UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

PROYECTO DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE CAL PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN OXY-CHILE.

Trabajo para optar al Título de:

Ingeniero Mecánico

Profesor Patrocinante:

Sr. Misael Fuentes Paredes

Ingeniero Mecánico

JOHN ARIEL REVILLARD ULLOA.

Valdivia-Chile

2005

El Profesor Patrocinante y Profesores Informantes del Trabajo de Titulación comunican al Director de Escuela de Mecánica de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería que el Trabajo de Titulación del señor:

JOHN ARIEL REVILLARD ULLOA

Ha sido aprobado en el examen de defensa rendido el día , como requisito para optar al título de Ingeniero mecánico. Y, para que así conste para todos los efectos firman:

Profesor Patrocinante:

Ing. Sr. Misael Fuentes P. _____

Profesores Informantes:

M.Sc. Rolando Ríos R. _____

Ing. Sr. Luis Cárdenas G. _____

V°B° Director de Escuela.

Sr. Enrique Salinas A. _____

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme las fuerzas necesarias para alcanzar este objetivo.

A mis padres, (Lidia y Milton) y a toda mi familia por su apoyo incondicional, y por creer en mi.

A Gabriela por entregarme confianza y apoyo siempre que lo necesité.

A Occidental Chemical Chile Limitada por darme la posibilidad de realizar mi memoria de tesis bajo su techo y acogerme gratamente.

INDICE

		Pág.
Resumen		1
Sumary		2
Glosario		3
Introducción		5
CAPITULO 1		
PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA		6
1.1.	Reseña histórica de la empresa	6
1.2.	Descripción general del proceso industrial.	7
1.2.1.	Descripción del proceso de la planta de cloro soda.	7
1.2.1.1.	Preparación y purificación de salmuera.	8
1.2.1.2.	Proceso de electrólisis celdas de membranas de intercambio iónico.	12
1.2.1.3.	Circuito de cloro gaseoso.	14
1.2.1.4.	Circuito de hidrógeno gas.	17
1.2.1.5.	Síntesis de ácido clorhídrico.	17
1.2.2.	Producción de cloruro de calcio	19
1.2.3.	Descripción del proceso de planta de cloruro férrico.	21
CAPITULO 2		
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS		24
2.1.	Operaciones unitarias en el tratamiento de aguas.	24
2.1.1.	Clarificación del agua.	24
2.1.1.1.	Coagulación.	28
2.1.1.2.	Floculación.	31

Pág.

2.1.2. Desmineralización por intercambio iónico. 34
2.1.2.1. Generalidades sobre el intercambio iónico. 35

CAPITULO 3

CALIDAD, MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD Y SU INCIDENCIA EN EL PROYECTO 37

3.1. Normas ISO 14000. 37
3.1.1. La organización internacional de normalización. 37
3.1.2. Razones de aplicación. 38
3.1.2.1. Razones ambientales. 38
3.1.2.2. Razones legales. 39
3.1.2.3. Razones sociales. 39
3.1.2.4. Razones económicas. 40
3.1.2.5. Razones técnicas. 40
3.2. Normas ISO 9000 41
3.2.1. Enfoque basado en procesos. 42
3.3. Consideraciones de calidad, medio ambiente y seguridad. 43

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL PROYECTO 47

4.1. Planteamiento del problema. 47
4.1.1 Alternativas propuestas. 47
4.2. Determinación del sistema. 48
4.3. Determinación de los equipos. 49
4.3.1. Determinación de las líneas. 49
4.3.2. Determinación de las bombas. 54

Pág.

4.3.3. Elección del reactor. 59
4.3.4. Elección del agitador. 61
4.3.5. Elección de estación de vaciado de bolsa. 62
4.4. Costos del proyecto. 63

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTOS DE OPERACION 64

5.1. Descripción de equipos del proyecto. 64
5.2. Procedimiento de preparación de reactor de lechada de cal 430 S1. 68
5.3. Procedimiento de puesta en servicio. 69
5.3.1. Puesta en servicio de primera línea de clarificación 430-R1. 69
5.3.2. Puesta en servicio de segunda línea de clarificación 430-R2. 70
5.3.3. Puesta en servicio de tercera línea de clarificación 430-R3. 70
5.4. Parámetros de operación normal. 72
5.5. Procedimientos de detención. 74
5.5.1. Detención de primera línea de clarificación 430-R1. 74
5.5.2. Detención de segunda línea de clarificación 430-R2. 74
5.5.3. Detención de tercera línea de clarificación 430-R3. 75
5.6. Procedimiento de emergencia. 75
5.6.1. Caída de bomba 430P01/P02/. 75
5.6.2. Caída de Bomba 430P1/P3/P5. 75
5.7. Resolución de problemas operacionales. 76

CONCLUSIONES 77

BIBLIOGRAFIA 79

Anexo 1 80

Pág.

Anexo 2 81

Anexo 3 88

Anexo 4 93

Anexo 5 99

Anexo 6 100

Anexo 7 101

Anexo 8 102

Anexo 9 105

Anexo 10 106

Anexo 11 109

INDICE DE TABLAS

Pág.

TABLA N° 2.1 Tiempo de sedimentación de algunas partículas. 25

TABLA N° 2.2 Propiedades de los coagulantes comunes. 33

TABLA N° 2.3 Electrolitos presentes en el agua. 35

TABLA N° 3.4 Aspectos susceptibles de causar impactos y mitigaciones. 46

TABLA N° 4.5 Iteraciones respecto a la velocidad para línea de recirculación. 51

TABLA N° 4.6 Iteraciones respecto a la velocidad para línea de dosificación. 53

TABLA N° 4.7 Iteraciones respecto al caudal. 58

TABLA N° 4.8 Condiciones de operación del agitador. 61

TABLA N° 4.9 Costos del proyecto**.** 63

TABLA N° 5.10 Condiciones normales de operación del 430 R1. 72

TABLA N° 5.11 Condiciones normales de operación del 430 R2/R3. 73

INDICE DE FIGURAS

Pág.

FIGURA N° 1.1.- Diagrama de flujo planta cloro-soda, preparación y purificación de la salmuera 10

FIGURA N° 1.2.- Diagrama de flujo planta cloro-soda, producción de cloro-soda. 13

FIGURA N° 1.3.- Diagrama de flujo planta cloro-soda, circuito de cloro gaseoso. 15

FIGURA N° 1.4.- Diagrama de flujo planta cloro-soda, síntesis de ácido clorhídrico. 19

FIGURA N° 1.5.- Diagrama de flujo planta cloruro de calcio, producción de cloruro de calcio. 20

FIGURA N° 1.6.- Diagrama de flujo planta cloruro férrico. 23

FIGURA N° 2.7.- a) Coagulación. b) Floculación 27

FIGURA N° 2.8.- Gráfico de la relación del coagulante v/s el pH. 33

FIGURA N° 4.9.- Esquema del proyecto a realizar. 48

RESUMEN

El presente trabajo de título, tiene como objetivo desarrollar el proyecto de un sistema de distribución de cal para la planta de tratamiento de aguas en la empresa química OxyChile.

El desarrollo de este proyecto comienza con una descripción de la empresa y su proceso productivo, posteriormente se realiza una descripción del proceso de tratamiento de aguas, donde se describe todo el proceso al cual debe ser sometida el agua industrial para cumplir con los requerimientos de desmineralización.

A continuación se analiza la incidencia de la seguridad, calidad y medio ambiente, y los beneficios que estas otorgan al ser consideradas.

Luego se realiza el planteamiento del problema, alternativas propuestas, determinación del sistema, cálculos de los diferentes equipos que se utilizarán en el proyecto y además el costo de éste.

Para concluir el proyecto, se redactaron los procedimientos de operación, entre los que se incluyen: descripción de equipos, puesta en servicio, detención, procedimientos de emergencia y resolución de problemas operacionales.

SUMARY

The present work of title, must as objective to develop of a lime distribution system for treatment water plant in OxyChile Company.

The Development of this project splits with a description company and its productive process, subsequently is made a description of the water treatment process, where is described all process to which should be submitted the industrial to comply with the request of desmineralization.

Next on analyzes the incidence of the safety, environmental and quality, and the benefits that these give them.

Soon it is made the exposition of the problem, propose alternatives, determination of the system, election and calculation of the different equipment that will be used in project and in addition the cost to this one.

In order to conclude the project, the procedures of operation were written, between they are included: equipment description, starting up, detention, emergency procedures and resolution of operational problems.

GLOSARIO.

1. **Agua de retrolavado:** Agua de limpieza.
2. **Anión:** Es el ión que se encuentra cargado negativamente, también se dice del ión que emigra hacia el ánodo.
3. **Anolito:** Electrolito anódico.
4. **Proceso tipo Batch:** Se refiere a aquel proceso que no es contínuo.
5. **Caliza:** Roca sedimentaria compuesta por carbonato de calcio ($CaCO_3$).
6. **Catión**: Es el ión que se encuentra cargado positivamente; también se dice del ión que emigra hacia el cátodo.
7. **Catolito:** Electrolito catódico.
8. **Coloide:** Partículas sólidas que no sedimentan, y cuyo tamaño está comprendido entre 1 y 1000 milimicrones aproximadamente.
9. **Coloides hidrofílicos:** Coloides afines en el agua.
10. **Coloides hidrofóbicos:** Coloides adversos en el agua.
11. **Corpúsculos:** Aglomeraciones de coloides.
12. **Desgase de cloro:** Eliminación de los gases presentes en el cloro.
13. **Estanque pulmón:** Estanque encargado de absorber las diferencias de volumen.
14. **Flasheo:** División repentina de líquido y vapor por descompresión.
15. **Flóculos:** Aglomeraciones de mayor tamaño.
16. **Make up:** Reposición de agua purificada.
17. **mm.c.a.:** Milímetros columna de agua.
18. **Polielectrolitos:** Grandes moléculas orgánicas solubles en agua, formados por bloques denominados monómeros, repetidos en una cadena larga.
19. **Potencial zeta:** Es una medida de la fuerza coloidal expresada en milivolts.
20. **p.p.b.:** Partículas por billón.
21. **p.p.m.:** Partículas por millón.

22. **Propiedades higroscópicas:** Propiedades de los cuerpos para absorber agua.
23. **Reacción exotérmica:** Reacción que libera calor.
24. **Salmuera clarificada:** Es una salmuera diluida, a la cual se le adiciona sal para reingresar al proceso como salmuera concentrada.
25. **Salmuera ultra pura:** Salmuera apta para entrar al proceso de electrólisis.
26. **Sniff:** Corriente de gases no condensable.
27. **Solución ferrosa sobrenadante:** Hace referencia a la solución que ferrosa que esta sobre la capa superficial.
28. **Trazas:** Impurezas del orden de p.p.b.
29. **Venteo:** Evacuación de gases a la atmósfera.

INTRODUCCION

Una de las consecuencias de la Globalización de los mercados, es la exigencia de los clientes, quienes más conocedores y más complejos, ahora saben elegir con decisión. Es por esto que es necesario asumir el compromiso de elaborar eficientemente productos de calidad, satisfaciendo los requerimientos y expectativas de sus clientes.

Hoy en día, es de vital importancia para las organizaciones, aplicar el mejoramiento continuo, para así obtener ventajas competitivas, que permitan captar clientes y mantener su reconocimiento como proveedor preferido a largo plazo y no circunstancial.

Este proyecto parte motivado por la necesidad de optimizar un proceso que no condice con una planta de tan altos niveles de calidad.

Es por esto que surge la necesidad de realizar un proyecto de un sistema de distribución de cal para la planta de tratamiento de aguas, para mejorar las condiciones de trabajo, evitar la contaminación ambiental y optimizar el proceso; identificando los volúmenes de lechada de cal a transportar, analizando la disponibilidad de espacio dentro de la planta para situar el sistema, seleccionando equipos y accesorios y calculando los costos del proyecto.

CAPITULO 1

PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA

1.1.- Reseña Histórica de la Empresa.

Occidental Chemical Chile Limitada es una empresa que se constituye en el año 1978 mediante la adquisición de una parte de los activos de lo que fuera la empresa estatal *Petroquímica Chilena S.A.* por parte de *Diamond Shamrock Chile.* Posteriormente, en el año 1986 fue vendida a Oxy-Chem. y pasa a formar parte del grupo de productos básicos de Oxy.

Occidental Chemical Chile Limitada, OxyChile es una empresa subsidiaria de Occidental Chemical Corporation, productor y vendedor líder mundial de cloro, soda cáustica y derivados, con sede en Dallas, Texas, Estados Unidos de Norteamérica.

OxyChile opera su planta de cloro soda en el sector industrial de Talcahuano, en la cual laboran más de 110 trabajadores, en las áreas de Gerencia de planta, Producción, Mantenimiento, Abastecimiento, Técnicas, y Relaciones Industriales, teniendo sus oficinas generales de gerencia, finanzas y ventas en Santiago, donde trabajan 15 personas. A esta última se le proporcionan los productos según especificaciones de calidad establecidas por las unidades operativas de OxyChile.

Oxychem ha recibido varios galardones gubernamentales (tanto en Estados Unidos y otros países) y de la industria, por su éxito contínuo en la ejecución de programas de medio ambiente, salud y seguridad.

La empresa es ganadora del "OXY STAR", máximo galardón que la casa central estadounidense entrega a sus instalaciones operativas por sus resultados en seguridad, higiene y salud. Esta empresa cuenta con experiencias en el resguardo medioambiental, haciendo participar activamente

a la comunidad, clientes y trabajadores. Además la Corporación ha realizado grandes inversiones en el cambio del proceso productivo de la planta, incorporando tecnología de punta y aumentando su capacidad de producción.

1.2.- Descripción General del Proceso Industrial.

Occidental Chemical Chile Limitada, para abastecer la demanda nacional de empresas manufactureras, produce: cloro, hipoclorito de sodio, soda cáustica, ácido muriático, cloruro de calcio, cloruro férrico e hidrógeno.

En el predio de propiedad de la empresa, se ubican las instalaciones de la planta cloro soda y planta cloruro férrico, de cuyos procesos productivos se obtienen los productos antes señalados.

A continuación se presenta la descripción para ambos procesos productivos.

1.2.1.- Descripción del Proceso de la Planta de Cloro Soda.

La planta de cloro soda produce cloro, hipoclorito de sodio, soda cáustica, ácido clorhídrico y cloruro de calcio empleando como materias primas, sal y energía eléctrica principalmente.

La planta de cloro soda de Oxy Chile con sede en Talcahuano tiene una capacidad máxima de producción de 55.000 toneladas al año de cloro y 62.000 de soda cáustica.

La obtención de cloro y soda se realiza mediante electrólisis de una salmuera de cloruro de sodio, para lo cual se emplean celdas electrolíticas de membranas donde se realiza el intercambio iónico, que permite que se separen los componentes de la salmuera, en los productos deseados.

El proceso de producción de cloro y soda, se puede dividir en las siguientes etapas, preparación y purificación de salmuera, proceso de electrolización, purificación y almacenamiento de cloro, purificación y almacenamiento de soda, purificación y disposición de hidrógeno.

1.2.1.1.- Preparación y Purificación de Salmuera.

De acuerdo al diagrama de flujo adjunto, el proceso de preparación de la salmuera se inicia con la incorporación al disolvedor de sal (NaCl) y una mezcla de salmuera débil y agua purificada (make up). La solución de salmuera proviene mayoritariamente del proceso de electrólisis y la fracción menor corresponde a las aguas de retrolavado del filtro y las aguas recuperadas desde el fondo de las piscinas de coagulación. La salmuera débil tiene una concentración aproximada de 50 a 160 g/l. Se ajusta la cantidad de salmuera del estanque pulmón para obtener una solución de 300 g/l.

La salmuera débil se almacena en un estanque pulmón desde donde se dosifica al disolvedor según necesidad.

La solución recién preparada se deriva a las piscinas de coagulación, donde previamente antes del ingreso a éstas, se le agrega aditivos químicos para coagular y precipitar las impurezas. La secuencia se inicia con la adición del carbonato de sodio, luego se ajusta el pH con soda a un valor de 10,5, para finalmente incorporar un floculante orgánico. En las piscinas de sedimentación se deja un tiempo suficiente en reposo la solución, para lograr la separación del material recién coagulado.

Una vez que las impurezas sedimentan en el estanque, la salmuera clarificada pasa por un filtro primario para obtener una solución con una concentración de hidróxido de 120 mg/l. Los sólidos retenidos en el filtro, se

eliminan a través de las aguas de retro lavado, las que se unen a las aguas recuperadas en el estanque pulmón de salmuera débil.

De las piscinas de coagulación se recupera el material sedimentado, el que se destina a un sitio ubicado en el predio industrial para su disposición transitoria en planta, en contenedores cerrados. De acuerdo al procedimiento de manejo de residuos. Posteriormente los residuos se destinan para su disposición final a vertederos industriales autorizados.

Después de los filtros primarios, la salmuera se destina a un estanque de salmuera primaria, desde donde ingresa a los filtros secundarios, en los que se extraen las impurezas más finas.

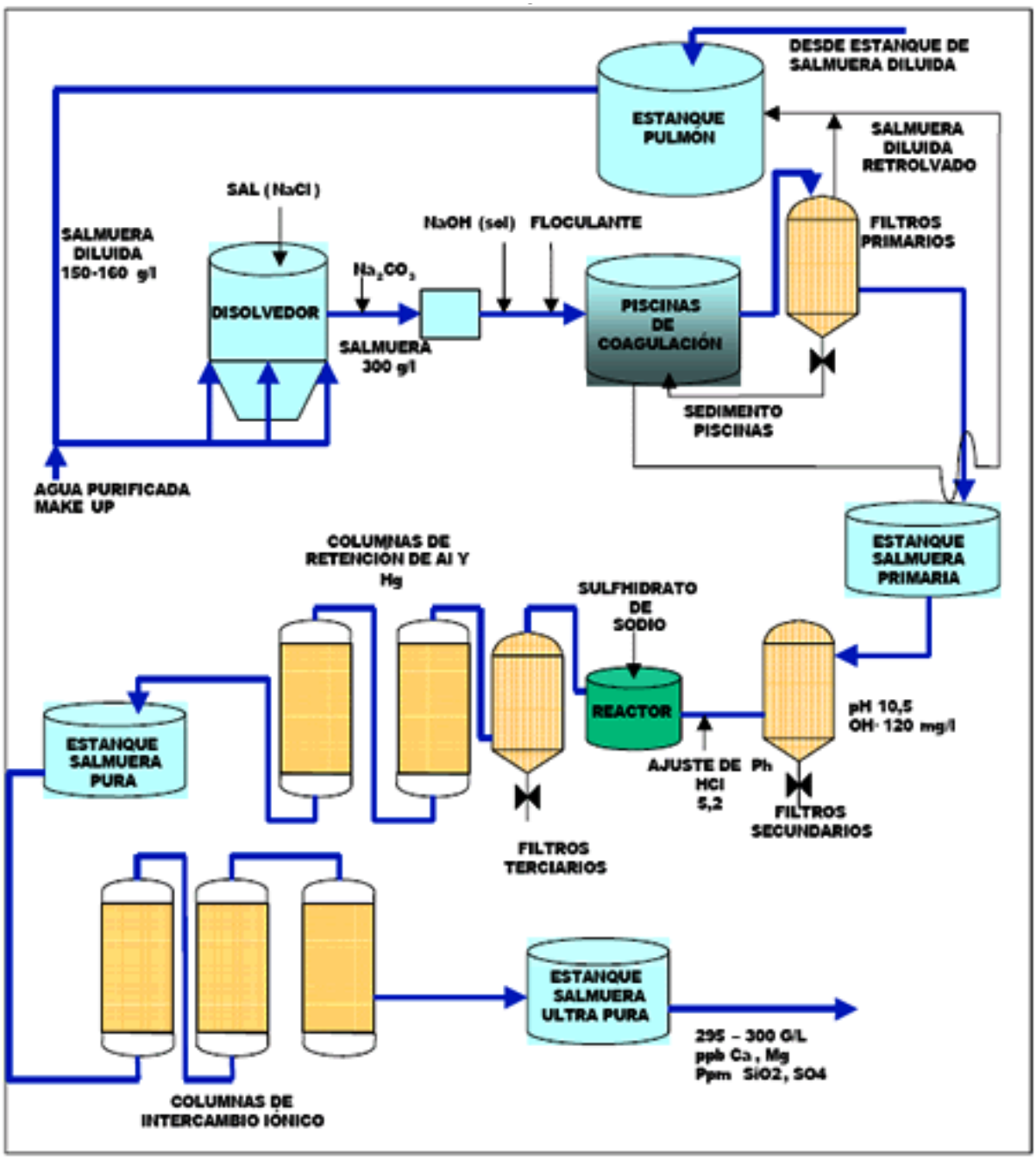


FIGURA Nº 1.1.- Diagrama de Flujo Planta Cloro-Soda, preparación y Purificación de la Salmuera.

Posteriormente, antes del ingreso a los filtros terciarios, la salmuera primaria pasa por un reactor, previo al ajuste del pH a un valor de 5,2 con ácido clorhídrico. En el reactor se agrega sulfhidrato de sodio, con el fin de reducir el mercurio (Hg) a la forma de sulfuro de mercurio, cuyas partículas sólidas quedan retenidas en los filtros terciarios. El filtro se lava una vez al mes y el

agua de lavado se deriva a un pozo, el que tiene sulfuro de mercurio disuelto en una concentración de 120 a 130 p.p.b.

El agua del pozo se junta antes de la planta de tratamiento con las aguas residuales procedentes de todos los procesos, con lo cual la concentración a la salida del efluente de la planta es menor a 0,11 p.p.b. de mercurio.

Después de los filtros terciarios, la salmuera pasa por las columnas de mercurio, cuya función es retener el mercurio, a nivel de trazas, que no fue posible atrapar en ellos.

Dado el tiempo que lleva operando éste sistema y por las muestras de mercurio analizadas en el sedimento que se extrae de las columnas, las que arrojan un resultado menor a 1 p.p.b. (partes por billón) de Hg., lo que permite asegurar que el proceso de limpieza del circuito ha sido efectivo y que podría en el mediano plazo eliminarse, puesto que no se justificaría mantener su operación.

De las columnas de retención de mercurio la salmuera sale con menos 1 p.p.b. de Hg. y pasa a las columnas de retención de aluminio, luego se acumula en un estanque pulmón. Del estanque pasa por las columnas de intercambio iónico, completando su proceso de purificación y obteniéndose una salmuera ultra pura, acondicionada para ingresar a la etapa de electrólisis.

La salmuera ultra pura, que se almacena en estanque, tiene una composición de 295-300 g/l y contiene trazas, es decir partes por billón de calcio y magnesio, además de algunas partes por millón de sílice y sulfatos.

1.2.1.2.- Proceso de Electrólisis Celdas de membranas de Intercambio iónico.

En el proceso de electrólisis se produce la separación de la salmuera y se produce cloro gaseoso, hidrógeno y soda cáustica. Esto es realizado por las 32 celdas de membranas con las que cuenta la planta.

La reacción que se produce al interior de las celdas es la siguiente:

$$2\ H_2O + 2\ NaCl \longrightarrow 2\ NaOH + Cl_2\ (g) + H_2\ (g)$$

De acuerdo al diagrama de flujo adjunto, la salmuera ultra pura ingresa por la zona del anolito, a su vez la soda que retorna al proceso se ajusta a una concentración desde un 32,2% a un 31,6%. Para ello se le incorpora agua antes de su ingreso a la zona del catolito. La reacción química se produce con la incorporación de energía eléctrica al electrolizador.

El cloro gas abandona la celda por la sección del anolito. Dicha corriente viene sobre saturada en agua, por tanto a la salida de la cañería se produce un flasheo de la corriente separándose en dos, una corriente gaseosa de cloro gas saturada en agua y una corriente líquida saturada en cloro, que se almacena en el estanque de anolito. El estanque de anolito tiene un venteo conectado al sistema de recolección de cloro. Este sistema totalmente hermético previene que vapores con cloro puedan diseminarse por el área de proceso.

Del estanque de anolito, previo ajuste de pH con soda, las aguas cloradas se recuperan en el estanque de salmuera débil para reproceso.

Desde la zona del anolito, el agua junto con los iones de sodio traspasan la membrana de la celda a la zona del catolito, donde se produce la generación de hidrógeno y de soda.

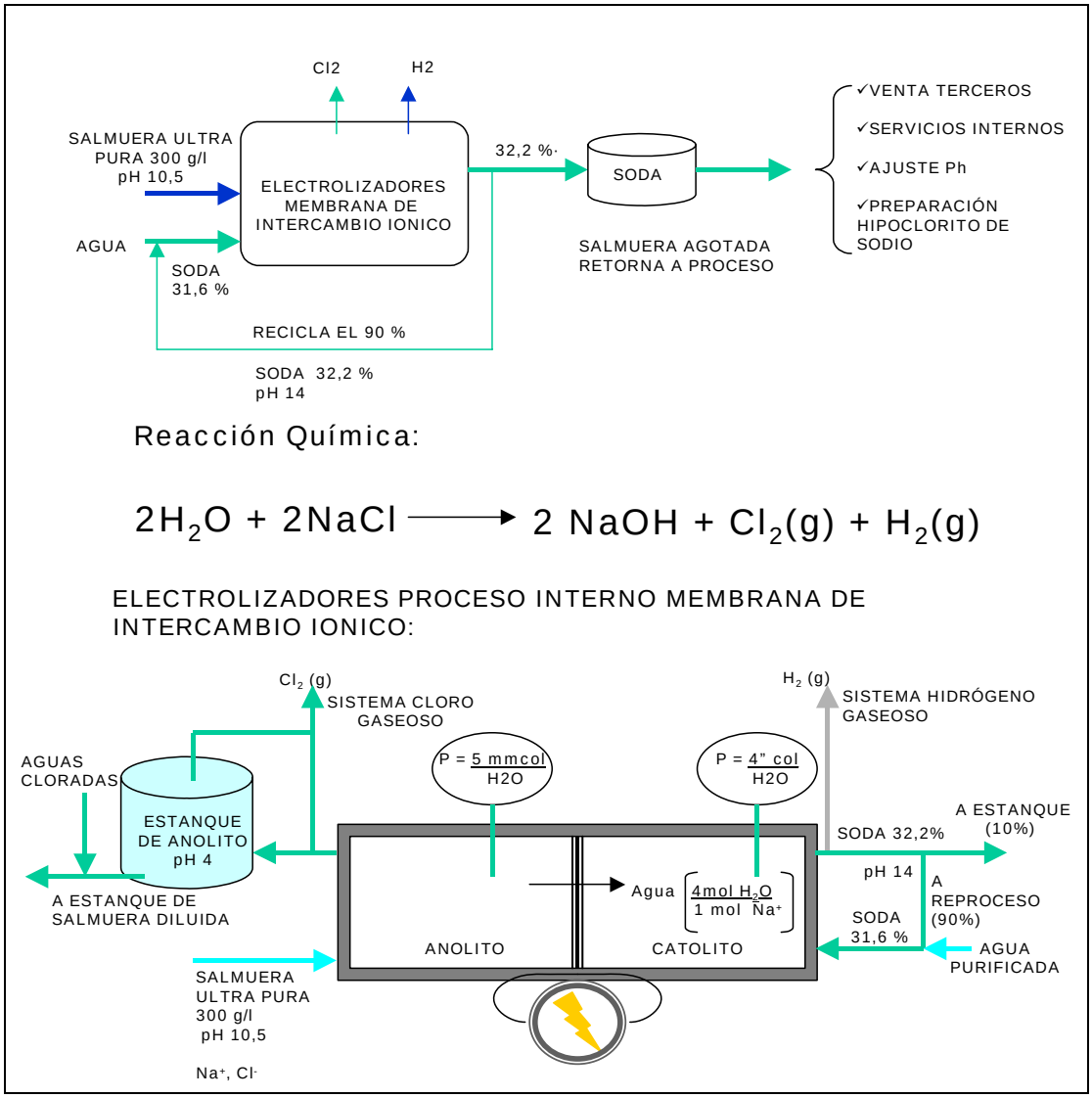


FIGURA N° 1.2.- Diagrama de Flujo Planta Cloro-Soda, Producción de Cloro-Soda.

En el catolito, la soda que ingresa se concentra a un 32,2% y abandona la sección junto con el hidrógeno formado, la corriente se flashea separándose en dos, una corriente gaseosa de hidrógeno saturado en agua y una corriente de soda líquida. La corriente de soda sólo un 10% se destina a estanque para su posterior venta a terceros y el 90% restante retorna a proceso.

La sección del catolito se mantiene a una presión de 4” de columna de agua, superior a la atmosférica para evitar el ingreso de aire y formar mezclas explosivas.

La sección del anolito se mantiene a una presión manométrica nula, para evitar que existan filtraciones de cloro al ambiente.

1.2.1.3.- Circuito de Cloro Gaseoso.

De los electrolizadores de membrana, el cloro gaseoso sobresaturado en agua sale por la sección del anolito, a un presión absoluta de 1 atm y a 85 ºC de temperatura, cuando abandona la celda se produce un flasheo donde se separa el agua saturada en cloro de la corriente de cloro gaseoso saturado en agua, la cual se conduce por la red recolectora de cloro.

La red recolectora de cloro, conduce el cloro saturado en agua generado hasta un intercambiador de tubos que tiene la función de enfriar la corriente gaseosa.

El intercambiador usa como medio de enfriamiento agua a una temperatura de 15 ºC, el cloro gas pasa por los tubos y por la carcasa pasa el agua de enfriamiento.

El cloro gas a menor temperatura abandona el enfriador produciéndose por el efecto de disminución de temperatura, condensación de parte del agua contenida en la corriente gaseosa, la que es retenida en trampas de condensado dispuestas para este efecto. El agua de las trampas de condensado se conduce hasta el estanque de “Aguas Cloradas” para su reproceso.

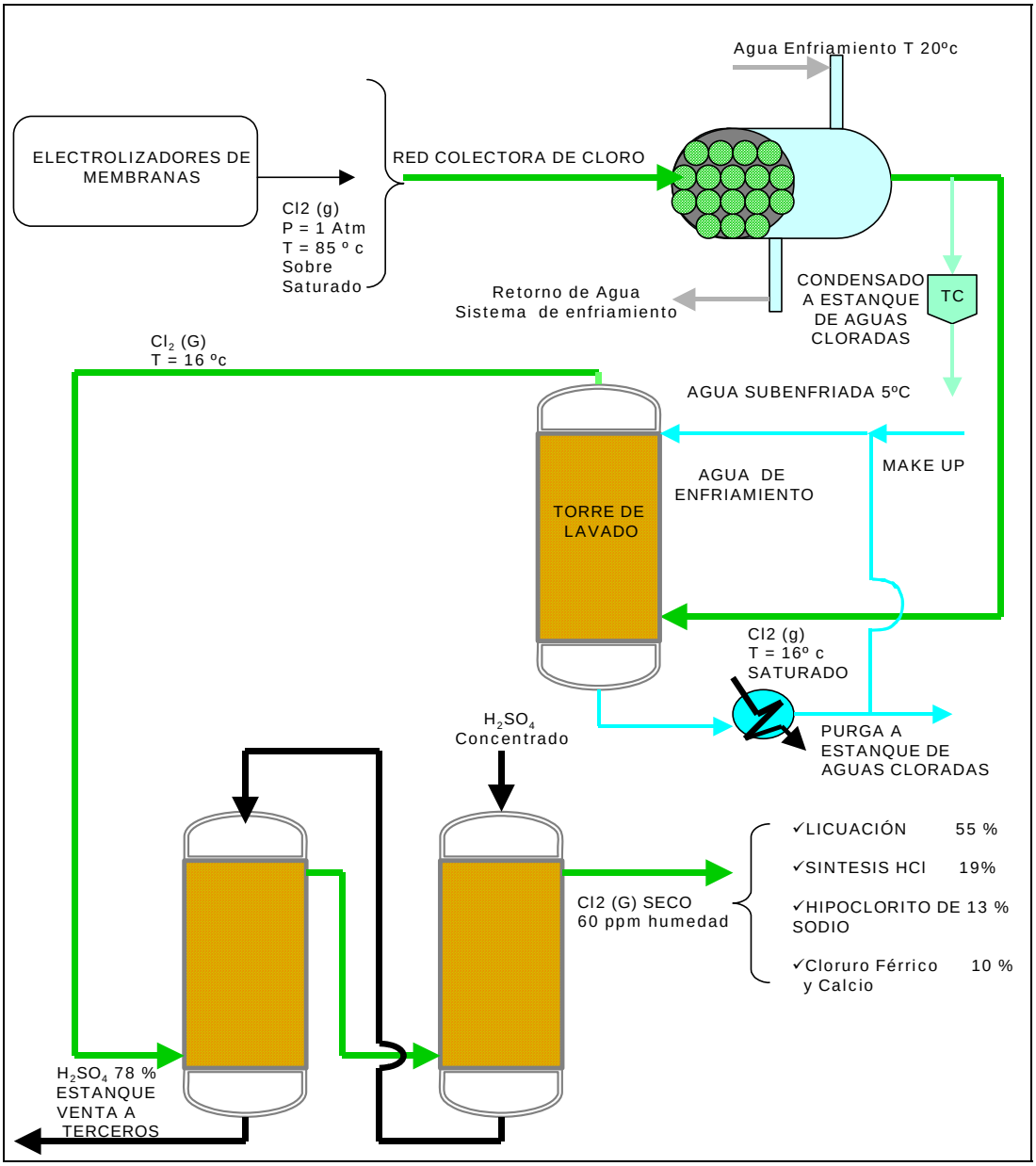


FIGURA N° 1.3.- Diagrama de Flujo Planta Cloro-Soda, Circuito de Cloro Gaseoso.

Después del enfriador la corriente de cloro gaseoso pasa a través de una torre de lavado, ingresando la corriente gaseosa por el fondo de la torre y por el tope agua enfriada a una temperatura de 5 ºC, mediante aspersores que controlan el tamaño de gota para maximizar la superficie de contacto.

El agua enfriada, se alimenta a la torre mediante un circuito cerrado, el que tiene incorporado un pequeño intercambiador de calor, que utiliza un refrigerante como medio térmico.

El circuito de agua enfriada se mantiene en condiciones de operación, dado que una parte se purga y se conduce al estanque “Aguas cloradas” para su reproceso, del mismo modo, para mantener el caudal requerido se ingresa agua fresca al circuito, mediante un make up.

De la torre de lavado, el cloro gas pasa a través de las torres de absorción de ácido sulfúrico, donde se utilizan las propiedades hidroscópicas del ácido para retener el agua contenida en la corriente gaseosa, dejando el cloro gas, seco con 60 p.p.m. de humedad. El ácido se diluye, por éste efecto a una concentración de un 78% y es vendido a terceros como tal.

De las torres de absorción, el cloro gas ingresa a un compresor, cuya presión de trabajo es de –700 mm.c.a. para vencer las pérdidas de carga del circuito desde las celdas electrolíticas. Del compresor el cloro sale a una presión de 2 Kg./cm^2 y a una temperatura de 25 ºC.

Del compresor, el cloro gas va a la etapa de licuación, donde una fracción de la corriente, aproximadamente un 55%, se licúa y va a almacenamiento para venta a terceros, una ínfima fracción de gases incondensables, conocida como sniff gas se retorna a proceso para la producción hipoclorito de sodio.

La otra fracción, aproximadamente del 64%, se destina a la producción de ácido clorhídrico e hipoclorito de sodio.

1.2.1.4.- Circuito de Hidrógeno Gas.

De los electrolizadores de membrana, el hidrógeno junto con la soda, sale por la sección del catolito, a una presión manométrica de 4” de columna de agua y a 85 ºC de temperatura, cuando abandona la celda se produce un flasheo donde se separa la soda del hidrógeno. El hidrógeno antes de ingresar al compresor, es enfriado en una torre a una temperatura de 25 ºC. El agua de enfriamiento proviene del circuito de agua de refrigeración.

El hidrógeno gas se mantiene a una presión de 0.5 Kg./cm^2, mediante un compresor la mayor parte se destina a consumo como combustible de la caldera, una fracción se vende a CSH y una parte del remanente se destina a la producción de ácido clorhídrico.

Por motivos de seguridad, el compresor tiene un reciclo el que regula el caudal de entrada al equipo.

En caso que la producción de hidrógeno, sea mayor a los requerimientos internos y de CSH, se deriva el excedente de producción a la atmósfera.

En la succión del compresor por seguridad tiene habilitada una descarga de emergencia en caso de falla del compresor. La línea de emergencia pasa por un sello de agua que se mantiene a 120 mm.c.a, para evitar el ingreso de aire al circuito, desde donde se libera el hidrógeno a la atmósfera.

1.2.1.5.- Síntesis de Acido Clorhídrico.

La síntesis del ácido clorhídrico se produce por la reacción del cloro gas y el hidrógeno gas en un reactor.

La reacción que se produce al interior del reactor es la siguiente:

$$Cl_{2\,(g)} + H_2\,(g) \longrightarrow 2\,HCl_{\,(g)}$$

La reacción es exotérmica, por lo que la temperatura se eleva sobre 1000 ºC en el interior del reactor, para el control de la temperatura el equipo está revestido con una camisa de grafito, por la cual se incorpora agua de refrigeración.

El agua de refrigeración de la planta está en circuito cerrado, utilizando torres de enfriamiento de convección forzada, el que tiene un make up para reponer las pérdidas por evaporación del sistema.

Siguiendo el diagrama de flujo adjunto, una vez producida la reacción de síntesis, el ácido clorhídrico en estado gas abandona el reactor e ingresa a la torre de absorción, donde por el tope se alimenta agua desmineralizada, mediante un sistema de aspersión para controlar el tamaño de gota y proveer una mayor superficie de contacto con la corriente gaseosa.

La absorción del ácido en estado gaseoso en el agua desmineralizada permite obtener una solución de ácido clorhídrico al 32%, que se deriva a los estanques de almacenamiento, desde donde se destina a los siguientes usos internos, ajuste de pH, como materia prima en el proceso de producción de cloruro de calcio, para neutralización de efluentes y para venta a terceros.

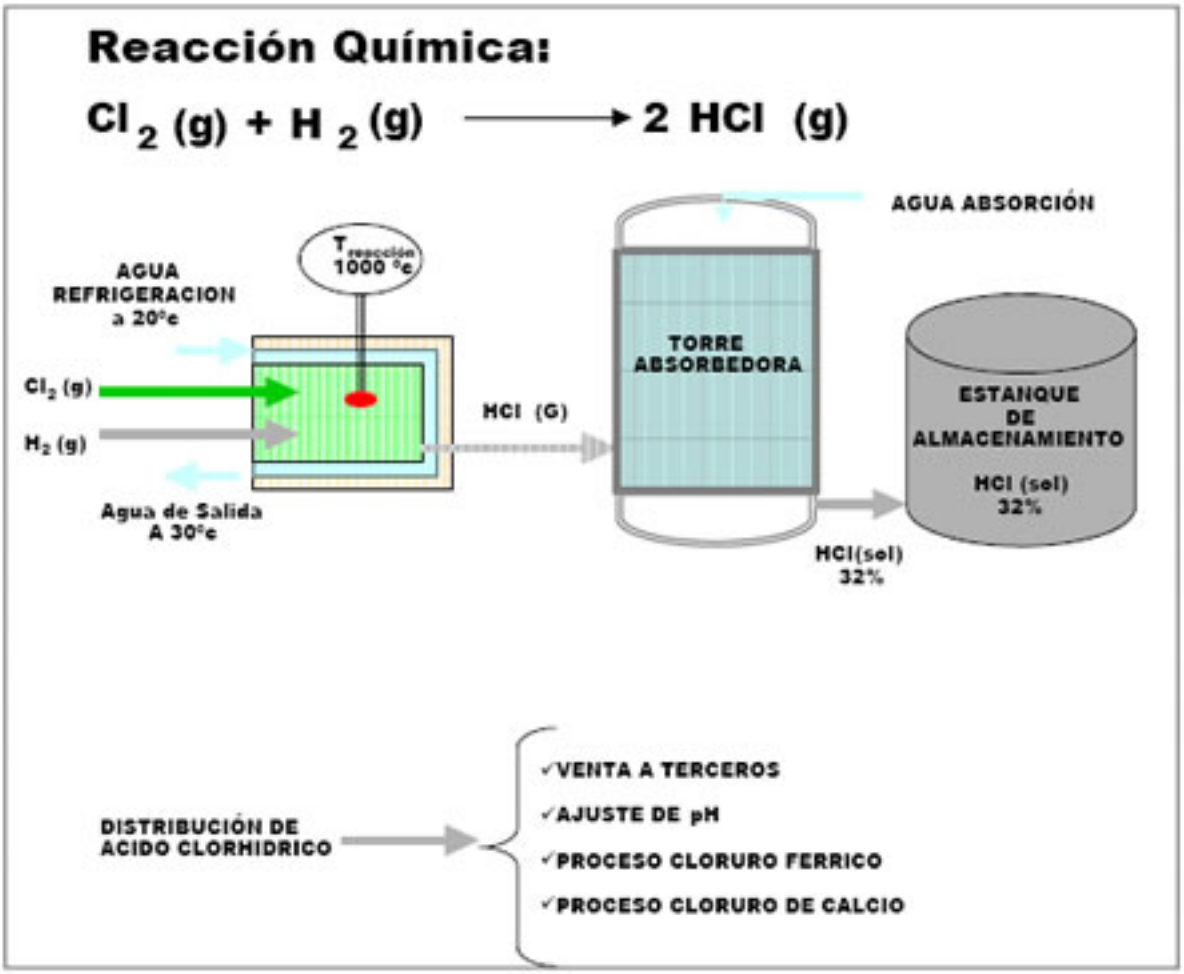


FIGURA N° 1.4.- Diagrama de Flujo Planta Cloro-Soda, Síntesis de ácido Clorhídrico.

1.2.2.- Producción de Cloruro de Calcio.

El cloruro de calcio se produce por la reacción del carbonato de calcio ($CaCO_3$) y el ácido clorhídrico en solución al 32%.

La reacción que se produce al interior de la torre es la siguiente:

$$CaCO_{3\,(s)} + 2HCl_{\,(32\%)} \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_{2(g)}$$

De acuerdo a la figura adjunta, la caliza se alimenta por el tope de la torre junto con el ácido clorhídrico, la reacción se produce a medida que avanza la solución por la torre, cayendo el producto de la reacción junto con una fracción de la caliza que no ha reaccionado a una piscina, que está justo bajo la torre.

La reacción como producto secundario libera agua y dióxido de carbono que se elimina directamente a la atmósfera.

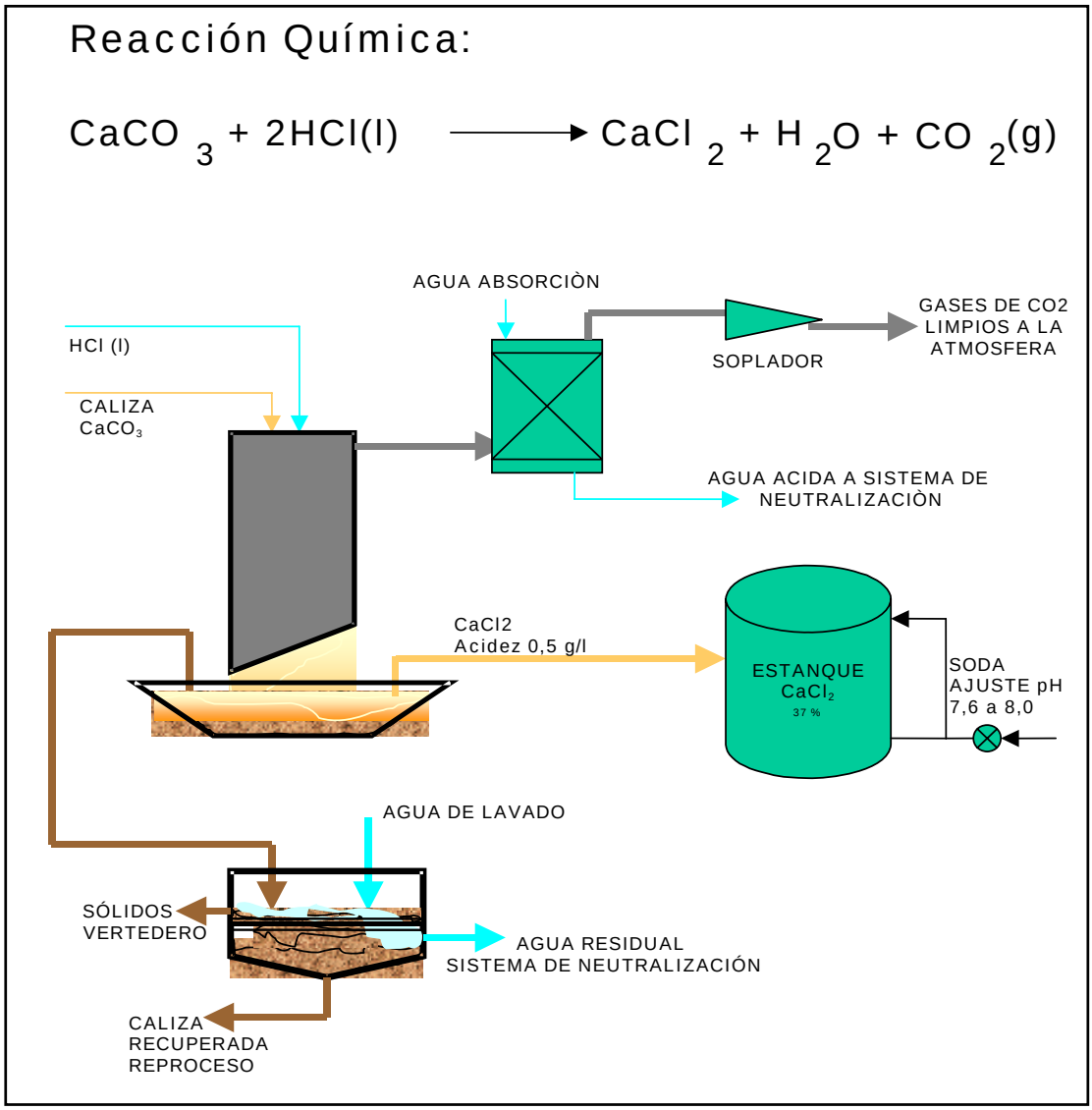


FIGURA N° 1.5.- Diagrama de Flujo Planta Cloruro de Calcio, Producción de Cloruro de Calcio.

1.2.3.- Descripción del Proceso de planta de Cloruro Férrico.

La capacidad de producción actual es de 11.000 ton/año y se lleva a cabo en un proceso semi-continuo que dispone de al menos dos alternativas para obtener la solución ferrosa de la cual es posible producirlo.

La generación de la solución ferrosa se realiza en forma batch y la etapa de cloración es continua.

Para generar 11.000 ton /año de cloruro férrico, base seca, se requieren emplear 9480 ton/año de cloruro ferroso, que se obtienen en parte de unas 4.884 ton/año por reconcentración del licor de decapado y el resto por disolución directa de fierro.

- **Reconcentración del Licor de Decapado:**

El licor de decapado, proveniente de los procesos de tratamiento del acero, es almacenado temporalmente en un estanque, desde donde la solución ferrosa diluida se lleva al reactor de cloración primaria.

En el clorador, mediante una lanza se inyecta cloro para obtener una solución de cloruro férrico diluido, de acuerdo a la reacción siguiente:

$$FeCl_2 + Cl_{2\,(g)} \longrightarrow 2FeCl_{3\,(d)}$$

El cloruro ferrico diluido pasa al reactor de disolución de fierro.

- **Disolución de Fierro Metálico (Fe^o):**

En el reactor de disolución de fierro, las virutas de fierro provenientes del proceso de trefilación se cargan al reactor y reaccionan con la solución de

cloruro férrico proveniente del reactor de cloración primaria, reduciéndose el cloruro férrico a cloruro ferroso. Además, el ácido clorhídrico reacciona con fierro metálico, formando cloruro ferroso e hidrógeno, de acuerdo a las siguientes reacciones:

$$2FeCl_{3\,(c)} + Fe^{o} \longrightarrow 3FeCl_2$$

$$2HCl + Fe^{o} \longrightarrow Fe\,Cl_2 + H_{2\,(g)}$$

De esta forma se concentra la solución de cloruro ferroso, y se repite tanta veces como sea necesario esta etapa de reconcentración, hasta alcanzar la concentración requerida.

El hidrógeno se extrae mediante un soplador, recuperándose a través de la red colectora, para los usos definidos anteriormente.

- **Cloración Final:**

El clorador secundario, tiene por objeto oxidar la solución proveniente de la etapa de filtración, hasta alcanzar una cloración de más del 99%, que corresponde ha obtener un producto de 42% en concentración de cloruro ferrico.

En este reactor, una gran parte de la corriente se recicla para favorecer la agitación y simular un reactor perfectamente agitado. La fracción que se purga, se almacena en los estanques de cloruro férrico concentrado, para su venta a terceros.

De esta manera, controlando el reciclo, se puede operar en forma continua el reactor y por tanto, pasar de una operación batch a continua, se obtienen las siguientes ventajas:

- Se obtiene una mayor facilidad de manejo evitando una excesiva manipulación del producto.
- Contribuye a mantener la especificación del producto en forma más estable.

Los estanques de almacenamiento cuentan con un venteo conectado a la red de absorción de cloro, como medida de seguridad para evitar, en caso que haya cloro gaseoso excedente en la corriente, que éste sea liberado al ambiente.

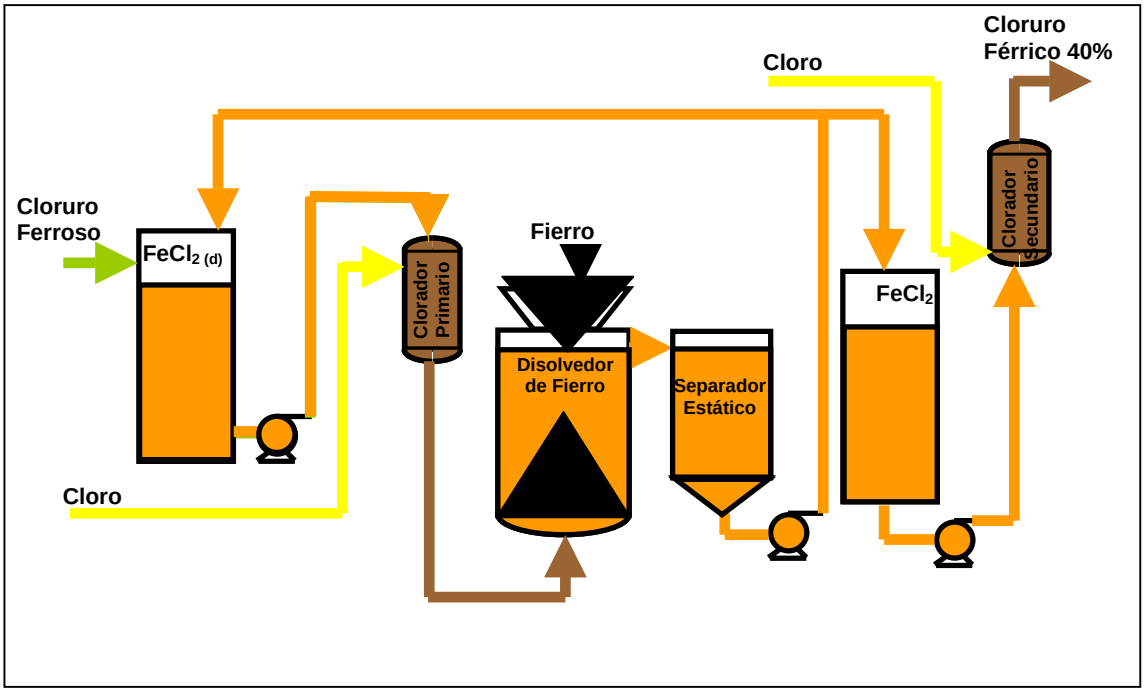


FIGURA N° 1.6.- Diagrama de Flujo Planta Cloruro Férrico.

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS

2.1.- Operaciones unitarias en el tratamiento de aguas.

El agua desmineralizada requerida por el proceso electrolítico proviene del río Bio-Bio, la cual debe ser sometida a varios procesos antes de alcanzar la etapa de desmineralización.

El agua tal como se presenta en la naturaleza, posee características que por razones económicas, operacionales, técnicas o psicológicas no puede ser empleada directamente. Dada la existencia de turbiedad, olores, sales, gases en solución, sólidos disueltos o dispersos, materia orgánica, etc.

Para depurar el agua, generalmente es preciso combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas y cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar las materias en suspensión, a continuación las sustancias coloidales y después las sustancias disueltas. Por último deben corregirse ciertas características.

En cada etapa y dependiendo de los objetivos que se pretenden alcanzar, pueden aplicarse diversos principios

Para la depuración del agua, como se mencionó anteriormente, se sigue la siguiente secuencia: eliminación de materias en suspensión, a continuación las sustancias coloidales y posteriormente las sustancias disueltas [3].

2.1.1.- Clarificación del Agua.

Se puede decir que la parte fundamental del proceso de acondicionamiento del agua, es la remoción de materias en suspensión y sustancias coloidales.

La separación de las sustancias sólidas del agua, se realiza por medio de las operaciones de decantación y filtración. No obstante, la aplicación pura y simple de estos procesos, tropieza con dificultades debido a la gran variedad de tamaño de las partículas [3].

En el cuadro siguiente, se relacionan ciertos materiales y organismos con su tamaño medio y con el tiempo necesario para que estas partículas recorran verticalmente un metro en el agua, únicamente por influencia de su peso [3].

Material	Diámetro de partículas en mm.	Tiempo de sedimentación para 1 mt.
Grava	10	1 seg.
Arena	1	10 seg.
Arena Fina	0.1	2 min.
Arcilla	0.01	2 hrs.
Bacteria	0.001	8 días
Partícula Coloidal	0.0001	-

TABLA Nº 2.1 Tiempo de sedimentación de algunas partículas con respecto a su tamaño.

Un litro de agua de buena calidad puede contener varias decenas de millones de partículas del orden de un micrón y estas pesan en total menos 0.1 mg, lo que pone de manifiesto la escasa velocidad de decantación natural que tendrían dichas partículas finas llamadas coloides, que constituyen generalmente una parte importante de la turbiedad. Se llamará coloides a las partículas sólidas que no sedimentan en forma aislada y cuyo tamaño está comprendido entre 1 y 1000 milimicrones aproximadamente [3].

Todo tratamiento de las partículas coloidales impone un previo cambio de estado, que permite que éstas se aglomeren y formen corpúsculos de mayor tamaño, fáciles de eliminar. Esto se logra mediante las operaciones de coagulación y floculación, en las cuales se basa el buen desempeño de una planta de tratamiento de agua para remover tales impurezas.

De esta manera general, todas las partículas coloidales dispersas en agua, cuyo pH se encuentra entre 5 a 10, presentan cargas negativas, debido a la absorción selectiva de iones electronegativos, como difícilmente un agua ha de ser tratada fuera de ese rango de pH, los estudios de coagulación y floculación se desenvolverán en modelos de partículas coloidales negativas [3].

- **Coagulación y floculación.**

Los procesos de coagulación y de floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos, ya que estos no tienen la capacidad de sedimentar en forma natural, para proporcionar clarificación efectiva. La clarificación del agua, el ablandamiento con cal, el espesamiento de lodo y el desecamiento, dependen de una correcta aplicación de las teorías de la coagulación y la floculación para que puedan efectuarse con éxito [1].

Tomando como un ejemplo la clarificación del agua superficial, el agua cruda turbia contiene material suspendido, tanto sólidos que pueden asentarse como partículas lo bastante grandes que se asientan en reposo o sólidos dispersados que no se asentarán con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no se asientan pueden ser coloides. Cada partícula se encuentra estabilizada por cargas eléctricas negativas sobre su superficie, haciendo que repela sus partículas vecinas, como se repelen mutuamente dos polos magnéticos. Ya que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamados flóculos, las partículas no se asientan. La coagulación desestabiliza estos coloides al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados. Esto se logra, por lo general, añadiendo coagulantes químicos y aplicando energía de mezclado. Las sustancias químicas de uso común son las sales de aluminio, las sales de hierro y los polielectrólitos.

En la FIGURA Nº 2.7 se aprecia como éstas sustancias químicas cancelan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Estos flóculos,

inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores, que son capaces de asentarse. El proceso de desestabilización es la coagulación (neutralización de la carga); la etapa de formación de flóculos es la floculación [1].

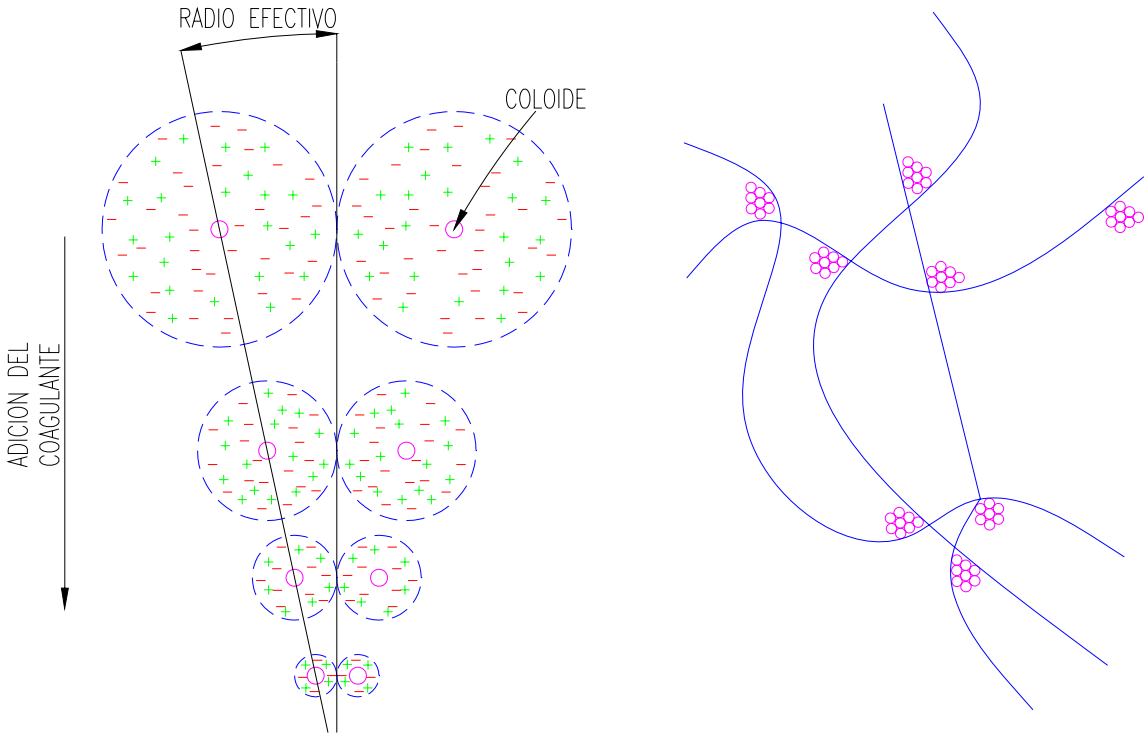


FIGURA N° 2.7.- a) Coagulación. b) Floculación

Los términos de la coagulación y floculación son con frecuencia intercambiados; sin embargo, cuando se les considera como dos mecanismos distintos pueden conducir a un mejor entendimiento de la clarificación y la desecación.

2.1.1.1.- Coagulación.

Ésta puede ser definida entonces, como el proceso de desestabilización electrolítica de las impurezas, proporcionando condiciones para que éstas sean agrupadas en paquetes de materias denominadas ***flóculos*** [3].

Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un tamaño efectivo y una rapidez de asentamiento; pero aún partículas mayores, que no son realmente partículas coloidales y que se asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requieren de la coagulación para formar flóculo mayor que se asiente con más rapidez [1].

Cuando en una planta no se dispone del tiempo suficiente para extraer los sólidos suspendidos, la coagulación y la floculación pueden crear un crecimiento y asentarse con la suficiente rapidez para superar las limitaciones del diseño de la planta.

Los coloides se clasifican en hidrofóbicos (adversos en el agua) e hidrofílicos (afines en el agua). Los coloides hidrofóbicos no reaccionan con el agua, la mayor parte de las cerámicas naturales son hidrofóbicas. Los coloides hidrofílicos reaccionan con el agua; las sustancias que producen el color son hidrofílicas. Es de importancia en el tratamiento del agua que los coloides hidrofílicos puedan reaccionar químicamente con el coagulante usado en el proceso de tratamiento. Así los coloides hidrofílicos requieren mayor cantidad de coagulante que los hidrofóbicos, que no reaccionan químicamente con el coagulante [1].

Tradicionalmente la coagulación y floculación de las partículas coloidales se llevan a cabo en unidades especialmente diseñadas para este efecto, las que se ubican antes de los sedimentadores y que en conjunto con estos logran abatir un alto contenido de turbiedad, dejando a los filtros la tarea de eliminar

bajas concentraciones de partículas, lo que permite finalmente, obtener agua de la calidad deseada para el consumo [3].

La teoría de coagulación indica que para que ésta ocurra, es necesario desestabilizar el coloide y entregarle la energía necesaria para que las partículas choquen y formen flóculos, que posteriormente sedimentarán o serán filtrados. Estos conceptos llevaron a realizar estudios para desarrollar un sistema que permitiera efectuar esta operación en forma sencilla y eficiente, llegando al diseño de un ***Floco-Decantador a presión.*** Este permite una coagulación más eficaz de los coloides, ya que requiere de un tiempo de residencia de aproximadamente cuarenta y cinco minutos, en comparación a los flocodecantadores tradicionales que requieren alrededor de dos horas [3].

En esta forma, utilizando polielectrolito catiónico como coagulante y una solución de sulfato de aluminio o un polielectrito aniónico (cloruro férrico) como floculante antes de la entrada al floco-decantador, es posible dejar el agua en condiciones óptimas para ser pulida por un filtro de profundidad instalado en serie con el anterior, el que entrega agua cristalina con una turbiedad muy baja.

Las especies coloidales halladas en agua cruda y en agua de desecho incluyen arcillas, silice, hierro y otros metales pesados, color y sólidos orgánicos, como los residuos de organismos muertos. Los coloides también pueden producirse en los procesos de precipitación, como el ablandamiento con cal. El aceite de agua de desecho es con frecuencia coloidal.

Entre la gran variedad de materiales coloidales en el agua, existe una distribución grande en el tamaño de las partículas (CUADRO Nº 2.1.)

Las partículas mayores de 100 micras pueden observarse a simple vista y son consideradas como sólidos asentables. En el intervalo de 10 a 100 micras se las considera turbidez. Por debajo de las 10 micras se las considera coloidales. Las partículas mayores de 0.1 micras son visibles con el microscopio

óptico; para menores de 0.1 micras se utiliza el microcopio electrónico para detectarlas [1].

- **Fuerzas Coloidales.**

Diversas teorías han sido formuladas para describir la partícula coloidal y las fuerzas que la rodean. Prácticamente todo lo que se necesita para definir al sistema coloidal es la determinación de la naturaleza y la magnitud de la carga de la partícula. La magnitud de la carga de la partícula, ilustrada por la capa en la FIGURA Nº 2.7, rodea al coloide, determina lo cerca que pueden aproximarse los coloides [1].

El potencial zeta es una medida de esta fuerza. Para coloides en fuentes de agua natural con un pH de 5 a 8, el potencial zeta se encuentra entre -14 y -30 milivolts; cuanto más negativo sea el número, tanto mayor será la carga de la partícula. A medida que disminuye el potencial zeta, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de la colisión. En un sistema convencional de clarificación con un pH de 6 a 8, los coagulantes proporcionan las cargas positivas para reducir la magnitud del potencial zeta. La coagulación se presenta de ordinario a un potencial zeta que es ligeramente negativo, de manera que por lo general no requiere que la carga sea neutralizada por completo. Si se añade demasiado coagulante, la superficie de la partícula se cargará positivamente (un potencial zeta positivo), y la partícula volverá a dispersarse.

Pueden necesitarse coagulantes en sistemas de tratamiento de aguas con pH alto, como es el caso del ablandamiento con cal. Las partículas de carbonato de calcio también portan una carga negativa y pueden ser útiles coagulantes catiónicos para reducir la dureza residual coloidal. El hidróxido de magnesio, por otro lado porta una carga positiva hasta que el pH es mayor que 11; así, en los procesos de ablandamiento con cal y cal-carbonato, en los que se precipitan tanto $CaCO_3$ como $Mg(OH)_2$, se coprecipitan las partículas de

carga opuesta. Esta coprecipitación produjo, en períodos geológicos pasados, el mineral dolomita, $CaCO_3 * MgCO_3$.

El potencial zeta se determina indirectamente de los datos obtenidos al observar en el microscopio los movimientos de las partículas. Las medidas del potencial zeta se han empleado con éxito para controlar las dosis de los coagulantes en las plantas. Sin embargo, las lecturas del potencial zeta por sí solas no son confiables para seleccionar al coagulante [1].

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. El movimiento browniano, el movimiento caótico comunicado por las partículas pequeñas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua, está siempre presente como una fuerza mezcladora natural. Sin embargo, casi siempre es necesaria energía adicional de mezclado. Un mezclado de gran intensidad, que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas, es de lo más efectivo. También son importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. En agua de baja turbidez, puede requerirse la adición de sólidos, como la arcilla, o el reciclado de sólidos previamente asentados, para aumentar el número de colisiones entre las partículas [1].

2.1.1.2.- Floculación.

Puede ser que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande para asentarse o desecarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. El alumbre, las sales de hierro y los polímeros de peso molecular alto son floculantes comunes. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no

sólo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también afecta su naturaleza física. Los lodos y las lechadas, cuando han sido floculados, se desecan con mayor rapidez sobre capas de arena y en el equipo mecánico de desecamiento, en virtud de la estructura menos gelatinosa del flóculo [1].

- **Productos Químicos Coagulantes y Floculantes.**

Históricamente, los coagulantes metálicos (el alumbre y las sales de hierro), han sido los más empleados en la clarificación del agua. Estos productos actúan como coagulantes y floculantes a la vez. Añadidos al agua forman especies cargadas positivamente en el intervalo de pH típico para la clarificación, esto es de 6 a 7. Esta reacción de hidrólisis produce aluminio gelatinoso insoluble o hidróxido férrico. Aún cuando inicialmente no haya sólidos suspendidos en el agua, los coagulantes metálicos forman flóculos que enredan a los coloides desestabilizados. Sin embargo, los lodos voluminosos producidos por la adición de coagulantes metálicos crean problemas de disposición, que solos difícilmente pueden desecarse. Esta es la razón de porque el alumbre y las sales de hierro no se usan frecuentemente para mejorar la eficiencia de las centrifugadoras, las prensas de filtrar y otros dispositivos desecadores [1].

Los coagulantes metálicos son muy sensibles al pH y a la alcalinidad. Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y pueden solubilizarse el hierro o el aluminio y generar problemas al usuario del agua. Cuanto menor sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del flóculo a cambios del pH (FIGURA. 2.8.) La tabla 2.2 lista algunas propiedades importantes de coagulantes usuales [1].

Nombre común	Fórmula	Peso equivalente	pH al 1%	Disponibilidad
Alumbre	$Al_2(SO_4)_3 * 14H_2O$	100	3.4	Terrón - 17% Al_2O_3 Líquido – 8.5% Al_2O_3
Cal	$Ca(OH)_2$	40	12	Terrón – como CaO Polvo – 93-95% Lodo – 15-20%
Cloruro Férrico	$FeCl_3 * 6H_2O$	91	3 - 4	Terrón – 20% Fe Líquido - 20% Fe
Sulfato Férrico	$Fe_2(SO_4)_3 * 3H_2O$	51.5	3 - 4	Granular – 18.5% Fe
Caparrosa verde	$FeSO_4 * 7H_2O$	139	3 – 4	Granular – 20% Fe
Aluminato de sodio	$Na_2Al_2O_4$	100	11-12	Escama – 46% Al_2O_3 Líquido – 2.6% Al_2O_3

TABLA N° 2.2 Propiedades de los coagulantes comunes [1].

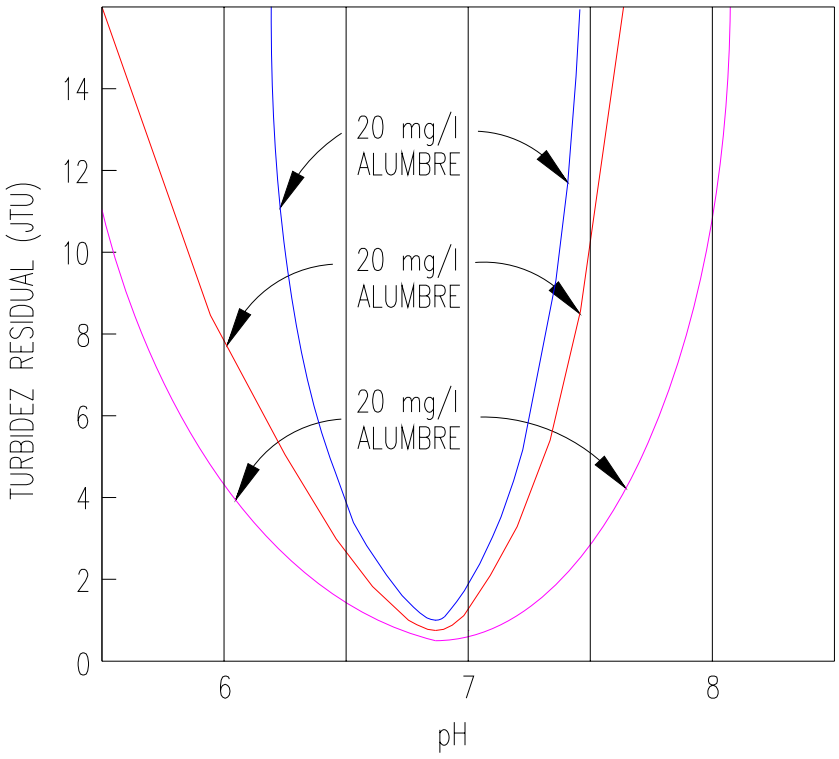


FIGURA N° 2.8.- Gráfico de la relación del coagulante v/s el pH.

La introducción de sílice activada en la época de 1940-1950 mejoró considerablemente el desempeño del alumbre y de las sales de hierro como coagulantes en la clarificación del agua. El desarrollo subsecuente de diversos polímeros orgánicos, denominados polielectrólitos, en la siguiente década contribuyeron más espectacularmente a la tecnología del tratamiento de aguas. Los polielectrólitos son grandes moléculas orgánicas solubles en agua, formados por bloques denominados monómeros, repetidos en una cadena larga. Estos incorporan en su estructura sitios para intercambio iónico que dan a la molécula una carga iónica. Aquellas que tienen una carga positiva son catiónicas y aquellas que tienen una carga negativa son aniónicas. Estas moléculas reaccionan con el material coloidal en el agua neutralizando la carga o enlazando partículas individuales para formar un precipitado visible e insoluble, esto es un flóculo [1].

2.1.2.- Desmineralización por Intercambio Iónico.

El intercambio iónico es un medio efectivo y versátil de acondicionamiento del agua de procesos desde el punto de vista de la eliminación de los sólidos disueltos contenidos en ella. El término “Intercambio Iónico”, describe el proceso. Conforme el agua fluye a través de un lecho del material de intercambio, se eliminan los iones indeseables y se reemplazan por otros deseados. Por ejemplo en los procesos de ablandamiento, los iones de calcio y magnesio (dureza) son intercambiados por iones de sodio. En la des-alcalinización los iones que contribuyen a la alcalinidad (carbonatos, bicarbonatos, etc.) son eliminados y reemplazados con iones cloruros. La desmineralización es el simple reemplazo de los cationes por iones hidrógenos (H^+) y de todos los aniones por hidróxidos (OH^-). Los materiales de intercambio iónico (resinas sintéticas) tienen una capacidad determinada para la desmineralización, una vez que esta capacidad se ha agotado, después de que se ha obtenido una cierta cantidad de agua, puede regenerarse, recuperando su capacidad nuevamente para desmineralizar [3].

2.1.2.1.- Generalidades sobre el Intercambio Iónico.

- **Sólidos Disueltos en Agua**

Las impurezas disueltas en agua se disocian, para formar partículas cargadas positiva y negativamente. Conocidas como iones. Estas impurezas o compuestos son llamados electrolitos. Los iones cargados positivamente migran al electrodo negativo (cátodo) en una celda electrolítica. Los iones cargados negativamente son atraídos al ánodo. Estos iones existen en toda la solución y actúan casi independientemente. Por ejemplo: el sulfato de magnesio se disocia en solución para formar iones magnesio positivos e iones sulfato negativos. Generalmente todas las aguas naturales contienen los siguientes electrolitos, en concentraciones variables [3].

ANIONES	**CATIONES**
Calcio (Ca^{++})	Bicarbonato (HCO_3^{-})
Magnesio (Mg^{++})	Carbonato ($CO_3^{=}$)
Sodio (Na^{++})	Sulfato ($SO_4^{=}$)
Potasio (K^{++})	Cloruros (Cl^{-})
Fierro (Fe^{++})	Nitratos (NO_3^{-})
Manganeso (Mn^{++})	Silicatos ($HsiO_3^{-}$)

TABLA N° 2.3 Electrolitos presentes en el Agua [3].

- **Características y estructura de intercambiadores de Iones.**

Los materiales de intercambio iónico, tienen la propiedad de cambiar un ión por otro, sosteniéndolo temporalmente en combinación química y entregándolo a una solución fuerte de regenerantes. Los actuales intercambiadores iónicos están constituidos por resinas sintéticas y son generalmente monofuncionales, poseen alta estabilidad química y son insolubles en ácidos, álcalis y otros disolventes [3].

Se distinguen dos grupos de intercambiadores de iones [3]:

a) Intercambiadores de Cationes.

Estos se dividen en fuertes y débilmente ácidos, conteniendo en sus estructuras orgánicas funciones ácidas HSO_3^- y $HCOO^-$ respectivamente.

Los intercambiadores fuertemente ácidos o sulfonados, son capaces de fijar todos los cationes como: magnesio, calcio, sodio, potasio, etc., correspondientes al equilibrio con bicarbonatos, sulfatos, nitratos y cloruros. A su vez los intercambiadores débilmente ácidos o carboxílicos, intercambian los iones calcio, magnesio, sodio y otros provenientes de los bicarbonatos, liberando ácido carbónico; pero no pueden intercambiar los cationes en equilibrio con aniones sulfatos, cloruros o nitratos.

b) Intercambiadores de Aniones.

Estos se dividen en: intercambiadores de iones débiles o medianamente básicos, los cuales no intercambian los aniones de los ácidos débiles de los silicatos, HCO_3^-, etc., e intercambiadores de aniones fuertemente básicos. Estas resinas fijan los aniones de los ácidos, tanto fuerte como débiles.

CAPITULO 3

CALIDAD, MEDIO AMBIENTE Y SEGURIDAD Y SU INCIDENCIA EN EL PROYECTO

3.1.- Normas ISO 14000.

Desarrolladas por el Comité Técnico ISO 207, la serie de Normas ISO 14000 direccionan las prácticas de los Sistemas de Manejo Ambiental de una manera global y genérica. Estas normas voluntarias no contienen registro de desarrollo, pero buscan armonizar principios ambientales valiosos y prácticas con la idea de ayudar a las organizaciones a determinar políticas ambientales asociadas con sus actividades y el posterior manejo de éstas más eficientemente.

La norma ISO 14001-2004 “Especificaciones de los Sistemas de Manejo Ambiental y Guía para su uso” contiene requisitos con los cuales una organización puede medir el desarrollo de su SMA. Esta norma naturalmente involucra requisitos en un esfuerzo para prevenir la polución y cumplir con los positivo en el ambiente y en el desarrollo de la compañía, que puede ser logrado a través de un “mejoramiento continuo”.

3.1.1.- La Organización Internacional de Normalización.

La norma ISO 14000-2004, no es una sola norma, sino que forma parte de una familia de normas que se refieren a la gestión ambiental aplicada a la empresa, cuyo objetivo consiste en la estandarización de formas de producir y prestar servicios que protejan al medio ambiente, aumentando la calidad del producto y como consecuencia la competitividad del mismo ante la demanda de productos cuyos componentes y procesos de elaboración sean realizados en un contexto donde se respete al ambiente.

Esta norma fue diseñada en un principio como un conjunto de estándares voluntarios, hoy en día su certificación es un requisito indispensable para la entrada a ciertos mercados, tanto nacionales como internacionales. Además, esta certificación proporciona credibilidad, incremento de productibilidad, mejoras de marketing, etc. Estos factores conllevan a una mejora en la imagen corporativa de la empresa.

3.1.2.- Razones de Aplicación.

Aún cuando esta norma Internacional ofrece un sistema para que las empresas se adhieran al mismo con carácter voluntario, no cabe la menor duda de que el sistema tendrá precisamente la fuerza vinculante de las actuaciones asumidas desde la reflexión y evaluando sus ventajas sin necesidad de la imposición a que tan acostumbrados vamos estando.

El aspecto medioambiental afecta a cada empresa independientemente de su tamaño y hoy es un hecho consagrado, que el medio ambiente es un requisito esencial para conseguir el éxito a largo plazo de las empresas. Otra cosa es que las circunstancias económicas presentes releguen a niveles menos prioritarios la gestión medioambiental en la empresa de modo general, pero tan pronto como la situación particular requiera cualquier tipo de movimiento y de decisión económica, entonces surge imperiosa la necesidad de considerar el comportamiento de la empresa en relación al medio ambiente.

3.1.2.1.- Razones Ambientales.

Aún cuando no suele ser motivador principal o inicial, es sin duda que el que será el auténtico motor del futuro cuando la formación y la sensibilización en estas materias hallan calado en los órganos directivos de máxima responsabilidad de las empresas y en toda su estructura.

Minimizar los impactos ambientales y reducir con ello la contaminación, puede constituir en sí mismo un fin que impulse la puesta en marcha de una serie de acciones que bien encajadas en un Plan de Gestión Medioambiental proporcionarán ventajas competitivas a la empresa, evitarán riesgos y daños y satisfacerán las conductas éticas establecidas por los responsables de las empresas cuando esos comportamientos tengan la valoración que merecen.

3.1.2.2.- Razones Legales.

Cumplir con la normativa existente no es tan fácil porque la legislación medioambiental se considera en estos momentos como *"confusa, profusa y difusa".* Naturalmente el no cumplirla conlleva la posibilidad de incurrir en graves riesgos para la empresa y posiciona a esta empresa en situación de indefensión ante cualquier acontecimiento que la involucre.

Se dice que si la administración actuase de verdad se verían muchos problemas en empresas y que no podrían sobrevivir a las cargas económicas derivadas de las exigencias establecidas en las leyes de cumplimiento obligado. Parece tremendo pensar que se sale adelante gracias a la falta de cumplimiento de la legislación establecida. Desde luego este planteamiento no es aceptable.

3.1.2.3.- Razones Sociales.

Para evitar denuncias cada día más frecuentes que proceden de grupos de presión, ciudadanos, etc. Estos elementos están logrando que muchas empresas actúen *"por la fuerza"* en corregir comportamientos considerados inadecuados para el medio ambiente.

En ocasiones el motivador de la actuación empresarial puede ser mejorar su imagen en el entorno, comunidad o sector industrial y se realiza con legítimas actuaciones de base y respaldo real, puede ser un buen factor diferenciador que proporcione algunas considerables ventajas competitivas.

3.1.2.4.- Razones Económicas.

En ocasiones el evitar o terminar con una repetición incesante de sanciones económicas por incumplimiento de la normativa medioambiental puede ser el factor decisivo para empezar a actuar y también lo puede ser la reducción de costes de producción que se producen por ahorro/sustitución de materia primas, ahorro energético, de agua, reducción de residuos y vertidos, reutilización, reciclado, etc.

Muchas empresas han encontrado significativas ventaja competitivas, cuando se han adaptado y podido demostrar su adecuado comportamiento medioambiental tanto para mantener como para ganar nuevos mercados, por ejemplo exportaciones a países cumpliendo su normativa medioambiental particular y también por que han obtenido ayudas o inversiones financieras de empresas instituciones que condicionan su actuación al cumplimiento de la normativa medioambiental.

Cuando los seguros de responsabilidad civil medioambiental, en toda su verdadera extensión, se implanten en este país, la buena conducta medioambiental puede suponer significativas reducciones de costo de las primas correspondientes a las franquicias.

Destaca la aceptación social que adquiere la empresa cuando trabaja consecuentemente con el medio ambiente, produciéndose así la posibilidad de desarrollar un marketing ambiental, que según el nivel de conciencia medioambiental del cliente, es un factor que actúa sin lugar a dudas positivamente en las ventas del producto.

3.1.2.5.- Razones Técnicas.

La mejora de procesos que se introducen para disminuir los impactos como alternativa o complemento de las soluciones de *“final de línea”,* suele proporcionar el grato dividendo de reducciones de costes y significativos incrementos de la eficiencia técnica productiva. Ello conlleva también una

ventaja competitiva de consideración, respecto a competidores menos sensibilizados.

Se puede resumir que se está dando y se dará aún más de prisa por el efecto *"bola de nieve",* una evolución de la actitud de muchas empresas de tipo pasivo–reactivo o ignorante con respecto a la adopción de una gestión medioambiental en la industria hacia una situación proactiva.

3.2.- Normas ISO 9000

Las normas ISO 9000 son un conjunto de normas y directrices internacionales para la gestión de la calidad que, desde su publicación en 1987, han obtenido una reputación global como base para el establecimiento de sistemas de gestión de la calidad.

Dado que los protocolos de ISO requieren que todas las normas sean revisadas al menos cada cinco años para determinar si deben mantenerse, revisarse o anularse, la versión de 1994 de las normas pertenecientes a la familia ISO 9000, ha sido revisada por el comité técnico ISO/TC 176, habiéndose publicado el 15 de diciembre del año 2000.

Aunque fueron diseñados como un conjunto de estándares voluntarios, la certificación ISO 9000 se ha convertido en un requisito de facto para muchas compañías que comercian con la Unión Europea y otras regiones del mundo, los cuales han hecho de esta certificación condición indispensable para la asignación de contratos y la entrada en ciertos mercados regulados. Sin embargo, el acceso al mercado y las exigencias legales no son las únicas razones por las que ISO 9000 han cuajado de tal forma. Compañías certificadas bajo ISO 9000 han reportado mayor credibilidad de sus productos, mejoras de marketing e incremento de productibilidad de hasta un 30%. Asimismo, la amplia aceptación de ISO 9000 ha liberado a muchas compañías de la

confusión por la duplicidad de evaluaciones de calidad de productos que eran previamente requeridas por los distintos clientes y agencias reguladoras. Tales beneficios no han hecho más que acelerar el ritmo de aceptación que ISO 9000 ha ganado en todo el mundo.

3.2.1.- Enfoque basado en Procesos.

La norma ISO 9001:2000 promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que identificar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso.

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión, puede denominarse como *"enfoque basado en procesos"*

Una ventaja del enfoque basado en procesos, es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

Esta norma cuenta con ocho principios de gestión de la calidad en los cuales se basan las normas sobre sistemas de de gestión de la calidad de la serie ISO 9000 del año 2000. Estos principios pueden utilizarse por la dirección como un marco de referencia para guiar a las organizaciones hacia la consecución de la mejora del desempeño.

El principio de mayor incidencia en el proyecto es el principio número seis que corresponde a mejora continua. *“La mejora continua es el desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de la organización”.*

Beneficios clave:

- Incrementar la ventaja competitiva a través de la mejora de las capacidades organizativas.
- Alineación de las actividades de mejora a todos los niveles con la estrategia organizativa establecida.
- Flexibilidad para reaccionar rápidamente a las oportunidades.

Aplicación: La aplicación del principio de mejora continua impulsa las siguientes acciones:

- Aplicar un enfoque consistente a toda la organización para la mejora continua.
- Suministrar al personal de la organización formación en los métodos y herramientas de mejora continua.
- Hacer que la mejora continua de productos, procesos y sistemas sea un objetivo para cada persona dentro de la organización.
- Establecer objetivos para orientar la mejora continua y medidas para hacer el seguimiento de la misma.
- Reconocer y conocer las mejoras.

3.3.- Consideraciones de Calidad, Medio Ambiente y Seguridad.

Una de las consecuencias de la globalización de los mercados, es la exigencia de los clientes, quienes más conocedores y más complejos, ahora saben elegir con decisión.

Hoy en día es necesario asumir el compromiso de elaborar eficientemente productos de calidad, satisfaciendo los requerimientos y expectativas de sus clientes, para así obtener y mantener su reconocimiento como proveedor preferido y una relación de largo plazo y no circunstancial.

Pero esta elaboración de productos no debe ser a cualquier costo, sino que debe considerar la protección del medio ambiente y la seguridad en el trabajo como una tarea permanente y una parte fundamental de sus actividades. Entre las consideraciones de mayor importancia tenemos:

- Los intereses económicos no tienen prioridad frente a la protección del medio ambiente y la seguridad en el trabajo.
- Minimizar cualquier posible impacto en los seres humanos y el medio ambiente en la fabricación, almacenamiento, transporte, distribución y aplicación de los productos.
- Producir artículos de fabricación, aplicación y eliminación seguras. Dedicar la máxima atención a la seguridad de las instalaciones y de los colaboradores.

Para elaborar productos eficientemente es necesario tener siempre presente entre otras cosas el concepto de mejora continua. La definición que mejor calza a este proyecto es la hecha por James Harrington (1993), quien dice que mejorar un proceso significa cambiarlo para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable, qué cambiar y cómo cambiar depende del enfoque específico del empresario y del proceso.

La importancia de esta técnica gerencial radica en que con su aplicación se puede contribuir a mejorar las debilidades y afianzar las fortalezas de la organización, a través de este se logra ser más productivos y competitivos en el mercado al cual pertenece la organización, por otra parte las organizaciones deben analizar los procesos utilizados, de manera tal que si existe algún inconveniente pueda mejorarse o corregirse; como resultado de la aplicación de

esta técnica puede ser que las organizaciones crezcan dentro del mercado y hasta llegar a ser líderes. Hay que mejorar porque, "En el mercado de los compradores de hoy el cliente es el rey", es decir, que los clientes son las personas más importantes en el negocio y por lo tanto los empleados deben trabajar en función de satisfacer las necesidades y deseos de éstos. Son parte fundamental del negocio, es decir, es la razón por la cual éste existe, por lo tanto merecen el mejor trato y toda la atención necesaria.

Por lo tanto hoy en día es necesario comprometerse a asegurar que todas las operaciones de producción de la empresa se realicen con calidad y preserven y protejan el medio ambiente y la comunidad.

Al tener presente todas las consideraciones anteriormente mencionadas en este capítulo, tanto medioambientales, de calidad y seguridad, es posible obtener considerables ventajas competitivas y se puede llegar a tener un excelente posicionamiento tanto en mercados nacionales como internacionales

Es por esto que fue necesario crear una ficha de seguridad de la cal (Anexo 2), y además se confeccionó un cuadro en donde se analizan los aspectos del proyecto susceptibles de causar impacto y sus mitigaciones.

Aspecto	Impacto	Mitigación
1.- Polvo en suspensión.	**1.1.** Absorción de material particulado. **1.2.** Partículas adheridas a mecanismos móviles de los equipos. **1.3.** Corrosión. **1.4.** Daño a instrumentos en línea.	**1.1.1.** Disposición de equipo de aspiración y filtrado de polvo en suspensión en el sistema.
2.- Derrames de fluido.	**2.1.** Daño a terceros. **2.2.** Daño a equipos y estructuras. **2.3.** Contaminación del circuito. **2.4.** Suciedad en el piso.	**2.1.1.** Usar equipo de protección personal subministrado por la empresa. **2.1.2.** Mayor control del operador. **2.1.3.** Lavar y limpiar según corresponda.
3.- Rotura de línea o manguera del circuito.	**3.1.** Daño a terceros. **3.2.** Daño a equipos y estructuras. **3.3.** Suciedad en el piso.	**3.1.1.** Usar equipo de protección personal subministrado por la empresa. **3.1.2.** Mayor control del operador. **3.1.3.** Lavar y limpiar según corresponda.
4.- Residuos.	**4.1.** La generación de residuos tras cálculo teórico, se estima en un rango menor a 0.042 gr./lt. (Anexo 3)	**4.1.1.** Estimar intervalos de tiempo para limpieza de unidad, coordinando con la detención del sistema de tratamiento primario de aguas. **4.1.2.** Disponer residuos de acuerdo a la legislación vigente.

TABLA N° 3.4 Aspectos susceptibles de causar Impactos y Mitigaciones.

CAPITULO 4

DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1.- Planteamiento del Problema.

Este proyecto parte motivado por la necesidad que tiene la empresa Oxy-Chile de implementar un sistema de distribución de cal centralizado para la planta de tratamiento de aguas, que tenga una capacidad mínima para dos días de operación, eliminar la duplicación de operaciones, evitar la contaminación ambiental tanto por derrames sectoriales como por material particulado, y obtener una optimización del sistema.

4.1.1.- Alternativas Propuestas.

En un primer momento se planteó una alternativa completamente automatizada, con una unidad de mezcla con la capacidad necesaria para cumplir los requerimientos del proyecto, una unidad de descarga de bolsa y absorción de polvo y las bombas y líneas necesarias para abastecer los puntos a dosificar.

Posteriormente surgió una segunda alternativa no automatizada, también con una unidad de mezcla con una capacidad mínima para dos días de operación, una unidad de descarga de bolsa y absorción polvo en suspensión y las respectivas bombas y línea adecuadas para abastecer los diferentes puntos de dosificación.

La primera alternativa se fue desvaneciendo, debido a que su costo sería demasiado elevado con respecto a su beneficio. La segunda alternativa fue tomando fuerza en la medida que se aprecia que cumple con los objetivos del proyecto, es por esto que se decide realizar el proyecto en base al desarrollo de la segunda alternativa no automatizada.

4.2.- Determinación del Sistema.

La alternativa a desarrollar, es la alternativa no automatizada, la cual comprende: una estación de descarga de bolsa que además cuenta con una unidad de carguío, aspirado y filtrado (Bag Dump); un reactor de disolución de cal, con la capacidad necesaria para cumplir los requerimientos de este proyecto; de un agitador adecuado para este reactor, además una línea de recirculación que permita aumentar la velocidad y las bombas necesarias y adecuadas para alimentar los diferentes puntos a dosificar (Precipitadores).

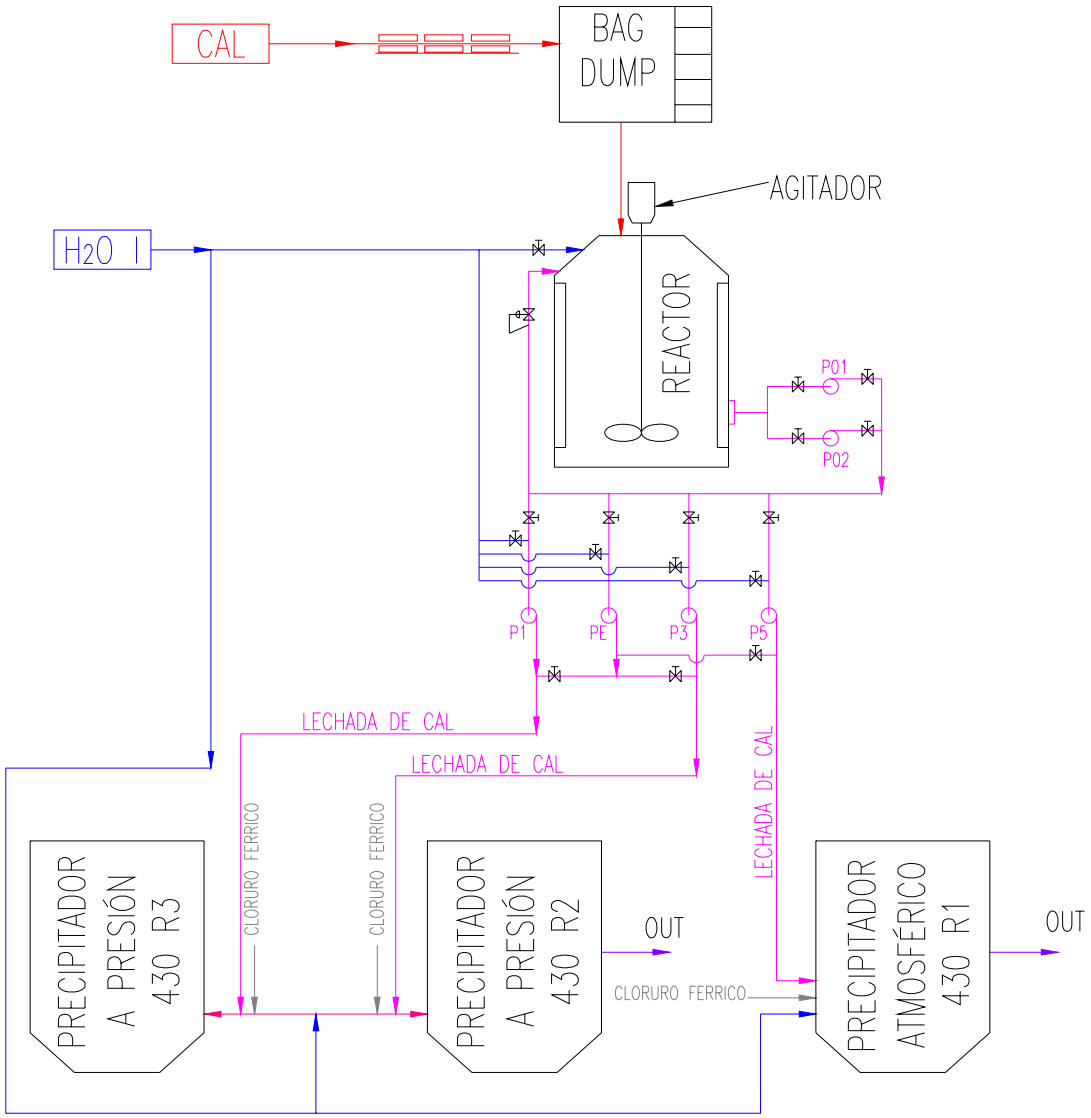


FIGURA N° 4.9 Esquema del Proyecto a realizar.

4.3.- Determinación de los equipos.

4.3.1.- Determinación de las líneas.

Para comenzar se señalará, que en la actualidad existe una variada gama de materiales con los cuales se fabrican líneas o tuberías, entre los que se pueden citar: PVC, polietileno, acero, hierro fundido, concreto, etc.; dependiendo de el material con el que se decida trabajar se deberá adoptar el valor correspondiente de su rugosidad absoluta (Ks) para obtener las pérdidas por fricción, estos valores se encuentran estandarizados (Anexo 5) para los distintos materiales. Además de esto, también se debe tomar en cuenta las pérdidas debido a los accesorios que se han de utilizar, para esto hay coeficientes de los distintos elementos (Anexo 6).

El problema radica en que se necesita dosificar tres puntos, dos tienen caudales iguales (18.5 lt/hr.) y uno diferente (34.5 lt/hr.) en condiciones normales de operación. Pero debido a que los caudales son tan pequeños y por ende las velocidades serían demasiado bajas si se realizara el proyecto con estos caudales, además la distancia desde el reactor o unidad de preparación de la lechada de cal y los puntos a dosificar es de 110 mt. Es por éste motivo que se hace necesario realizar una primera línea de recirculación con un caudal mayor al requerido por los tres puntos a dosificar y una velocidad dentro de los rangos de velocidades recomendados para el transporte de lechadas (2 - 5 m/s para concentraciones del orden del 8% (80 gr./lt.) [10]).

Por otra parte, se sabe que el fluido a transportar es lechada de cal a una temperatura promedio de 15 °C. Por lo tanto con estos datos se recurrió al laboratorio de OxyChile y al laboratorio de la Universidad de Concepción, en donde mediante análisis de la lechada de cal se obtuvo tanto la viscosidad cinemática (ν) como su densidad relativa (Dr.) (Anexo 4).

- **Cálculo de la línea de recirculación**

Se sabe que esta línea tiene una longitud de 92 mt., pero como es de recirculación su longitud total será de 185 mt, sus accesorios son 18 codos, 4T salida lateral y 2 válvulas de cono.

Para esta línea el procedimiento de cálculo será adoptar un diámetro comercial de PVC de ½" y una velocidad dentro del rango de velocidades para el transporte de lechadas. En primer lugar se obtendrá el caudal mediante la siguiente ecuación:

$$Q = A * V \tag{4.1}$$

Luego debe obtenerse el número de Reynolds y la rugosidad relativa, con estos datos hay que entrar al diagrama de Moody para conocer el valor del factor de fricción PVC, de esta manera se pueden calcular las pérdidas en la tubería que vienen dadas por la suma de las pérdidas por fricción más las pérdidas por los accesorios.

$$\mathrm{Re} = (V * d) / \nu \tag{4.2}$$

En tanto la rugosidad relativa (ε):

$$\varepsilon = Ks / d \tag{4.3}$$

Posteriormente, el criterio para la decisión será optar por la velocidad que arroje un margen de pérdidas razonable, las pérdidas en la línea o tubería (pérdidas exteriores) están dadas por la siguiente expresión:

$$h_{r..ext} = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g} + \sum Km * \frac{V^2}{2g} \tag{4.4}$$

fricción + accesorios

Los datos de éste problema son los siguientes:

Q = *Caudal del proyecto*

A = *Área de la sección transversal de la tubería.*

V = *Velocidad de transporte del fluido.*

ν = *Viscosidad cinemática = 0,00000151 m^2/s (Anexo 4).*

Ks = *rugosidad absoluta = 0.0015 mm = 0.0000015 m. (Anexo 5).*

f = *factor de fricción obtenido del diagrama de Moody (Anexo 7).*

L = *largo de la línea = 185 mt.*

d = *Diámetro de la línea =0.01387mt.*

V = *Velocidad de transporte del fluido.*

g = *Aceleración de gravedad = 9.806 m/s².*

ΣKm = *21.8 (Anexo 6).*

Fue necesario confeccionar una tabla con los caudales y las pérdidas para las diferentes velocidades, que están dentro de los rangos recomendados según [10], para saber si el caudal obtenido con este diámetro de cañería y esta velocidad es superior al caudal total requerido.

V (m/s)	**D** (m)	**Q** (m/s)	**Re**	ε	f	h_{rext} (m)
5	0.01387	0.000755	45.927	0.0022	0.0014	401.83
4	0.01387	0.000604	36.742	0.0023	0.0017	267.90
3	0.01387	0.000453	27.556	0.0024	0.0023	151.81
2	0.01387	0.000302	18.370	0.0027	0.0035	77.85

TABLA N° 4.5 Iteraciones respecto a la Velocidad para línea de recirculación.

Se aprecia que con una velocidad de 2 m/s y una cañería de pvc de ½" se obtiene un caudal apto para la recirculación (1089 lt./hr.) lo cual está sobre el caudal total requerido para abastecer los puntos a dosificar (71.5lt./hr).

- **Cálculo de la línea de dosificación.**

Como se mencionó anteriormente se necesita calcular tres líneas para transportar dos caudales iguales (18.5 lt/hr.) y uno diferente (34.5 lt/hr.) en condiciones normales de operación, como este caudal puede aumentar fuertemente en condiciones tanto de emergencia como de aumento de producción, se realizó un cuadro con cálculos para posibles caudales (Cuadro 4.8), se realizará el cálculo con el caudal de operación mayor, en condiciones normales (34.5 lt/hr). Se calculará sólo la línea más solicitada y de mayor cantidad de accesorios (línea de la bomba de emergencia). Es decir la línea expuesta a mayores pérdidas, entonces se tiene:

La línea tiene una longitud de 25 mt., por la cual debe pasar un caudal de 34.5 lt/hr. el material a usar será Polietileno (Poly-flux), que es un material de uso común y posee buenas propiedades para la conducción de fluidos. Se deben considerar pérdidas por 4 válvulas de bola, 2T sentido recto, 4T salida lateral y una salida recta.

El procedimiento de cálculo será ir adoptando diferentes velocidades de transporte, para obtener posibles diámetros de línea; pero en primer lugar se calculará el posible diámetro (d) despejando en (4.1)

Luego debe obtenerse el número de Reynolds (ec. 4.2) y la rugosidad relativa (4.3), con estos datos hay que entrar al diagrama de Moody para conocer el valor del factor de fricción del Polietileno (Poly-flux), de esta manera se pueden calcular las pérdidas en la tubería que vienen dadas por la suma de las pérdidas por fricción más las pérdidas por los accesorios.

Posteriormente, el criterio para la decisión será optar por el diámetro de tubería que arroje un margen de pérdidas razonable, las pérdidas en la línea o tubería (pérdidas exteriores) están dadas por la expresión (4.4.)

Los datos de éste problema son los siguientes:

Q = *Caudal del proyecto = 34.5 lt./hr.*

A = *Área de la sección transversal de la tubería.*

V = *Velocidad de transporte del fluido.*

ν = *Viscosidad cinemática = 0,00000151 m^2/s (Anexo 4).*

Ks = *rugosidad absoluta = 0.0015 mm = 0.0000015 m. (Anexo 5).*

f = *factor de fricción obtenido del diagrama de Moody (Anexo 7).*

L = *largo de la línea = 25mt.*

d = *Diámetro de la línea.*

V = *Velocidad de transporte del fluido.*

g = *Aceleración de gravedad = 9.806 m/s².*

ΣKm = *9.2 (Anexo 6).*

La tabla siguiente se aprecia como disminuyen las pérdidas en la medida que disminuye la velocidad.

V (m/s)	**D** (m)	**Re**	ε	f	h_f	h_{ac} (m)	h_{rext} (m)
3.0	0.002	3974	0.00075	0.042	240.92	4.2	245.12
2.5	0.0022	3642	0.00068	0.043	152.1	2.9	155
2.0	0.0024	3271	0.0006	0.044	93.48	1.87	93.35
1.5	0.0028	2831	0.00053	0.045	46.1	1.05	47.15
1.0	0.0035	2317	0.00043	0.048	17.48	0.47	17.95
0.5	0.0049	1623	0.0003	0.051	3.32	0.11	3.43
0.4	0.0055	1457	0.00027	0.053	1.97	0.07	2.04
0.3	0.0063	1251	0.00024	0.054	0.98	0.04	1.02

TABLA N° 4.6 Iteraciones respecto a la Velocidad para la línea de dosificación.

En el último cálculo del cuadro anterior se aprecia claramente que las pérdidas son bastante razonables, en el cual se arroja un diámetro de 6.3 mm. el cual no es un diámetro comercial, sino un diámetro referencial. Por lo tanto se optará por un diámetro comercial de 3/8”, el cual tiene un diámetro interior

aproximado de 6.2 mm., con este las pérdidas serán del orden de los 1 mt. aproximadamente.

4.3.2.- Determinación de las bombas.

Para la línea de recirculación no se necesita una bomba con características específicas, pero para la línea de distribución se utilizan bombas de desplazamiento positivo que permiten regular su capacidad mediante la variación de su frecuencia y también la de su carrera, dado que el proceso es de tipo continuo, pero no es un proceso constante, ya que depende estrictamente de la demanda del caudal y calidad del agua cruda a tratar. Con este tipo de bombas es posible aumentar o disminuir el caudal, aumentando o disminuyendo tanto la carrera del embolo, como la frecuencia (Anexo 8), según lo requiera el proceso.

Para el cálculo de las bombas lo primero que se debe considerar es la concentración de la lechada de cal a transportar. Se va a trabajar con una concentración de 2.0% [3]

Se considera esta concentración como una concentración adecuada debido a que una mayor concentración podría ser perjudicial para el sistema, producto de un posible paro de sección por mas de 18 minutos, se tendría sedimentada casi la totalidad de los sólidos en suspensión presentes en la lechada, lo que podría ocasionar bloqueos de la línea (Anexo 4).

Este problema del cálculo de las bombas será abordado como un sistema de tuberías simple. El cálculo de éstas se realizará según [9].

- **Cálculo de las bombas de recirculación.**

Las bombas de recirculación serán dos bombas de características idénticas, las cuales van a estar en paralelo, con la finalidad de tener una en stand-by para ser utilizada como bomba de recambio.

El procedimiento de cálculo de la potencia requerida por la bomba (Wp), será calculando en primera instancia la altura de pérdida de la bomba (Hp), que se obtiene despejando la ecuación de energía.

$$\text{Ec. de Energía: } (\frac{P}{\gamma})_1 + Z_1 + Hp = (\frac{p}{\gamma})_2 + Z_2 + h_{rext} \quad (4.5)$$

Donde:

P = *Presión en punto 1 y 2.*

γ = *Densidad relativa (Dr) x Gravedad (g) (Anexo 4).*

Z = *altura en punto 1 y 2.*

h_{rext} = *Pérdidas exteriores.*

Hp = *Altura de pérdida.*

Luego, como se mencionó anteriormente, se despeja Hp de la ecuación de energía y se obtiene:

$$Hp = \left(\frac{P}{\gamma}\right)_2 + (Z_2 - Z_1 + h_{rext}) \quad (4.6)$$

Para finalizar se obtiene la potencia requerida por la bomba de la siguiente ecuación:

$$Wp = \frac{(\gamma * Q * Hp)}{\eta} \quad (4.7)$$

Donde:

Wp = *Potencia requerida por la bomba.*

η = *Rendimiento de la bomba.*

Teniendo en consideración y recordando los siguientes datos para 430 P01 y 430 P02, se puede comenzar el cálculo de la potencia de la bomba:

Z_1 = *0.5 m*

Z_2 = 1.5 *m*

P_1 = 0

P_2 = *98 Kpa.*

h_{rext} = *77.85 mt.*

γ = *9928 N/m³*

η = *60%*

Q = *Caudal = 1087 lt./hr.*

Se sustituyen los valores en la ecuación 4.6 y se obtiene:

$$Hp = 9.87 + 1.5 - 0.5 + 77.85$$

$$Hp = 88.72m$$

Luego se reemplazan los valores en ec. 4.7 y se obtiene:

$$Wp = \frac{(9928 * 0.000302 * 88.72)}{0.6}$$

$$Wp = 0.6hp$$

Luego de finalizado el cálculo de la bomba se puede afirmar que se requiere una bomba con una capacidad de 1087 lt/hr. o superior para que la velocidad media del flujo sea igual a 2 m/s, y además debe tener una potencia mínima de 3/4 hp, para que cumpla los requerimientos del sistema. Oxy-Chile cuenta con una bomba que cumple con los requerimientos del proyecto (P01), y sólo se hace necesario cotizar una bomba de emergencia para esta línea (P02) (Anexo 8).

- **Cálculo de las bombas de Dosificación.**

Para este tipo de proceso se utilizan bombas de desplazamiento positivo que permiten la variación de su frecuencia como de su carrera, permitiendo así aumentar o disminuir el caudal según lo requiera el proceso.

Debido a que actualmente la empresa OxyChile cuenta con 3 bombas de las características anteriormente descritas, la idea es reutilizar estos mismos equipos tanto por razones de costos como de optimización de recursos. Pero se debe demostrar que los equipos actuales tienen la capacidad suficiente para cumplir con los requerimientos de este proyecto.

Entonces ahora se calculará la potencia requerida por la bomba. Se calculará solo la bomba que está sometida a mayores esfuerzos, esta será la bomba de emergencia ya que en una falla inesperada ésta debe sustituir a cualquiera de las tres bombas, se trabajará con el caudal de la bomba 430 P5, que es la bomba que debe suministrar el caudal mayor.

El procedimiento de cálculo de la potencia requerida será el mismo procedimiento utilizado en el cálculo de la bomba de recirculación.

Teniendo en consideración y recordando los siguientes datos, se puede comenzar el cálculo de la potencia de la bomba:

Z_1 = *1.5 mt.*

Z_2 = 4.5 *mt.*

P_1 = 0

P_2 = *98 Kpa.*

h_{rext} = *1.02 mt.*

γ = *9928 N/m³*

η = *60%*

Q = *Caudal = 34.5 lt./hr.*

Se sustituyen los valores en la ecuación 4.6 y se obtiene:

$$Hp = 9.87 + 4.5 - 1.5 + 1.02$$

$$Hp = 13.89mt.$$

Luego se reemplazan los valores en ec. 4.7 y se obtiene:

$$Wp = \frac{(9928 * 0.00000958 * 13.89)}{0.6}$$

$$Wp = 2.2Watt$$

A continuación hay un cuadro en donde se reflejan en detalle los posibles aumentos de caudal y las consecuencias en cuanto a velocidad, pérdidas y aumento de la potencia requerida por la bomba.

Caudal (l/hr)	Velocidad (m/s)	Pérdidas exteriores (m)	Altura de Pérdida (m)	Potencia Requerida (Hp)
15	0.14	1.15	14.82	0.0012
18	0.165	1.58	15.25	0.0014
28	0.25	3.53	17.2	0.0025
38	0.34	5.7	19.37	0.0039
48	0.44	8.84	22.51	0.0057
58	0.53	12.33	26	0.0078
68	0.62	16.18	29.85	0.011
80	0.73	21.46	35.13	0.015

TABLA Nº 4.7 Iteraciones respecto al Caudal.

Luego de los resultados obtenidos mediante los cálculos realizados se puede afirmar que las bombas actualmente en servicio, pueden ser utilizadas perfectamente en este proyecto, ya que la potencia requerida mediante cálculo es muy inferior a la potencia especificada por los catálogos de dichas bombas (Anexo 8). Las Bombas son: 430 P1 y 430 P3 es la LPH7 y la 430 P5 es la LPH8.

Debido a que la bomba de respaldo va a estar expuesta a trabajar con caudales de 18.5 y 34.5 l/hr, entonces no se puede optar por una bomba LPH7 ya que esta tiene un caudal máximo de operación de 37.9 lt/hr. y estaría trabajando al máximo de su capacidad, lo cual no es recomendable. Por lo que se recomienda adquirir una de mayor capacidad, esto es una LPH8 o similar.

Al cotizar dicha bomba, el proveedor recomienda una bomba marca ELADOS EMP III con una capacidad máxima de 80 lt./hr. (Anexo 8)

4.3.3.- Elección del Reactor.

Para adoptar un reactor, lo primero que se debe hacer es cumplir con los objetivos de este proyecto. El objetivo general del proyecto es implementar un sistema con una capacidad suficiente para dos o más días de operación. Por lo tanto el reactor debe calcularse para ello.

El procedimiento de cálculo será calcular en un principio el volumen de lechada de cal requerido diariamente por la planta de tratamiento de aguas, en condiciones normales de operación.

En el punto anterior se menciona que son tres puntos a abastecer con lechada de cal son:

430 R1 con un caudal Q_1 = 34.5 lt/hr.
430 R2 con un caudal Q_2 = 18.5 lt/hr.
430 R3 con un caudal Q_1 = 18.5 lt/hr.

Entonces se tiene que $Q_1 + Q_2 + Q_3$ = 71.5 lt/hr. = 1716 lt/día.

Como la capacidad mínima del proyecto debe ser dos o más días de operación, entonces el volumen útil del estanque debe ser ≥ *3432 litros.*

OxyChile cuenta con un reactor que anteriormente fue usado con los filtros de sulfuro de mercurio, y que actualmente se encuentra disponible. Este reactor tiene una capacidad de 2600 galones (9840 Litros) (Anexo 10), pero se tiene que tener claro que esa es la capacidad de diseño del reactor pero su capacidad real va a estar determinada por la posición de las alarmas de volumen mínimo y volumen máximo., determinado a su vez por los niveles de líquido requerido para una adecuada operación del agitador.

Con la información suministrada por OxyChile, en donde se recomienda instalar la alarma de volumen máximo a 10 cm. bajo el rebalse del reactor y la alarma inferior según el proveedor del agitador debe estar a 42 cm. sobre el punto medio de los álabes del agitador y los álabes del agitador van a estar a 42 cm del fondo del reactor según el agitador cotizado (anexo 9).

Entonces se tiene:

Vu = *Volumen comprendido entre alarma de nivel máximo y nivel mínimo.*

$$Vu = \pi * r^2 * h \tag{4.8}$$

donde:

Vu = *Volumen úti.*
r = *radio del reactor =1.219 mt.*
H = *altura útil =1.16 mt.*

Entonces reemplazando los valores en la ec. 4.8 se obtiene.

Vu = *4.95 m³*

Por lo tanto el volumen útil es de 4950 lt. Como la capacidad mínima debería ser 3432 lt. Entonces se tiene que reactor puede ser utilizado en este proyecto, el cual tendría una capacidad de 2,88 días.

Sólo se debe modificar el fondo del reactor ya que para ser usados como unidades de mezcla, es recomendable que tengan el fondo perfilado, para evitar la acumulación de sedimentos en el borde de pared y fondo del estanque. Estos cálculos son realizados por el proveedor del agitador, quien hará una simulación con toda la información del proyecto, para así obtener un óptimo diseño del fondo del reactor, y con esto recomendar un agitador que sea capaz de cumplir más eficientemente las condiciones de operación, bajo las cuales va a estar sometido y que compatibilice con el reactor.

4.3.4.- Elección del Agitador.

Con respecto al agitador, aquí se realizará un diseño por selección, en donde se entregará a los proveedores las condiciones de operación a las que va a estar sometido el agitador para que ellos recomienden el más adecuado.A continuación se aprecia el cuadro con las condiciones de operación.

Proceso	**Tiempo**	**Volumen Galones**	**Temp. ° C**	**Presión Psig**	**Densidad Lbs/Ft³**	**Viscosidad Cp**	**Sólidos %**
Continuo Lechada de cal (1.67%)		2600	10°	Atm.	62.87	1.52	8235 ppm.

TABLA N° 4.8 Condiciones de operación del Agitador.

Con las condiciones de operación y la geometría del reactor de disolución, el proveedor recomienda un agitador. Información complementaria (Anexo 9):

Marca: Lightnin.
Modelo: 14Q2.
Material: Acero Inoxidable.
Potencia: 2 Hp.
Velocidad: 105 r.p.m.

4.3.5.- Elección de estación de vaciado de bolsa.

Para adoptar una unidad o estación vaciadora de bolsas se deben tener ciertas especificaciones y sus condiciones de operación.

Estas especificaciones cubren los requerimientos del material, de la fabricación y del funcionamiento para la estación de descarga de bolsa, con un sistema integral de eliminación de polvo. La intención es definir las especificaciones de un sistema autocontenido.

La sustancia utilizada será cal en bolsas de 20 Kg. que requiere una abertura mínima de 1 mt., con una cubierta con bisagras.

El colector de polvo debe remover al menos el 95% de las partículas de polvo por sobre los 10 micrones [12], [13], [14].

Luego de todos estos requerimientos, se llega a la conclusión que el Bug Dump con el que cuenta OxyChile, el cual anteriormente fue utilizado con los filtros de sulfuro de mercurio, y que actualmente se encuentra desocupado y en perfectas condiciones, cumple con los requerimientos exigidos por este proyecto (Anexo 11).

4.4.- Costos del Proyecto.

Equipos y accesorios	Cantidad	Precio unitario	Total
Agitador Lightnin 14Q2 2 Hp	1	3.424.000	3.424.000
Bomba recirculación, Vogt 1.5 Hp	1	558.552	558.552
Bomba dosificadora Elados EMP III	1	740.726	740.726
Válvula de Bola 3/8" PVC	15	1.452	21.780
Conector Válvula 3/8"	15	2.161	32.415
Cañería PVC ½"	200 mt.	1.480 (6 mt.)	296.000
Tubin 3/8 (Poly-Flux)	75 mt.	778	58.350
Cañería PVC ¾" (recubrimiento)	75 mt	1.740 (6 mt.)	22.620
Copla PVC ¾"	15	58	870
Curva PVC ¾"	15	289	4.335
Perfilar fondo del reactor	1	1.264.000	1.264.000
Implementación del sistema	1	1.927.095	1.927.095
	TOTAL ESTIMADO		**8.350.743**

TABLA N° 4.9 Costos del Proyecto.

CAPÍTULO 5

PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN

Entre los elementos más eficaces para el control y la toma de decisiones, se destaca lo relativo a los manuales de procedimientos, ya que facilitan el aprendizaje al personal, proporcionan la orientación precisa que requiere la acción humana, fundamentalmente en el ámbito operativo o de ejecución, pues son una fuente en las cuales se trata de mejorar y orientar los esfuerzos de un empleado, para lograr la realización de las tareas que se le han encomendado. Los manuales son probados en la práctica como puntos de referencia para la instrucción del personal.

Los manuales representan una herramienta indispensable para toda empresa u organización, ya que les permite cumplir con sus funciones y procesos de una manera clara, sencilla y eficaz.

5.1.- Descripción de Equipos del Proyecto.

1). 430-R1: Flocodecantador atmosférico.

- Marca: Permutit.
- Caudal de alimentación: 29 m^3/hr.
- Tipo: Vertical.
- Diámetro superior: 5105 mm.
- Diámetro inferior: 2590 mm.
- Altura: 6.705 mm.
- Capacidad: 109 m^3.
- Tiempo de residencia: 192 min.
- Caudal de alimentación de lechada de cal: 34.5 lt/hr.

2). **430-R2: Flocodecantador a presión.**

- Marca: Aguasin.
- Modelo: FDP-300.
- Caudal de alimentación: 23 m^3/hr.
- Caudal de alimentación de lechada de cal: 18.5 lt/hr.
- Presión máx. de trabajo: 7 kg/cm^2.
- Pérdida de carga máx.: 0,6 kg/cm^2.
- Turbiedad máx. de alim. : 1.000 NTU.
- Rango de temperatura: 5 – 40 ºC.
- Tiempo de residencia: 60 min.
- Altura cilíndrica: 1.850 mm.
- Diámetro cilíndrico: 3.000 mm.
- Altura total: 4.4 mm.
- Material de construcción: Planchas de acero carbono CAP A-37-24 de 10 mm de espesor.
- Revestimiento int. y ext.: Sistema epóxico Master Bond X400 y terminación en esmalte poliuretano HB AS-224-10 Stierling.

3). **430-R3: Flocodecantador a presión.**

- Marca: Aguasin.
- Modelo: FDP-250.
- Caudal máx.: 26 m^3/hr
- Caudal de alimentación de lechada de cal: 18.5 lt/hr.
- Caudal mín.: 14 m^3/hr
- Presión máx. de trabajo: 5 kg/cm^2.
- Perdida de carga máx.: 0,6 kg/cm^2.
- Turbiedad máx.: 1000 NTU
- Rango de Temperatura: 5 - 40 °C.

- Diámetro: 2500 mm.
- Altura total: 4200 mm.
- Material de construcción: Acero CAP A-37-24-ES.
- Revestimiento: Dos manos de pintura epóxica.

4). **430-S1: Reactor de cal.**

- Material: Fiberglass
- Volumen: 10 m3.
- Altura: 2.14 m.
- Diámetro: 2.44 m.
- Presión de trabajo: Atmosférica
- Temperatura de diseño: 65°C
- Resina: Hetron 197.

5). **430-AG2: Agitador 430-S1.**

- Fabricante: Lightnin.
- Modelo: 14Q2.
- Tipo: Hélice.
- Eje acero inoxidable.
- Potencia motor: 2 HP.

6). **430-P01: Bomba de cal para recirculación 430-R1/R2/R3.**

- Marca: Vogt.
- Modelo: 605/130.
- Capacidad: 80 lt./min..
- Potencia: 1.5 Hp.

7). **430-P02: Bomba de recirculación de cal 430-R1/R2/R3.**

- Marca: Vogt.
- Modelo: H 605 FMS 130.
- Capacidad: 65 lt./min..
- Potencia: 1.5 Hp.

8). **430-P1: Bomba de dosificación de cal 430-R1.**

- Marca: Pulsatron.
- Modelo: Pulsa Feeder LPH7.
- Capacidad: 37.9 lt/hr.
- Presión máx.: 2,4 kg/cm^2.

9). **430-P3: Bomba de dosificación de cal 430-R2.**

- Marca: Pulsatron.
- Modelo: Pulsa Feeder LPH7.
- Capacidad: 37.9 lt/hr.
- Presión: 2,4 kg/cm^2.

10). **430-P5: Bomba de dosificación de cal 430-R3.**

- Marca: Pulsatron.
- Modelo: Pulsa Feeder LPH8.
- Capacidad: 94.6 lt/hr.
- Presión: 2.0 kg/cm^2.

11). **430-PE: Bomba de emergencia de Cal:**

- Marca: ELADOS EMP III.

- Modelo: Diaphragm pump.
- Capacidad: 80 lt/hr.
- Presión: 4 bar.

12). **430-ME1: Sistema de descarga de bolsas hacia el estanque 430–S1.**

- Marca: The Young Industries.
- Modelo: F.B.D - 1152.
- Material: Acero inoxidable 316
- Potencia: 3HP.
- Velocidad: 2900 RPM.

5.2.- Procedimiento de preparación de reactor de lechada de cal 430 S1.

Una vez que el nivel en el estanque de cal baje hasta la alarma de nivel mínimo, proceda a preparar.

Para ello proceda a realizar los siguientes pasos:

1). Verifique que agitador esté en servicio (agitación debe ser permanente).
2). Rellene con agua hasta la alarma de nivel máximo.
3). Ponga en servicio el sistema de remoción de polvo.
4). Vacíe el número de bolsas de cal necesarias teniendo presente que la solución debe quedar al 2%.
5). Detenga el sistema de remoción de polvo.

Nota:

- Durante la preparación no es necesario detener la dosificación
- Use mascara para polvo, guantes de PVC y antiparras.
- Cuando la dosificación de las bombas es deficiente, es por:
  - √ Válvulas check bloqueadas por borra, solicitar limpieza de estanque.

- √ Asiento de válvula check con desgaste, cambiar.
- √ Membrana de bomba rota, cambiar.

5.3.- Procedimiento de puesta en servicio.

5.3.1.- Puesta en servicio de primera línea de clarificación, 430-R1.

1). Coordine puesta en servicio con operador DCS.
2). Todas las válvulas deben estar cerradas.
3). Los instrumentos deben estar a punto para ser usados.
4). Verifique el correcto funcionamiento de las bombas 430-P1/P2 y agitadores 430-AG1/AG2.
5). Abra válvula general de llegada de agua industrial y válvula manual de entrada al 430-R1.
6). Prepare los estanques dosificadores de cal y férrico y coloque en servicio agitador 430-AG2.
7). Coordine con DCS la operación del controlador de flujo, para que se ajuste flujo de agua requerido.
8). Abra válvulas manuales de entrada de reactivos a 430-R1.
9). Coloque en servicio bombas de aditivos 430-P01/P1/P2 con sus respectivos porcentajes de dosificación.
10). Una vez que nivel de 430-R1 se llene, coloque en servicio agitador 430-AG1, con la velocidad sugerida 2.2 r.p.m. (segunda velocidad).
11). Una vez que filtro 430-F1 se llene, efectúe un lavado de enjuague en manual.
12). Una vez que filtro 430-F1comience a rebalsar a 430-S10 coloque en servicio bomba 430-P9/P10 de adición de hipoclorito diluido y ajuste porcentaje de adición.

5.3.2.- Puesta en servicio de segunda línea de clarificación, 430-R2.

1). Coordine puesta en servicio con operador DCS.
2). Todas las válvulas deben estar cerradas.
3). Los instrumentos deben estar a punto para ser usados.
4). Verifique el correcto funcionamiento de las bombas dosificadoras de reactivos 430-P01/P3/P4/P7 y agitador 430-AG3.
5). Abra válvula general y válvula entrada de agua al flocodecantador 430-R2.
6). Prepare los estanques dosificadores de cal y férrico y coloque en servicio agitador 430-AG2.
7). Abra válvula manual de salida del filtro 430-F2.
8). Coordine con DCS la operación del controlador de flujo, para que se ajuste al flujo de agua requerido y que controlador quede en modo programa.
9). Deje bombas dosificadoras de reactivos con sus botoneras en servicio.
10). Desde panel de control, coloque en servicio unidad de clarificado y selector del filtro a canal mientras se ambienta 430-F2.
11). Una vez que el agua en la descarga del filtro 430-F2 se encuentre en especificación, habilite descarga hacia 430-S10 y coloque en servicio bomba de hipoclorito diluido con el ajuste de adición.

5.3.3.- Puesta en servicio de tercera línea de clarificación 430-R3.

1). Coordine puesta en servicio con operador DCS.
2). Todas las válvulas deben estar cerradas.
3). Los instrumentos deben estar a punto para ser usados.
4). Verifique el correcto funcionamiento de bombas dosificadoras de reactivos 430-P5/P6/P8.
5). Abra válvula general y válvula de entrada de agua al flocodecantador 430-R3.

6). Prepare los estanques dosificadores de cal y férrico y coloque en servicio agitador 430-AG2.

7). Desde tablero de control, Coloque en servicio el filtro 430-F3, descargando a canal mientras se ambienta.

8). Coordine con DCS la operación del controlador de flujo, para que se ajuste el flujo de agua requerido.

9). Coloque en servicio las bombas dosificadoras de reactivos 430-P01/P5/P6/P8 y ajuste su dosificación.

10). Una vez que el agua en la descarga del filtro 430-F3 se encuentre en especificación, habilite descarga hacia 430-S10 y coloque en servicio bomba de hipoclorito diluido con el ajuste de adición.

5.4.- Parámetros de Operación Normal.

Equipo	Parámetro	Rango	Límite	Consecuencia de la Desviación
430-R1	Turbiedad a la salida del decantador.	< 1 NTU	2 NTU Máx.	Alta turbiedad producirá una saturación más temprana del filtro sin válvula 430-F1.
	Ph	6,5 – 8,5	6,2 Mín - 8,7 Máx.	Contaminación por alto fierro en caso de bajo pH, dilución de la capa de fango por alto pH
	Nivel capa de fango.	150” – 180”	130” Mín.	Nivel muy alto produce alta turbiedad del efluente, por lo tanto, saturación prematura del filtro sin válvula 430-F1.
	Flujo de alimentación	30 – 130 GPM (6,8 m^3/hr - 27 m^3/hr)	140 GPM Máx. (31,7 m^3/gr)	Alto flujo produce una dilución de la capa de fango.

TABLA Nº 5.10 Condiciones Normales de operación del 430 R1.

Equipo	Parámetro	Rango	Límite	Consecuencia de la Desviación
430-R2/R3	Turbiedad salida decantador.	< 5 NTU	< 20 NTU	Alta turbiedad produce una saturación temprana de los filtros 430-F2/F3
	PH.	6,5 – 8,5	6,2 Mín - 8,7 Máx.	Contaminación por alto fierro en caso de bajo pH, dilución de la capa de fango por alto pH
	Nivel capa de fango	20 – 40 %	< 45 %	Nivel muy alto produce alta turbiedad del efluente, por lo tanto, saturación prematura del filtro sin válvula.
	Flujo de alimentación.	0 - 15 m^3/hr	18 m^3/hr Máx.	Alto flujo produce una dilución de la capa de fango.

TABLA N° 5.11 Condiciones Normales de operación del 430 R2/R3.

5.5.- Procedimientos de Detención.

5.5.1.- Detención de primera línea de clarificación, 430-R1.

1). Coordine con DCS.
2). Detenga la adición de reactivos.
3). Solicite el cierre de FIC-8252.
4). Cierre válvula manual de entrada a 430-R1.
5). Cierre válvula de purga continua de lodos.
6). Disminuya o corte adición de hipoclorito diluido según corresponda (si quedan fuera de servicio los 3 flocodecantadores cortar adición de Hipoclorito).
7). Mantenga agitadores 430-AG1/AG2 en servicio, si su detención no es requerida.

5.5.2.- Detención de segunda línea de clarificación, 430-R2.

1). Coordine con DCS.
2). Desde tablero de control detenga el clarificado. Con botón fuera de servicio clarificado, con esto automáticamente se detiene la alimentación de agua y aditivos.
3). Cierre válvula manual de purga continua.
4). Cierre válvula manual entrada a 430-R2.
5). Disminuya o corte adición de hipoclorito diluido según corresponda (si quedan fuera de servicio los 3 flocodecantadores cortar adición de Hipoclorito).
6). Mantenga agitadores 430-AG1/AG2 en servicio, si su detención no es requerida.

5.5.3.- Detención de tercera línea de clarificación, 430-R3.

1). Coordine con DCS, el cierre de FIC-FLOCO 3.
2). Desde el tablero de esta unidad, corte la adición de reactivos.
3). Cierre válvula manual de entrada a 430-R3.
4). Disminuya o corte adición de hipoclorito diluido según corresponda (si quedan fuera de servicio los 3 flocodecantadores cortar adición de Hipoclorito).
5). Cierre válvula manual de purga continua de lodos.

5.6.- Procedimiento de Emergencia.

5.6.1.- Caída de Bomba de recirculación, 430P01/P02.

1. Comunique a Jefe de turno y DCS.
2. Cierre válvula de descarga de la bomba que estaba en servicio y coloque nuevamente, si no es posible siga con el siguiente punto.
3. Con las válvulas de descarga de las bombas cerradas, coloque en servicio bomba que esta stand-by y abra válvula de descarga.
4. Si ninguna de las bombas entra en servicio, verifique que no estén actuadas las protecciones en el tablero.

5.6.2.- Caída de Bomba de dosificación, 430P1/P3/P5.

1. Comunique a Jefe de turno y DCS.
2. Cierre válvula de descarga de la bomba que estaba en servicio y coloque nuevamente, si no es posible siga con el siguiente punto.
3. Con las válvulas de descarga de las bombas cerradas, coloque en servicio bomba que esta stand-by y abra válvula de descarga.
4. Si ninguna de las bombas entra en servicio, verifique que no estén actuadas las protecciones en el tablero.

5.7.- Resolución de Problemas Operacionales.

Problema	Causa Probable	Acción a Tomar
1. Falla bomba dosificadora de cal 430-P1/P3/P5/PE.	a) Caída del térmico.	a) Revise térmico en tablero TDE1 y normalice.
	b). Filtro de succión obstruido	b) Limpie filtro de succión.
	c). Membrana rota.	c) Solicite a mantención o electromecánico revisar membrana.
	d) Válvulas check sucias y/o asiento gastado	d) Solicite a electromecánico que realice limpieza de válvulas check.
2. Altos niveles de polvo durante la descarga de bolsas de ayuda filtro.	a) Filtro de polvo sucio.	a) Cheque la descarga de aire desde el soplador. Si el flujo es bajo, apague el ventilador Y cambie a manual para limpiar las “mangas” con una manguera de aire. No use agua, al humedecerlos se bloquean aún más.
	b) El ventilador no trabaja.	b) Si las mangas están limpias y aún el flujo es bajo, pida reparar la unidad.
	c) Manga rota o suelta.	d) Inspeccione las mangas, reemplace.

CONCLUSIONES

Hoy en día es de vital importancia cumplir con la normativa vigente, para así poder competir en el actual mercado tan exigente y lograr con esto el reconocimiento y preferencia de sus clientes. Es por esto que se debe asumir el compromiso de elaborar productos de calidad, minimizando los impactos ambientales y reducir con ello la contaminación.

Para comprender la naturaleza de este proyecto, se debe conocer todo el proceso al cual debe ser sometida agua industrial, hasta transformarse en agua desmineralizada, para así poder plantear un sistema que cumpla con los objetivos planteados.

Debido a que los caudales manejados en este proyecto son demasiado bajos, se optó por una línea de un diámetro pequeño, para así obtener una velocidad de flujo mayor y con esto evitar posibles bloqueos de línea. Pero siempre teniendo en consideración que el diámetro tampoco puede ser demasiado pequeño porque se puede bloquear la línea producto de una impureza de mayor tamaño.

En lo que respecta a la concentración adoptada para este proyecto (2%), esta es asumida luego de una serie de análisis de laboratorio en donde se llegó a que la concentración adecuada era del orden del 2%, ya que con esta, existe mayor facilidad de preparación (una bolsa de 20 kg/m^3 de agua), una disminución de la precipitación y bloqueos. Además se ha comprobado tras una serie de ensayos de laboratorio la efectividad de lechadas menos concentradas, los que sugieren elegir una concentración del 2% en vez de una del 8% para alimentar las plantas de tratamiento de aguas.

Con la finalidad de evitar la contaminación ambiental y derrames sectoriales, producto del proceso de mezclado, se opta por un equipo de

vaciado de bolsa y que además cuenta con filtros para absorber el polvo en suspensión.

Al calcular el consumo diario de lechada de cal con la concentración adoptada para este proyecto, se aprecia que dicha unidad debía tener un volumen útil mayor a 3432 lt. para cumplir con los objetivos del proyecto, de tener al menos dos días de autonomía.

También, producto de eventuales fallas en las bombas de dosificación fue necesario implementar una bomba de emergencia para suplir una posible falla de estas.

Para obtener los resultados para los cuales fue diseñado el proyecto, es necesario crear procedimientos de operación para el proyecto, debido a que estos son una herramienta indispensable para toda empresa, ya que estos permiten cumplir con sus funciones de forma sencilla, clara y eficaz.

BIBLIOGRAFÍA

1.- NALCO, “Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones” Tomo I; McGRAW – HILL, INTERAMERICANA DE NEXICO, S.A. de C.V.1997

2.- PERMUTIT “Manual de Tratamiento de Aguas”.

3.- Manual de Operaciones Planta De Tratamiento de Agua, AGUASIN, Aguas Industriales y Tratamiento de Aguas.

4.- MGC ELECTROLYZER. “Asembly and Operation Manual”.

5.- Norma ISO 14000:1997.

6.- Normas ISO 9000:2000.

7.- Norma chilena oficial *Nch* 2245.Of2003 “Sustancias químicas – Hojas de seguridad – Registros.

8.- http://www.calidad.com.ar.

9.- Merle C. Potter – David C. Wiggert “Mecánica de Fluídos”, 2da Edición, Prentice Hall, 1998.

10.- Aguasin, Purificación y tratamiento de aguas.

11.- J. Y. Oldshue, N. R. Herbst y T. A. Post “A Guide To Fluid Mixing”.

12.- http://www.conama.cl/rm/568/article-1162.html.

13.- Decreto supremo 594, Art. 66.

14.- Decreto Supremo 98, Art. 2.

Anexo 1

P&ID del Proyecto

En documento impreso. Biblioteca Miraflores, Universidad Austral de Chile.

Anexo 2

FICHA DE SEGURIDAD CAL APAGADA

Conforme a la Normativa Chilena *Nch* 2245.Of2003.

1.- Identificación de la sustancia química y del proveedor.

- *Denominación:* Hidróxido de calcio.
- Utilización de la sustancia y preparación:
  - Análisis químico.
  - Producción química.
  - Producción y análisis farmacéuticos.
- *Denominación de la empresa:*
  - Empresa : Soprocal
  - Dirección: Av. José Massoud 230
  - Fono: (56-2) 8323003 Fax: (56-2) 8324653

2.- Información sobre la sustancia o mezcla.

- *PM:* 74.10 g/mol
- *Formula molecular (según Hill):* CaH_2O_2
- *Fórmula química:* $Ca(OH)_2$

3.- Identificación de los riesgos.

- Riesgo de lesiones graves, tanto de por contacto con la piel, oculares, de ingestión e inhalación.

4.- Medidas de primeros Auxilios.

- *Tras inhalación:* aire fresco.

- *Tras contacto con la piel:* aclarar con abundante agua. Eliminar ropa contaminada.
- *Tras contacto con los ojos:* aclarar con abundante agua, manteniendo abiertos los párpados. Llamar al oftalmólogo.
- *Tras ingestión:* hacer beber abundante agua inmediatamente. Llamar al médico.

5.- Medidas para combate del fuego.

- *Medios de extinción adecuados:*
  - Adaptar a los materiales en el entorno.
- *Riesgos especiales:*
  - Incombustible.
- *Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios:*
  - Evitar la formación de polvo.
  - No inhalar el polvo
  - Evitar el contacto con la sustancia.
  - Proceder a ventilación en lugares cerrados.
- *Referencias adicionales:*
  - Evitar la penetración de agua de extinción en acuíferos superficiales o subterráneos.

6.- Medidas para controlar derrames o fugas.

- *Medidas de precaución relativas a las personas:*
  - Evitar la formación de polvo.
  - No inhalar el polvo.
  - Evitar el contacto con la sustancia.
  - Proceder a la ventilación en lugares cerrados:

- *Medidas de protección del medio ambiente:*
  - No lanzar por el sumidero.
- *Procedimiento de recogida y limpieza:*
  - Recoger en seco y proceder a la eliminación de los residuos. Aclarar después.

7.- Manipulación y almacenamiento.

- *Manipulación:*
  - Sin otras exigencias.
- *Almacenamiento:*
  - En lugar bien cerrado y seco.
  - Sin limitaciones de temperatura.
  - No emplear metales ligeros.

8.- Control de exposición y protección personal.

- *Protección personal:*

Los tipos de auxiliares para protección del cuerpo deben elegirse específicamente de acuerdo al puesto de trabajo, en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa.

Debería aclararse con el suministrador la estabilidad de los medios protectores frente a los productos químicos.

- Protección respiratoria: necesaria en presencia de polvo, (utilizar máscara común)
- Protección de los ojos: precisa, (utilizar antiparras o lentes protectores, nunca usar lentes de contacto).
- protección de las manos: necesaria en contacto pleno y de salpicaduras, (uso de guantes no porosos).

Guantes:	Caucho nitrilo.
Espesor	0.11 mm.

Tiempo de penetración: >480 min.

Los guantes de protección deben cumplir con las especificaciones de la directiva 89/686/EEC y con su norma resultante EN374.

- Medidas de higiene particulares: sustituir inmediatamente la ropa contaminada. Protección preventiva de la piel. Lavar cara y manos con abundante agua al término del trabajo.

9.- Propiedades físicas y químicas.

- *Estado Físico:* sólido
- *Color:* blanco
- *Olor:* inodoro
- *Valor pH:* (20 °C) 12.6 (solución saturada)
- *Punto de fusión:* 550 °C (descomposición)
- *Punto de ebullición:* 2850 °C (descomposición)
- *Temperatura de ignición:* no combustible
- *Punto de inflamación:* no inflamable
- *Límite de explosión:* no aplicable
- *Presión de vapor:* no aplicable
- *Densidad:* 2.24 g/cm³
- *Densidad de amontonamiento:* ~400 kg/m³
- *Solubilidad en agua (20 °C):* 1.65 g/l
- *Descomposición térmica:* 550 - 600 °C

10.- Estabilidad y reactividad.

- *Materias a evitar:*

  Ácidos, hidrógeno, sulfuro, metales ligeros, fósforo, nitrocompuestos orgánicos.

- *Información complementaria:*

  Sensible a la humedad, disolución exotérmica con agua.

11.- Información toxicológica.

- *Toxicidad aguda.*

  LD_{50} (oral, rata): 7340 mg/kg

  Síntomas específicos en ensayos sobre animales:
  Ensayo de irritación ocular (conejo): Fuerte irritación.
  Ensayo de irritación cutánea (conejo): Sin irritación.
  Ensayo con membrana de huevo de gallina respecto a irritación (HET-CAM): Irritación de las mucosas.

- *Toxicidad subaguda a crónica.*

  Sensibilización:

  En la experiencia animal: Sin efecto sensibilizante.

- *Informaciones adicionales de toxicidad.*

  Tras inhalación de polvo: Irritación de las mucosas, tos.
  Tras contacto con la piel: Tras transpiración o humedad, quemaduras.
  Tras contacto con los ojos: Fuertes irritaciones. Riesgo de turbidez en la córnea. ¡Riesgo de ceguera!
  Tras ingestión: Irritación de: estómago e intestinos.

- *Información complementaria.*

  El producto debe manejarse con las precauciones apropiadas para los productos químicos.

12.- Informacion ecológica.

- *Biodegradabilidad:*

  Los métodos para la determinación de la biodegradabilidad no son aplicables para sustancias inorgánicas.

- *Comportamiento en compartimentos ecológicos:*

  No es de esperar un enriquecimiento de organismos.

- *Efectos ecotóxicos y biológicos:*

  Efecto perjudicial por desviación del pH. A pesar de la dilución forma todavía mezclas cáusticas con agua. Posible neutralización en depuradoras.

- *Toxicidad para peces:*

  Gambussia affinis LC_{50} : 160mg/l/96h.

- *Otras observaciones ecológicas:*

  No incorporar a suelos acuíferos.

13.- Consideraciones sobredisposición final.

- *Producto:*

  Los productos químicos han de eliminarse siguiendo las normativas nacionales.

14.- Información sobre el transporte.

- *No sometido a las normas de transporte.*

15.- Información reglamentaria.

- *Etiquetado según directivas de la CEE*

Pictograma:	Xi	Irritante
Frases R:	41	Riesgo de lesiones oculares graves.
Frases S:	22-24-26-39	No respirar el polvo. Evítese el contacto con la piel. En caso de contacto con los ojos, lávese inmediatamente y con abundante agua y acúdase a un médico. Úsese protección para los ojos y cara.

- *Etiquetado reducido (1999/45/CE,art.10,4)*

Pictograma:	Xi	Irritante
Frases R:	41	Riesgo de lesiones oculares graves.
Frases S:	26-39	En caso de contacto con los ojos, lávese inmediatamente y con abundante agua y acúdase a un médico. Úsese protección para los ojos y cara.

16.- Otras informaciones.

Anexo 3

Cálculo de las Impurezas.

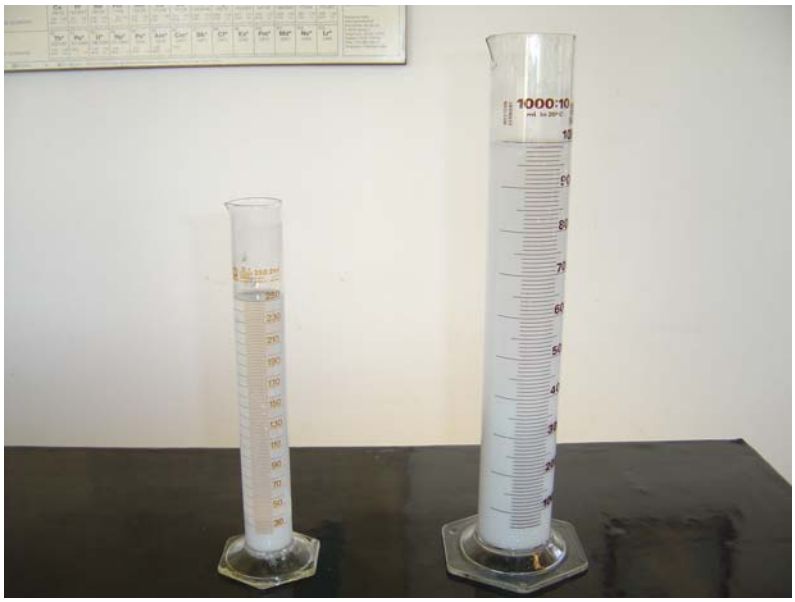
Este ensayo de laboratorio fue realizado para estimar la cantidad de impurezas presentes en la lechada de cal.

Instrumentos y equipos utilizados:

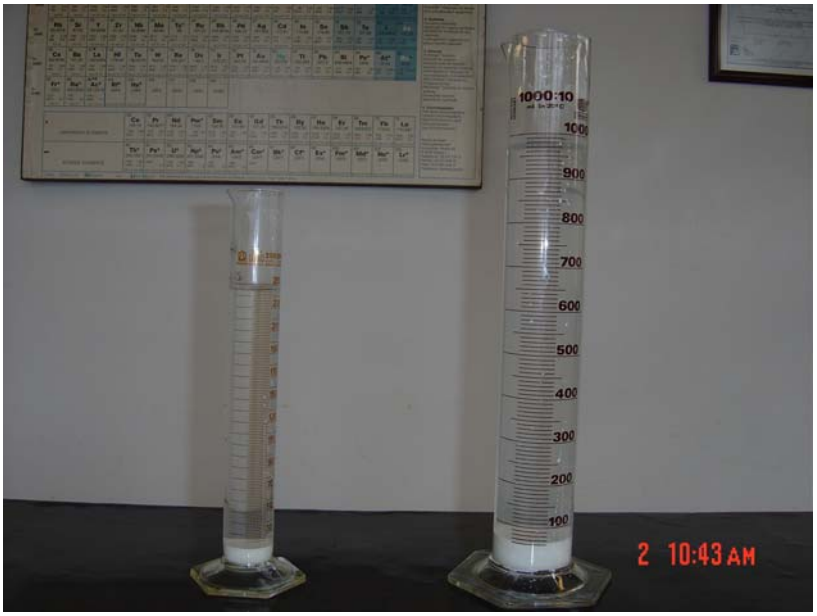
- Probeta de 1 lt.
- Filtros
- Horno de secado
- Desecador
- Balanza electrónica

Procedimiento.

- Se tomó una muestra de lechada de cal con una concentración del 2.0 gr./lt.



- Se vierte la lechada en la probeta de 1 litro y se deja sedimentar durante 72 horas.



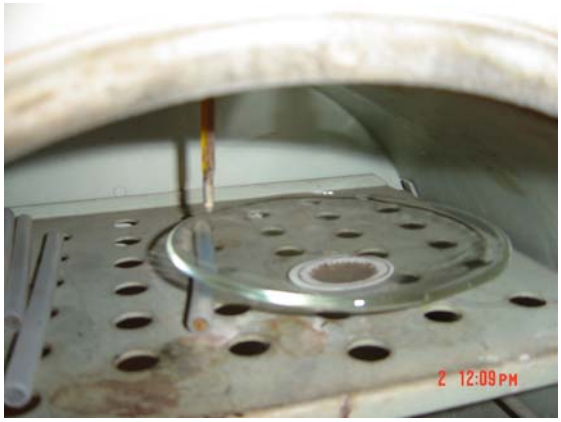
- Luego la lechada de cal fue filtrada para así eliminar toda el agua y dejar solamente las sustancias sólidas.

- Luego de filtradas las sustancias sólidas en suspensión, estas son secadas, enfriadas y pesadas con la finalidad de obtener el porcentaje de sólidos en suspensión en un litro de agua. De lo que se obtiene los sólidos en suspensión son 8.4 gr./lt.(8235 p.p.m.)

- Posteriormente estas sustancias sólidas son atacadas con ácido clorhídrico con el objetivo que sólo queden las impurezas, ya que el ácido clorhídrico reacciona con la cal.

- Después de que el ácido clorhídrico ha reaccionado completamente con la cal, se vuelve a filtrar, con la finalidad de extraer sólo las impurezas.

- Posteriormente, se extrae el filtro y es llevado a un horno a 126 °C durante 20 minutos, para así secarlo.



- Luego el filtro con las impurezas es llevado a un desecador durante 15 minutos, el cual enfría este filtro hasta alcanzar la temperatura ambiente, la particularidad de este desecador es que baja la temperatura pero en un ambiente seco, ya que en su interior contiene sílica gel, la cual absorbe la humedad.

- Para finalizar este ensayo se pesa el filtro con las impurezas y después se descuenta el peso del filtro, y así se obtiene la cantidad de impurezas por litro de lechada de cal.

Como el peso del filtro es de 0.075 gr., entonces al peso total, le restamos el peso de dicho filtro, y así obtenemos el peso total de las impurezas presentes en un litro de lechada de cal.

$$\Rightarrow 0.1171 - 0.075 = 0.0421 gr$$

Si estos datos son llevados a la realidad de este proyecto, se puede apreciar que teóricamente en 1 m³ de lechada de cal con una concentración de 2.0 gr./lt. deberían existir aproximadamente 42.1 gr. de impurezas.

Anexo 4

Medición de concentración, caudales, densidades, viscosidad y tiempos de sedimentación.

Este ensayo de laboratorio fue realizado para medir los caudales actuales, su concentración y para así poder calcular los caudales con la concentración real de este proyecto. Además se realizaron ensayos con muestras a distinta concentración. También se midieron densidades, viscosidad, y el tiempo que tardan en sedimentar casi la totalidad de las partículas en suspensión presentes en la lechada de cal.

Instrumentos y equipos utilizados:

- Probeta de 250 ml.
- Cuchara.
- Balanza electrónica.
- Mechero.
- Horno de secado.

Medición de Caudales y Concentración.

Los caudales, en condiciones normales de operación se calcularon de la siguiente forma para las tres bombas:

- Se tomó un recipiente graduado y se llenó hasta los 4litros.

- Luego se desconectó la succión de la bomba y se insertó dentro del recipiente, con la finalidad de obtener el caudal suministrado por las bombas a los reactores e tiempo de 1 minuto.

- Luego se tomaron las respectivas muestras de lechada para realizar el análisis de concentración

- Se analizaron dos muestras de lechada con 25 ml. cada una con la concentración actual de cada estanque de cal (430 S1 y 430 S3), para que sea más representativo el resultado de la concentración.

- Posteriormente se evapora el agua existente en la mezcla con la finalidad de obtener solamente la cantidad de cal existente en estos 25 ml. de solución.

- Para finalizar se pesa la cal que queda después de evaporar toda el agua presente en la solución.

- Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Estanque de cal	**Precipitador**	**Bomba**	**Concentración (%)**	**Caudal (lt./min.)**	**Caudal (lt./hr.)**
430 S1	430 R1	430 P5	1.8	0.64	38.4
430 S3	430 R2	430 P1	2.3	0.27	16.2
430 S3	430R3	430P3	2.3	0.27	16.2

Densidad viscosidad y velocidad de sedimentación.

En este ensayo se realizaron tres pruebas con diferentes concentraciones. La primera prueba se realizó con una concentración del 1% (10 gr./lt.); la segunda con una concentración del 1.5% (15 gr./lt.) y la tercera se realizó con una concentración del 2% (20 gr./lt.). también se realizaron dos análisis de densidad con las concentraciones actuales una prueba con la concentración actual de 2.3 % (23 gr./lt.)

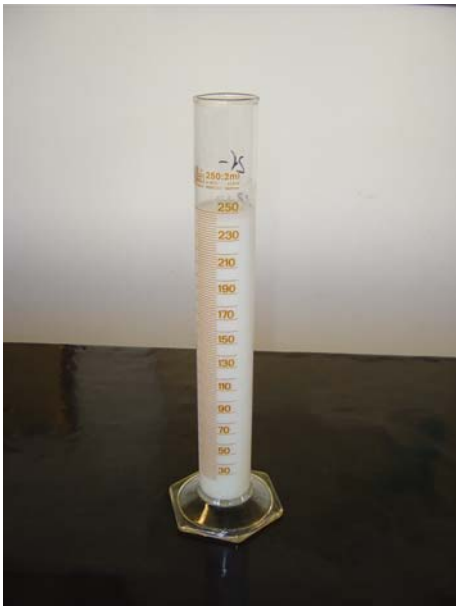
Procedimiento.

Para las tres pruebas el procedimiento de trabajo fue exactamente el mismo, el cual es detallado a continuación:

- En primer lugar se pesa la cantidad de cal necesaria que debe agregarse a la probeta de 250 ml, según la concentración deseada, para todas las pruebas se procede de la misma forma, a excepción de la prueba de 2.3% que no es necesario prepararla ya que se toma una muestra de la existente en el proceso.

- Luego se vierte esta cantidad de cal dentro de la probeta.

- Una vez que la cal está dentro de la probeta se adiciona el agua hasta completar los 250 ml. de la probeta y se agita hasta obtener la lechada aparentemente deseada.



- Ahora se mide densidad relativa.

- Posteriormente se deja sedimentar hasta apreciar, a simple vista, que ha sedimentado casi la totalidad de las partículas en suspensión y se calcula la velocidad media de sedimentación.

Los resultados de las mediciones tanto de densidad como de viscosidad son los siguientes:

Concentración de la lechada de cal %	**Densidad relativa (Dr) gr./lt**	**Viscosidad cinemática (ν) m^2/s**	**Velocidad de sedimentación mm./min.**
1.0	1005		25
1.5	1009		37.5
2.0	**1012.2**	**0,00000151**	**45**
2.3	1020		48

Sólo se tiene el resultado de viscosidad con la que se va a trabajar en el proyecto, debido que hay que solicitarlos a la Universidad de concepción y esto tiene un costo adicional.

Conclusiones.

Para este proyecto, se adoptó una concentración del 2.0% debido a que si la cal viene en bolsas de 20 Kg. entonces al ser al 2.0% se debe mezclar una bolsa de cal en 1000 lt de agua lo que hace al sistema más fácil de operar, ya que la medida es exacta, por el hecho de ser en bolsas y no en Kg.

Se adoptó esta concentración, porque si se aumenta demasiado disminuye el caudal, por lo que la velocidad también debería disminuir, producto de que el diámetro se mantiene constante, este aumento de concentración significa una mayor cantidad de sólidos en suspensión y al precipitar habría una probabilidad mayor de bloqueo de línea, ya que la velocidad de la lechada sería más baja. Si se disminuye la concentración habría un aumento de la velocidad lo cual sería positivo desde el punto de vista de los bloqueos de línea, pero tal vez el Reactor que se utilizará no va a tener la capacidad suficiente para cumplir con los objetivos del proyecto, ya que el consumo va a ser mayor.

Anexo 5

Rugosidad absoluta (Ks) para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías. (Saldarriaga Juan, 1998)

Material	**Ks (mm)**
Vidrio	0.0003
PVC, CPVC	0.0015
Polietileno	0.0015
Asbesto cemento	0.03
GRP	0.03
Acero	0.046
Hierro forjado	0.06
CCP	0.12
Hierro fundido asfaltado	0.12
Hierro galvanizado	0.15
Arcilla vitrificada	0.15
Hierro fundido	0.15
Hierro dúctil	0.25
Madera cepillada Concreto	0.18 – 0.9
Concreto	0.3 – 3.0
Acero bridado	0.9 – 9.0

Anexo 6

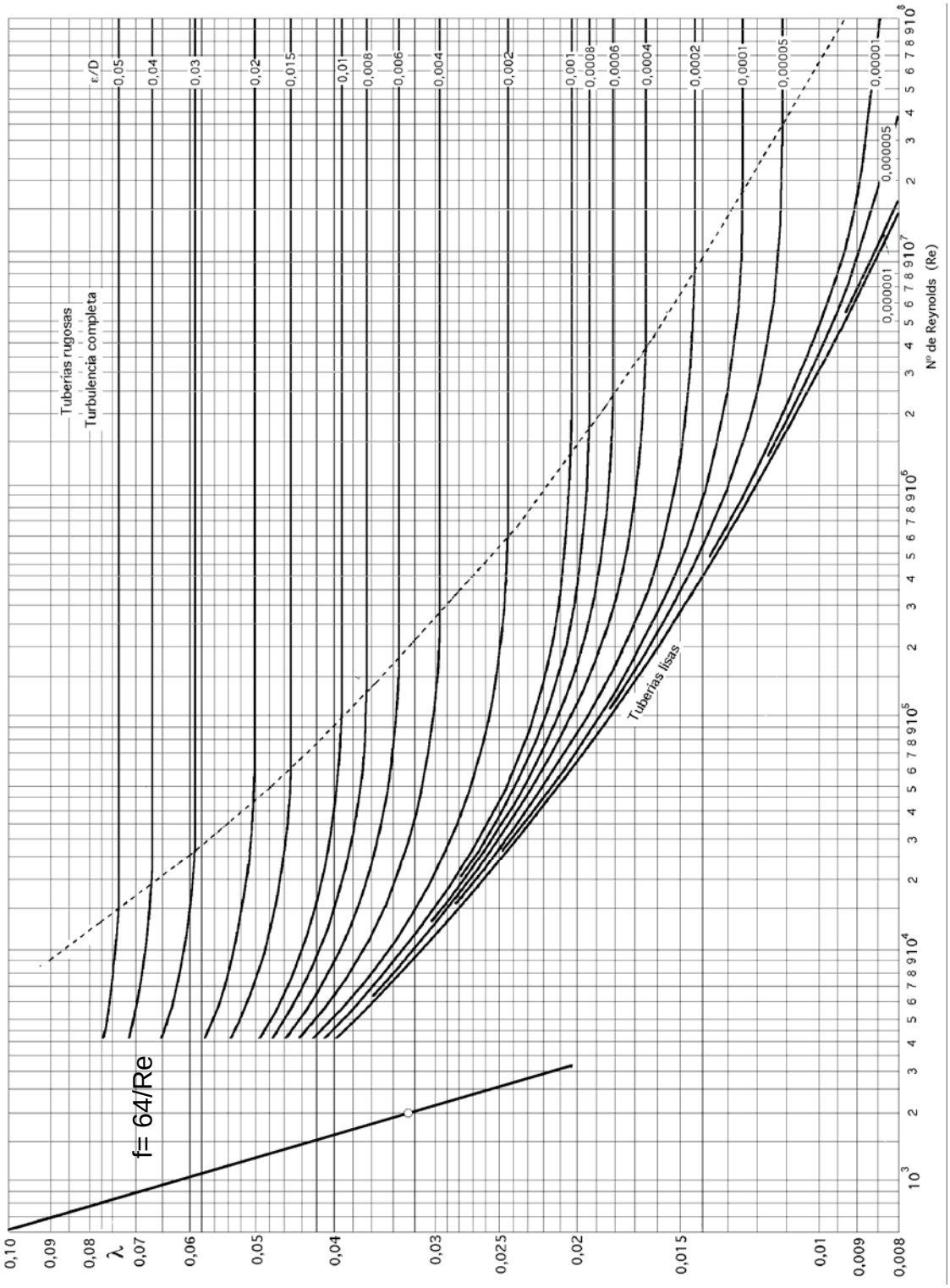
Coeficientes para pérdidas en accesorios.

(Saldarriaga Juan, 1998)

Accesorio	Km
Válvula de globo, completamente abierta	10.0
Válvula en ángulo, completamente abierta	5.0
Válvula de cheque, completamente abierta	2.5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.2
Válvula de bola, completamente abierta	0.2
Válvula de cono completamente abierta	0.1
Válvula de compuerta, con ¾ de apertura	1.00 – 1.15
Válvula de compuerta, con ½ de apertura	5.6
Válvula de compuerta, con ¼ de apertura	24.0
Codo de radio corto (r/d = ± 1)	0.9
Codo de radio mediano	0.75 – 0.80
Codo de gran radio (r/d = ± 1.5)	0.6
Codo de 45°	0.4 – 0.42
Retorno (curva en U)	2.2
Te en sentido recto	0.3
Te a través de la salida lateral	1.8
Unión	0.3
Ye de 45, en sentido recto	0.3
Ye de 45, en salida lateral	0.8
Entrada recta a tope	0.6
Entrada con boca acampanada	0.1
Entrada con tubo reentrante	0.9
Salida	1.0

Anexo 7

Diagrama de Moody
(Shames Irving)



Anexo 8

Bombas LPH7 Y LPH8

PULSAtron® Series E PLUS

Key Features

- *Automatic Control*, available with 4-20 mADC direct or external pacing, with stop function.
- *Manual Control* by on-line adjustable stroke rate and stroke length.
- *Agency approved* for demanding *OUTDOOR* and indoor applications.
- *Auto-Off-Manual* switch.
- *Highly Reliable* timing circuit.
- *Circuit Protection* against voltage and current upsets.
- *Panel Mounted Fuse.*
- *Solenoid Protection* by thermal overload with auto-reset.
- *Water Resistant*, for outdoor and indoor applications.
- *Indicator Lights*, panel mounted.
- *Guided Ball Check Valve Systems*, to reduce back flow and enhance outstanding priming characteristics.
- *Safe & Easy Priming* with durable leak-free bleed valve assembly (standard).

Pressure and Flow Rate Capacity

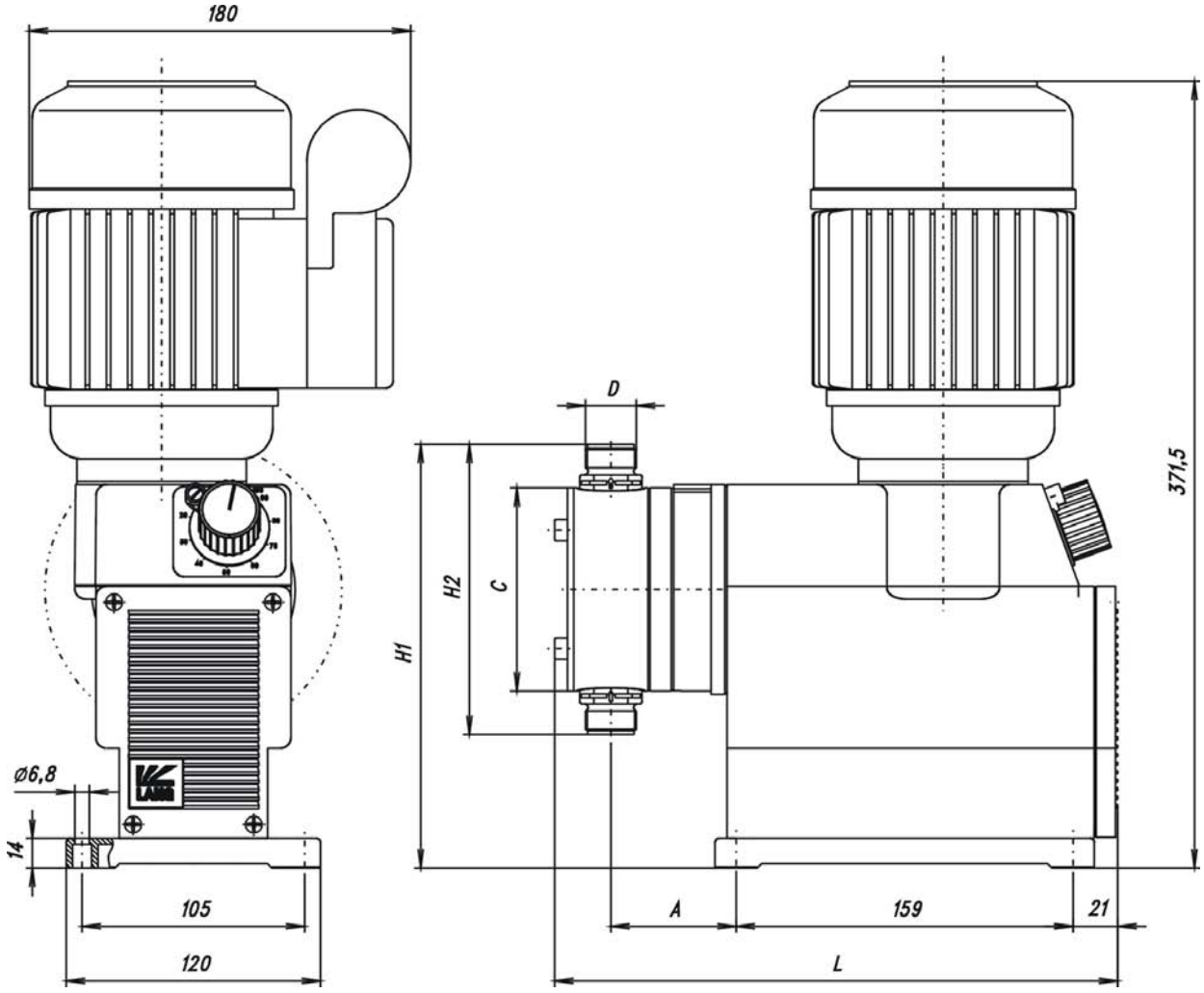
MODEL		LPK2	LPB2	LPA2	LPD9	LPB9	LPA9	LPK9	LPF4	LPD4	LPB4	LPH4	LPG4	LPE4	LPK5	LPH5	LPH8	LPK7	LPH7	LPH6
Capacity	GPH	0.13	0.21	0.25	0.50	0.50	0.50	0.60	0.85	0.90	1.00	1.70	1.75	1.85	2.50	3.15	5.00	8.00	10.00	25.00
nominal	GPD	3	5	6	12	12	12	14	20	22	24	41	42	44	60	76	120	192	240	600
(max.)	LPH	0.5	0.8	0.9	1.9	1.9	1.9	2.3	3.2	3.4	3.8	6.4	6.6	7.0	9.5	11.9	18.9	30.3	37.9	94.6
Pressure	PSIG	300	250	150	250	150	100	100	250	150	100	250	150	100	150	150	100	50	35	20
(max.)	BAR	21	17	10	17	10	7	7	17	10	7	17	10	7	10	10	7	3.5	2.4	2
Connections:	Tubing	1/4" ID X 3/8" OD 3/8" ID X 1/2" OD 5/16" ID X 5/16" OD													3/8" ID X 1/2" OD 1/2" ID x 3/4" OD [LPH6 ONLY]					
	Piping	1/4" FNPT													1/4" FNPT 1/2" FNPT					
Reproducibility at max. capacity		+/- 2%																		
Viscosity Max CPS		For viscosity up to 3000 CPS, select connection size 3, 4, 5 or C with 316SS ball material. Flow rate will determine connection/ball size. Greater than 3000 CPS require spring loaded ball checks. See Selection Guide for proper connection.																		
Stroke Frequency Max SPM		125																		
Stroke Frequency Turn-Down Ratio		10:1																		
Stroke Length Turn-Down Ratio		10:1																		
Power Input		115 VAC/50-60 HZ/1 ph 230 VAC/50-60 HZ/1 ph																		
Average Current Draw @ 115 VAC: Amps @ 230 VAC: Amps		1.0 0.5																		
Peak Input Power Watts		300																		
Average Input Power @ max SPM: Watts		190																		

- **Mechanical stroke adjustment**
- **Stroke frequency regulation**
- **Pulse control**
- **Pulse multiplication and division**
- **Pulse memory**
- **Standard signal control**
- **Empty signal and low level warning**
- **External metering lock**
- **Empty signal and stroke signal output**

The ELADOS® EMP III series of metering pumps is constructed on the building block principle. It comprises the drive unit, the gear box unit, the metering pump head and the electronics. Different designs of drive option allow the pump to be adapted to any processing sequence for quantity or proportional metering. The scope of delivery is rounded off by practical accessories, so forming a complete range of equipment for all metering uses.

Dimensions:

Version E00



Capacity	Dimensions [mm]					
l/h	A	C	L	H1	H2	D
80	74,5	∅ 130	292,5	219,3	175,5	1 ¼“
120	74,5	∅ 140	294,5	224,3	185,5	1 ¼“

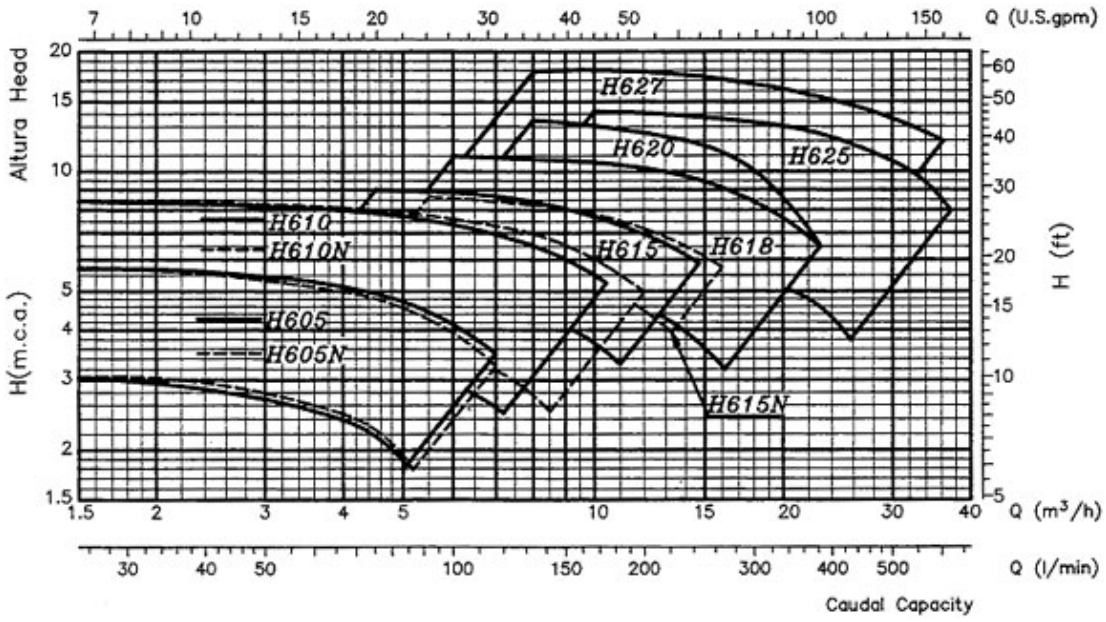
Hose connections
Suction connection (int.Ø/ext.Ø): 12/21 mm.
Pressure connection (int.Ø/ext.Ø):12/21 mm.

Bombas VOGT P01/P02 Y

SERIE H

Bomba Centrífuga Unicelular, flujo radial, eje horizontal, carcasa tipo voluta espiral simple, aspiración axial y descarga vertical hacia arriba. Con bocas de succión y descarga roscadas con hilo BSP. Impulsor cerrado. Esta serie permite realizar la mantención o reparación del equipo sin desmontar la carcasa del sistema de tuberías.

1450



Características bomba 430 P01

- Marca: Vogt.
- Modelo: 605/130.
- Capacidad: 80 lt./min..
- Potencia: 1.5 Hp.
- Material: Fe fundido.
- Velocidad: 1450 r.p.m.
- Desc/Succ.: ¾”/1”.
- Altura: 4 mt.

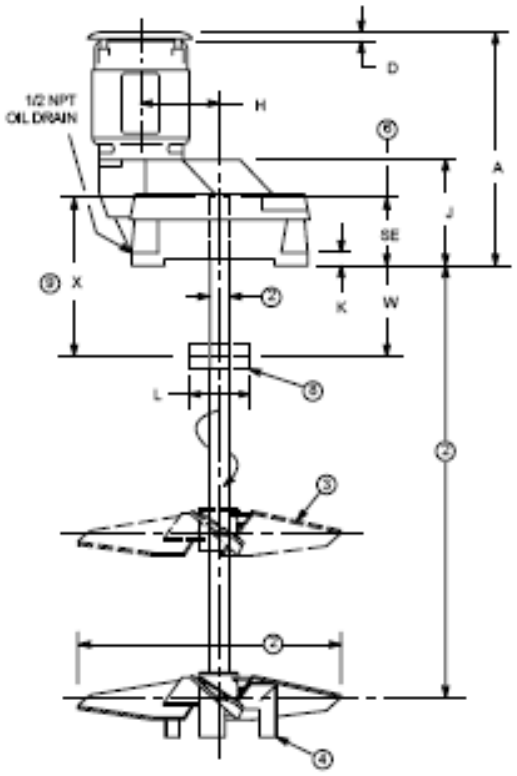
Características bomba 430 P02

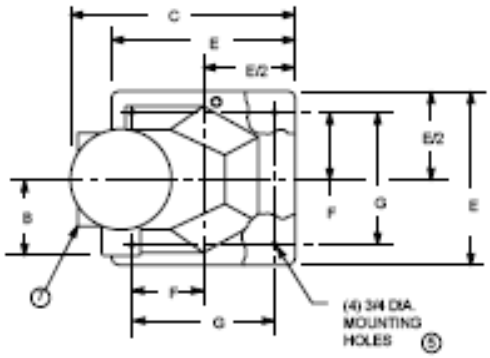
- Marca: Vogt.
- Modelo: H 605 FMS 130.
- Capacidad: 65 lt./min..
- Potencia: 1.5 Hp.
- Material: Fe fundido.
- Velocidad: 2900 r.p.m.
- Desc/Succ.: 1/4”/ 3/4”.
- Altura: 4 mt.

Anexo 9

Características del Agitador.

LIGHTNIN
SALES DATA BOOK SEC. 11C PAGE 3.10 DATE 6–25–96





UNIT SIZE	MOTOR FRAME SIZE	BASIC WGT. – LBS. ②	A	B		C	D
				TEFC	XP		
14	145TC	295	23.0	6.2	7.2	21.0	1.5
	182TC	330	24.0	7.8	8.2	22.0	1.6
	184TC	335	25.0				
15	145TC	295	23.0	6.2	7.2	21.0	1.5
	182TC	330	24.0	7.8	8.2	22.0	1.6
	184TC	335	25.0				
	213TC	390	27.0	8.8	9.5	23.0	1.9
	215TC	405	29.0				
16	184TC	540	27.0	7.8	8.2	26.0	1.6
	213TC	600	29.0	8.8	9.5	27.0	1.9
	215TC	620	31.0				
	254TC	725	34.0	11.6	11.1	28.0	2.0
	256TC	740	36.0				
17	213TC	925	31.0	8.8	9.5	27.5	1.9
	215TC	940	33.0				
	254TC	1045	36.0	11.6	11.1	28.5	2.0
	256TC	1060	38.0				
	284TC	1105	40.0	11.1	11.8	29.2	4.4

NOTES:
① ALL DIMENSIONS ARE FOR REFERENCE ONLY UNLESS CERTIFIED.
② REFER TO ORDER SPECIFICATIONS FOR:
A. UNIT SIZE, MOTOR H.P. AND FRAME SIZE
B. MOTOR ENCLOSURE & ELECTRICAL CHARACTERISTICS
C. SHAFT DIAMETER AND LENGTH
D. SIZE, TYPE & QUANTITY OF IMPELLERS
E. TOTAL MIXER WEIGHT – BASIC MIXER WEIGHT DOES NOT INCLUDE LOWER SHAFT, IMPELLERS OR OPTIONAL EQUIPMENT
③ ADDITIONAL IMPELLERS (SHOWN DOTTED) RECOMMENDED ONLY WHEN REQUIRED.
④ STABILIZING FINS ARE FURNISHED ON LOWER IMPELLER WHEN REQUIRED.
⑤ 3/4 DIA. HOLES IN MOUNTING BASE FEET FOR 5/8 DIA. BOLTS (NOT FURNISHED BY *LIGHTNIN*)
⑥ "SE" – SHAFT EXTENSION ABOVE MOUNTING SURFACE.
⑦ REFER TO GENERAL INSTRUCTIONS FOR PROPER LIFTING PROCEDURE.
⑧ COUPLING CONSTRUCTION IS OPTIONAL AT EXTRA COST.
⑨ AS STANDARD, THE UPPER SHAFT AND COUPLING ARE 316SS TO A LENGTH OF "X" INCHES FOR COUPLING CONSTRUCTION. COUPLING HARDWARE IS ALSO 316SS.

UNIT SIZE	E	F	G	H	J	K	L	SE	W	X
14	18.00	7.16	14.31	8.00	9.88	.75	5.50	8.25	18.38	26.63
15										
16	22.50	9.44	18.88	10.05	12.12	1.06	6.38	10.25	18.75	29.00
17	22.12	9.00	18.00	10.38	15.38	1.12	7.50	13.75	19.12	32.88

CERTIFIED

© *LIGHTNIN* 1996
ALL EQUIPMENT DESIGN AND APPLICATION DATA SHOWN HEREIN AND RELATED KNOWHOW IS CONFIDENTIAL AND THE PROPERTY OF THE LIGHTNIN GROUP OF COMPANIES. NO USE OR DISCLOSURE THEREOF MAY BE MADE WITHOUT OUR WRITTEN PERMISSION.

LIGHTNIN

MIXERS AND AERATORS
ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES

SERIES 10
MODEL 14, 15, 16 & 17
OPEN TANK MIXER

Certified By_____ Date _____ DRAWING NO. DS–E–866

Anexo 10

Reactor

Occidental Chemical Corporation — CORPORATE ENGINEERING

PROCESS SPECIFICATION SHEET FOR VESSELS

PROJECT OXYCHILE NO.

PAGE NO.				
ISSUE	B	C	D	
DATE	12/6	2/19	3/6	
MADE BY	FCP	FCP	FCP	
SHEET	1 OF 2			

VESSEL NAME MERCURY SULFIDE FILTERS BODY FEED TANK VESSEL NO. 505060-902

TYPE: CYLINDRICAL ✓ RECTANGULAR — NUMBER REQUIRED ONE (1)
HORIZONTAL — VERTICAL ✓
OPEN — CLOSED ✓

OPERATING CONDITIONS

	FLUID	QUANTITY	TIME (IF BATCH)	TEMP. °C.	PRESSURE PSIA	DENSITY LBS./FT.³	VISCOSITY CP	SOLIDS %
IN	BRINE	100 GPM		65	ATM	72.7	1.3	—
	PRECOAT (FLOC.)							100
OUT	BODY FEED SLURRY	160 GPH		AMB	ATM	72.7	1.3	1%
		-						

VESSEL DATA

DIAMETER:	8 FT. 0 IN.	PRESSURE CONDITIONS: ATMOSPHERIC/~~PRESSURE/VACUUM~~	
CYLINDRICAL/~~LENGTH~~/HEIGHT:	7 FT. 0 IN.	VESSEL	JACKET
LENGTH x WIDTH: FT. IN. x	FT. IN.	OPERATING PRESSURE: NORM. ATM	PS
HEIGHT:	FT. IN.	MAX. ATM	PS
HEADS:		MIN. ATM	PS
TOTAL VOLUME:	2600 GALS.	OPERATING TEMP.: NORM. AMB	
NORM. LIQUID VOL.	1900 GALS.	MAX./MIN. 65/20	
ALARM VOL.-HIGH/LOW	2100 GALS.	DESIGN PRESS.: ATM	PS
HEATING/COOLING: NONE		DESIGN TEMP.: 65	
MIXER: BY OTHERS, WT = LATER		MATERIALS: HETRON 197 OR APPROVED SUBSTITUTE	
		CORR. ALLOW.: 1/16"	
		INSULATION: NONE	

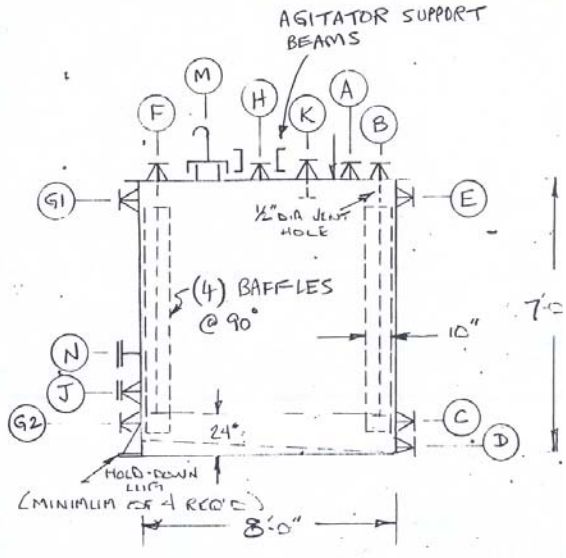
NOZZLES

MARK	SERVICE	NO.	SIZE
A	PRECOAT IN	1	10"
B	BRINE INLET W/ DIPTUBE	1	2"
C	BODY FEED OUT	1	2"
D	DRAIN	1	2"
E	OVERFLOW	1	3"
F	LEVEL W/ SLOTTED INSERT	1	4"/5"
G1,2	LEVEL GAUGE	2	2"
H	AGITATOR	1	4"
J	CLEAN OUT W/ BLIND FLANGE	1	4"
K	AIR W/ FLANGED PROJ.	1	2"
M	MANWAY W/LOOSE COVER & 3" ϕ GOOSENECK VENT	1	24"
N	MANWAY W/COVER & HANDLES	1	30"

SEAL EXPOSED GLASS FIBERS WITH RESIN AFTER CUTTING AND DRILLING DIP TUBES

VENDOR TO COMPLETE AND RETURN THE ATTACHED FRP VESSEL DESIGN SHEET

GASKETS - 1/8" EPDM, 60 DUROMETER



IDEPE DWG. # A-50-08448.Q

Occidental Chemical Corporation	PAGE NO.				
	ISSUE				
PROCESS SPECIFICATION SHEET FOR 50506-902	DATE				
	MADE BY				
PROJECT OXY CHILE NO.	SHEET 2 OF 2				

MERCURY SULFIDE FILTERS BODY FEED TANK

NOTES:

1) ALL NOZZLE FLANGES TO BE DRILLED TO MATCH ANSI CLASS 150 BOLT HOLE LAYOUT
2) NOZZLES TO HAVE A 6" PROJECTION
3) ALL NOZZLES TO BE GUSSETED WITH PLATE GUSSETS
4) PROVIDE HOLD DOWN AND LIFTING LUGS
5) HYDROTEST BY FILLING WITH WATER AND CHECKING FOR LEAKS AFTER 24 HOURS
6) DOCUMENTATION TO BE IN ACCORDANCE WITH FORM 110-102
7) VENDOR TO FURNISH DESIGN CALCULATIONS FOR PRESSURE AND VACUUM DESIGN CONDITIONS
8) EXTERIOR GEL COAT WITH UV INHIBITOR IS REQUIRED. COLOR TO BE SPECIFIED AT A LATER DATE.
9) NOZZLE SURFACES TO BE PROTECTED WITH PLYWOOD COVERS, 1/4" MINIMUM THICKNESS.
10) OCC SPECIFICATIONS 50601, 50602, 50603, AND 50630 APPLY
11) ALL STEEL EMBEDMENTS SUCH AS HOLD DOWN LUGS, LIFTING LUGS, ETC, ARE TO BE COMPLETELY ENCAPSULATED IN FRP

Occidental Chemical Corporation

FIBER GLASS REINFORCED POLYESTER VESSEL DESIGN SHEET

Engineer _____
Designer _____
Job Title OXYCHILE
Dwg. No. _____

Project No. _____
Item No. 50500-902
P. O. No. _____
Location TALCAHUANO, CHILE
Date _____

GENERAL NOTES

1. Material of Construction HETRON 197
2. Laminate Thickness (Min)
   - Shell *
   - Top *
   - Bottom *
3. Description
   - Vessel: Cyl. Vertical ✓ Horizontal ___
   - Top (Type) FLAT
   - Bottom (Type) FLAT
4. Design Data
   - Factor of Safety 10
   - Pressure ATM
   - Temperature 65 °C
   - Corrosion Allowance NONE
5. Operating Conditions
   - Pressure ATM
   - Temperature AMB.
   - Service Condition _____
6. Code NBS PS 15-69
7. Special Instructions _____
8. Contents 26000 Gallons
9. Estimated Weights: Tank *
   Liquid 1.17 Sp. Gr. 25200
   Total Weight *
10. Location: Outdoors ✓ Indoors _____
11. Nozzles:

Location	Size, I.D.	Service	Gussetted
A			
B			
C			
D			
E			
F			

Vessel Sketch

Engineer to indicate location of nozzles and supports and type of head (flat, open, dished, conical, hemispherical). Dimensions of vessel to appear on the tank sketch. Attach Eng. Form 101A for instructions on tank identification.

8.

Anexo 11

Estación de vaciado de bolsa y Filtrado (Bug Dumper)

Condiciones de operación bajo las cuales fue adquirido este equipo.

Estas especificaciones cubren los requerimientos del material, de la fabricación y del funcionamiento para la estación de descarga de bolsa, con un sistema integral de eliminación de polvo. La intención es definir las especificaciones de un sistema autocontenido.

La sustancia utilizada es Solka-Floc BW-40 en bolsas de fibra de celulosa de 50 lb. Que requiere una abertura mínima de 42 in., con una cubierta con bisagras, el material debe salir de la tolva a través de un flange de 10 in. ANSI 150. El material fluye libre y en forma seca.

El colector de polvo debe ser tipo bolsa con pulsaciones continuas de limpieza. Las bolsas deben ser de poliester y deben estar diseñadas para remover el 95 % de las partículas de polvo por sobre los 0.5 micrones. Para acceder a la mantención o reemplazo de las bolsas, este se debe hacer por una cubierta con bisagras.

La energía para el extractor, debe ser de 380 VAC de 3 fases, y 50 Hz. El motor debe estar disponible con energía monofásica en 220 VAC, 50 Hz.

Debe ser montado un panel de control en el vaciador de bolsa, que consiste en un NEMA 4X ENCLOSURE HOUSING de controles push-botton y los contadores de tiempo del estado del filtro.