodológica se determina:

### PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA

Se plantea un seguimiento a los operarios de planta y analistas de laboratorio durante una semana, donde se observa cómo es la toma de muestra, la repetitividad del muestreo y bajo que observaciones se hacen las respectivas correcciones.

### COMPORTAMIENTO DE LA RELACION A TRAVES DEL PROCESO.

En este punto se realiza un muestreo durante tres días de la semana, a la misma hora, en secciones importantes del proceso, de esta forma, se pretende obtener un resultado acerca de las posibles fuentes donde la relación Ca/Mg Varía notablemente.

## SET DE REACTORES

A partir de los datos obtenidos en el seguimiento preliminar de la relación Ca/Mg mencionado anteriormente, se realiza un muestreo durante cinco (5) días de la semana, con una repetitividad por triplicado en el set de reactores, estos mostraron un comportamiento diferente en la relación durante todo el proceso, según grafico 4.1.

Este muestreo pretende analizar la desviación estándar que presenta cada muestra tomada en secuencia, de esta forma, se facilita el análisis de datos y se comienza a descartar puntos donde se controla la relación Ca/Mg.

Finalmente se comienza a analizar cada uno de los puntos que describe la tabla 3.2 exceptuando los reactores debido a los resultados concluyentes que se especifican en el capítulo 4.

## CUANTIFICACIÓN CALCIO/MAGNESIO EN LIXIVIADORES

Se toman muestras durante tres (3) semanas consecutivas, cuatro (4) veces al día; obteniendo un total de una matriz de datos de 60 patrones que son posteriormente analizados por método estadístico ANOVA.

Las muestras siguen un procedimiento analítico que encierra agitación, filtración, y volumetría, para esto; hace uso de reactivos como: buffer amoniacal, hidroxilamina, Calmagite, azul de hidroxinaftol, KOH y EDTA 0,1 N. por muestra a analizar.

## APORTE DE $\text{CaCl}_2$ Y CONCENTRACION DE BATCHES.

Es importante determinar el aporte que realizan las respectivas bombas que suministran cloruro de calcio a los lixiviadores. Para esto se realiza la calibración de las bombas P-181 A/B y de esta forma se cuantifica cuanto cloruro de calcio ingresa al proceso dependiendo del stroke que estás manejan.

Para este punto de análisis se llevan a cabo dos procedimientos:

1. Caudal volumétrico de descarga de la bomba P-181

Esta calibración se realiza en un solo día y consiste en determinar el tiempo de llenado de un recipiente a cierto stroke de apertura de la bomba, donde se comienza con strokes de 5% hasta llegar al 95% de apertura

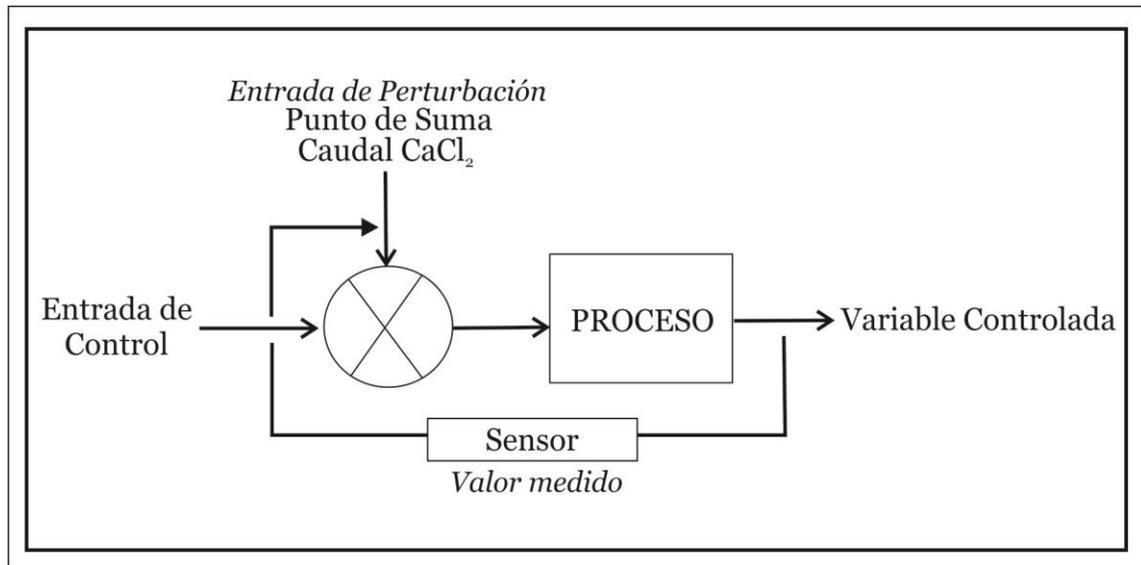
2. Concentración Batches de Cloruro de Calcio.

así mismo se analiza cada batch de cloruro de calcio que se está dosificando al sistema, de esta forma, se cuantifica realmente cuanto solido de  $\text{CaCl}_2$  es el que realmente ingresa a los lixiviadores a atender la respuesta Ca/Mg.

## RELACIÓN CALCIO/MAGNESIO EN BOMBA 02P001 A/B

A partir del sistema de control que se trabaja en el tratamiento primario, la distinción a los demás puntos es determinada por las fuentes de influencia que recaen sobre él.

Para la relación Calcio/magnesio que es tomada sobre este punto, el sistema de control aplicado es un closed Loop, *figura No. 3.2*; sobre el cual actúan factores como la concentración del batch de  $\text{CaCl}_2$ , el caudal volumétrico que ingresa al Lixiviador, denominado Punto de suma, y por último, el aporte de  $\text{NaCl}$  al Lixiviador.



*Figura No. 3.2* Sistema Closed Loop para tratamiento Primario. Fuente: Autor

## PERMEADO DEL SRS Y LINEA QUE RETORNA DE PLANTA II.

Como se muestra en el diagrama PFD adjunto en anexos, al lixiviador retorna dos líneas, una que viene directamente de planta II posterior salida del cuarto de celdas y otra que proviene del permeado del SRS; por lo tanto, se hace necesario cuantificar la cantidad de cationes calcio y magnesio que aportan estas dos líneas al lixiviador.

Para esto basto de ensayos preliminares tomados en estos puntos durante dos días de muestreo, estas muestras se analizan por espectrofotometría.

A partir de los datos obtenidos de cada punto que recae sobre la respuesta obtenida en la bomba 02P001 se desglosan otros factores de interferencia que recaen sobre la variabilidad que se obtiene en la relación tomada en este punto.

## APORTE DE SAL AL LIXIVIADOR

En Quimpac de Colombia, la producción de Cloro-Soda es operada bajo un proceso en continuo, que requiere aproximadamente 60 toneladas sal/ día. Para esto, los Lixiviadores requieren de aproximadamente 3 ton sal/h de forma continua. Es así como se realiza un seguimiento a los ayudantes de planta y así verificar que cantidad de cloruro de sodio se ingresa a los lixiviadores durante un día laboral.

## CARACTERIZACION ESPUMA

Para entender el evento que conlleva a que la relación calcio/magnesio caiga por debajo de lo esperado cada que vez que suceden eventualidades de ingreso de sal en exceso al lixiviador, se hace necesario analizar la espuma que se produce cuando la sal que hay en este no es suficiente por necesidad de proceso.

Para esto, los analistas de laboratorio realizan un análisis de la espuma producida por los lixiviadores cuando no hay carga de sal en el mismo por medio de ICP (espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente).

## APLICACIÓN ESTADÍSTICA

A partir de los datos obtenidos previamente del muestreo realizado, y bajo los resultados del set de reactores, los puntos de control que se toman en cuenta para establecer una metodología de control real son:

- Relación Calcio/Magnesio obtenida del cristal de sal
- Relación Calcio/Magnesio en Bomba O2P001 A/B
- Relación Calcio/Magnesio en bomba O3P001 A/B

El método estadístico a aplicar es la metodología ANOVA, este un método para comparar dos o más medias, se puede realizar con tamaños muestrales iguales o distintos, sin embargo, es recomendable iguales tamaños. Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. Para ejecutar un ANOVA, debe tener una variable de respuesta continua y al menos un factor categórico con dos o más niveles. V. Abraira, A. Pérez de Vargas. (1996)

Este método arroja como resultado relevante lo que se denomina sesgo estandarizado, curtosis estandarizada y coeficiente de variación; donde el sesgo estandarizado es la medida que indica la simetría de la distribución de una variable respecto a la media aritmética, nos ayuda a identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor del punto central; y los resultados se interpretan de la siguiente forma:

- Sesgo (g)=0 se acepta que su distribución es simétrica, es decir, existe aproximadamente la misma cantidad de valores a los dos lados de la

media. Marco Alarcón Palacios 1 , Roberto Carlos Ojeda Gómez 1,. (2015 Oct).

- Sesgo ( $g$ ) $>0$ : la curva es asimétricamente positiva, por lo que los valores se tienden a reunir mas en la parte izquierda que en la derecha de la media. Marco Alarcón Palacios 1 , Roberto Carlos Ojeda Gómez 1,. (2015 Oct).
- Sesgo ( $g$ ) $<0$ : la curva es asimétricamente negativa Marco Alarcón Palacios 1, Roberto Carlos Ojeda Gómez 1,. (2015 Oct).

Desde luego entre mayor sea el numero (positivo o negativo), mayor sea la distancia que separa la aglomeración de los valores respecto a la media.

Por otra parte, se tiene la curtosis estandarizada, esta Mide la mayor o menor concentración de datos alrededor de la media; y su interpretación radica como se muestra a continuación:

- si este coeficiente es nulo, la distribución se dice normal (similar a la distribución normal de Gauss) y recibe el nombre de mesocúrtica. Ministerio de Educación, (2005). MEDIDAS DE ASIMETRÍA
- Si el coeficiente es positivo, la distribución se llama leptocúrtica, más puntiaguda que la anterior. Hay una mayor concentración de los datos en torno a la media. Ministerio de Educación, (2005). MEDIDAS DE ASIMETRÍA
- Si el coeficiente es negativo, la distribución se llama platicúrtica y hay una menor concentración de datos en torno a la media. sería más achatada que la primera. Ministerio de Educación, (2005). MEDIDAS DE ASIMETRÍA

Y finalmente, los datos obtenidos de estos tres (3) puntos categorizados se llevan a un dendograma encargado de mostrar los grupos que se forman al crear conglomerados de observaciones en cada paso y sus niveles de similitud. Minitab Inc.. (2017). Dendograma.

## Capítulo 4.

# RESULTADOS

## REVISIÓN DEL PROCESO Y MUESTREO

### PUNTOS DE TOMA DE MUESTRA

A partir del seguimiento parcial que se hizo exclusivamente al área de salmuera con cada operario en turno y analista de laboratorio, se concluye que los puntos de toma de muestra para llevar el control del proceso y determinar la calidad del mismo son los que se muestran en la imagen 4.1 y 4.2



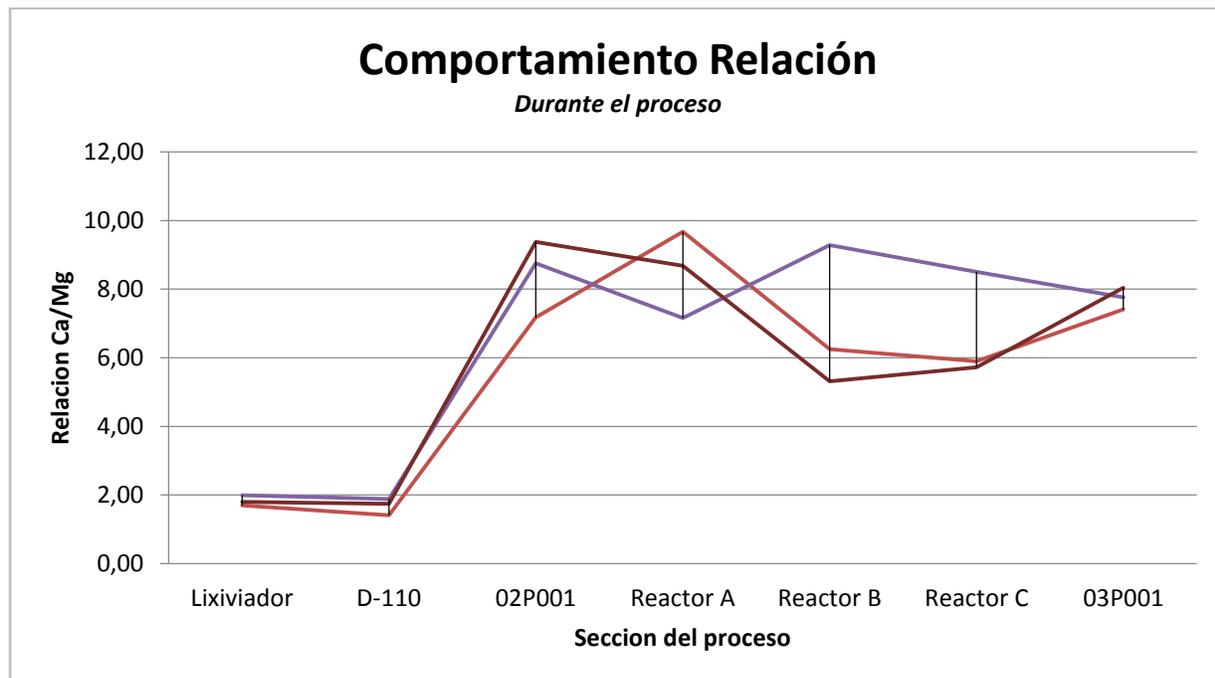
*Imagen No 4.1. Puntos de muestreo para control de calidad por analistas de Laboratorio*



*Imagen No 4.2. Puntos de toma para control de proceso por operarios de planta*

## COMPORTAMIENTO DE LA RELACION EN EL PROCESO

Con la intención de conocer de forma preliminar cómo se comporta la relación Ca/Mg se realizó un muestreo durante 3 (tres) días, a través de diferentes áreas del proceso obteniendo los resultados evidenciados en la gráfica 4.1.

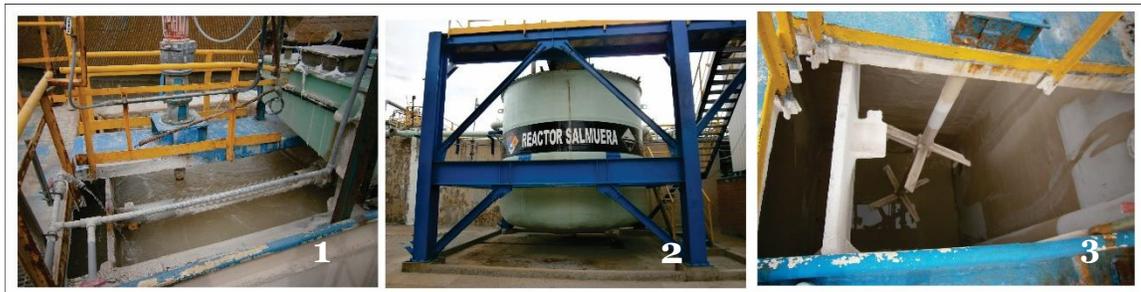


*Gráfico No 4.1. Comportamiento Calcio/Magnesio a través del proceso. Fuente:  
Autor.*

A partir del resultado obtenido en el gráfico 4.1, se procede a analizar el set de reactores, ya que son los puntos que presentan mayor variación de la relación Ca/Mg.

## SET DE REACTORES

El área de Salmuera está constituida por un set de tres (3) reactores de mezcla completa CSTR, con volúmenes y velocidades de agitación diferentes; siendo los reactores 1 y 3 de la *imagen 4.3* quienes presentan un volumen de 30m<sup>3</sup> con velocidad agitación de 75 rpm, y reactor No. 2 de la misma imagen un volumen de 60m<sup>3</sup> con agitación de 48 rpm.



*Figura No. 4.3. Reactores Mezcla Completa, CSTR. Fuente: Autor.*

Actualmente, estos reactores funcionan como punto de muestreo, para llevar a cabo procedimientos de control, sin embargo; bajo el resultado de 15 patrones previamente analizados, se establece que los reactores no garantizan un eficiente punto de control puesto que la dispersión en la matriz de datos es alta.

El grafico No 4.2. Evidencia el comportamiento del set de reactores, tomando en cuenta que el reactor A se encontraba fuera de línea. La dispersión de datos es alta, y en el punto donde se estima como baja, es un punto de control muerto, por tanto; no puede tomarse en cuenta para establecerse como zona de muestreo

Tabla No 4.1. Dispersión en matriz de datos.

	<b>DISPERSION</b>
<b>Reactor A</b>	<i>Fuera de Línea</i>
<b>Reactor B</b>	4.66
<b>Reactor C</b>	4.17

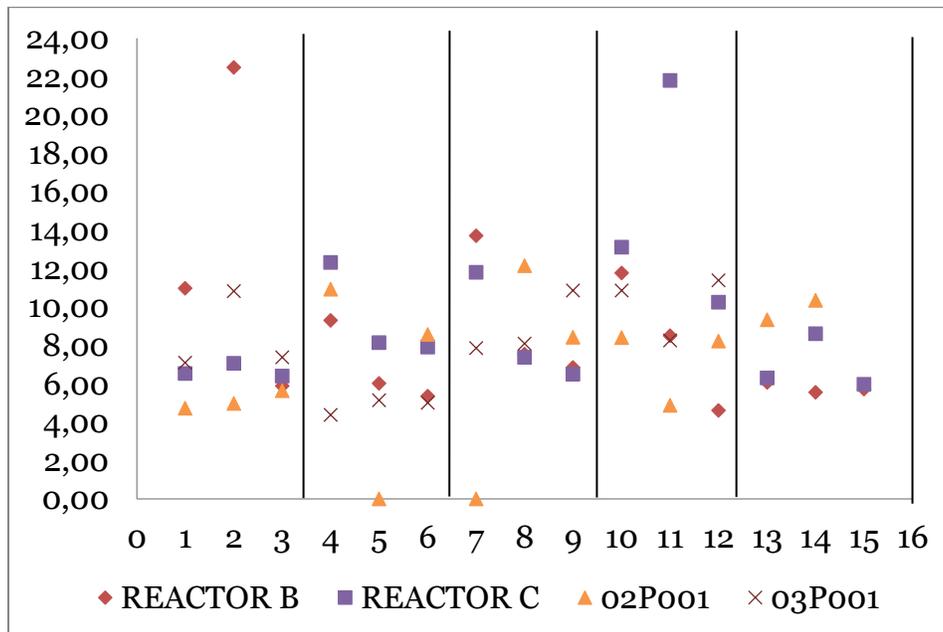


Gráfico No. 4.2 Desviación estándar entre muestras en reactores. Fuente: Autor.

## CUANTIFICACIÓN CALCIO/MAGNESIO EN LIXIVIADORES

Conforme los datos reflejados en el *grafico No 4.1*, se observa que la relación Calcio/Magnesio durante los días de prueba no representa mayor variación en los puntos previos a la bomba o2P001, sin embargo; bajo el FeedBack de control es importante conocer la relación Ca/Mg en la etapa inicial del proceso ya que esta es la entrada misma al sistema.



*Imagen No. 4.4* Evidencia análisis de laboratorio para sal de lixiviadores.

De los análisis realizados, se obtiene una matriz de 60 datos, que se llevaron a posterior aplicación estadística por método ANOVA y que se muestran en la sección de herramienta estadística.

## APORTE DE $\text{CaCl}_2$ Y CONCENTRACION DE BATCHES.

### CAUDAL VOLUMETRICO DE DESCARGA DE LA BOMBA P-181 A/B

Las bombas P-181 A/B, *imagen No 4.5*, son las encargadas de suministrar  $\text{CaCl}_2$  al cuarto (4) compartimento de los lixiviadores *imagen No 4.6*, ésta entrada al proceso como se mencionó anteriormente es denominada punto de suma; sin embargo a lo largo del día presenta oscilaciones de caudal debido a diferentes situaciones como el requerimiento del sistema de control que lleva, pérdidas de eficiencia por antigüedad, mantenimiento y a la densidad del líquido que suministra. Por tales razones, se hace indispensable la calibración de las mismas para cuantificar que volumen de aditivo es el que realmente está ingresando al proceso, y que tanto de éste responde a las variaciones que hay en la relación cada vez que se aumenta el aporte de materia prima a los lixiviadores.



Imagen No 4.5. Bombas de dosificación  $\text{CaCl}_2$ . P-181 A/B



Imagen No 4.6. Caudal  $\text{CaCl}_2$

Para atender las necesidades de  $\text{Ca}^{+2}$  que el sistema requiere, es importante conocer el caudal que ingresa al proceso, por tal razón se calibran las respectivas bombas, *Grafico No 4.3 y 4.4*, resaltando que la bomba P-181 B manejando Stroke por debajo de 40% trabaja de forma ineficiente.

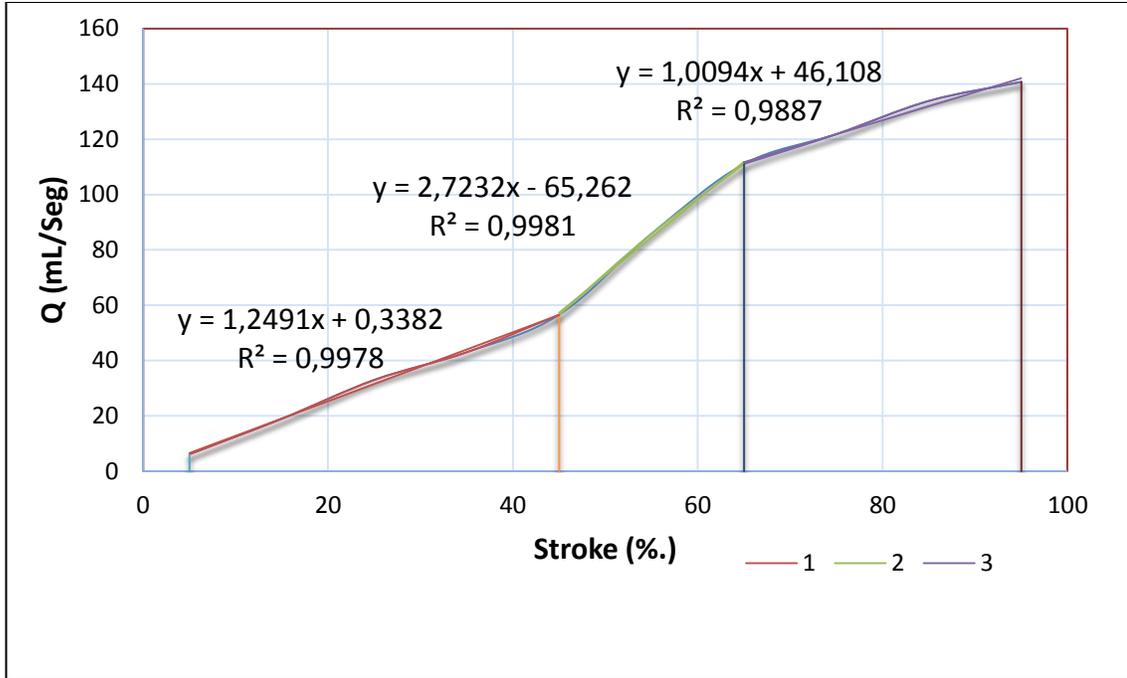


Gráfico No 4.3. Calibración Bomba P-181 A. Fuente: Autor

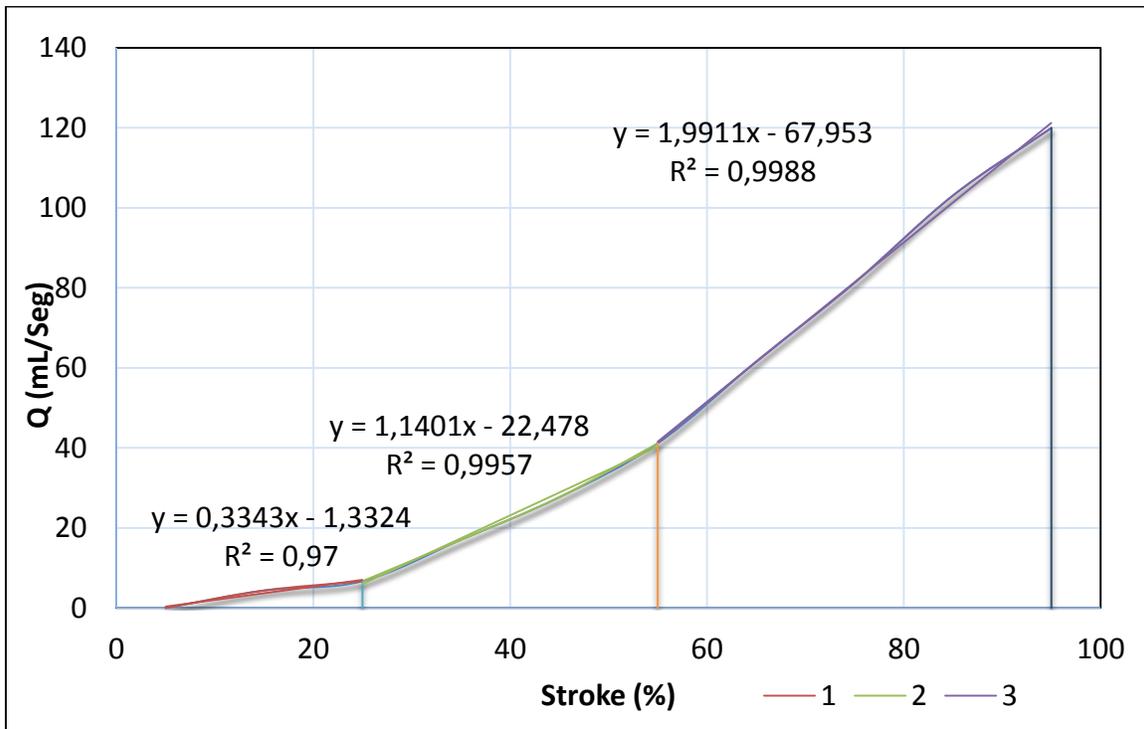
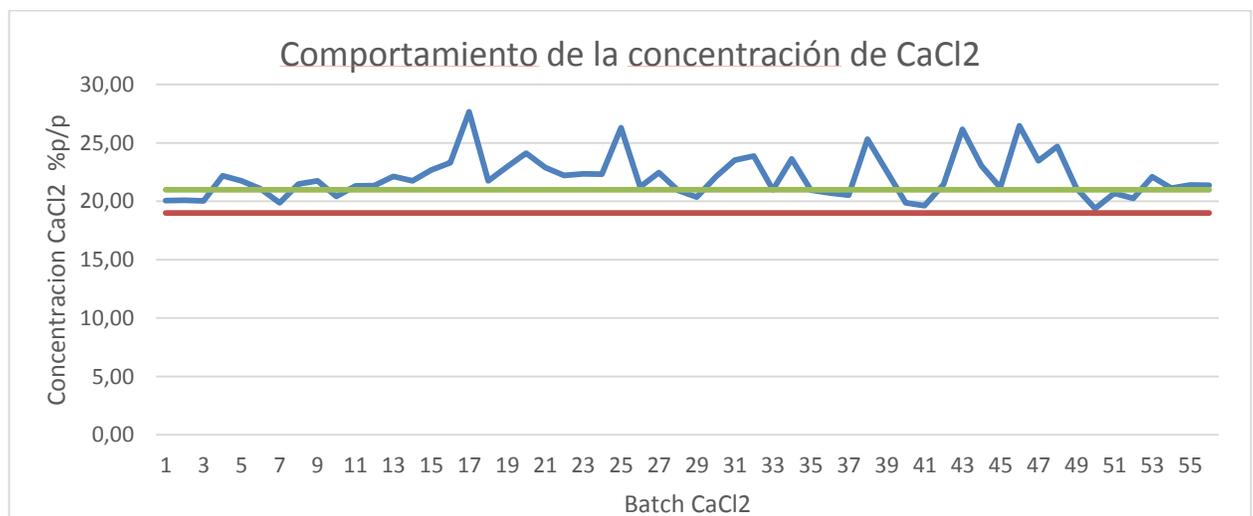


Gráfico No 4.4. Calibración Bomba P-181 B. Fuente: Autor

## CONCENTRACIÓN BATCHES DE CLORURO DE CALCIO

Para el proceso Cloro Soda de Quimpac de Colombia S.A, se sugiere que la concentración del aditivo Cloruro de Calcio por batch se encuentre en 20% p/p manejando un rango de preparación entre 19-22% respectivamente (PRODESAL. 1994) Sin embargo, durante cada Batch muestreado esta concentración oscila entre rangos de 19% p/p hasta 27% p/p según *grafico 4.5*



*Gráfico No 4.5. Concentración CaCl<sub>2</sub> en diferentes Batches. Fuente: Autor.*

Lo anterior sugiere un análisis extra acerca de la preparación del mismo y la materia prima que se está usando, debido que, la *gráfica No 4.5*. Muestra una relación implícita entre la concentración (una variable importante de proceso) y la pureza (una característica de calidad crítica del proceso) Albert Prat Bartés. (1993).

En Quimpac de Colombia parte de los procesos implementados usan como fuentes de materia prima subproductos obtenidos de los mismos. A partir de esto, el cloruro de Calcio implementado para la preparación de químicos es importado de la planta ubicada en QUIMPAC PERU.

Actualmente la preparación del  $\text{CaCl}_2$  líquido usado para el tratamiento primario de salmuera y que constantemente es dosificado al lixiviador, implementa para su preparación 16 bultos de 20 kilos de  $\text{CaCl}_2$  (Sólido) con pureza de 94% cada turno de operación, *imagen 4.7*.



*Imagen 4.7. Cloruro de Calcio, producto peruano pureza 94%*

Sin embargo, según análisis de Control de Calidad reportado por el Laboratorio, en cada bulto de  $\text{CaCl}_2$  la pureza de éstos varia, según se observa en *Tabla No 4.2*.

*Tabla No 4.2. Pureza de Batch analizado bulto a bulto de CaCl<sub>2</sub>. Fuente:  
 Laboratorio Calidad Quimpac de Colombia S.A*

Proveedor	Muestra	Pureza % (94)	Lote
<b>QUIMPAC PERU</b>	1	91,93	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	2	91,53	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	3	95,03	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	4	94,38	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	5	94,81	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	6	96,34	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	7	95,36	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	8	97,41	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	9	94,19	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	10	90,63	LCCP230218
<b>QUIMPAC PERU</b>	11	92,32	LCCP010318
<b>QUIMPAC PERU</b>	12	95,48	LCCP010318
<b>QUIMPAC PERU</b>	13	93,17	LCCP010318
<b>QUIMPAC PERU</b>	14	92,8	LCCP010318
<b>QUIMPAC PERU</b>	15	92,62	LCCP010318
<b>QUIMPAC PERU</b>	16	92,96	LCCP010318

De lo anterior se hace indispensable sugerir un control que garantice que la concentración de CaCl<sub>2</sub> que ingresa al sistema es la correcta y de esta forma disminuir la desviación que esta variable suma al proceso.

## PERMEADO DEL SRS Y LINEA QUE RETORNA DE PLANTA II.

A partir de los resultados obtenidos durante dos días, se descarta continuar con el muestreo en estos puntos puesto que el aporte de calcio y magnesio que llega al lixiviador es prácticamente nulo, y se debe a que la salmuera que sale de cuarto de celdas ya no contiene estos iones debido a que se remueven en las torres de intercambio iónico.

Las muestras fueron analizadas por espectrofotometría como se evidencia en la Figura 4.8



Figura No 4.8. Evidencia de muestras por espectrofotometría

## APORTE DE SAL AL LIXIVIADOR

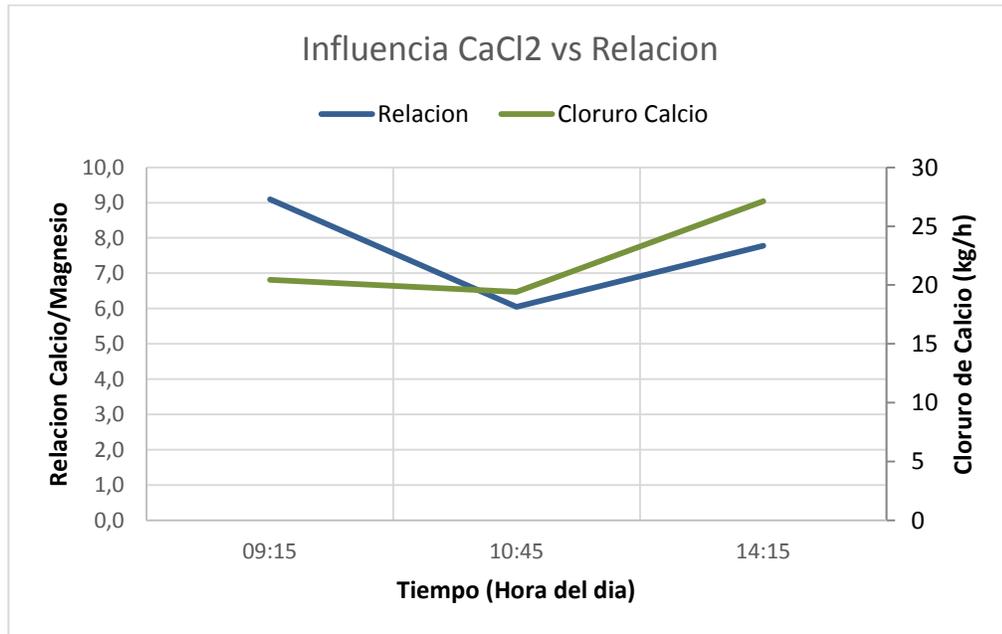
Los datos de la *tabla No 4.3* denota la cantidad de sal en un día que se aporta a los lixiviadores.

*Tabla No. 4.3* Aporte de sal a Lixiviadores (18 mayo 2018)

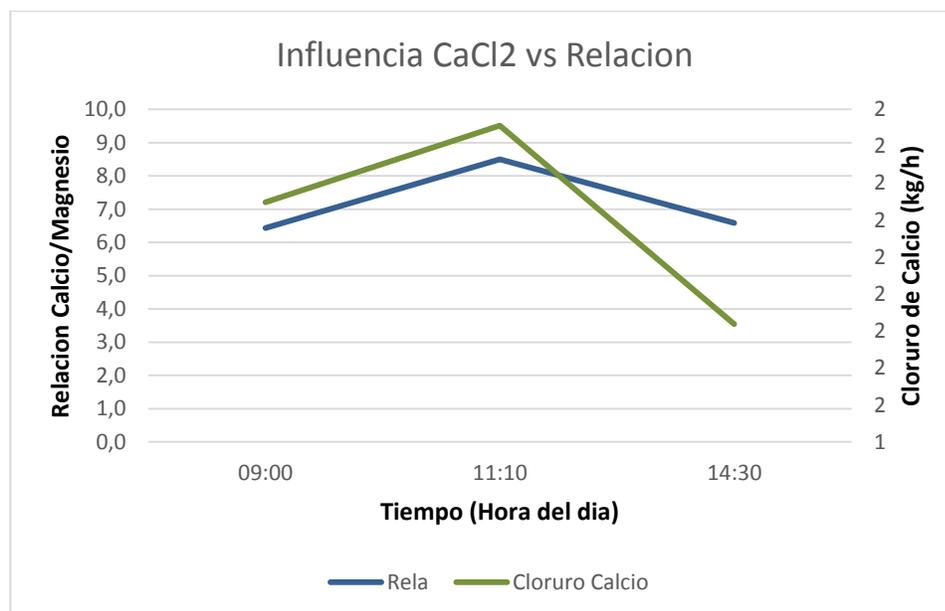
Hora	Toneladas
<b>2:05 a.m.</b>	6,8
<b>4:00 a.m.</b>	6,9
<b>4:45 a.m.</b>	3,7
<b>6:30 a.m.</b>	7,8
<b>7:40 a.m.</b>	5,2
<b>9:10 a.m.</b>	6,7
<b>10:20 a.m.</b>	5,6
<b>11:30 a.m.</b>	5,6
<b>12:40 p.m.</b>	6,2
<b>1:30 p.m.</b>	2,1
<b>2:45 p.m.</b>	3,7
<b>4:10 p.m.</b>	5,6
<b>5:20 p.m.</b>	4,3
<b>6:50 p.m.</b>	5,8
<b>8:10 p.m.</b>	5,6
<b>9:20 p.m.</b>	2,4
<b>11:30 p.m.</b>	2,5
<b>2:05 a.m.</b>	4,3

De lo anterior se desglosa que tanto es el efecto del aporte de sal al Lixiviador vs Stroke P-181 A/B y relación calcio/magnesio en la bomba O2PO01 A/B

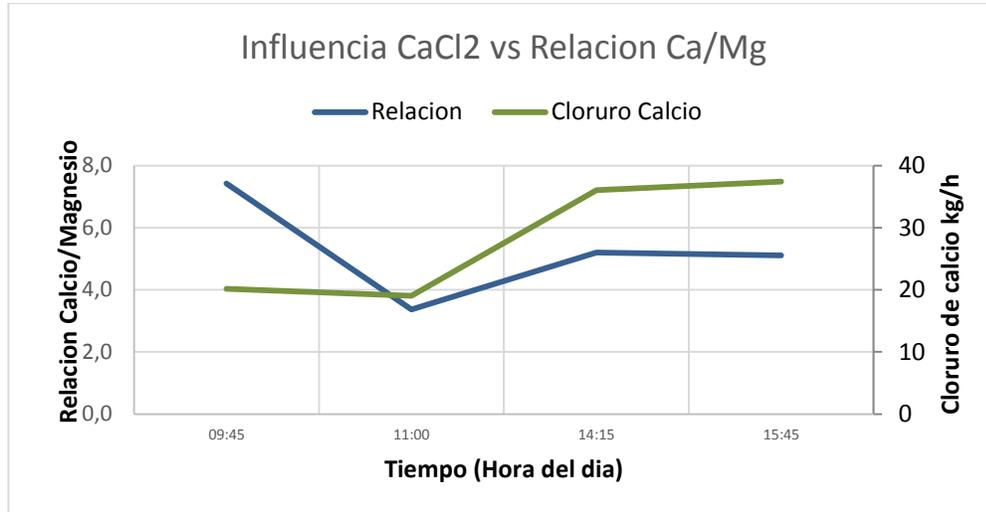
Se evidencio que la variación del caudal de  $\text{CaCl}_2$  está directamente vinculado con el resultado en la relación calcio/magnesio, donde estos dos parámetros son directamente proporcionales. *Gráfico No 4.6, Grafico No 4.7, Grafico No 4.8.*



*Gráfico No 4.6. Efecto entre caudal de  $\text{CaCl}_2$  y relación  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  (15 Mayo 2018)*



**Gráfico No 4.7. Efecto entre caudal de  $\text{CaCl}_2$  y relación  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  (25 Mayo 2018)**



**Gráfico No 4.8. Efecto entre caudal de  $\text{CaCl}_2$  y relación  $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  (15 Mayo 2018)**

No obstante, un tercer factor de influencia recae sobre la variación en la relación, y es el aporte de sal al lixiviador debido a que este debe ser constante (*Figura No 4.9*)



**Imagen 4.9. Altura de la masa de Sal en el Lixiviador durante aporte constante**

Sin embargo; se evidencia que en situaciones donde la cantidad de sal no es constante, el nivel de carga del lixiviador cae por debajo de los límites de operación, *Figura No 4.10*; generando de esta forma, que el volumen de  $\text{CaCl}_2$  que ingresa al lixiviador no alcance a contrarrestar el cambio en la variación de la relación calcio/magnesio, en consecuencia, ésta cae *Grafico No 4.9*



*Figura 4.10.* Altura de la masa de Sal cuando el aporte no es constante. Fuente: Autor

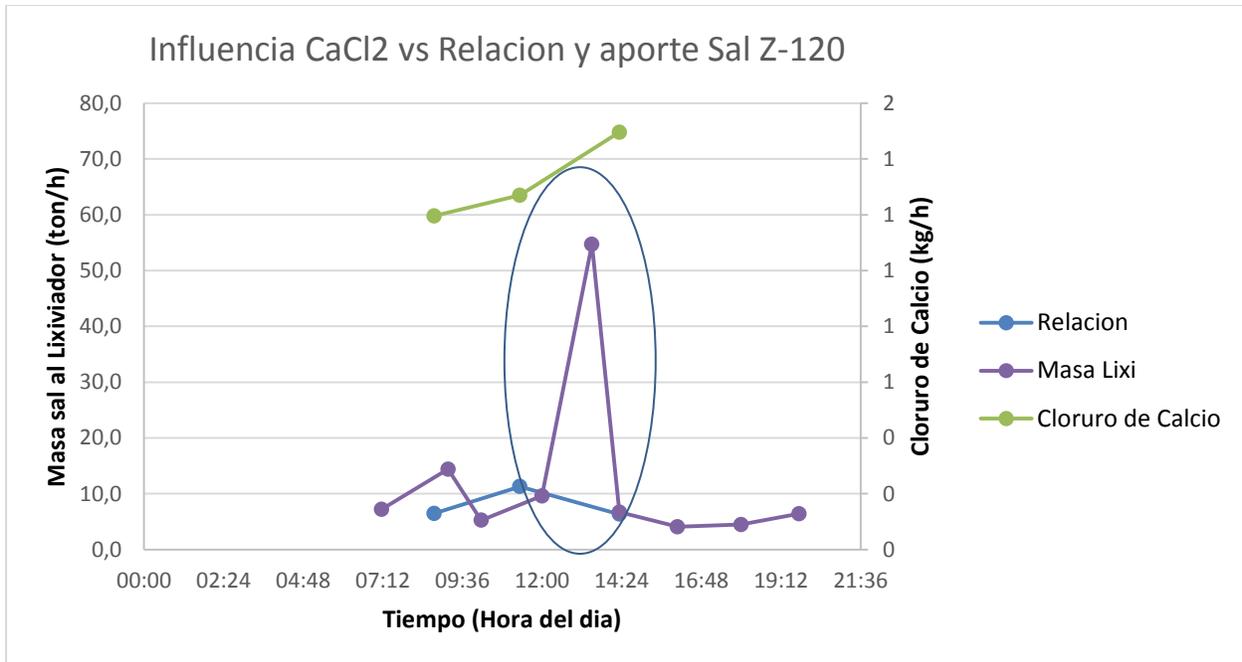


Gráfico No 4.9 Efecto de la caída de la relación Calcio/Magnesio vs Masa de Sal al lixiviador. Fuente: Autor.

### CARACTERIZACION ESPUMA

La disolución acuosa implementada para el proceso de producción Cloro Soda es muy diversa en diferentes cationes. Por tal razón, Se realizó la caracterización de la espuma resultante de esta disolución con el fin de determinar el contenido de cationes presentes en la misma, para esto se empleó el método de ICP para la caracterización de metales pesados, obteniendo como resultado lo que se evidencia en el *Gráfico No. 4.10*

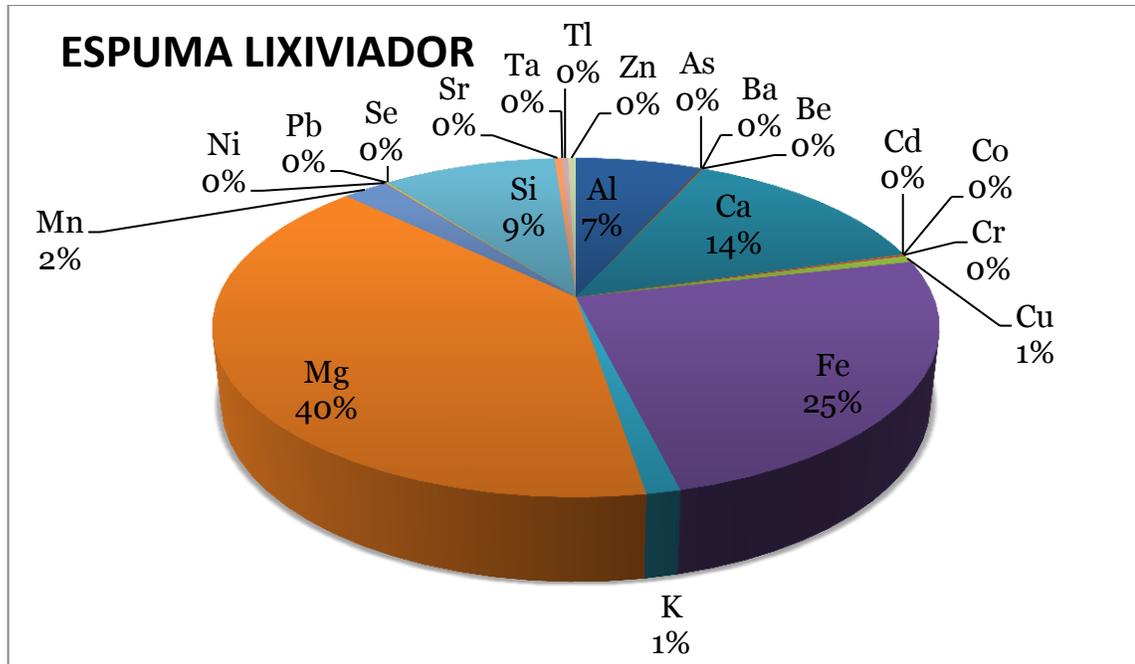


Gráfico No 4.10. Contenido Cationes presentes en espuma de la Salmuera.

Fuente: Laboratorio de Calidad de Quimpac de Colombia S.A

Todos estos iones suponen más del 98% de la composición de solutos presentes en la salmuera, independiente del origen de la sal cruda, las proporciones suelen mantenerse.

De lo anterior se observa que, aunque el calcio se encuentra presente en una proporción representativa no es suficiente para mantener la relación catiónica calcio/magnesio estable para la formación de la pre-capa en la zona de filtración primaria, por esta razón, se hace importante adición de  $\text{CaCl}_2$  y el tratamiento químico que se realiza en la salmuera.

## APLICACIÓN ESTADÍSTICA

La matriz de datos que se obtiene es aplicada a una metodología estadística que permita diferenciar en cual punto de muestreo el control aplicado es real, permitiendo obtener resultados fiables, para ello, estos resultados se analizan a través del método ANOVA desarrollado en el Software STATGRAPHICS centurión. (STATGRAPHICS 18 centurión).

La *tabla 4.4* demuestra los resultados obtenidos de los 60 patrones que se analizaron del cristal de sal

*Tabla No 4.4. Resultados de la variable “cristal de sal”*

<b>Recuento</b>	<b>60</b>
<b>Promedio</b>	4,51104
<b>Desviación Estándar</b>	1,46764
<b>Coefficiente de Variación</b>	32,5343%
<b>Mínimo</b>	2,55576
<b>Máximo</b>	6,96107
<b>Rango</b>	4,40531
<b>Sesgo Estandarizado</b>	1,06825
<b>Curtosis Estandarizada</b>	-1,09773

La *tabla No 4.4* establece que el valor del sesgo estandarizado y el valor de curtosis estandarizada se encuentran dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal, además; los intervalos de confianza para la relación en el

crystal de Sal en términos prácticos y con una confianza del 95,0% establece que la media verdadera se encuentra entre [3,86032 y 5,16175,] en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre [1,12913; 2,09735].

Así mismo, se analizan los datos provenientes de la relación calcio/magnesio en la bomba 02P001 A/B y en la bomba 03P001 A/B obteniendo los datos mostrados en la *tabla 4.5 y 4.6*

*Tabla No 4.5 Matriz de datos en bomba 02P001 A/B*

<b>Recuento</b>	60
<b>Promedio</b>	6,92954
<b>Desviación Estándar</b>	1,7575
<b>Coefficiente de Variación</b>	25,36%
<b>Mínimo</b>	2,76731
<b>Máximo</b>	11,6241
<b>Rango</b>	8,85677
<b>Sesgo Estandarizado</b>	1,19264
<b>Curtosis Estandarizada</b>	0,245951

<b>Recuento</b>	60
<b>Promedio</b>	6,91101
<b>Desviación Estándar</b>	2,05485
<b>Coefficiente de Variación</b>	29,733%
<b>Mínimo</b>	3,75229
<b>Máximo</b>	11,4992
<b>Rango</b>	7,74687
<b>Sesgo Estandarizado</b>	1,56076
<b>Curtosis Estandarizada</b>	-1,0387

*Tabla No 4.6 Matriz de datos en bomba 03P0001 A/B*

Estas tablas muestran los estadísticos de resumen para la relación calcio/magnesio en bomba 02P001 y en bomba 03p001; Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma y como se mencionó anteriormente, en estas tablas, el particular interés es el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. En este caso, los valores del sesgo estandarizado y la curtosis se encuentran dentro del rango esperado.

Se tomo un comparativo de la tendencia en los tres puntos categorizados en la figura 3.1 y se observa en la imagen 4.11 como es el comportamiento de la matriz de datos en cada categoría

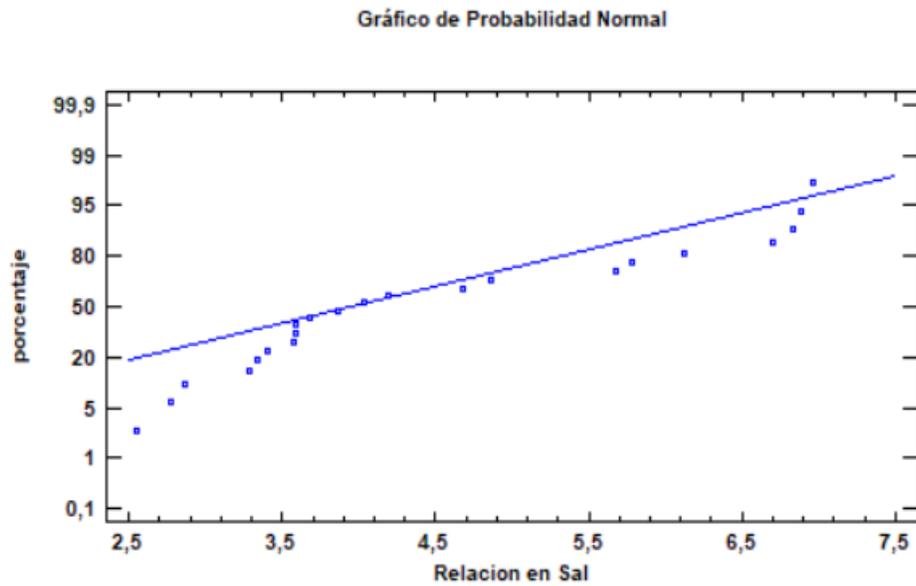


Imagen 4.11.1 Tendencia de los datos obtenidos en el punto de muestreo “Sal Solido”

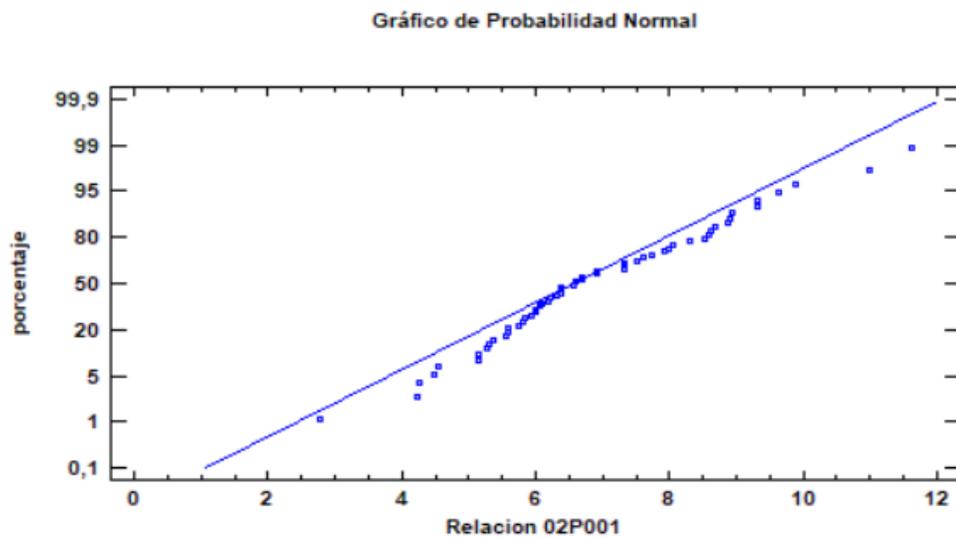
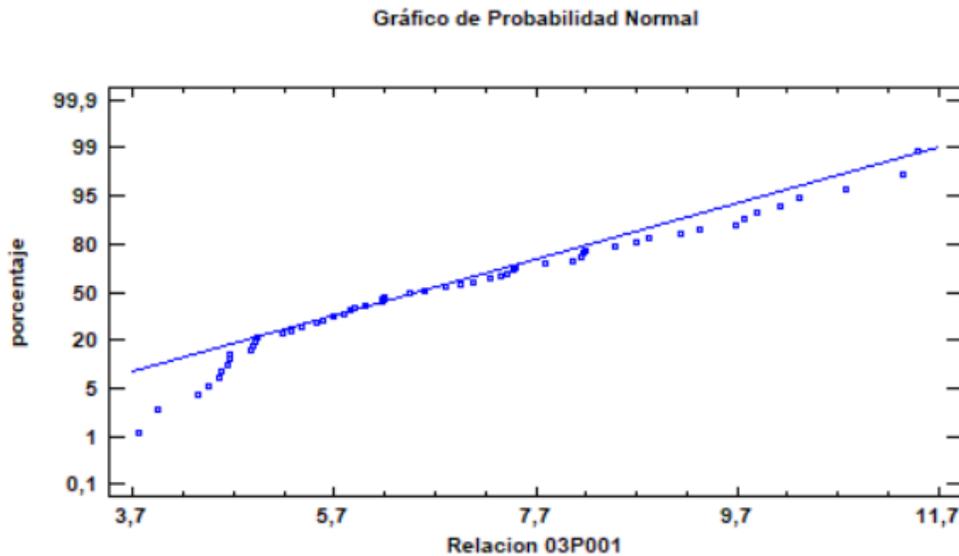


Imagen 4.11.2 Tendencia de los datos obtenidos en el punto de muestreo Bomba  
02p001



*Imagen 4.11.3* Tendencia de los datos obtenidos en el punto de muestreo Bomba  
03p001

Para determinar cuál de los tres puntos de muestreo tiene más sentido para seleccionar el punto de control. Los datos obtenidos se organizan en un dendograma, de esta forma se muestra cómo se forman los conglomerados en cada paso y se evalúa así los niveles de similitud o distancia (Minitab Inc. International Sales. (2006)

El *grafico No. 4.9* señala los grupos que más similitud tienen, determinando que la dispersión en los datos obtenidos es menor y casi similar en los puntos de entrada del cristal de sal, y la relación obtenida en la bomba 03P001, lo cual sugiere que la estandarización del muestreo sea empleada en alguno de estos dos puntos, sin embargo

según el tipo de control empleado en Quimpac de Colombia, se descarta como punto de muestreo el cristal de sal puesto que es la variable manipulada, y como se nombró anteriormente, no se puede controlar esta variable debido a que las especies que contiene se encuentran implícitas en ella, por lo tanto; los únicos puntos de control restante son la bomba 02P001 A/B y la Bomba 03P001 A/B.

Por otra parte, la bomba 03P001 A/B se encuentra después de aproximadamente 3 horas de reacción de la salmuera en el set de reactores y previo ingreso de la misma al set de back pulse, como se muestra en el anexo 1 por lo tanto, seleccionar la bomba 03P001 A/B como un punto de muestreo para llevar el control en la relación, es seleccionar un punto de control muerto y éste constituye una parte fundamental en el proceso.

Debido a lo anterior el único punto de muestreo sobre el cual deberá recaer el control de la relación calcio/magnesio es la bomba 02P001 A/B, sin embargo, este punto es el que menos robustez presenta, es decir, es el punto que mayor dispersión en resultado presenta de una muestra a otra, por tal razón se hace necesario tomar medidas de ajuste real que permita disminuir la variación en la obtención de datos asociadas al control ineficiente por parte de operarios y equipamiento, y de esta forma aumentar la robustez del punto para que el resultado obtenido pueda ser determinado como un dato fiable.

De esta forma si se trabaja en ajustar los factores de interferencia que recaen sobre la bomba 02P001 A/B inmediatamente se logra disminuir la variación en los datos que se obtienen y así caracterizar los resultados como fiables, ya que el comportamiento que mantendría este punto sería similar al comportamiento de la bomba 03P001 A/B

grafico No 4.10 y según niveles de similitud del dendograma su desviación estándar es baja.

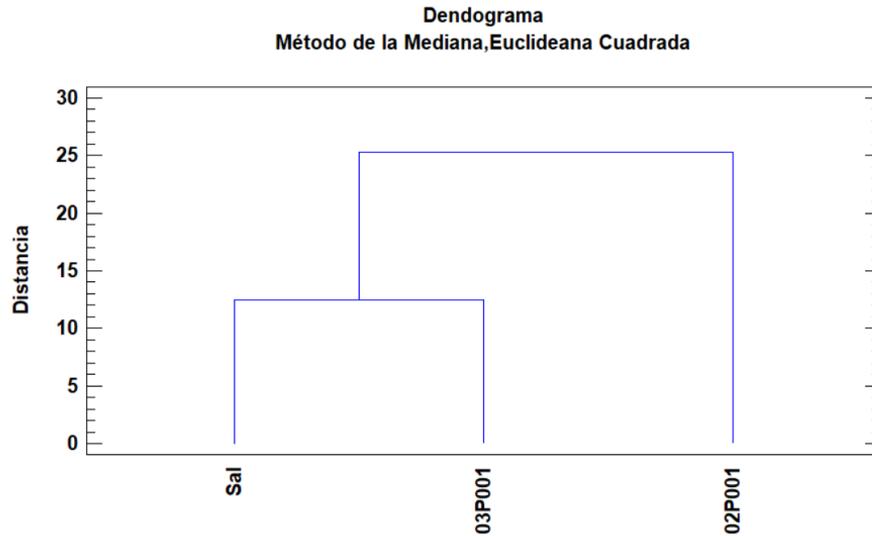


Gráfico No. 4.9 Dendograma de puntos de muestreo con mayor similitud

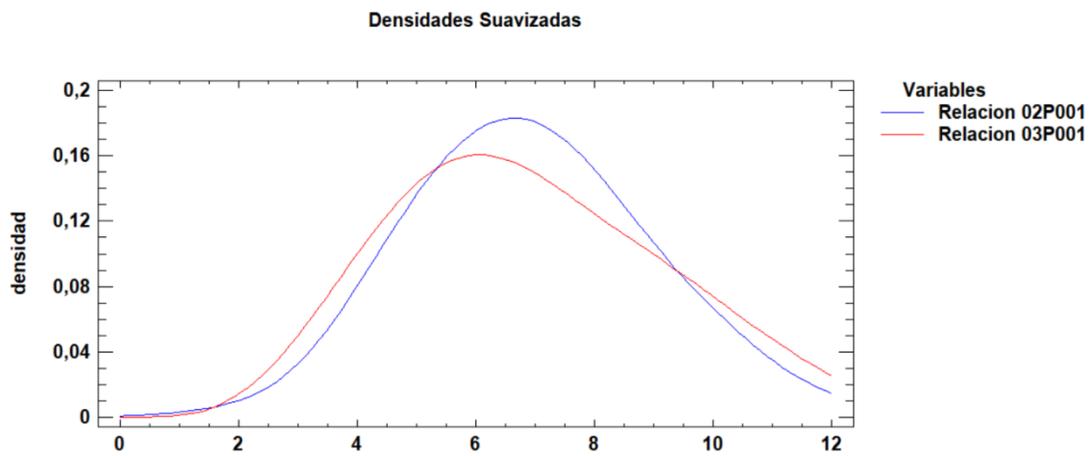


Gráfico No. 4.10 Similitud en datos obtenidos en bombas 02p001 y 03p001.

## Capítulo 5.

### DIAGNOSTICO Y DISEÑO

Bajo los resultados obtenidos de la aplicación del método estadístico se plantea trabajar sobre los factores de interferencia que recaen sobre el punto de control seleccionado, bomba 02P001 A/B; y según se observó en la *figura No. 3,1 (Capitulo 3)* estas interferencias son:

- Caudal de Cloruro de Calcio suministrado por las bombas p-181
- Concentración del Batch de Cloruro de Calcio
- Aporte másico de Sal al Lixiviador

#### *CAUDAL DE CLORURO DE CALCIO SUMINISTRADO POR LAS BOMBAS P-181*

Debido que la bomba P-181 B se encuentra en una zona de cambio de pendiente se sugiere aumentar el Stroke de las dos (2) bombas por encima o igual a 49%, de esta forma se garantiza que estas trabajen en una zona lineal y de mayor flujo. La *tabla No. 5.1* describe el caudal que actualmente ingresa al Lixiviador cuando el Stroke de la bomba se encuentra en 19% (Valor mínimo de desplazamiento del pistón) y asumiendo que la concentración del batch de  $\text{CaCl}_2$  se encuentre al 20% p/p

*Tabla No. 5.1 Caudal de CaCl<sub>2</sub> suministrado actualmente al Lixiviador.*

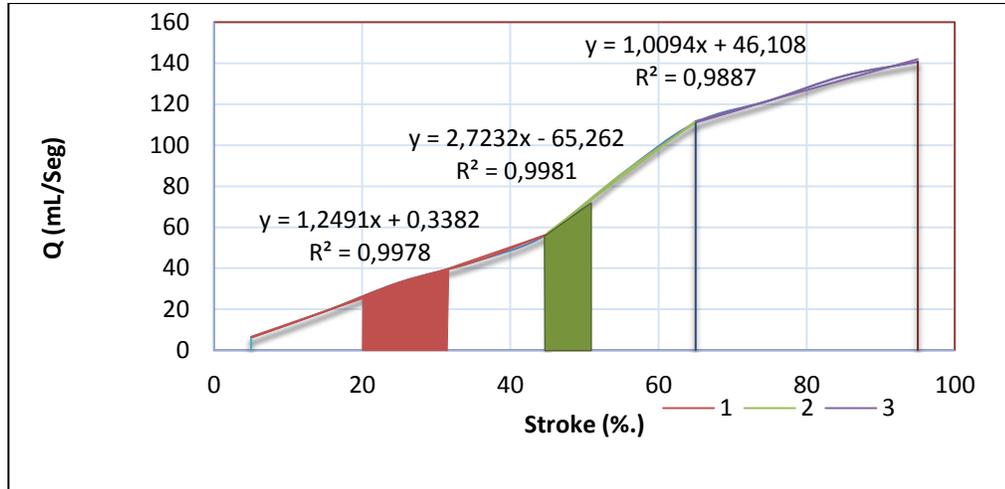
	<b>Stroke</b>	<b>Caudal</b>	<b>Flujo</b>
	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Suministrado (L/h)</b>	<b>Másico</b>
			<b>(kgCaCl<sub>2</sub>/h)</b>
<b>Bomba A</b>	19	86.6559	17.33
<b>Bomba B</b>	19	18.0694	3.613

Si el Stroke de la bomba se lleva a un valor de 49% o por encima de este, el mínimo caudal suministrado al Lixiviador sería el que se muestra en la *tabla No. 5.2*, mejorando de esta forma la eficiencia de trabajo de la bomba, obteniendo así un caudal más constante y de esta forma se garantiza un flujo constante, puesto que ambas bombas al momento de calibrarlas mostraban un comportamiento óptimo cuando se trabajaba alrededor de este valor de Stroke

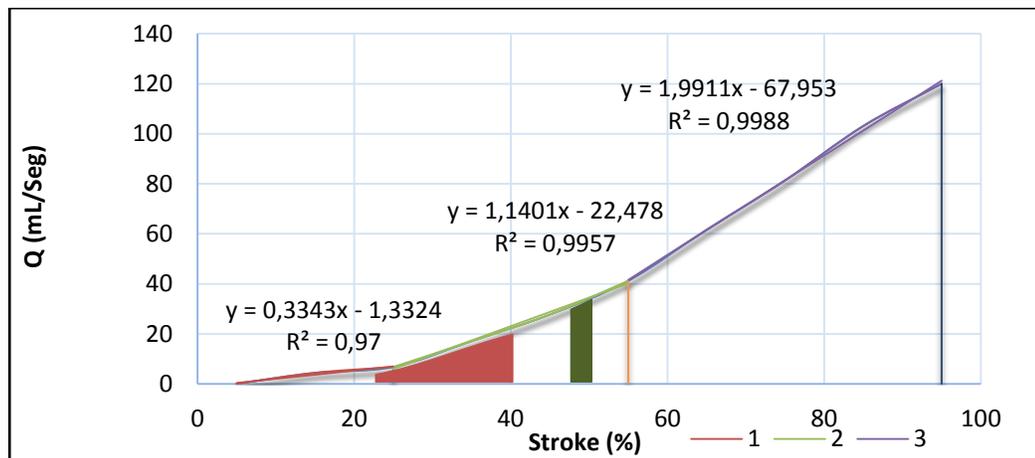
*Tabla No 5.2 Caudal de CaCl<sub>2</sub> suministrado según plan de acción.*

	<b>Stroke</b>	<b>Caudal</b>	<b>Flujo</b>
	<b>Mínimo (%)</b>	<b>Suministrado (L/h)</b>	<b>Másico</b>
			<b>(kgCaCl<sub>2</sub>/h)</b>
Bomba A	49	245.42928	49.08
Bomba B	49	120.1928	24.038

Así, la zona de trabajo se transportaría a una sección del grafico donde hay mayor flujo y comportamiento lineal. *Grafico 5.1, Grafico 5.2*



*Grafico 5.1* Sección de trabajo actual (rojo) vs Sección de trabajo propuesta (verde). Bomba A.



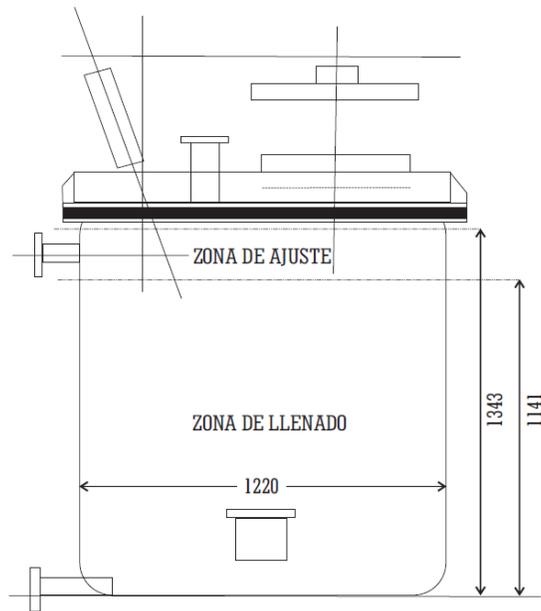
*Grafico 5.2.* Sección de trabajo actual (rojo) vs Sección de trabajo propuesta (verde). Bomba B.

## CONCENTRACION DEL BATCH DE CLORURO DE CALCIO

Actualmente el Batch de cloruro de calcio debe mantener una concentración de 20% p/p, sin embargo, tomando en cuenta el plan propuesto acerca de modificar el Stroke de las bombas, este caudal de  $\text{CaCl}_2$  que ingresa al lixiviador aumentaría tres (3) veces aproximadamente respecto al que se encuentra actualmente, por lo tanto, se sugiere disminuir la concentración del Batch a la mitad, evitando así un aumento de costos que se relaciona directamente con el aumento de consumo de químicos al lixiviador.

Adicional a esto se propone retomar el método de medición que se había establecido anteriormente para la concentración de  $\text{CaCl}_2$ , esta medición será llevada a cabo por medio de Hidrometría, (*ver tabla en anexos*). Para garantizar que el batch de  $\text{CaCl}_2$  sea el que se sugiere, se plantea prepararlo de acuerdo con la *imagen No 5.1*, donde se secciona el tanque de preparación D-180 en dos zonas:

- Zona de llenado
- Zona de ajuste



*Imagen No 5.1. Seccionamiento tanque de preparación de CaCl<sub>2</sub>*

Por lo tanto, para determinar el uso de Cloruro de Calcio a implementar, se desarrollan los cálculos pertinentes; éstos se encuentran adjunto en anexos (Anexo No 5).

Es importante resaltar que el tanque esta dividido en dos zonas, donde en la zona de llenado se determinara la concentración del Batch y dependiendo de este resultado, es en la zona de ajuste donde se llegara a la concentración deseada, ya sea concentrando o disolviendo el mismo. Los cálculos mencionados se hacen con el fin de aplicarlos dependiendo de cuál materia prima (CaCl<sub>2</sub>) estén implementando en el proceso.

La implementación de este plan de trabajo genera una diferencia económica respecto al plan con el que se trabaja actualmente, si bien esta diferencia no es grande, pero la eficiencia en la bomba y el control en el proceso será mucho mayor, generando

disminuir el ruido y la variación que se ve como efecto en la bomba 02P001 A/B. Ver

Tabla No.5.3

Tabla No.5.3 Costo actual de Batch de  $\text{CaCl}_2$  vs implementación de propuesta

	<b>Actualmente</b>	<b>Implementación</b>
<b>Valor Bulto Cloruro Calcio</b>	\$ 34.000	\$ 34.000
<b>Concentración <math>\text{CaCl}_2</math></b>	22%	10%
<b>Stroke Promedio</b>	25	49
<b>Caudal Mínimo mL/s</b>	31,5657	68,17
<b>Caudal Mínimo L/h</b>	113,63	245,42
<b>Flujo másico <math>\text{CaCl}_2</math>kg/h</b>	25,00	24,54
<b>Flujo Másico Día <math>\text{CaCl}_2</math></b>	600,00	589,0
<b>Bultos día</b>	30,00	29,4
<b>Valor <math>\text{CaCl}_2</math> día</b>	\$ 1.020.001	\$ 1.001.351
<b>Valor <math>\text{CaCl}_2</math> mes</b>	\$ 30.600.042	\$ 30.040.544
<b>Valor Anual</b>	\$ 367.200.505	\$ 360.486.526

#### APORTE MASICO DE SAL AL LIXIVIADOR

Hay un segundo factor que recae en la variación de la relación Calcio/Magnesio aun cuando ésta se encuentra directamente relacionada con el flujo de  $\text{CaCl}_2$  al lixiviador. Se observó que en el momento que el flujo de  $\text{CaCl}_2$  se encuentra en los Strokes que se acostumbra a mantener (20%-30%), y se ingresa una carga de sal alta al lixiviador, este flujo de  $\text{CaCl}_2$  no alcanza a contrarrestar el cambio de la relación,

observándose como tal, una caída en la misma, tal como se mencionó en el *Grafico No 4.9*.

Actualmente el área de salmuera se cuenta con tres (3) ayudantes de planta encargados de realizar diferentes actividades a lo largo del día, quienes, a su vez, están equipados con dos cargadores, cargador 638 y cargador 924; para realizar una de las diversas tareas que demanda a diario su cargo. De acuerdo a lo anterior, se sugiere organizar un plan de actividades para que sea uno de estos tres empleados destinado exclusivamente al proceso cloro soda, de esa forma sus tareas a realizar estarían enmarcadas en todo lo que implique el proceso como tal, tomando como prioridad, la adición de carga de sal a los lixiviadores cada 2 horas y la ayuda a operarios de planta con la preparación de Batches de  $\text{CaCl}_2$  cada vez que se demande.

## CARTA DE CONTROL

Debe notarse que es necesario el uso de una carta de control para la relación calcio/magnesio cuando se monitoree el punto 02P001 A/B.

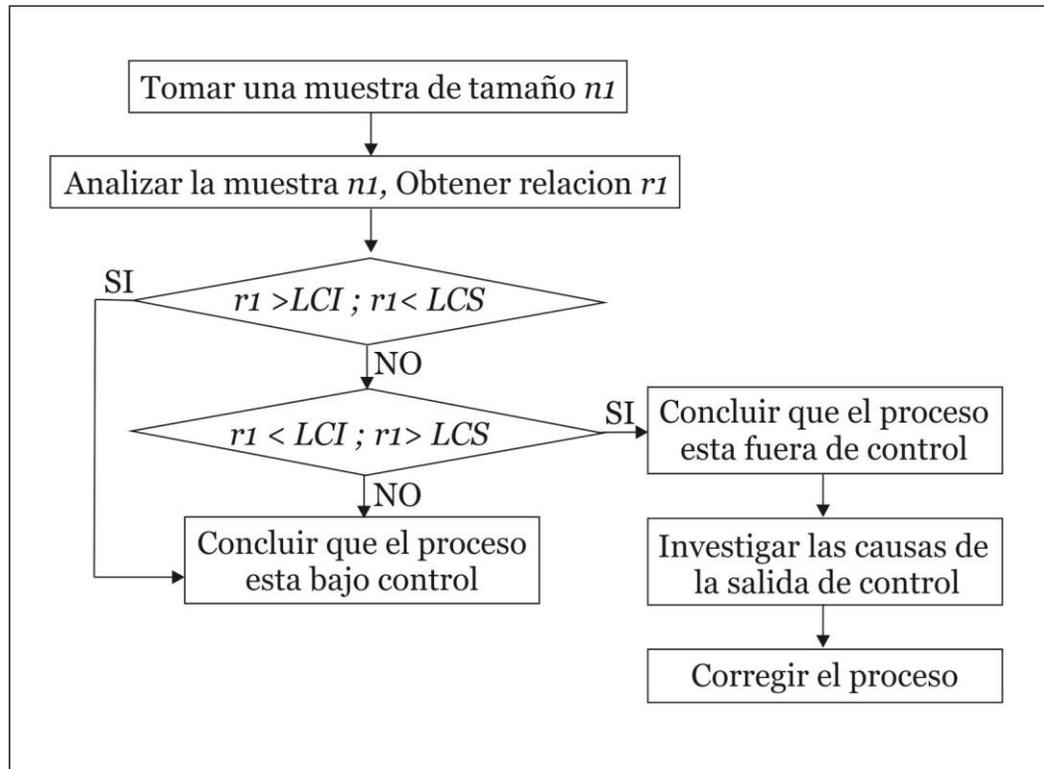


Imagen 5.2. Diagrama de Flujo de la carta de Control

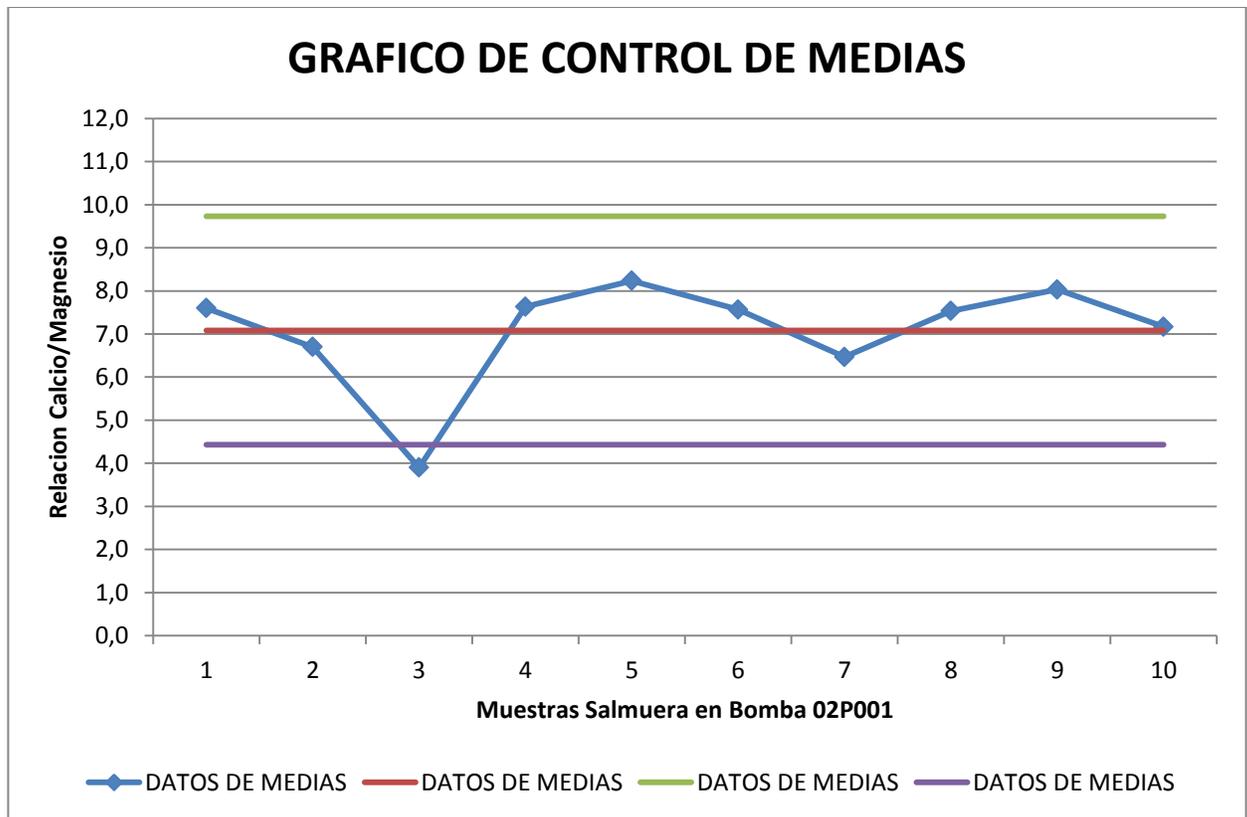


Gráfico No. 5.3 Control de Salmuera con el proceso actual.

De lo anterior se concluye que la relación calcio/magnesio que se trata en el área de salmuera, maneja un rango amplio de control, donde:

- **Limite control superior (LCS): 9,73**
- **Limite critico inferior (LCI): 4,43**
- **Limite control: 7,1**

De esta forma cuando una señal es graficada fuera de control debe realizarse una investigación para determinar la causa que la provoco y corregir el proceso para regresarlo al estado de control y continuar con el monitoreo. (E Ramirez, n.d.)

## Conclusiones

---

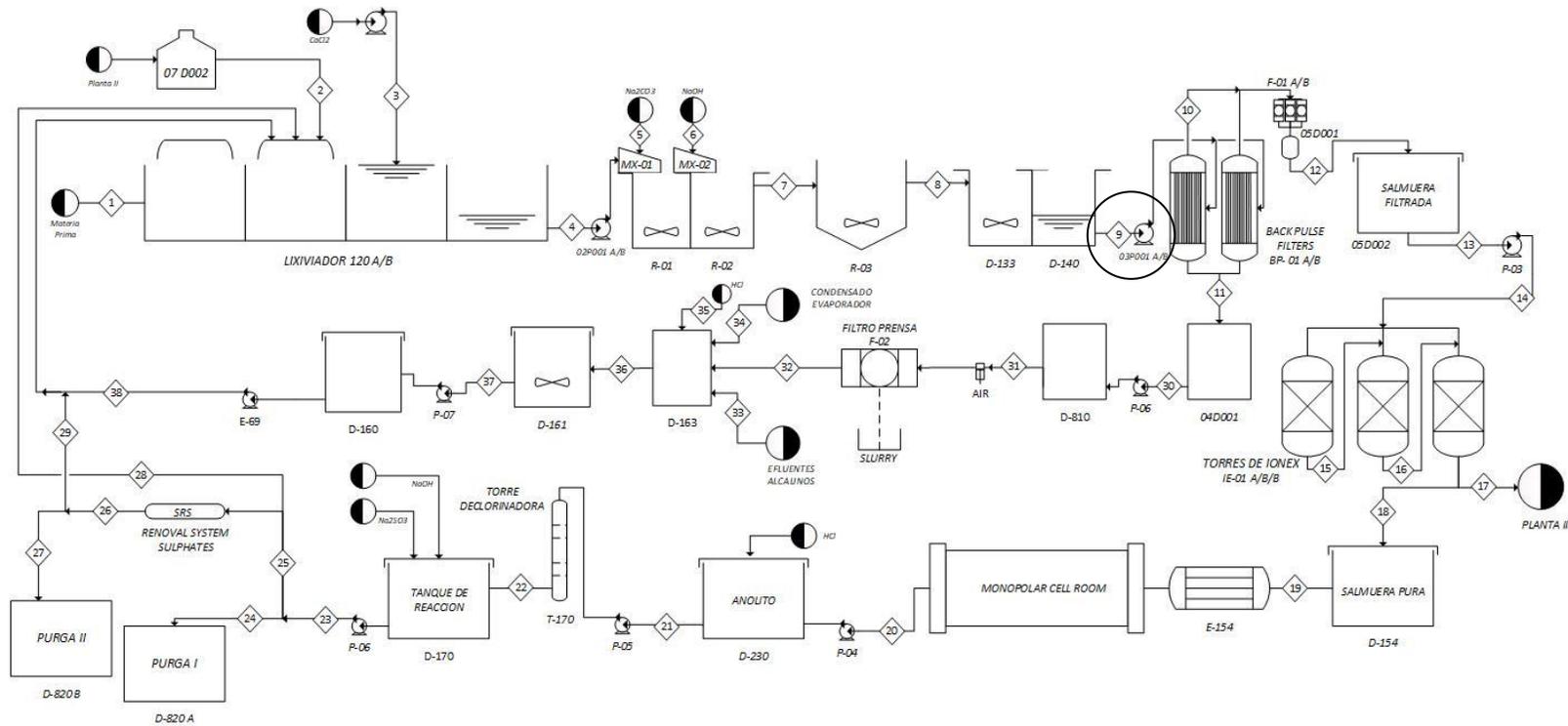
1. La disminución de la relación calcio/magnesio en el sistema puede obtenerse ejerciendo acciones de control sobre la bomba o2P001 A/B, que cumple la función de bombear la salmuera procedente del set de lixiviadores al tren de reactores para su posterior reacción. La acción de control seleccionada consiste en el ajuste de los rangos de trabajo de las bombas (stroke de bomba) y la dilución de la concentración de los batches de cloruro de calcio. Adicionalmente, se definió implementar la verificación de la concentración de cloruro de calcio a través de hidrometría.
2. La acción de control implementada no refleja ahorros significativos en el consumo de cloruro de calcio, sin embargo, el control adecuado de la relación calcio/magnesio garantiza una operación adecuada de la planta, disminuyendo los factores que propician eventos donde se suspenda la operación de la misma.
3. Es importante dejar claro que la implementación del plan de acción es ineficiente si el control realizado por el operario no es eficaz y constante.
4. La acción de un control operacional oportuno y eficiente juega un papel determinante en la influencia del proceso, por lo tanto, se implementó para la parte operacional, realizar muestreos cada dos (2) horas por parte de los operarios de campo independientes de los horarios del laboratorio.



## ANEXO 1

# PFD PROCESO DE SALMUERA (*Bomba 03P001*)

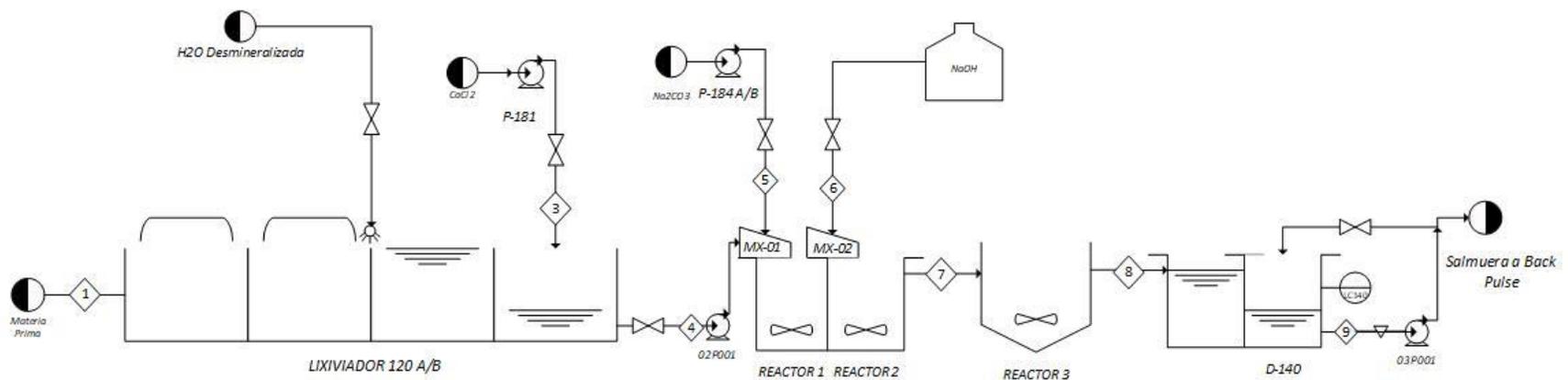
DIAGRAMA PLANTA I  
 QUIMPAC DE COLOMBIA S.A



ELABORADO POR: LUCÍA GÓMEZ

## Anexo 2

### PFD PROCESO PREVIO A ELECTROLISIS.



## ANEXO 3

### CLORURO DE CALCIO AMERICANO

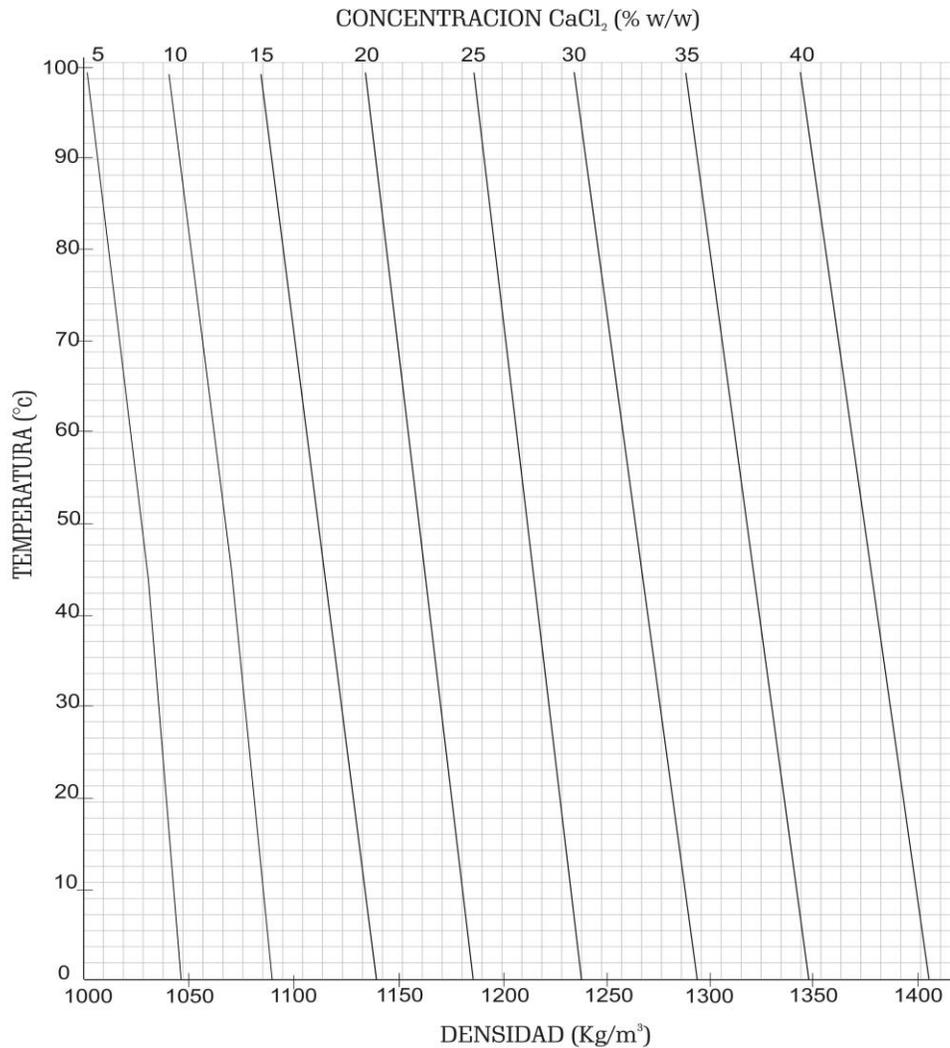


*Imagen No. 5.1. Bulto  $CaCl_2$  producto americano*

## ANEXO 4

### TABLA HIDROMETRICA

#### DENSIDAD DE SOLUCIONES DE CLORURO DE CALCIO



**QUIMPAC DE COLOMBIA S.A.**  
TABLA DE DENSIDAD DE CLORURO DE CALCIO  
DISEÑADO -DES | LUCIA GOMEZ

## ANEXO 5

### CALCULOS DE PREPARACION DE BATCHES DE CLORURO DE CALCIO.

**CALCULO BATCHES PRODUCTO CLORURO DE CALCIO SOLIDO. MIN  
94%; NETO 20Kg. ORIGEN PERUANO. (Figura No 4.7 Capitulo No. 4)**

$$10 = \frac{XkgCaCl_2}{Xkg CaCl_2 + 1577 kg} \times 100$$

$$10 \times (Xkg CaCl_2 + 1577) = Xkg CaCl_2 \times 100$$

$$10Xkg CaCl_2 + 15770 = 100Xkg CaCl_2$$

$$15770 = 100XkgCaCl_2 - 10Xkg CaCl_2$$

$$\frac{15770}{90} = KgCaCl_2$$

**175.2kg CaCl<sub>2</sub>**

$$\frac{175.2Kg CaCl_2}{20kg} = 8.7 Bultos CaCl_2$$

*Recalculando*

$$8 Bultos \times 20kg = 160kgCaCl_2$$

$$\frac{160kgCaCl_2}{1340kgH_2O} \times 100 = 11.94\% \cong 12\%$$

Concentración hasta Zona de  
llenado

$$\frac{160\text{kgCaCl}_2}{1577} \times 100 = 10.14\% \cong \mathbf{10\%}$$

Concentración hasta Punto de ajuste

## CALCULOS BATCHES PRODUCTO CAL- CHLOR CORP. 94 -97% NETO

**50LB. ORIGEN AMERICANO.** (Figura 5.1 en anexos)

$$7 \text{ Bultos} \times 22.68\text{kg} = 158.76\text{kgCaCl}_2$$

Concentración hasta Zona de

$$\frac{158.76\text{kgCaCl}_2}{1340\text{kgH}_2\text{O}} \times 100 = 11.84\% \cong 12\%$$

llenado

$$\frac{158.76\text{kgCaCl}_2}{1577\text{kgH}_2\text{O}} \times 100 = 10.06\% \cong \mathbf{10\%}$$

Concentración hasta Punto de ajuste



## Lista de referencias

- Albert Prat Bartés. (1993). Métodos estadísticos: control y mejora de la calidad. CATALUNYA: Iniciativa Digital Politècnica.
- BRINSA S.A. (2018). HISTORIA REFISAL. 9 Septiembre 2018, de BRINSA S.A Sitio web: <http://www.brinsa.com.co/>
- De, T. D. E. F. I. N., Qu, D. D. E., & Inorg, M. (2017). El cloro, producción e industria.
- E Ramirez. (n.d.). No Control estadístico de procesos por atributos caso: ZF Sachs 2015. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Euro Chlor. (2011). Euro chlor datos clave sobre el cloro, 2–5. Retrieved from <http://www.cloro.info/upload/public/Publicaciones/datos-clave-sobre-el-cloro-2011.pdf>
- Expósito, E., García, J. G.-, & Aldaz, V. M. A. (n.d.). Industria cloro sosa: una aproximación a escala laboratorio, 1–4.
- (GRAGEDA, Mayo, 2006). GRAGEDA Mirko y Mario, Desarrollos actuales en tratamiento de riles por métodos electroquímicos, Mayo 2006, a. p13, b. p9-10
- Gourbe, M. (2007). Evaluación de la reutilización de residuos salinos en la industria Cloro-Álcali. *PFC*, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona y Escuela Nacional Superior de Mecánicas y Microtécnicas de Besançon, 1–107. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/4339>
- La, E. N., & Cloro, I. (n.d.). Seguro De Los Residuos Con Mercurio.
- OCHOA J - R., Electrosíntesis y Electrodiálisis, Fundamentos, aplicaciones tecnológicas y tendencias, Madrid: 1996, a p136 - p144, b p76.
- Marco Alarcón Palacios 1 , Roberto Carlos Ojeda Gómez 1,. (2015 Oct). 304 Rev Estomatol Herediana. 2015 Oct-Dic;25(4). Artículo de Revisión / Review Article Rev Estomatol Herediana. 2015 Oct-Dic;25(4):304-8. 1 Facultad de Estomatología, Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú. a Magister en Estomatología b Especialista en Periodoncia c Cirujano Dentista d Maestrando. Análisis crítico de ensayos clínicos aleatorizados: Riesgo de sesgo. SCIELO, 8, 304.

MARTINEZ, S. Sinibaldi, Dirección General de Calidad Ambiental, *La industria del cloràlcali, Document de referència sobre les millors tècniques disponibles aplicables a la indústria*, Generalitat de Catalunya - Departament de Medi Ambiental, 2003.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. . (2005). MEDIDAS DE ASIMETRÍA. 10 septiembre 2018, de DESCARTES 2D Sitio web: [http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales\\_didacticos/unidimensional\\_lbarrios/asimetria\\_est.htm](http://recursostic.educacion.es/descartes/web/materiales_didacticos/unidimensional_lbarrios/asimetria_est.htm)

Minitab Inc. International Sales. (2006). MINITAB SUPPORT 18. 6 Agosto 2018, de Minitab Inc. International Sales and Support Sitio web: <http://www.minitab.com/>

Minitab Inc. (2017). Dendograma. 10 septiembre 2018, de MINITAB Sitio web: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/cluster-observations/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/dendrogram/>

Neira, J., & Poveda, I. (2001). Combinacion de sistemas de flujo de baja y alta presion para la determinacion de Mg, Ca y Sr en salmueras por espectrofotometria de absorcion atomica con llama. *Quimica Nova*, 24(2), 180–184.

Proceso, D. D. E. L. (n.d.). Descripcion del proceso Cloro-soda. Petroquimica de Venezuela

PRODESAL. (1994). Hydrometrics Method. En Main Menu Lab (63). CANADA: CHEMETICS.

Statgraphics Technologies. (1993). STATGRAPHICS CENTURION. 12 Julio 2018, de Statgraphics Technologies, Inc Sitio web: <http://www.statgraphics.com/>

Steve Sopora. (1988). Operator Training Program PRODESAL S.A. Cali: CHEMETICS

V. Abraira, A. Pérez de Vargas. (1996). Métodos Multivariantes en Bioestadística.. 9 Septiembre 2018, de Ed. Centro de Estudios Ramón Areces. 1996. Sitio web: [http://www.hrc.es/bioest/Anova\\_1.html](http://www.hrc.es/bioest/Anova_1.html)

Vargas, B. T. (2012). Sistemas De Segundo Orden Sobrea- Mortiguados Representativos Para Un Amplio Rango De Valores De Relación De Amortiguamiento Diseño De Controladores Pid Para Las Plantas Representativas Sobreamorti- Guadas. *Ind. Data*, 15(1), 110–119. Retrieved from <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/viewFile/6258/5460>

