

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y
ALIMENTACIÓN DE LECHADA DE CAL DE UNA PLANTA
TERMOELÉCTRICA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
MECÁNICA DE PROCESOS Y
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Pablo Alexis Flores Figueroa

Profesor Guía:

Sr. Carlos Andrés Baldi González

2012

RESUMEN

Keywords: Desulfurización de gases de combustión, Lechada de Cal y SO₂.

Las nuevas normas medioambientales que controlan las cantidades de emisiones de SO₂ a la atmósfera cada vez son más estrictas por lo que se hace fundamental contar con un sistema de abatimiento que sea capaz de cumplirlas.

Para evitar que el funcionamiento de centrales termoeléctricas pueda afectar el medio ambiente, se están instalando sistemas de desulfurización para controlar las emisiones de SO₂ y evitar así impactos ambientales.

Uno de los sistemas de abatimiento de SO₂ utilizados en la desulfurización de gases de combustión en centrales termoeléctricas es el SDA que para controlar las emisiones utiliza lechada de cal en su proceso.

Es por esto que este trabajo de título se centra en mejorar el sistema de preparación, almacenamiento y alimentación de lechada de cal en el sistema del SDA de una central termoeléctrica.

Realizada la investigación y estudio del sistema es que se puede determinar que los métodos de preparación de lechada de cal no se realizan de forma eficiente, además de vislumbrar los factores que influyen en éstos provocando que no se logre una óptima eficiencia del sistema, presentando múltiples fallas que afectan la operación del SDA.

Destacan entre las fallas más recurrentes las incrustaciones, abrasión y obstrucciones de líneas, estanques y equipos que componen el sistema del SDA.

Se realizan las sugerencias para mejorar la preparación de la lechada de cal en el proceso de apagado de la cal, aumentando la temperatura de la lechada de cal dada del apagado de ésta e instalando medidores de temperatura, utilizar el sistema de calentamiento de agua para el apagado de la cal, realizar limpiezas de líneas, estanques y cedazo como una tarea periódica para mantener de forma correcta la operación del SDA.

Se espera con esto, lograr de buena forma que el sistema SDA opere de forma correcta, segura y eficiente cumpliendo las normas de emisiones de SO₂ actuales y futuras.

ÍNDICE

RESUMEN

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. PRINCIPIOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

1.1.1. Caldera

1.1.2. Turbina

1.1.3. Sistemas auxiliares

1.2. PROCESO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DESULFURIZACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN (SDA)

1.2.1. Principios del atomizador

CAPÍTULO 2: LA CAL, APLICACIONES Y MANEJO

2.1. APLICACIONES DE LA CAL

2.2. DISPOSICIONES LEGALES

2.3. PELIGROS Y RIESGOS PARA LA SALUD

2.4. TOXICIDAD

2.5. PROTECCIÓN

2.6. HIGIENE

2.7. ALMACENAMIENTO

2.8. DERRAMES

2.9. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CAL

CAPÍTULO 3: PROBLEMÁTICA Y FACTORES INFLUYENTES

3.1. PROBLEMÁTICA

3.1.1. Operación

3.1.2. Diseño

3.1.3. Calidad de la cal viva

3.2. CALIDAD DE LAS BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE LECHADA DE CAL

3.2.1. Estanque de solución de lechada de cal

- 3.2.2. Estanque de almacenamiento de lechada de cal
- 3.3. MANTENCIÓN DE EQUIPOS
 - 3.3.1. Mantención correctiva
- 3.4. FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO
 - 3.4.1. Tipo de Caliza usada en la calcinación
 - 3.4.2. Proceso de Calcinación para fabricar CaO
 - 3.4.3. Temperatura de hidratación o apagado
 - 3.4.4. Razón o proporción Agua/ Cal
 - 3.4.5. Tiempo de hidratación
 - 3.4.6. Composición de la calidad del agua
 - 3.4.7. Temperatura del agua
- 3.5. CONDICIONES OPERACIONALES DE LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

CAPÍTULO 4: NORMAS AMBIENTALES Y EFECTOS

- 4.1. NORMATIVA AMBIENTAL CHILENA
- 4.2. EFECTOS AL MEDIO AMBIENTE Y EFECTOS EN EL SER HUMANO
 - 4.2.1. Material particulado (MP)
 - 4.2.2. Dióxido de azufre (SO₂)

CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y BENEFICIOS

- 5.1. PRUEBA OPERACIONAL SIST. CALENTAMIENTO AGUA MAKEUP DE PREPARACIÓN DE LECHADA DE CAL
- 5.2. COMPARACIÓN CONSUMO DE CAL

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA CAL VIVA
- ANEXO 2: FICHA DE SEGURIDAD DE LA CAL
- ANEXO 3: GUIA DESPACHO CAL VIVA
- ANEXO 4: PANTALLAS DCS SISTEMA SDA.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1. Proceso transformación de energía
- Figura 1-2. Esquema de una Central termoeléctrica
- Figura 1-3. Diagrama simplificado del SDA
- Figura 1-4. Diagrama simplificado de Filtros de Tela
- Figura 1-5. Diagrama simplificado del SDA
- Figura 1-6. Partícula de Lechada de cal al absorber SO_2
- Figura 3-1. Obstrucción de líneas suministro de lechada de cal
- Figura 3-2. Aglomeración de grumos en estanque almacenamiento de lechada de cal
- Figura 3-3. Obstrucción toberas rueda atomizador
- Figura 3-4. Densímetro de lechada de cal
- Figura 3-5. Obstrucción de línea suministro a densímetro de lechada de cal
- Figura 3-6. Cedazo de grano grueso con acumulación de sedimentos
- Figura 3-7. Obstrucción de circuitos por falta de flushing
- Figura 3-8. Medición de temperatura estanque de solución
- Figura 3-9. Retiro de incrustaciones desde estanque de solución de lechada de cal
- Figura 3-10. Succión de bombas de lechada de cal semiobstruidas
- Figura 3-11. Bombas de lechada de cal corroída y con filtraciones
- Figura 3-12. Nueva bomba de lechada de cal
- Figura 3-13. Calentador de agua makeup por vapor
- Figura 3-14. Medición de temperatura estanque de almacenamiento de lechada de cal sin calentamiento de agua makeup
- Figura 3-15. Medición de temperatura estanque de solución sin calentamiento de agua makeup
- Figura 5-1. Medición de temperatura estanque de solución con calentamiento de agua makeup
- Figura 5-2. Medición de temperatura estanque de almacenamiento con calentamiento de agua makeup

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

- Diagrama 3-1. Análisis de falla en sistema de preparación, alimentación y almacenamiento de lechada de cal

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Grafico 3-1. Reactividad de la cal (muestreo en laboratorio proveedor)
- Grafico 3-2. Mediciones locales de temperatura promedio semanales sin calentamiento de agua makeup
- Grafico 5-1. Mediciones locales de temperatura promedio semanales con agua makeup en 45°C
- Grafico 5-2. Grafica de Comparación temperatura agua v/s consumo de cal

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 3-1. Reactividad temperatura v/s tiempo de muestreo quincenal
- Tabla 3-2. Mediciones locales semanales
- Tabla 4-1. Límites de emisión para termoeléctricas existentes (mg/Nm³)
- Tabla 4-2. Límites de emisión para termoeléctricas nuevas (mg/Nm³)
- Tabla 4-3. Límites de emisión para metales pesados para termoeléctricas existentes y nuevas que utilicen carbón o petcoke (mg/Nm³)
- Tabla 5-1. Mediciones locales semanales
- Tabla 5-2. Mediciones locales promedio mensual sin calentamiento agua makeup
- Tabla 5-3. Mediciones locales promedio mensual con calentamiento agua makeup

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

ASTM	: American Society for Testing Material
D	: Densidad (Kg/m ³) ρ
DCS	: Sistema de Control Distribuido
D.S	: Decreto Supremo
ISO	: International Organization for Standardization (Organization Internacional de Normalización
NCh	: Norma Chilena
Ppm	: partes por millon
SDA	: Semy dry absorber Sistema desulfurizador semi seco
T	: Temperatura °C

INTRODUCCIÓN

Para evitar que el funcionamiento de centrales termoeléctricas pueda afectar el medio ambiente, en las unidades actuales éstas incorporan una serie de elementos y sistemas que previenen estos impactos.

Las emisiones al aire asociadas a la actividad de generación están intrínsecamente relacionadas con la combustión, el tipo y calidad de combustible, también según la tecnología y eficiencia de la combustión, y por ende a la buena operación y mantención de los sistemas de control de emisiones.

Es por esto que este proyecto se centra en mejorar el sistema de almacenamiento y alimentación de lechada de cal de una central termoeléctrica, ante la necesidad de dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente.

OBJETIVO GENERAL

Mejorar el sistema de almacenamiento y alimentación de lechada de cal en el sistema de desulfurización de gases de combustión de una central termoeléctrica, que permita mantener y/o mejorar las emisiones de SO₂ según las normas vigentes en el país.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir el proceso y operación del sistema de desulfurización de gases de combustión.

Determinar los factores que afectan en la preparación, almacenamiento y alimentación de lechada de cal en el sistema de desulfurización de gases de combustión.

Determinar beneficios de equipos propuestos para el sistema de desulfurización de gases de combustión.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

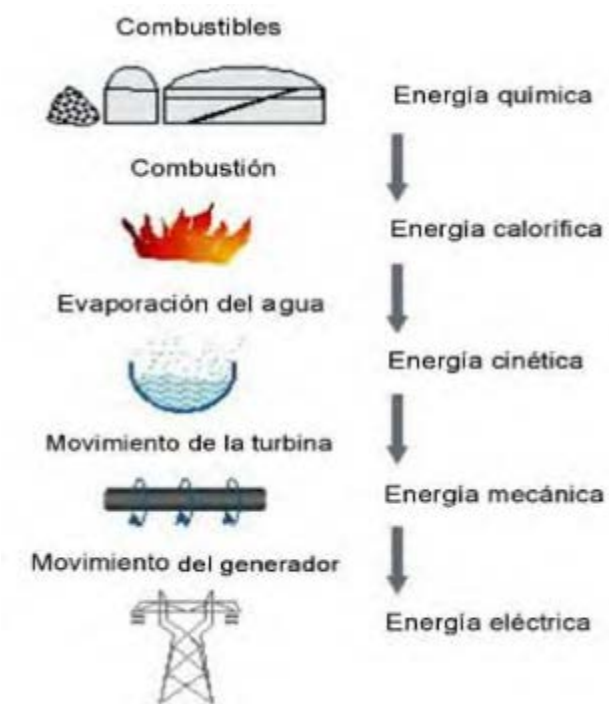
1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. PRINCIPIOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

El objeto de las centrales térmicas es aprovechar la energía calorífica de un combustible para transformarla en electricidad, es decir utiliza la energía mecánica obtenida de un ciclo termodinámico para convertirla en electricidad.

El proceso que sigue de dicha transformación es el siguiente:

- a) La energía contenida en el combustible se transforma por combustión en energía calorífica.
- b) La energía calorífica que absorbe el fluido de trabajo se convierte al expandirse en la turbina en energía mecánica
- c) La energía mecánica es transformada en energía eléctrica a través del generador eléctrico.



Fuente: Guía estudiante General Physics Corporation

Figura 1-1. Proceso transformación de energía

Los componentes principales de una central térmica son:

- Caldera
- Turbina
- Sistemas auxiliares (agua de alimentación, sistema de circulación, sistema de condensado, sistema abatimiento de emisiones, etc.)

1.1.1. Caldera

La caldera es el corazón de una central termoeléctrica, a través de este conjunto de equipos se produce vapor de agua con características de presión y temperatura específicas y controladas, de tal forma que se aproveche su energía de una manera eficiente para la generación de electricidad.

Los principales objetivos de un generador de vapor o caldera son:

- Realizar una combustión para liberar la energía en forma de calor y
- Producir vapor con determinadas características de presión y temperatura

Al realizar la combustión, el generador de vapor está diseñado para aprovechar el calor de la combustión eficientemente. En una central termoeléctrica el combustible se presenta en forma de carbón mineral.

El carbón es alimentado desde el acopio (patios) a través de correas transportadoras, que distribuyen el combustible en silos de almacenamiento, los silos de carbón ayudan a que la alimentación de carbón sea constante y controlada.

El carbón baja por medio de unos alimentadores que controlan el flujo hacia los pulverizadores de carbón, éstos trituran el carbón luego el carbón es calentado y transportado hacia los quemadores, éste transporte se realiza mediante ventiladores llamados primarios.

Los quemadores que se encuentran en las paredes de la caldera conforman una cámara de combustión que se conoce como el “hogar”. Además del aire primario requerido para la combustión es necesario aire secundario suministrado por los ventiladores de tiro forzado enviando el aire a través de ductos a los quemadores y al hogar.

La combustión libera el calor que será aprovechado por otros sistemas para calentar el agua circulante y transformarlo en vapor, para luego sobrecalentarlo.

Los gases calientes producidos por la combustión salen del hogar siendo conducidos por pasajes y ductos antes de ser tratados y liberados a la atmósfera.

Se conoce como caldera al conjunto de tubos que absorben la energía calorífica de la combustión para generar vapor, la gran cantidad de tubos alineados uno a otro

forman una pared continua que envuelve al hogar produciendo una mayor superficie de calentamiento para aprovechar al máximo el calor de la combustión

Al estar lleno los tubos de agua, la absorción de calor produce vapor (tubos evaporadores), éstos se conectan a través de colectores llamados cabezales de distribución.

El domo situado en la parte superior de la caldera es un tipo de depósito horizontal con un nivel determinado de agua que sirve para separar el vapor producido y el agua, y está conectado a los cabezales por medio de tubos elevadores.

En las centrales la circulación puede ser natural o forzada mediante bombas para un mayor control.

El vapor saturado que sale del domo es calentado de nuevo por el sobrecalentador que al estar expuesto al calor del hogar eleva la temperatura del vapor a niveles requeridos por la turbina. El vapor sobrecalentado que entra en la turbina realiza un trabajo que hace que pierda parte de su energía; el vapor que sale de la turbina de alta presión es conocido como vapor recalentado frío y es reintroducido al generador de vapor a través de otro conjunto de tubos expuestos al calor del hogar, este conjunto de tubos eleva nuevamente la temperatura del vapor requerida por las etapas restantes de la turbina

El último conjunto de tubos expuestos al calor se llama economizador y se encuentra al final de la ruta de los gases antes de ser expulsados a la atmósfera.

El economizador recibe agua de alimentación fría y la calienta a un punto muy cercano a la temperatura de ebullición antes de conducirla al domo, de esta manera el agua perdida por la generación de vapor es reemplazada por agua con características de temperatura que facilitan su evaporación y por lo tanto resultan en un menor consumo de combustible.

Los gases que salen del economizador aún contienen energía siendo conducidos por un precalentador de aire –gas, en donde ceden el calor al aire necesario para la combustión.

Al calentar el aire del exterior antes de ser utilizados para la combustión mejora las condiciones de ésta y aumenta la eficiencia del generador de vapor, los gases que salen del precalentador están ahora más fríos y pueden enviarse a la atmósfera sin que se desperdicie gran cantidades de calor.

En algunas instalaciones los gases son conducidos por un ventilador de tiro inducido hacia unos precipitadores o filtros de mangas antes de salir por la chimenea, al utilizar filtros o pantallas electroestáticas para capturar las partículas suspendidas en los gases antes de salir a la atmósfera, contribuyendo así al control de los niveles de contaminación del medio ambiente, las partículas son atrapadas por las pantallas o filtros

de manga para ser luego removidas junto con las cenizas de fondo (escoria)del generador.

1.1.2. Turbina

La turbina de vapor es una maquina que convierte la energía del vapor proveniente de la caldera en trabajo mecánico. En una central termoeléctrica éste trabajo se emplea para mover un generador que transforma el trabajo en energía eléctrica.

Para lograr que la energía del vapor se convierta en trabajo mecánico el vapor es alimentado a la maquina a través de una tobera obteniendo un chorro de vapor a gran velocidad. El chorro de vapor se dirige hacia los alabes montados sobre el rotor actuando sobre los alabes impulsándola, produciendo movimiento en la rueda el rotor es la parte móvil de la turbina, ésta posee además una carcasa que actúa como barrera de presión y minimiza la perdida de vapor al mismo tiempo que conduce el flujo de la energía de una manera eficiente, además posee sellos en los puntos donde pasa el rotor a través de la carcasa.

Al pasar por la turbina el vapor pierde potencia conforme va chocando con las diferentes hileras de alabes haciéndolas girar.

Las turbinas y sus componentes son clasificados de acuerdo a la presión de vapor que pasa por ellas dividiéndolas en turbina de alta presión, presión intermedia y de baja presión.

Cuando el vapor ingresa a la turbina es guiado directamente a través de la turbina de alta presión, el vapor que sale de esta etapa es regresado a la caldera para recalentarlo a su temperatura original (recalentado frío), el regreso del vapor de la caldera se le conoce como recalentado caliente, luego el vapor entra a la turbina de presión intermedia que está diseñada para que tenga una trayectoria con dirección opuesta a la turbina de alta presión , cuando el vapor se expande para empujar los alabes de la turbina se impone en el rotor una fuerza de empuje en la misma dirección del flujo de vapor , finalmente el vapor que pasa por la turbina de presión intermedia es conducido a la turbina de baja presión por un ducto denominado crossover utilizando la presión y temperatura restante del vapor para impulsar la turbina de baja presión fluyendo hacia el exterior en direcciones opuestas de alabes, creando fuerzas opuestas e iguales que equilibran el sistema.

El vapor de la turbina de baja presión se descarga al interior de un condensador el cual transforma el vapor nuevamente en agua.

1.1.3. Sistemas auxiliares

- a) Sistema Agua Alimentación: El propósito del Sistema del Agua de Alimentación es transportar agua de alimentación a la caldera desde el desaireador, a través de los calentadores del agua de alimentación de alta presión y del economizador, al hogar. El sistema suministra la cantidad requerida del agua de alimentación desairada al hogar para cualquier condición operativa de la planta. Mejora la eficiencia térmica de la planta pre-calentando el agua de alimentación antes de que entre en el economizador. Suministra agua para los atemperadores del recalentador y el sobrecalentador que se usan para controlar las temperaturas del vapor
- b) Sistema Condensado: El Sistema de Condensado empieza en el condensador, éste extrae el calor latente de vaporización del vapor rechazado por la turbina de baja presión. Una vez que el vapor ha pasado el proceso de condensación, se convierte en condensado. Este condensado se acumula en el pozo caliente (hotwell) del condensador. El vapor condensado se recoge para ser reutilizado en el ciclo de vapor de la caldera.
- c) Sistema de Circulación: Éste sistema suministra agua de enfriamiento a los tubos del condensador y permite la conversión de vapor en condensado, puede ser abierto o cerrado, en un sistema abierto el agua proviene de una fuente (rio, lago o mar) luego es regresada, en un sistema cerrado se utiliza la misma agua una y otra vez (torre de enfriamiento).
- d) Sistema de Combustión: Para que exista combustión es necesario 4 elementos: oxígeno (aire), combustible (carbón, gas, petróleo), calor y reacción química, además de turbulencia y tiempo (control de combustión limpia y eficiente).
Equipos principales: Pulverizadores de carbón, ventiladores (VTF, VAP, VTI), quemadores y calentadores de aire
- e) Sistema de Abatimiento de Emisiones: El propósito del Sistema de Desulfurización del Gas de Combustión (FGD, por sus siglas en ingles) es tratar el gas de combustión del escape de la caldera que quema carbón de la unidad, reduciendo las emisiones de gas ácido y de material particulado del gas de combustión

1.2. PROCESO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DESULFURIZACIÓN DE GASES DE COMBUSTIÓN (SDA)

Uno de los reactivos que se usan en la extracción de gas ácido producido en la combustión de una central térmica es la lechada de cal. Ésta se mezcla con lechada del producto de reciclamiento en el tanque de cabeza superior del atomizador antes de su introducción al atomizador. El silo de almacenamiento de cal proporciona cal para la preparación de la lechada de cal a través de un alimentador rotatorio y un vibrador en el fondo del silo que ayuda a que el flujo de cal salga del silo y se dirija al alimentador rotatorio.

El alimentador rotatorio de cal controla el consumo de cal a los tanques de solución de lechada de cal. La velocidad del alimentador es controlada por el flujo de agua hacia el tanque de solución de lechada de cal, el cual a su vez toma como base el nivel de lechada de cal en su tanque de almacenamiento. El alimentador rotatorio descarga a la compuerta automática del silo de almacenamiento de cal, que dirige la cal a uno de los tanques de solución de lechada de cal.

Solamente se mantiene en operación uno de los tanques de solución de lechada de cal a la vez. Estos tanques se usan para preparar la lechada de cal, agitando la cal con agua del sistema de agua desalada. Cada tanque de solución de lechada de cal usa un agitador para ayudar en el proceso de apagarla.

Conforme se crea la lechada de cal en el tanque de solución de lechada de cal, el tanque desbordará al cedazo de grano grueso de la lechada de cal a través de una línea de rechazo (sobreflujo). El cedazo de grano grueso extrae los granos gruesos del proceso de apagado o de la cal no hidratada antes de introducirla al tanque de almacenamiento de lechada de cal. La materia particulada grande puede tapar el atomizador y esto obstaculizaría la operación del sistema. La lechada de cal pasa a través del cedazo de grano grueso al tanque de almacenamiento de lechada de cal y la materia particulada grande es enviada a un pozo de sumidero para su desecho.

El tanque de almacenamiento de lechada de cal proporciona un volumen de lechada que se enviara al tanque superior del atomizador. Un agitador del tanque mantiene la lechada de cal uniforme y evita que se endurezca en las superficies del tanque. Existen dos bombas de alimentación de la lechada de cal que succionan del tanque de almacenamiento y la descargan al tanque superior del atomizador. Cada bomba es capaz de proporcionar todo el flujo que necesita el sistema. Un medidor de densidad corriente abajo de las bombas de alimentación de la lechada de cal, se usa para controlar la densidad de la lechada.

Corriente abajo del tanque de almacenamiento de lechada de cal hay una válvula de control de flujo que regula la cantidad de lechada de cal hacia el tanque superior del atomizador. La información del analizador de dióxido de azufre SO₂ controla la cantidad de lechada de cal que se añade al tanque superior. Conforme aumentan los niveles de SO₂ a la salida del SDA, esto indica la necesidad de más lechada de cal en lugar de ceniza de reciclamiento en el tanque superior del atomizador, ocasionando que se abra aun más la válvula de control de flujo. Para mantener el flujo a través de las bombas de alimentación de lechada de cal, una línea de recirculación dirige la lechada de regreso al tanque de almacenamiento durante un flujo bajo al tanque superior del atomizador.

El otro reactivo que se usa para la extracción de gas ácido es lechada de producto de reciclamiento. La ceniza recolectada en el filtro de tela contiene lechada de cal sin reaccionar, que se convierte en lechada de producto de reciclamiento. Esta lechada de producto de reciclamiento se combina con lechada de cal en el tanque superior (tanque de cabeza) del atomizador antes de su introducción al atomizador. La ceniza de reciclamiento se recolecta en el silo del sistema de manejo de ceniza.

El silo de ceniza de reciclamiento proporciona materia particulada de ceniza seca de los gases ya tratados, recolectada por las tolvas de los filtro de manga, para la preparación de lechada de producto de reciclamiento a través de un alimentador rotatorio. Un vibrador de tolva en el fondo del silo que ayuda a que el flujo de ceniza salga y se dirija al alimentador rotatorio.

El alimentador de ceniza de reciclamiento controla el consumo de la ceniza que va al tanque de solución de producto de reciclamiento. La velocidad del alimentador es controlada por el flujo de agua hacia el tanque de solución de producto, el cual a su vez se basa en el nivel del tanque de almacenamiento de producto de reciclamiento.

Este tanque se usa para preparar la lechada de producto de reciclamiento, mojando la ceniza de reciclamiento con agua del sistema de agua desalada. El tanque de solución de producto de reciclamiento usa un agitador para ayudar en el proceso de hidratación.

A medida que se crea la lechada de producto de reciclamiento en el tanque de solución de producto de reciclamiento, el tanque desbordará al cedazo de grano grueso de producto de reciclamiento a través de una línea de rechazo (sobreflujo). El cedazo de grano grueso extrae la materia particulada grande que haya quedado del proceso de hidratación, antes de su introducción al tanque de lechada de producto de reciclamiento.

La materia particulada grande puede obstruir el atomizador y esto obstaculizaría la operación del sistema. El producto de reciclamiento fluye a través del cedazo de grano grueso del tanque superior del atomizador. El producto de reciclamiento fluye a través

del cedazo de grano grueso hacia el tanque de lechada de producto de reciclamiento, mientras que la materia particulada grande se dirige a un pozo sumidero para su desecho.

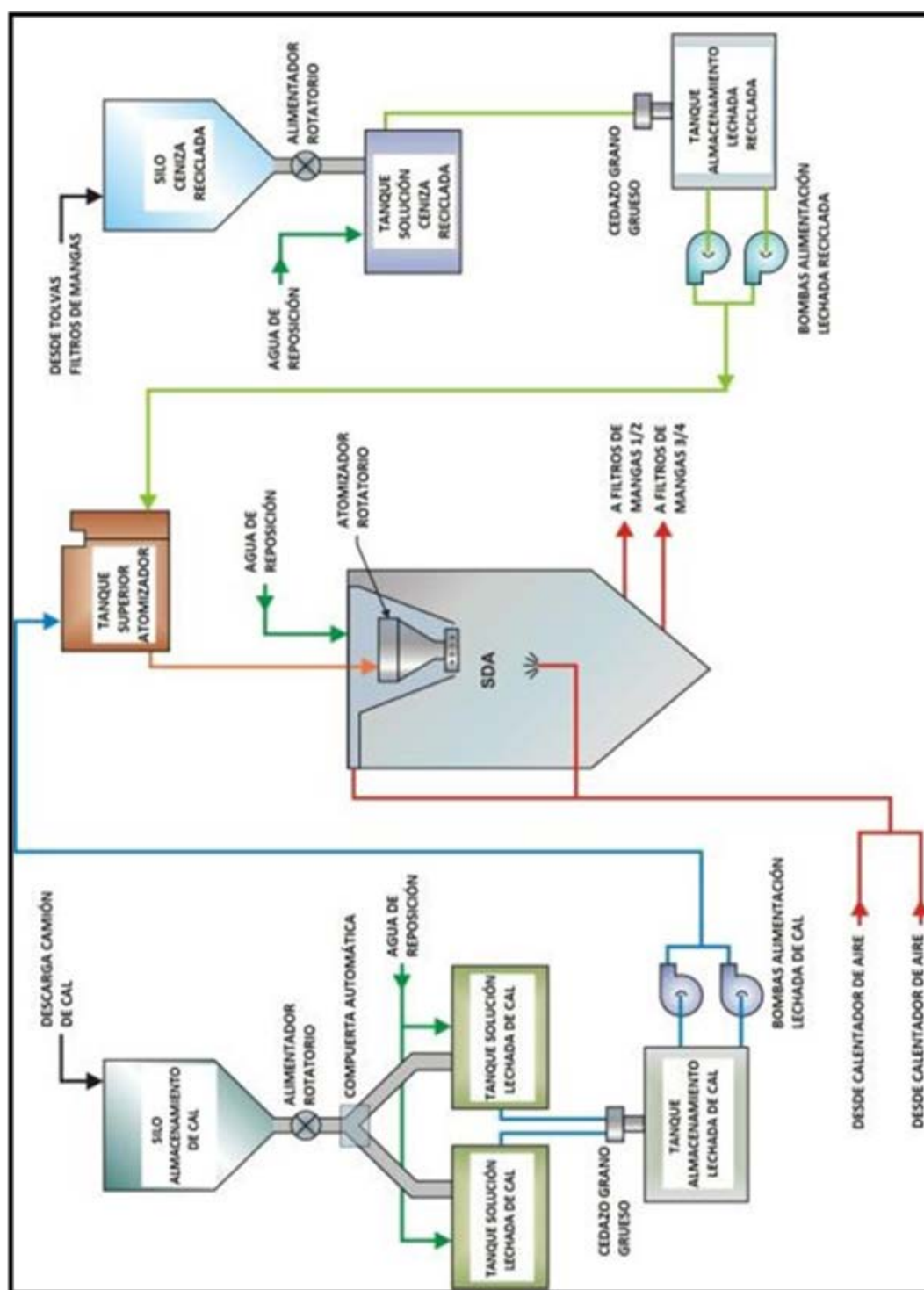
El tanque de almacenamiento de la lechada de producto reciclado proporciona un volumen de lechada de producto de reciclamiento que se enviara al tanque superior del atomizador. Un agitador del tanque ayuda a mezclar de manera uniforme la lechada de producto de reciclamiento y evita que se endurezca en las superficies del tanque. Existen dos bombas de alimentación de lechada de producto de reciclamiento, que hacen succión en el tanque de almacenamiento de lechada de producto de reciclamiento y descargan al tanque superior del atomizador. Cada bomba es capaz de proporcionar todo el flujo del sistema. Un densímetro corriente abajo de las bombas de alimentación de la lechada de producto de reciclamiento, se usa para controlar la densidad de la lechada. El producto de reciclamiento se descarga al tanque superior del atomizador. El tanque superior del atomizador proporciona un volumen de lechada de cal / de producto de reciclamiento para inyectarse en el SDA a través del atomizador. El tanque filtra la lechada en la línea de succión de la lechada del atomizador. Un agitador del tanque ayuda a mezclar de manera uniforme la lechada de cal y la lechada de producto de reciclamiento y evita que se endurezca en las superficies del tanque.

El atomizador rotatorio recibe lechada del tanque superior del atomizador y agua del sistema de agua desalada. El atomizador gira a una alta velocidad (aproximadamente 10,000 rpm), ocasionando que la lechada se rocié hacia afuera en gotas pequeñas aumentando el área superficial de la lechada, para que haya una mayor interacción con el gas de combustión que pasa hacia el recipiente del SDA.

El gas de combustión sale de la caldera a través del calentador de aire y va hacia el SDA, aproximadamente 60 % del gas de combustión se dirige a la parte superior del recipiente del SDA mediante un dispersor de gas en el techo, mientras que el resto (40 %) se dirige a través de un dispersor central de gas.

Los dispersores de gas mantienen un patrón de flujo adecuado del gas de combustión, para el mezclado eficiente de la lechada y del gas de combustión para la extracción del gas ácido. Parte de la materia particulada cae del SDA a una tolva. La tolva del SDA.

El gas de combustión que sale del recipiente del SDA pasa a través de dos conductos de descarga hacia los filtros de tela. Un diagrama del recipiente del SDA y del manejo de cal y del manejo de ceniza de reciclamiento, se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Guía estudiante General Physics Corporation

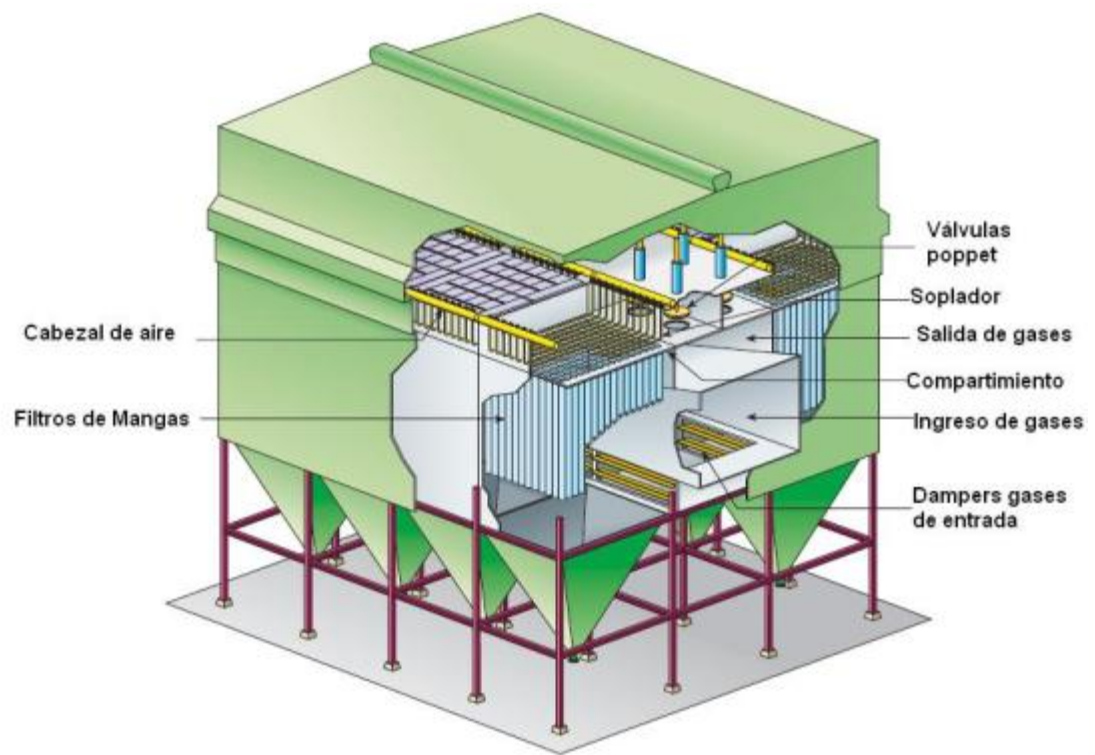
Figura 1-3. Diagrama simplificado del SDA

Los conductos de salida del SDA proporcionan gas de combustión con ceniza suspendida en el aire a los filtros de tela, cada uno de los filtros de tela esta compuesto de ocho compartimientos, para un total de 32 compartimientos. El gas de combustión pasa después hacia arriba y a través de las bolsas de los filtros de tela. Estas bolsas evitan que la ceniza en el aire y la materia particulada de la lechada sin reaccionar, pasen y formen una capa de ceniza en la superficie exterior de la bolsa. El gas de combustión

limpio sale después a través de una válvula de salida, donde se combina con el gas de combustión que sale por los otros compartimientos y se envía a la succión de los ventiladores de tiro inducido.

Las bolsas de filtros de tela se limpian usando aire comprimido a través de cabezales de pulsos de aire dentro de cada compartimiento. Durante la limpieza de la bolsa, un chorro de aire es pulsado hacia la abertura en la parte superior de la bolsa de filtros haciendo que se expanda hacia afuera y así se desprenda la capa de ceniza de la bolsa. Esta ceniza cae al fondo del compartimiento y se recolecta en la tolva del compartimiento.

La tolva del compartimiento recolecta la ceniza en el aire y la materia particulada para ser extraída por el sistema de manejo de ceniza.



Fuente: Guía estudiante General Physics Corporation

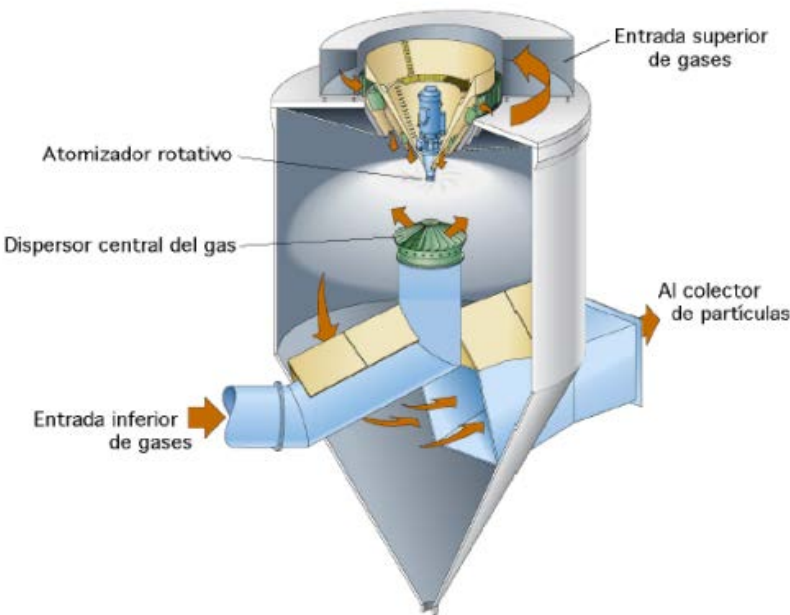
Figura 1-4. Diagrama simplificado de Filtros de Tela

En caso que la caldera este en operación quemando carbón con contenido bajo de azufre o combustible diesel, el sistema de FGD puede operarse estando solamente el filtro de tela en operación (sin que se rocié lechada de cal al SDA). Se usa rocío de agua solamente para enfriar el gas de combustión a las temperaturas de entrada requeridas en los filtros de tela.

1.2.1. Principios del atomizador

El proceso de absorción de la secadora de rocío consiste de un atomizador, de un filtro de tela corriente abajo y del sistema de preparación de la alimentación (lechada de cal y lechada reciclada) . El gas de combustión caliente sin tratar se introduce en un recipiente de absorción de la secadora de rocío a través de un dispersor de gas. El gas entra en contacto con un rocío fino de lechada / reactivo de cal, con un diámetro de gota de aproximadamente 50 micras. Los componentes ácidos del gas de combustión se absorben y neutralizan rápidamente en pequeñas gotas alcalinas. Simultáneamente, se evapora el agua en la lechada reactiva de cal. El control de la distribución de gas, del consumo de la lechada y del tamaño de las gotas asegura que las gotas estén secas antes de que entren en contacto con las paredes de la cámara del recipiente del SDA.

En el recipiente del SDA, parte del producto seco, compuesto de ceniza en el aire y de producto de reacción, cae al fondo del recipiente y se descarga al sistema de transportación. El gas de combustión tratado fluye al filtro de tela donde se extraen los sólidos suspendidos. El gas de combustión de salida, se extrae a través de un ventilador de tiro inducido hacia la chimenea.



Fuente: Guía estudiante General Physics Corporation

Figura 1-5. Diagrama simplificado del SDA

El sistema del SDA utiliza un reciclamiento parcial del producto seco, proporcionando las ventajas siguientes:

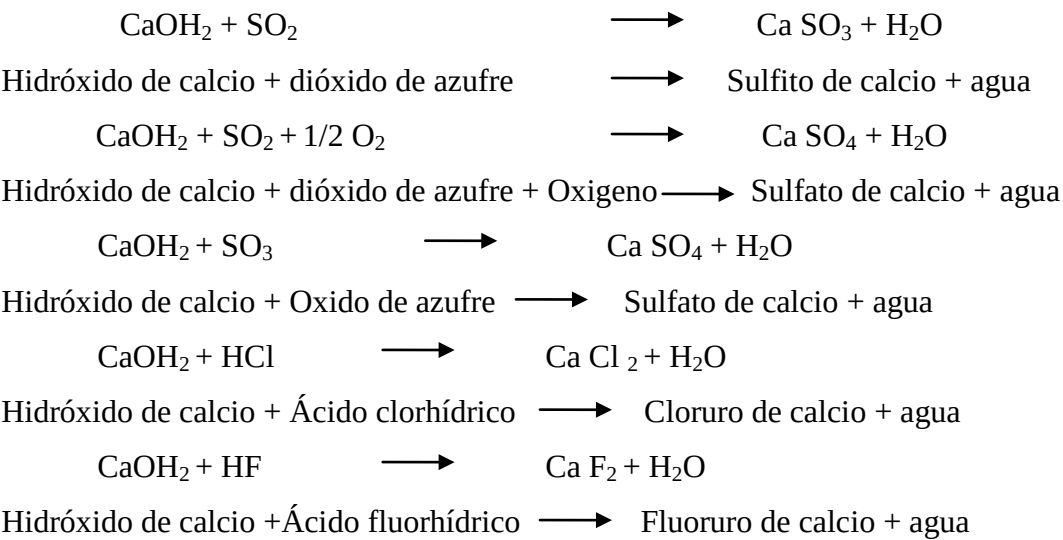
· La concentración de sólidos de la alimentación se mantiene a un nivel que proporciona la mejor atomización, absorción y secado del sistema de desulfurización del gas de combustión.

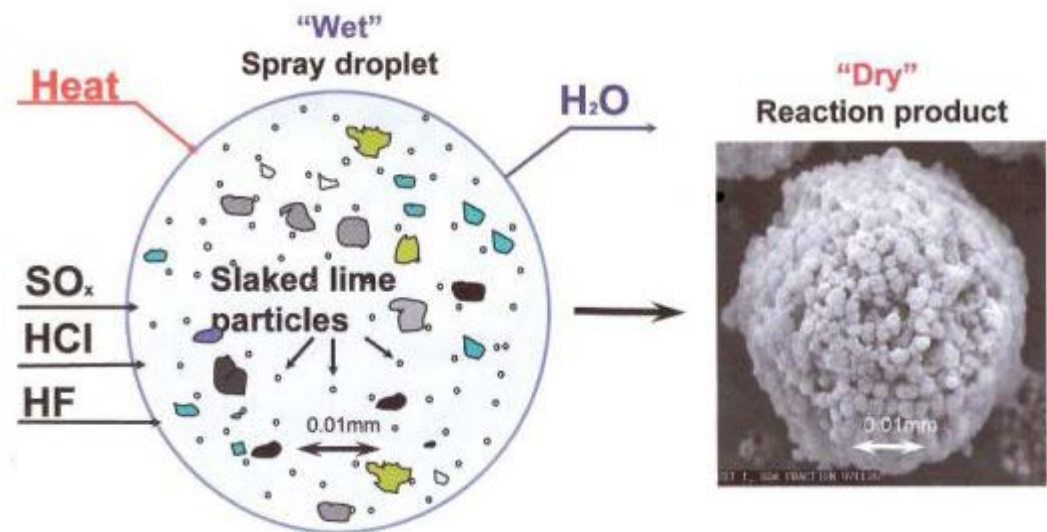
La cal excesiva en el material de reciclamiento se usa para la absorción, proporcionando ahorros gracias al uso reducido de cal.

Los productos secados forman un núcleo en cada gota de rocío, sobre la que se deposita absorbente fresco, aumentando el área superficial disponible para que interactúe con el gas de combustión no tratado.

El uso de un SDA para secado y absorción proporciona atomización de la alimentación de lechada alcalina en las gotas pequeñas y proporciona una distribución uniforme y efectiva del gas en el recipiente, dando como resultado un mezclado efectivo para extracción de gas ácido.

La mayor parte de la reacción entre los componentes del gas ácido (SO_2 , SO_3 , HCl y HF) y la lechada de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ocurre en la zona más cercana al atomizador. Las reacciones principales que ocurren son las siguientes:





Fuente: STX

Figura 1-6. Partícula de Lechada de cal al absorber SO₂

Los productos de la reacción de gas ácido y la lechada de cal, son sulfito / sulfato de calcio, cloruro de calcio y fluoruro de calcio. Casi todo el SO₂ y otros gases ácidos se absorben cuando las gotas están en la fase húmeda y una porción de la absorción ocurre mientras las partículas secas del rocío siguen estando suspendidas en el gas de combustión y la reacción ocurre corriente abajo en el filtro de tela.

CAPÍTULO 2: LA CAL, APLICACIONES Y MANEJO

2. LA CAL, APLICACIONES Y MANEJO

2.1. APLICACIONES DE LA CAL

La cal proviene de la piedra caliza o carbonato de calcio Ca CO_3 al igual que el cemento, las principales características de este material es que posee una alta alcalinidad (ph 12) y tiene propiedades aglomerantes.

La cal es uno de los productos químicos más versátiles, por lo que sus usos han sido innumerables durante la historia del hombre.

Numerosas obras arquitectónicas han sido construidas mediante el uso de la cal, como por ejemplo el coliseo Romano, la muralla China y en nuestro país el puente Cal y Canto.

El proceso de formación de la cal comienza con la calcinación de la piedra caliza, esta libera dióxido de carbono y se convierte en cal viva u óxido de calcio CaO , esta cal viva es un producto químicamente inestable que al agregarle agua en el proceso conocido como hidratación se convierte en hidróxido de calcio Ca OH_2 , comúnmente llamada cal apagada, cal aérea o cal hidratada, este proceso de hidratación o apagado es rápido y libera una gran cantidad de calor.

La cal apagada al reaccionar con el CO_2 del aire, proceso denominado recarbonatación, vuelve a formar carbonato de calcio adquiriendo las propiedades que poseía originalmente.

Aplicaciones más comunes de cal

Aglomerante:

- Ladrillos de silico-calcáreos, concretos celulares, mezclas de albañilería
- Productos de silicato de calcio, estucos, mezclas asfálticas
- Estabilización de suelos para carreteras.

Materia Prima:

- Abrasivos, almacenaje de alimentos, carbonato de calcio precipitado
- Concretos, insecticidas, blanqueadores sintéticos, colágenos
- Caucho, vidrio, cianamida de calcio, encalados agrícolas

Hidrolizador:

- Pulpa para telas, grasas lubricantes, químicos orgánico, amoníaco

Absorbente:

- Remoción de dióxido de azufre (SO₂)
- Conservación de frutas.

Solvente:

- Gelatinas, curtido de pieles, tintas a base de caseína, cartón

Neutralizador:

- Tratamiento de agua potable, tratamiento de aguas residuales, ácido cítrico
- Aguas de minas, residuos de explosivos, residuos de uranio
- Fosfatos de calcio, residuos de colorantes, residuos de cromo
- Residuos de decantación de metales, residuos radioactivos
- Acidez de suelos agrícolas, producción de camarones y peces en estanques.

Floculante:

- Fabricación de azúcar, flotación de minerales, tratamiento de agua potable
- Tratamiento de aguas residuales, pigmentos de tintas

Fundente:

- Producción de acero, manufactura de productos de acero
- Fundición de metales no ferrosos, producción de alúmina.

Lubricante:

- Perforaciones petroleras, trefilación de alambre

Caustificante:

- Soda cáustica, pulpa de soda y sulfato, lavados alcalinos

Deshidratador:

- Alcoholes, productos de petróleo, solventes orgánicos
- Humedad confinada.

2.2. DISPOSICIONES LEGALES

El Decreto Supremo N° 745 del Ministerio de Salud, sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en lugares de trabajo, publicado el 8 de junio de 1993, define una concentración de $1,6 \text{ mg/m}^3$, como el límite máximo ponderado permisible para el óxido de calcio promediado en un turno de 8 horas.

La Norma Chilena NCh 382 oficializada el 2004 establece una clasificación general de las sustancias peligrosas en Clase y División, y presenta dos listados de las sustancias peligrosas. En ambos aparece mencionado el óxido calcico (cal) clasificado de acuerdo al riesgo más significativo que presenta en el transporte terrestre en Chile, en su manipulación y almacenamiento, Clase o División 8, Grupo de embalaje / envase III y número de guía GRE 157. Sólo en el listado de sustancias ordenadas alfabéticamente indica que las disposiciones especiales corresponden al N° 106, el que en el apéndice E de la misma norma no aparece definido. En las versiones anteriores esta disposición estaba referida a que “Esta sustancia no esta clasificada como peligrosa, excepto para el caso de transporte aéreo”, lo que ahora ha sido eliminado.

Por otro lado, en la Norma Chilena NCh 2120/8, oficializada en el 2004, también está la cal en el listado de las sustancias peligrosas de la Clase 8, definida en la NCh 382 y señala que la norma se aplica al transporte terrestre en territorio nacional, almacenamiento y manipulación asociados al transporte de todas las sustancias corrosivas de la Clase 8 que aparecen en el listado, indicado anteriormente, con la finalidad de propender a la seguridad personal, la seguridad colectiva, la seguridad de la propiedad y del medio ambiente.

Según esta norma el óxido cálcico (denominación química) o la cal (denominación comercial), tiene el número de referencia de Naciones Unidas de 1910, la clase de riesgo y la división dentro de la clase es la N° 8, “Sustancias corrosivas”. Para

el grupo de embalaje/envasado de la sustancia, en función de su grado de peligrosidad, la clasifica en el grupo III: “Sustancia y preparados poco peligrosos” que corresponde a dos tipos de observación:

- a) Sustancias que causan la destrucción de un tejido cutáneo intacto en todo su espesor antes que transcurra un período de observación menor o igual a 14 días contados tras un período de exposición mayor de 1 hora pero menor o igual a 4 horas.
- b) Sustancias respecto de las cuales se consideran que no causan la destrucción de un tejido cutáneo intacto en todo su espesor, pero que al ser aplicadas sobre superficies de acero o de aluminio, a una temperatura de ensayo de 55 °C, causan una corrosión de más de 6,25 mm por año. Para los ensayos con acero, el metal utilizado debe ser del tipo P 325 (ver ISO 9328-2) o de un tipo análogo, y para los ensayos con aluminio de los tipos no revestidos 7075-T6 o AZ5GU-T6. Se indica un ensayo aceptable en ASTM G31-72 (prorrogada en 1990)
Por lo tanto, la cal es sustancia peligrosa para el transporte terrestre, y debe cumplir con las exigencias de la normativa nacional.

2.3. PELIGROS Y RIESGOS PARA LA SALUD

Los peligros para la salud se refieren a que puede afectar al organismo por las vías de inhalación, del contacto con la piel o los ojos y por la ingestión.

Los riesgos a la exposición de corto plazo son de:

- Irritación a los ojos, nariz, garganta y piel, debido a la alcalinidad de la cal. Sin embargo, la deshidratación y los efectos térmicos pueden ser factores constituyentes de quemaduras intensas, bronquitis y neumonía.

Los riesgos a la exposición de largo plazo o repetitivas veces son de:

- Dermatitis
- Úlceras
- Perforaciones al tabique nasal.

2.4. TOXICIDAD

La cal es atóxica y no existen antecedentes que indiquen lo contrario, no obstante es necesario usar equipos de protección adecuados y proveer de ventilación donde sea necesario.

Por lo tanto, en el manejo de la cal, especialmente cuando se trata de cal viva, hay que evitar el contacto con zonas húmedas del cuerpo, sobre todo las articulaciones, cuello, ojos, vías respiratorias y otras, ya que al tomar ésta contacto con la humedad, se produce la hidratación y el calor liberado debido a esta reacción, produce quemaduras químicas de distintos grados, dependiendo del tiempo de exposición de la zona afectada y de la cantidad y tipo de cal involucrada.

2.5. PROTECCIÓN

En lugares donde exista alta concentración de polvo, como las zonas de carga y descarga, alimentadores abiertos, polvo en el ambiente y zona de manipulación, se debe usar:

- Cremas protectora aplicada al cuello, puños, tobillos, cintura y manos. Esta crema debe lavarse fácilmente, como la gelatina de aceite mineral.
- Respirador adecuado.
- Protección visual. Mono visor de una pieza de cierre hermético.
- Capucha con suministro de aire en lugares de trabajo fijo.
- Pantalón que descienda hasta cubrir la bota.
- Camisa manga larga de exudación abotonada en cuerpo y cuello.
- Guantes.

En general la ropa de seguridad que se utiliza no debe ser ceñida al cuello, puños, cintura y tobillo, ya que el roce resultante con la cal puede causar irritaciones en la piel.

2.6. HIGIENE

Las recomendaciones de higiene en la utilización de la cal en faena son:

- No usar lentes de contacto.
- No fumar ni comer.
- Lavarse las manos para manipular alimento y/o usar instalaciones sanitarias.
- Tomar una ducha al término de la jornada usando un jabón suave.
- Lavar la ropa si se encuentra saturada de polvo (recomendable usar ropa limpia para cada turno).
- Mantener llaves de agua cerca del lugar donde se manipule la cal y al sentir una ligera picazón, lavarse con abundante agua corriente.

2.7. ALMACENAMIENTO

La cal no es combustible cuando se mezcla con agua, no obstante, desprende un calor considerable cuando entra en contacto con ella, o con ácidos u otras sustancias químicas que contengan agua de cristalización.

El calor resultante de la hidratación puede ser suficiente como para encender materiales combustibles cercanos.

En el almacenamiento, debido a que la cal es un material altamente higroscópico, es conveniente mantener un stock pequeño y en zonas libres de humedad, en lo posible en envases impermeables y ojalá sobre madera a una distancia de al menos 10 cm del suelo, para evitar contacto con la humedad del piso.

2.8. DERRAMES

En casos de peligro de derrame de cal, se debe restringir el acceso de personas que no usen lo equipos y la ropa de protección adecuada hasta completar la limpieza.

En los sectores de derrames se debe:

- Ventilar la zona
- Recoger el material derramado

- Depositarlo en tambores herméticamente cerrados, para recuperarlo o vaciarlos en un relleno de tierra sanitario adecuado.

2.9. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CAL

En el Anexo N° 1, se muestra una hoja de composición y características de cal viva.

CAPÍTULO 3: PROBLEMÁTICA Y FACTORES INFLUYENTES

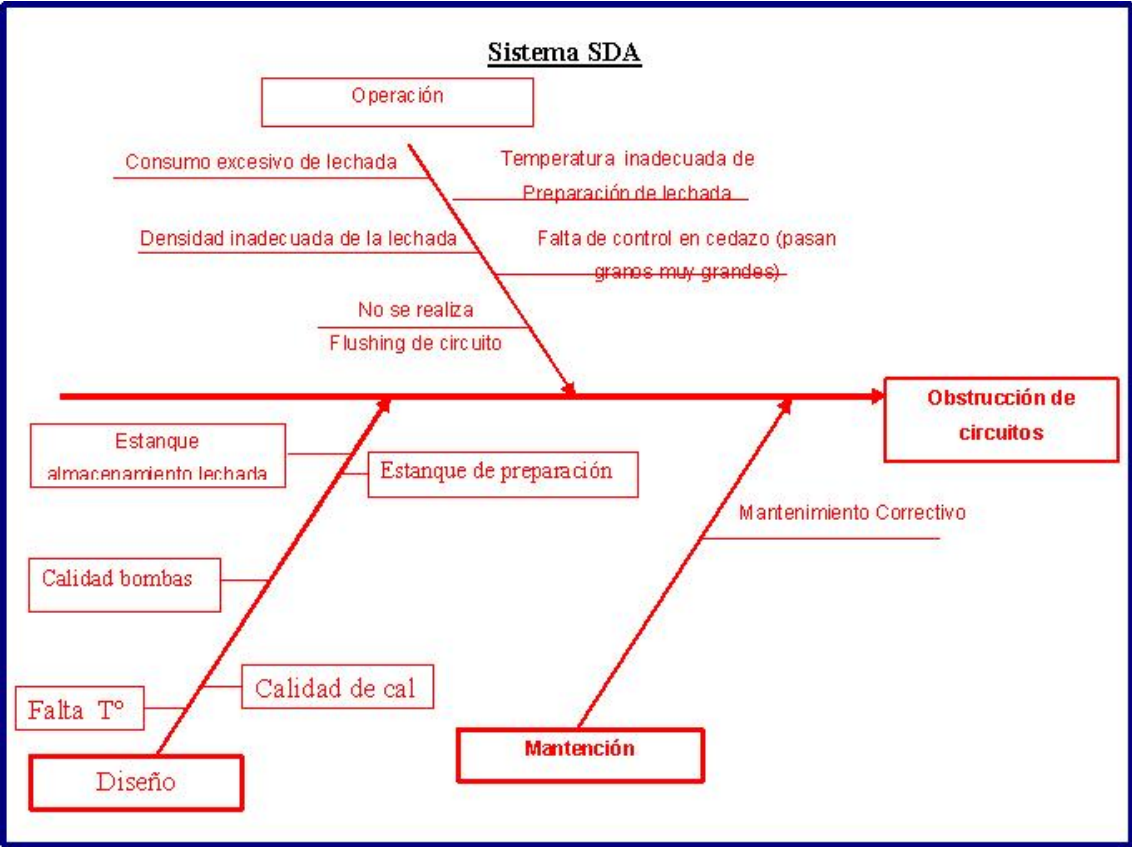
3. PROBLEMÁTICA Y FACTORES INFLUYENTES

3.1. PROBLEMÁTICA

El SDA posee un sistema de almacenamiento y alimentación de lechada de cal, el cual ha evidenciado problemas principalmente en las bombas de lechada de cal, en el estanque de almacenamiento de lechada de cal y en el transporte de la lechada hacia el atomizador.

La lechada de cal es altamente abrasiva lo cual ha provocado desgaste excesivo de los componentes de las bombas de suministro de lechada de cal, éstos han generado filtraciones por el cuerpo de las bombas, produciendo indisponibilidad de ellas (existen 2 bombas en operación una bomba en servicio y la otra de modo standby), lo cual implica y condiciona la generación normal de la unidad.

A su vez también se han suscitado problemas en el estanque de almacenamiento de lechada de cal, detectando aumento progresivo de incrustaciones en las paredes (costra de producto endurecida), disminuyendo su diámetro interno y por ende su capacidad, ésta acumulación provoca puntos calientes el cual provoca mayor atracción de producto facilitando su acumulación, obstruyendo además la succión de las bombas de suministro de lechada de cal, esto también repercute aguas abajo generando obstrucciones de líneas de transporte de lechada de cal y del atomizador mismo.



Fuente: Elaboración propia

Diagrama 3-1. Análisis de falla en sistema de preparación, alimentación y almacenamiento de lechada de cal

3.1.1. Operación

Consumo excesivo de lechada de cal.

En la operación actual el proceso demanda un alto consumo de lechada de cal para la absorción de SO_2 , esto ocurre debido a que se maneja una preparación dando prioridad a la densidad de la lechada de cal la que se desea mantener en un valor constante y el manejo se realiza según la relación de agua/cal más ajustes realizador por el operador, sin tener en consideración la temperatura con la cual se está preparando la lechada de cal o con la temperatura que se alimenta hacia el proceso de absorción de SO_2 .

Debido a esto es que hay consumo excesivo de cal viva para el proceso de preparación y por ende en la etapa de reacción de la cal, pudiendo lograrse con menores cantidades de cal viva una reacción adecuada.

Temperatura inadecuada de preparación de lechada de cal.

En la preparación de la lechada de cal a pesar de que el sistema trabaja en la relación de agua/cal, es decir, la cantidad de cal que entra al estanque de solución es directamente proporcional al flujo de agua y el parámetro que indica el flujo de agua que debe ingresar al estanque de solución está dado por el nivel del estanque de almacenamiento y en ningún caso es la densidad ni mucho menos la temperatura la que regula la cantidad de agua que debe ingresar al estanque de solución.

La densidad es monitoreada a través de un densímetro instalado aguas abajo y no cuenta con un loop para la preparación de la lechada de cal, es sólo un valor para el operador el cual debe realizar ajustes sobre la velocidad del alimentador rotatorio de cal con el fin de lograr y mantener un valor de densidad constante ($1120\text{-}1140 \text{ kg/m}^3$).

La temperatura es monitoreada ocasionalmente con un termómetro digital láser en el estanque de solución y no se cuenta con termómetros instalados en los puntos críticos del sistema como es el estanque de solución, almacenamiento y superior (cabeza). Por lo tanto se desestima completamente la temperatura de la lechada de cal para lograr una reacción y una preparación adecuada.

Por lo tanto se producen puntos calientes y/o fríos en el interior del estanque de solución formando así grumos de mayor tamaño los cuales a su vez provocan las obstrucciones de las líneas de alimentación y en ocasiones obstrucción de la rueda del atomizador.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1. Obstrucción de líneas suministro de lechada de cal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2. Aglomeración de grumos en estanque almacenamiento de lechada de cal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3. Obstrucción toberas rueda atomizador

Densidad inadecuada de la lechada de cal.

Se ha mantenido la densidad de la lechada de cal en valores más bajos de los recomendados para una optima operación del sistema, debido a que con valores elevados de densidad se produjeron obstrucciones de las líneas de rebalse desde el estanque de solución hacia el estanque de almacenamiento, por reducciones del diámetro interno y aglomeración de grumos.

En ocasiones el densímetro de lechada de cal se ha obstruido quedando sin indicación del valor en línea operando de manera “ciega” se realizan mediciones de forma esporádicas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-4. Densímetro de lechada de cal



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5. Obstrucción de línea suministro a densímetro de lechada de cal

Falta de control en cedazo grano grueso de lechada de cal.

El cedazo de grano grueso de lechada de cal, es del tipo harnero vibratorio y cuenta con una malla que controla el tamaño de grumos en la lechada de cal, pero en ocasiones la acumulación de grumos en el interior del cedazo que no se ha eliminado por la línea de rechazo de granos grueso por obstrucción y sumado a esto el difícil acceso para realizar una limpieza de la malla y/o línea de rechazo a provocado derrames de lechada en el cedazo de grano grueso. Con el afán de lograr limpiar o retirar la acumulación de grumos en el interior de la malla se han ocasionado daños y roturas de éste, dejando el paso libre de grumos desde el estanque de solución hacia el estanque de almacenamiento y por ende hacia las bombas de alimentación de lechada de cal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6. Cedazo de grano grueso con acumulación de sedimentos

No se realiza flushing del circuito.

Por desconocimiento o descuido no se realizaban limpiezas periódicas de las líneas por donde circula lechada de cal, debido a esto se formaron incrustaciones en el interior de las líneas reduciéndose el diámetro interno de estas y que en ocasiones se obstruyeron por aglomeración de grumos. En la actualidad se realiza flushing del circuito de forma periódica para prevenir aglomeraciones en las tuberías, el flushing consiste en inyectar agua a presión por los circuitos con probabilidades de obstrucción, esta agua es posteriormente drenada del circuito.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7. Obstrucción de circuitos por falta de flushing

3.1.2. Diseño

Falta temperatura.

La temperatura de la lechada de cal a causa de la reacción en el interior del estanque de solución de lechada de cal no alcanza los valores recomendados para la óptima operación (valores mencionados más adelante 3.4.3).

A pesar de que el sistema cuenta con un calentador tipo tubos que opera con vapor para calentar el agua de alimentación que se utiliza en la preparación de la lechada de cal, con el cual se podría obtener las temperaturas óptimas, este no se utiliza debido al desconocimiento operacional de éste y tener la certeza de cómo lograr de forma correcta y segura la temperatura adecuada.

Se recomienda realizar pruebas de preparación de lechada de cal con el calentador de agua en servicio bajo monitoreo continuo por personal tanto de los parámetros del sistema como de la operación de éste.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-8. Medición de temperatura estanque de solución

3.1.3. Calidad de la cal viva

La calidad de la cal viva es importante para lograr una densidad y temperatura adecuada de la lechada de cal, la empresa proveedora realiza muestreos en laboratorio de la reacción de la cal y estos informes son entregados, pero no puede realizarse una contraparte de estos debido a que no se cuenta con el equipo en el laboratorio de la empresa, se realiza la proposición de realizar la compra de este equipo y que personal de la empresa pueda realizar muestreos y comparar con valores entregados por el proveedor.

3.2. CALIDAD DE LAS BOMBAS DE ALIMENTACIÓN DE LECHADA DE CAL

Las bombas de alimentación de lechada de cal fueron provistas por el vendedor del servicio, las que han presentado numerosas fallas tales como filtraciones, desgaste y fallas en los sellos. Principalmente se considera que dichas fallas se deben a la calidad de la lechada de cal que provoca una abrasión y desgaste de las partes internas de las bombas. Se considero la compra de bombas de lechada de cal de origen diferente a las provistas por el vendedor pero con similares características para trabajar con este tipo de fluidos.

3.2.1. Estanque de solución de lechada de cal

El estanque de solución de lechada de cal con una capacidad de 9m^3 , es en su interior donde se produce la reacción del apagado de la cal por consiguiente la lechada de cal.

El proceso de apagado genera la reacción, como se ha mencionado antes la preparación no es la más adecuada generándose en el interior del estanque incrustaciones que se adhieren a las paredes, deflectores y aspas del agitador provocando menor eficiencia en la preparación y generando puntos calientes además de grumos que son los causantes en gran medida de las obstrucciones y taponamientos de las líneas.

Además de las recomendaciones mencionadas en puntos anteriores se sugiere realizar una inspección interna del estanque de solución trimestral para determinar condiciones de éste y si fuese necesaria una limpieza.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-9. Retiro de incrustaciones desde estanque de solución de lechada de cal

3.2.2. Estanque de almacenamiento de lechada de cal

El estanque de almacenamiento de lechada de cal con una capacidad de 100m^3 mantiene un stock necesario para la alimentación de la lechada de cal hacia el estanque superior (cabeza) a través de las bombas de alimentación tomadas desde la parte inferior de dicho estanque.

Como ocurre en el estanque de solución aquí también se producen incrustaciones en las paredes, deflectores y aspas del agitador generando grumos aún de mayor tamaño y decantando en el fondo del estanque ya que también se pierde eficiencia en mantener la lechada en movimiento por las incrustaciones en aspas del agitador y deflectores.

En este punto en especial sería una buena opción subir las tomas de succión de las bombas de alimentación de lechada de cal, logrando de esta manera que no succionen los grumos del fondo mejorando la operación de las bombas de alimentación las cuales tendrían menos fallas y las líneas no se obstruirían.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10. Succión de bombas de lechada de cal semiobstruidas

3.3. MANTENCIÓN DE EQUIPOS

3.3.1. Mantenimiento correctiva

La mantención preventiva de los equipos no ha sido de manera constante debido a la alta demanda de tener en servicio el sistema, acompañado de las reiteradas fallas de las bombas de alimentación de lechada de cal trabajando entonces con mantención del tipo correctiva.

Para asegurar una reposición rápida es que se cuenta ahora con bombas listas para ser repuestas en las bodegas de mantención así que si falla una bomba puede ser reemplazada dando un tiempo para realizar una reparación o mantención si fuese el caso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-11. Bombas de lechada de cal corroída y con filtraciones



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-12. Nueva bomba de lechada de cal

3.4. **FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO**

El proceso de Apagado de Cal Viva es un proceso crítico, proceso el cual no generalmente es lo suficientemente conocido por la gente que opera los equipos. El método y control usado para el apagado afecta grandemente la eficiencia del proceso. Además de la calidad de la cal viva, la temperatura y el tiempo en que se realiza el apagado afecta la calidad de la lechada de cal producida.

Factores más relevantes

- Tipo de caliza usada en la calcinación
- Proceso de calcinación usado para fabricar CaO
- Temperatura de hidratación o apagado
- Razón o proporción agua cal
- Grado de agitación durante la hidratación
- Tiempo de hidratación
- Composición del agua utilizada
- Temperatura del agua
- Aplicación de apagado o hidratación aérea

3.4.1. Tipo de Caliza usada en la calcinación

El carbonato de calcio utilizado generalmente no es puro. Contiene otros elementos, tales como: magnesio, aluminio; hierro; silicio y otras especies que afectan la calidad del apagado.

Los fabricantes de cal no tienen mayor control sobre las impurezas que se esparcen en una vena de caliza, pero sí tienen un control sobre el valor mínimo de carbonato a utilizar en el proceso de fabricación de cal. Tampoco tienen injerencia sobre la geometría de la partícula ni sobre la distribución granulométrica que se puede obtener en la trituración; si tienen control del tamaño máximo y mínimo de la caliza para introducirla al horno y aunque en el proceso se generen cambios de los tamaños de las partículas por abrasión en su transporte, por lo menos pueden definir un rango que permita que la mayor parte del producto sea superior al promedio esperado.

3.4.2. Proceso de Calcinación para fabricar CaO

La temperatura y el tiempo de residencia durante calcinación tienen mucha influencia en la calidad del apagado producido. El problema más común asociado con el proceso de calcinación es la cal cruda o la cal requemada, una de las cuales prevalece según sean las condiciones de operación aplicadas.

Cuando la cal es requemada, se forma una capa exterior en la partícula de cal que puede llegar a ser impenetrable, dificultando así la penetración del agua, para dar inicio al proceso de apagado y obtener la lechada. Para el apagado de una cal requemada, la capa exterior de la partícula debe desaparecer y exponer los poros para la penetración del agua.

Esto se hace con agitación vigorosa, o molienda, que desgasta esta capa exterior de la partícula de cal viva. Este tipo de cal generalmente requiere más tiempo de retención en el hidratador.

En la práctica utilizar cal requemada, significa trabajar con una carga circulante mayor en el molino apagador, para minimizar el transporte de cal viva, aguas abajo.

Esto es más notorio cuando en el apagador se utiliza un separador de arena o sedimentador gravitacional. En tal caso las partículas de la cal requemada que no se apagan flotarán en la cámara de la separación de las arenas, debido al aire interior atrapado en los poros de la partícula de cal viva. Las partículas que flotan pueden causar obstáculo en las tuberías, en los pulverizadores, en los atomizadores y otros, a no ser que la lechada se utilice envejecida. Por otro lado, si las arenas son separadas de la lechada se produce una disminución importante de alcalinidad, debido a la pérdida de valor

alcalinizante de la cal, a causa del pH que otorgan estas partículas, sobre 12,6, aumentando considerablemente el consumo de cal.

3.4.3. Temperatura de hidratación o apagado

La temperatura de apagado puede en ocasiones ser un factor controlante porque a algunas cales les afecta en el tamaño de partícula y por ende la superficie específica de las partículas del hidrato. Según algunos autores, la temperatura más cercana de hidratación, para lograr un polvo fino y seco de hidrato, es de 99°C donde se obtienen las partículas más finas y la superficie específica mayor. Sin embargo, no siempre se encuentra una correlación estrecha entre temperatura, tamaño de partícula y superficie específica.

Hay situaciones que si el apagado o hidratado es a temperaturas altas, alrededor o cerca del punto de ebullición del agua, manchas calientes pueden desarrollarse dentro de la pulpa, generando la ocurrencia de partículas de hidrato cristalizado y aglomerado, con partículas más grandes y compactas con reducida o pequeña superficie específica. Este problema es muy probable que ocurra en apagadores para pasta, donde operan a temperaturas más altas y en las áreas donde el mezclado no es vigoroso.

Es probable que en condiciones ideales o de laboratorio sea factible preparar lechadas de cal a la temperatura de 99°C, lo que no es repetible en algunas faenas, en particular en aquellas a gran altura geográfica, donde la presión atmosférica es menor que la normal y el agua disminuye su punto de ebullición, por lo que la generación de vapor por un lado puede afectar en la operación del molino y por otro, generar un aprovechamiento ineficiente del recurso hídrico, al aumentar la pérdida de éste.

Para producir lechada a partir de cal, en concentraciones que fluctúan entre 10% a 20% de sólidos, en la práctica se debe operar a la menor temperatura posible para conseguir las partículas de menor tamaño. Sin embargo, hay otros tipos de cal, cuya temperatura óptima de hidratación está entre 71°C a 85 °C

Aunque desde un punto de vista teórico, una temperatura alrededor de 100 °C es deseable en el apagado de la cal, desde un punto de vista práctico es difícil obtenerla sin problemas, tanto para la seguridad, como por un apagado alterado por la aglomeración, porque la cal a mayor temperatura es menos soluble.

El calor liberado debido a la reacción exotérmica, es diferente para distintas calidades de cal. Una cal quemada blanda de alta reactividad, genera un calor de 273 kilocalorías por kilogramo de cal viva. Una cal de baja reactividad produce aproximadamente un calor de 212 kilocalorías por kilogramo de cal viva.

En algunos casos para lograr la temperatura final de apagado recomendada, se debe agregar calor auxiliar, el que proviene de una fuente externa, como agua caliente o una fuente interior, que podría ser incrementando la dosis de cal alimentada, asumiendo el riesgo que una mayor concentración de cal podría generar aglomeración de ésta, lo que obviamente significa aumentar el consumo de energía y el costo de preparación de la lechada de cal.

Entonces la temperatura óptima para la preparación de la lechada, varía de faena a faena y depende del equipo, de las condiciones de operación y principalmente del tipo de cal viva que se utilice para preparar la lechada.

3.4.4. Razón o proporción Agua/ Cal

La razón o proporción agua/cal, afecta al tiempo de hidratación influyendo en la temperatura del apagado. Una temperatura más alta disminuye tanto el tiempo de hidratación, como la solubilidad de la cal. Controlar una proporción constante de agua/cal en el proceso de apagado tampoco garantiza una temperatura constante. La temperatura varía debido a la variación de la temperatura ambiental, la calidad del agua, y la reactividad de la cal, por lo tanto se requieren frecuentes ajustes del operador. Como se mencionó antes, la mejor manera de mantener una proporción correcta de agua/cal es controlando la temperatura de hidratación.

Un exceso de agua utilizada en la hidratación dará por resultado partículas más pequeñas, asumiendo que la temperatura de hidratación fuese la misma. Intentar mantener la temperatura de una lechada de cal 10 veces menos concentrada, significa mantener en el sistema de preparación de lechada el agua en ebullición, o bien contar con un sistema de apagado de cal con la cantidad teórica mínima de agua, con un sistema de absorción de energía o enfriamiento brusco del mismo. Ambas situaciones, dificulta o afecta a la sedimentación.

3.4.4.1. Grado de agitación durante la hidratación

La agitación es una variable que tiene mucha incidencia en la preparación de lechada, ya que evita que ocurra una heterogeneidad de la temperatura en el sistema, esto no indica ni refleja la temperatura ideal de hidratación, ya que ésta es definida según el tipo de cal utilizada. Cuando la agitación se baja y es deficiente, se obtiene por resultado temperatura desuniforme al interior del molino de apagado, produciendo como resultado puntos calientes y fríos. Las zonas o puntos calientes son el resultado de temperaturas de apagado por sobre los 100°C. Hidrataciones a estas temperaturas dan por resultado

cristales hexagonales 2 veces más grandes y con área superficial reducida, aglomerando las partículas.

Adicionalmente en las zonas frías las partículas de cal viva se ahogan o quedan no hidratadas o no apagadas. Deficiente agitación de la cal en el agua con la que se prepara la lechada produce una aglomeración de los silicatos y aluminatos cálcicos que se enlazan con el hidróxido de calcio, generando una nueva partícula esférica de cal hidratada que envuelve y encapsula los silicatos-aluminatos. Al comenzar la formación de estas partículas son blandas al tacto, pasado un período de tiempo fraguan y endurecen. En algunas plantas compactas estas esferas son eliminadas junto a la grancilla de la cal, produciéndose pérdida de cal, disminución de alcalinidad y por consecuencia mayores consumos de cal.

3.4.5. Tiempo de hidratación

Se denomina el tiempo de hidratación al tiempo requerido para completar el apagado. Este tiempo varía según el tipo de cal. Una cal altamente reactiva completa su hidratación en 2 a 3 minutos. La hidratación de cales medianamente reactivas se completa en 5 a 10 minutos. En cales de baja reactividad, cales duramente quemadas, y cales magnesianas, la hidratación se obtiene en 15 a 30 minutos. Esto significa que mientras haya un tiempo de residencia en los estanques de lechada de cal mayor a 30 minutos, independiente de la cal utilizada en cuanto a la reactividad en agua, toda la cal se encontrará apagada y por ende, aguas abajo, una vez que se diluya con la mayor cantidad de agua que tiene el proceso donde es utilizada, será solubilizada si la concentración en la dosificación de cal no sobrepasa 1,4 kg de cal/m³ de agua.

3.4.6. Composición de la calidad del agua

La caracterización química del agua es un factor muy importante en el proceso de apagado. La presencia de ciertos compuestos químicos en el agua de hidratación, aceleran o impiden el proceso de hidratación. Generalmente el agua con altos sólidos disueltos generalmente causa excesiva espuma, que da por resultado problemas operacionales. Aguas que contienen por sobre 500 ppm de sulfatos o sulfitos son indeseables para el apagado.

Esto es más perjudicial en apagadores para pasta y apagadores para lechada de cal. En los apagadores tipo molino de bola, debido a su habilidad para moler las partículas de cal y arena, no afecta tanto la presencia de sulfatos o sulfitos en el agua de hidratación. Los sulfatos o sulfitos cubren la superficie de la cal granulada,

obstaculizando que el agua penetre por los poros y por consiguiente, la hidratación se retarda fuertemente la hidratación. Un apagado bajo estas condiciones obliga a desgastar continuamente las partículas de cal, para exponer nuevas superficies al agua de hidratación, que es lo que se realiza en los molinos de bolas y de torre utilizados para la preparación de lechada. No se debe dejar de lado que la alta concentración de sulfato o sulfito en el agua, genera la formación de cristales de sulfato o sulfito de calcio que pueden inducir la formación de incrustaciones en las áreas sensibles del sistema de lechada de cal, sobre todo si no se toman las precauciones necesarias en cuanto a la velocidad de transporte hidráulico de ésta, y la limpieza con agua sin cal de todo el sistema una vez que éste finalice la operación y sea paralizado. Generalmente la presencia de sulfatos en aguas ácidas de mina o de rocas, produce un lodo de sulfato de calcio con tamaños muy finos de partículas que presentan dificultades -aguas abajo- en el proceso de sedimentación o filtración, para la separación de las fases sólido/líquido. Esta característica se debe principalmente porque en los procesos continuos se adiciona la lechada de cal en forma acelerada, provocando una alta nucleación y muy bajo crecimiento cristalino. Una solución que ha sido efectiva es la utilizada en los procesos HDS, High Density Sludge, alta densidad de lodos, que consiste en aumentar la concentración de sulfato de calcio, donde se produce la reacción o mezcla de cal o lechada con este tipo de agua, enviando desde los decantadores parte del lodo al estanque de mezcla. Algunos elementos químicos actúan como catalizadores para el proceso de apagado, éstos son los cloruros y los azúcares. El contexto anterior para preparar la pulpa, suspensión, o lechada de cal, se puede utilizar efectivamente agua de mar. Sin embargo, el material de construcción del apagador debe considerar la corrosión causada por los cloruros.

3.4.7. Temperatura del agua

Más que la temperatura del agua en la preparación de la pulpa, suspensión o lechada, la velocidad con la cual se agrega el agua en la cal, tiene fuerte influencia en el proceso de hidratación, porque afecta la superficie específica de las partículas hidratadas o apagadas. La temperatura del agua entrante y la razón agua / cal afectan inversamente el tiempo de hidratación.

El agua fría de hidratación no debe contactarse con la cal seca antes de ingresar en el apagador. El agua y la cal deben entrar al apagador en forma separada, de manera que disponga de tiempo para desarrollar la reacción de hidratación y la expansión natural al cambiar de óxido a hidróxido. Como consecuencia de esta reacción, hay un aumento en la temperatura por sobre los 65,5°C, lo que hay que

controlar para evitar que ésta aumente indiscriminadamente generando una condición insegura de operación. Si el agua fría y la cal entran en contacto bruscamente, se produce la condición llamada “ahogamiento” no dejando que la cal se hidrate. Como resultado habrá partículas de hidrato formadas bajo condiciones de “ahogamiento” las que serán más gruesas y reaccionarán más tardías y lentamente con el agua. Sin embargo, en las plantas de lechada de cal, donde se requiere una suspensión de partículas hidratadas, dado el gran volumen de agua y los equipos molturadores utilizados, este fenómeno en la práctica no ocurre, a causa del rompimiento mecánico de las partículas, que va exponiendo nuevas y más pequeñas partículas al agua, por lo que la reacción de hidratación va ocurriendo correctamente.

3.5. CONDICIONES OPERACIONALES DE LA PLANTA TERMOELÉCTRICA

La temperatura del agua es factor preponderante, ya que afecta la calidad de la lechada de cal por el efecto de aumento de temperatura que genera su reacción, es así que el proveedor de cal entrega datos de reactividad realizados con el producto entregado en laboratorio, estos datos arrojan la siguiente reactividad en tiempo v/s temperatura.

Tabla 3-1. Reactividad temperatura v/s tiempo de muestreo quincenal

REACTIVIDAD														
Muestreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Tiempo (min)	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	muestreo	Muestreo
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0,0	25,1	24,8	24,0	23,7	23,0	23,4	21,2	18,3	22,3	20,4	20,7	20,5	21,4	20,5
0,5	32,2	35,9	33,4	30,8	37,6	32,5	31,3	29,5	32,6	32,8	29,7	30,7	32,7	31,3
1,0	33,7	38,9	36,8	35,2	40,2	35,2	34,5	32,6	36,0	34,9	33,2	34,1	36,1	34,4
1,5	35,2	41,5	39,6	39,2	44,3	37,5	36,7	34,7	38,5	44,3	35,1	36,4	38,7	36,7
2,0	37,0	45,1	43,3	46,3	49,9	39,7	39,5	37,1	41,4	48,6	36,7	39,1	41,5	39,0
2,5	39,2	50,4	49,0	53,4	56,5	42,7	43,0	39,9	45,4	55,7	38,7	42,4	45,2	41,9
3,0	41,9	55,7	54,8	58,3	59,1	48,4	47,8	44,0	51,3	58,3	40,8	46,5	49,4	45,7
3,5	45,3	59,6	58,7	61,6	61,5	52,5	52,6	48,7	55,4	59,1	43,9	50,9	53,4	49,9
4,0	49,4	63,9	61,2	63,4	63,2	56,6	56,1	51,0	58,8	61,9	46,9	54,6	56,4	52,9
4,5	53,8	65,2	62,9	64,7	64,3	59,6	58,7	54,9	61,0	63,9	49,9	57,2	59,2	56,3
5,0	57,1	66,8	64,2	65,7	65,2	61,7	60,5	56,6	64,8	65,1	52,5	59,1	60,5	58,3
6,0	61,2	67,8	65,7	66,9	66,4	64,4	62,7	59,0	66,1	66,2	55,9	61,6	62,7	60,8
7,0	63,3	68,4	66,6	67,7	67,2	65,9	64,3	60,3	66,9	66,7	58,0	63,0	64,1	62,4
8,0	64,5	68,8	67,2	68,2	67,7	67,0	65,2	61,3	67,5	67,1	59,4	63,9	65,1	63,4
9,0	65,1	69,1	67,6	68,5	68,1	67,7	65,9	61,9	67,9	67,5	60,4	64,6	65,7	64,1
10,0	65,6	69,3	67,8	68,7	68,2	68,2	66,2	62,4	68,1	67,5	61,1	65,1	66,2	64,6

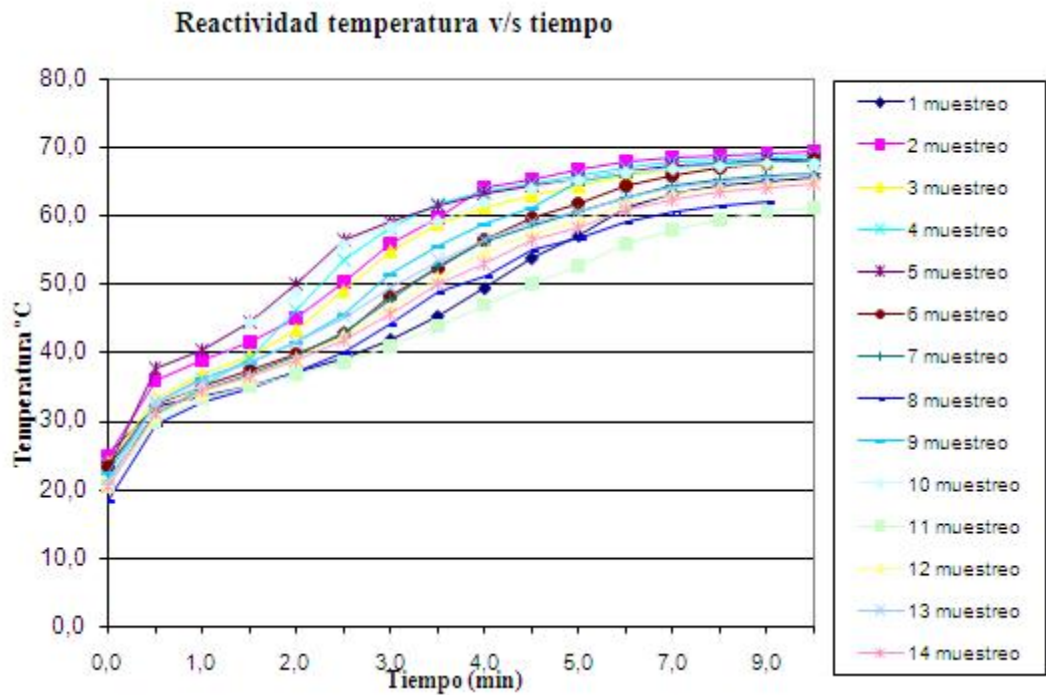


Grafico 3-1. Reactividad de la cal (muestreo en laboratorio proveedor)

Los muestreos son realizados quincenalmente por la empresa proveedora de cal, según estos datos la reacción a los 10 minutos de preparación de la muestra de lechada de cal la temperatura máxima alcanzada en laboratorio es de aprox. 68°C.

La literatura hace alcance en que ésta temperatura debiera bordear los 100°C, pero en la práctica por razones de seguridad se recomienda temperaturas cercanas a los 80°C.

Es así que se realizan mediciones en terreno para comparar los datos entregados por el proveedor (T° de reacción).

Las mediciones se realizan en el estanque de solución de lechada de cal que se encuentra en preparación, en el estanque de almacenamiento de lechada de cal, y de las temperaturas de agua makeup, lechada de cal y lechada reciclada (medición en pantalla de densímetros).

Tabla 3-2. Mediciones locales semanales

Muestreo	1	2	3	4	5	Promedio
T° Make-up °C	19	19	20	18	18,5	18,9
T° Lechada de cal °C	58	54	49	39	40	48
T° Reciclada °C	26,6	26,8	27,3	23	22,5	25,24
T° TK solución °C	55	52	49	50	51,5	51,5
T° TK almacenamiento °C	47	45	44	44	42	44,4

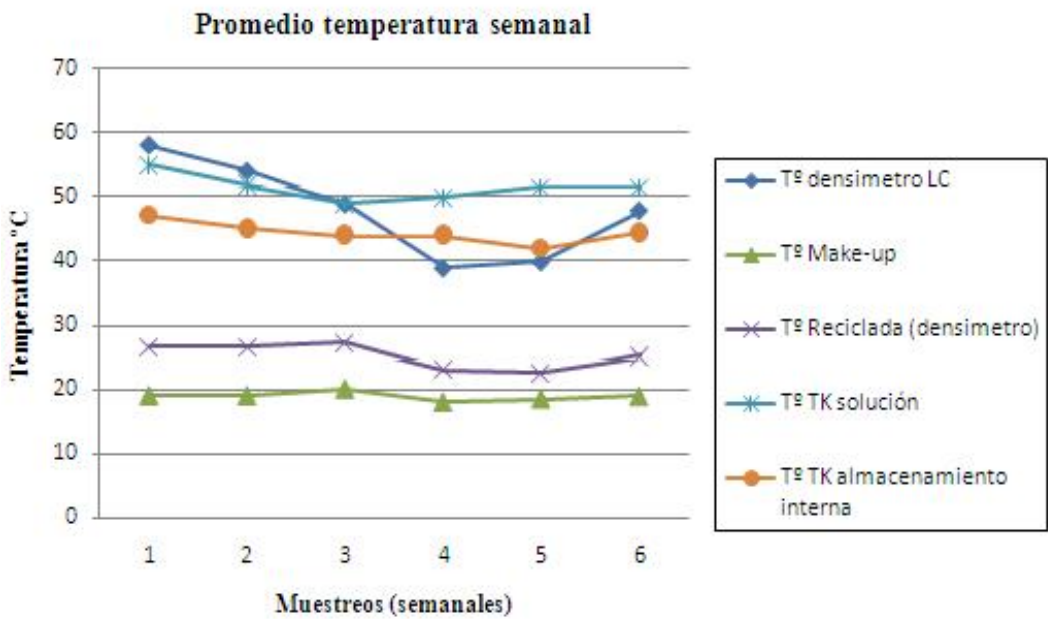


Grafico 3-2. Mediciones locales de temperatura promedio semanales sin calentamiento de agua makeup

Según las mediciones realizadas se observa que la temperatura de la lechada en el estanque de solución de lechada de cal alcanza un promedio de aprox. 52°C, a su vez el promedio de temperatura en el estanque de almacenamiento es de 46°C.

Por consiguiente se advierte que la temperatura de lechada de cal no alcanza los valores recomendados, esto conlleva a que para realizar la preparación de la lechada de cal se deba suministrar mayor de cantidad de cal para mantener la densidad del producto.

Cabe mencionar que el sistema SDA posee un calentador de agua makeup o agua de suministro para la preparación de lechada de cal mediante vapor, el cual en la actualidad no se utiliza, esto por desconocimiento operacional del sistema.

Es por esto que se recomienda aumentar la temperatura del agua suministrada se podrá a su vez alcanzar una temperatura de operación entre 71°C y 85°C, con esto se acelerará el apagado y se reduce el tamaño medio de la partícula de cal hidratada.

En capítulo 5 se detallará prueba realizada al sistema de calentamiento de agua suministrada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-13. Calentador de agua makeup por vapor



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-14. Medición de temperatura estanque de almacenamiento de lechada de cal sin calentamiento de agua makeup



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-15. Medición de temperatura estanque de solución sin calentamiento de agua makeup

CAPÍTULO 4: NORMAS AMBIENTALES Y EFECTOS

4. NORMAS AMBIENTALES Y EFECTOS

4.1. NORMATIVA AMBIENTAL CHILENA

Las centrales térmicas en base a combustibles fósiles constituyen megafuentes de emisión de material particulado, dióxido de azufre, y óxidos de nitrógeno. Por ello, su instalación y operación en cualquier zona del territorio impacta de manera importante en la calidad de aire. Por lo anterior, resulta relevante dictar una norma de emisión para estas fuentes, con el objetivo de dar una señal clara a los inversionistas con respecto a las restricciones a las que se deben someter y, por tanto, al tipo de tecnología de abatimiento de emisiones que deben utilizar. Esto, permitirá por un lado, cautelar de mejor forma la salud de las personas, y, por otro, agilizar los procesos de evaluación ambiental.

De acuerdo a la Ley 19300, el estado tiene por función dictar normas de emisión que establezcan la cantidad máxima permitida para uno o más contaminantes medidos en el efluente de la fuente emisora, de manera de prevenir que éstos puedan significar o representar un riesgo para la salud de las personas, la calidad de vida de la población, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.

El proceso de combustión de las termoeléctricas genera emisiones de partículas, gases y metales pesados, estos últimos principalmente por el uso de carbón y petcoke. Dadas las características del parque actual y sus proyecciones, es necesario actuar de manera preventiva y correctiva, regulando tanto a las termoeléctricas existentes como a las futuras.

Los esfuerzos de prevención y control de esta norma de emisión se concentran en la reducción de emisiones de material particulado, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y en la reducción de metales pesados tales como mercurio, níquel y vanadio, los cuales se encuentran como elementos traza en los combustibles fósiles, principalmente en el carbón y el petcoke.

La política energética señala en sus nuevos lineamientos “transformando la crisis energética en Oportunidad” velando porque las opciones de generación energética seleccionadas minimicen los impactos sobre el medio ambiente y sobre el territorio.

Actualmente existen tecnologías disponibles de control de emisiones de las termoeléctricas existentes y nuevas, de acuerdo a los niveles y plazos que se indican a continuación:

Tabla 4-1. Límites de emisión para termoeléctricas existentes (mg/Nm³)

Combustible	Material Particulado (MP)	Dióxido de azufre (SO ₂)	Óxidos de Nitrógeno (NO _x)
Sólido	50	200	400
Líquido	30	30	200
Gas Natural	n.a	n.a	50
Otros gases	n.a	100	50

Considerando:
N: Condiciones normales a 25°C y 1 Atmósfera
Corrección de O₂ en base seca de un 6% para combustibles sólidos, 3% para líquidos y gaseosos.
n.a: no aplica

Tabla 4-2. Límites de emisión para termoeléctricas nuevas (mg/Nm³)

Combustible	Material Particulado (MP)	Dióxido de azufre (SO ₂)	Óxidos de Nitrógeno (NO _x)
Sólido	30	200	200
Líquido	30	10	120
Gas Natural	n.a	n.a	50
Otros gases	n.a	100	50

Tabla 4-3. Límites de emisión para metales pesados para termoeléctricas existentes y nuevas que utilicen carbón o petcoke (mg/Nm³)

Combustible	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Vanadio (V)
Carbón y/o petcoke	0,1	0,5	1,0

Los valores límites de emisión de la tabla N°1 y N°2, se evaluarán sobre la base de promedios horarios y se deberá cumplir durante el 95% de las horas de funcionamiento de las etapas de encendido, apagado o probables fallas.

Los valores límites de emisión de la tabla N°3 se evaluarán una vez al año y se considerarán sobrepasados cuando el resultado de la medición de cualquier metal pesado, indique una concentración mayor al valor establecido en la tabla.

Los plazos para el cumplimiento de la norma dependen si la central termoeléctrica es considerada nueva o existente.

Llámesse termoeléctrica nueva aquella que según el reglamento de la ley eléctrica D.S N° 327/97 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción sea puesta en servicio a contar del 1° de Enero del año 2012, se considerará nueva también aquella que a contar de dicha fecha realice modificaciones tales como cambio de combustible, la incorporación de otra unidad destinada a la generación eléctrica o que su modificación amerite el ingreso al sistema de evaluación de impacto ambiental.

Se considera termoeléctrica existente aquella que se encuentra puesta en servicio antes del 1° de Enero del año 2012 de acuerdo al reglamento D.S N° 327/97 del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción.

Por último se debe tener en cuenta además un sistema de monitoreo continuo de emisiones constituido por el instrumental, el equipamiento y software, destinado a medir en forma ininterrumpida las emisiones de partículas, gases y parámetros del proceso asociado a los gases de combustión.

Las termoeléctricas existentes deberán cumplir con los valores límites de emisión de la tabla N°1 y N°3 en un plazo de 3 años, contado desde el inicio del año calendario siguiente a la fecha de entrada en vigencia del decreto que establezca la norma de emisión y con los valores de la tabla N°2 al año 2020.

Las termoeléctricas nuevas deberán cumplir con los valores límites de emisión de la tabla N°2 y N°3 desde la entrada en vigencia del decreto que establezca la norma de emisión.

4.2. EFFECTOS AL MEDIO AMBIENTE Y EFFECTOS EN EL SER HUMANO

4.2.1. Material particulado (MP)

Las partículas contenidas en los gases efluentes, son una mezcla de material sólido y líquido conformado por distintos compuestos tales como nitratos, sulfatos, metales, polvo, entre otros.

En la combustión de combustibles fósiles se genera un flujo de gases que arrastra cenizas (contenidas en el combustible), carbono, hidrocarburo, no quemados y

vapores condensables que conforman el material particulado. El contenido de cenizas en el carbón de las unidades que operan en el país, varía entre 2 y 15% dependiendo del tipo de carbón (subituminoso y bituminoso).

El material particulado respirable corresponde a las partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro es igual o inferior a 10 μm , o 10 micrómetros (PM10) . Las partículas que son menores a 2,5 μm (PM2.5) son las más peligrosas, ya que por su tamaño penetran en el sistema respiratorio y se depositan en los alvéolos pulmonares. Mientras menor el tamaño de las partículas, causan mayor daño a la salud, y por otro lado, debido a que son más livianas, facilita que sean transportadas por el viento a grandes distancias, permaneciendo por más tiempo y contribuyendo a la contaminación en lugares lejanos a las fuentes. Dentro de los efectos que produce este contaminante a la salud destacan:

- Aumento en la frecuencia de cáncer pulmonar
- Muertes prematuras
- Otros síntomas respiratorios severos
- Agravación del asma y de enfermedades cardiovasculares

El material particulado también genera efectos adversos sobre los recursos naturales principalmente por su interferencia con la fotosíntesis, al depositarse sobre las hojas.

Además el material particulado reduce la visibilidad, debido a la dispersión de partículas genera como también el aumento de riesgo de accidentes por poca visibilidad.

4.2.2. Dióxido de azufre (SO_2)

Los óxidos de azufre son el resultado de la combustión del azufre contenido en los combustibles fósiles, como el carbón. El dióxido de azufre es un gas incoloro, no inflamable y de olor sofocante. Durante su proceso de oxidación en la atmósfera, este gas forma sulfatos, es decir, sales que en presencia de humedad también forman ácidos y que también pueden ser transportadas por el material particulado respirable. Tanto los óxidos de azufre como los ácidos derivados del SO_2 causan muchos daños a la salud, ya que ingresan directamente al sistema circulatorio humano a través de las vías respiratorias.

Los principales daños que éste contaminante causa a la salud son:

- Opacamiento de la córnea (queratitis)

- Dificultad para respirar
- Irritación ocular por formación de ácido sulfuroso e inflamación de las vías respiratorias
- Edema pulmonar
- Alteraciones psíquicas
- Problemas de asma y bronquitis crónica.

El SO₂ es higroscópico, es decir cuando está en la atmósfera reacciona con la humedad y forma aerosoles de ácido sulfúrico y sulfuroso que luego forman parte de la lluvia ácida.

El daño a la vegetación genera pérdidas económicas en los cultivos comerciales, daño estético a árboles, cultivos y otros, también reducciones de productividad, riqueza y diversidad de las especies en ecosistemas naturales.

El SO₂ también afecta a la calidad de los materiales y metales expuesto, pinturas, materiales de construcción papel, cuero y textiles.

CAPÍTULO 5: PRUEBAS Y BENEFICIOS

5. **PRUEBAS Y BENEFICIOS**

5.1. **PRUEBA OPERACIONAL SIST. CALENTAMIENTO AGUA MAKEUP DE PREPARACIÓN DE LECHADA DE CAL**

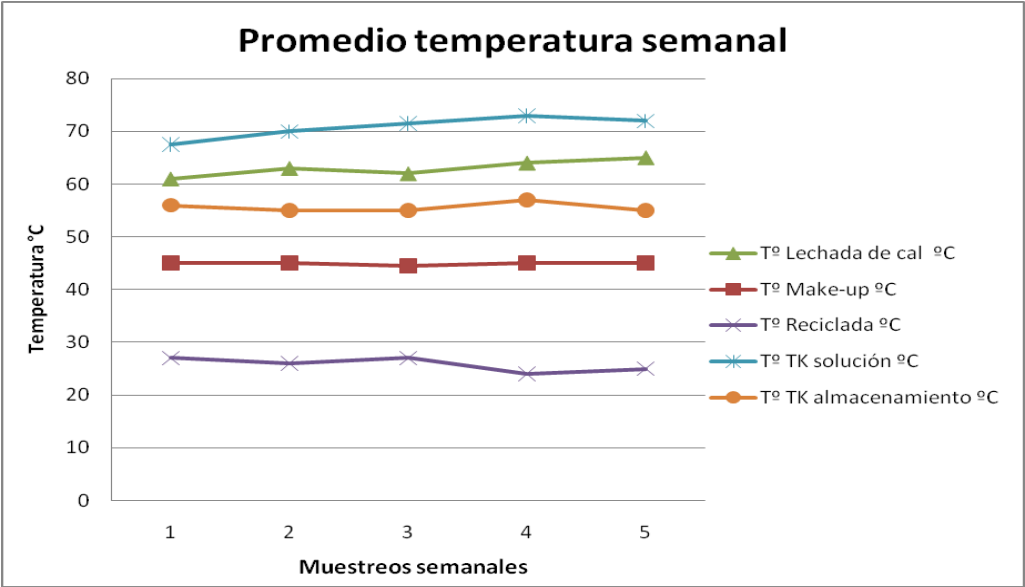
Como se dijo anteriormente, para aumentar la temperatura de agua suministrada para la preparación de lechada de cal, se realiza prueba con calentador de agua makeup o de suministro, mediante la inyección de vapor auxiliar proveniente de la caldera con presión aprox. a 5 [Bar] y 170°C.

Se realizan muestreos semanales de medición local de temperatura que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5-1. Mediciones locales semanales

Muestreo	1	2	3	4	5	Promedio
T° Make-up °C	45	45	44,5	45	45	45
T° Lechada de cal °C	61	63	62	64	65	63
T° Reciclada °C	27	26	27	24	25	25,8
T° TK solución °C	67,5	70	71,5	73	72	71
T° TK almacenamiento °C	56	55	55	57	55	55,6

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Grafico 5-1. Mediciones locales de temperatura promedio semanales con agua makeup en 45°C



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-1. Medición de temperatura estanque de solución con calentamiento de agua makeup



Fuente: Elaboración propia

Figura 5-2. Medición de temperatura estanque de almacenamiento con calentamiento de agua makeup

Como se logra apreciar en tabla 5-1 y en las figuras 5-1 y 5-2, después del calentamiento del agua makeup mediante vapor auxiliar las temperaturas se elevan hasta alcanzar temperatura de 45 °C repercutiendo en la temperatura de preparación de lechada de cal como en la temperatura que alcanza ésta en el estanque de almacenamiento de lechada de cal, esto se ve reflejado en una aceleración del apagado de la cal, disminuyendo el consumo de ésta y reducción de la partícula hidratada.

5.2. COMPARACIÓN CONSUMO DE CAL

Para realizar un análisis de beneficio de la prueba anteriormente realizada, se compara el consumo de cal sin el calentamiento de agua makeup v/s con calentamiento de agua makeup.

Para la siguiente comparación se toma como muestra 2 meses en los cuales la generación de la unidad fuese similar.

Tabla 5-2. Mediciones locales promedio mensual sin calentamiento agua makeup

T° AGUA °C	SO2 entrada mg/Nm3	SO2 salida mg/Nm3	Azufre Carbón %	Consumo Cal Ton /día	Generación MW
20	1327	420	0,57	42,87	267

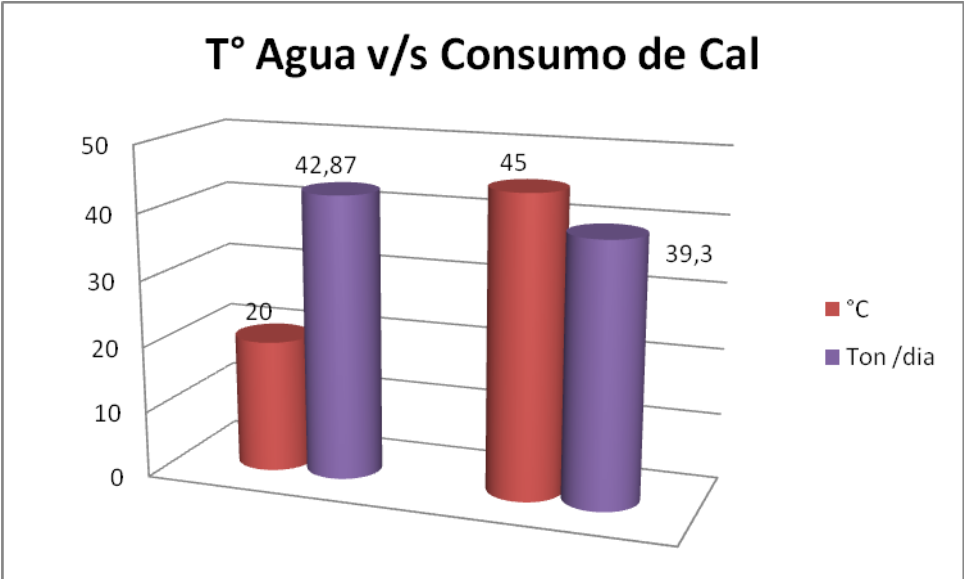
Fuente: Elaboración propia 1

Tabla 5-3. Mediciones locales promedio mensual con calentamiento agua makeup

T° AGUA °C	SO2 entrada mg/Nm3	SO2 salida mg/Nm3	Azufre Carbón %	Consumo Cal Ton /día	Generación MW
45	1370	400	0,63	39,3	269

Fuente: Elaboración propia 2

Nota: 1 y 2 ver pantallas DCS en Anexo 4



Fuente: Elaboración propia

Grafico 5-2. Grafica de Comparación temperatura agua v/s consumo de cal

Se debe mencionar que las emisiones de SO₂ en la salida fueron menores según muestra tabla 5-3 y con un carbón con mayor porcentaje de azufre, se logra un ahorro de 3,57 ton/día.

También se puede asociar que a menor % azufre del carbón como muestra tabla 5-2 y manteniendo las emisiones a la salida 400 mg/Nm³, si se quema carbón de ésta característica (bajo % azufre) el consumo de cal debería ser inferior, aumentando el ahorro.

Considerando costo por tonelada de cal \$98.762 (ver anexo N°3) y diferencia en consumo de cal de 3,57 (Ton /día).

Ahorro Consumo de cal = 3,57 (Ton /día) x 30 (días) x \$98.762

Ahorro Consumo de cal mensual = \$10.577.410

CONCLUSIONES

Se debe reconocer que la protección al medioambiente es una parte integrante del desempeño del negocio energético.

Se debe considerar el uso de tecnologías limpias y criterios de protección ambiental desde la etapa de diseño en todo nuevo negocio o proyecto conforme a las leyes ambientales.

En la actualidad las normas medio ambientales establecen valores de emisiones de SO₂ y material particulado a la atmósfera provenientes de procesos industriales en este caso de las emanadas de una central termoeléctrica, para poder cumplir con estas normas es que existen diferentes tipos de sistemas de abatimiento de SO₂ y de material particulado siendo uno de los más utilizados los sistemas de desulfurización que operan con lechada de cal y filtros de tela.

Un sistema del tipo semiseco y filtros de tela es con el que cuenta la central termoeléctrica. El sistema de desulfurización opera con lechada de cal la cual ha presentado numerosos inconvenientes siendo el más común la obstrucción de las líneas y generación de grumos a causa del proceso de apagado de la cal, el que además ha afectado a los equipos siendo las bombas instaladas en el sistema las más perjudicadas.

Es por esto que se realizó una evaluación del sistema logrando determinar como una de las causas que el proceso de apagado de la cal no se realiza de la forma más adecuada pasando por alto la temperatura de la lechada de cal y la densidad las cuales si se encontrasen en sus valores óptimos se evitarían las incrustaciones en los equipos y los grumos que provocan las fallas en el sistema y las bombas.

Se realizan las siguientes sugerencias para la mejora en el proceso del SDA:

- Al Poner en servicio el calentador de agua de alimentación para el proceso de apagado de la cal, se logra una mayor absorción de SO₂ necesitando para esto una menor cantidad de cal viva, produciendo un ahorro significativo en costo insumo.
- Instalación de indicadores de temperatura en puntos críticos del sistema como son los estanques de solución, almacenamiento y superior (cabeza) de lechada de cal, con el fin de llevar un control continuo de la temperatura en el proceso de apagado de la cal.

- Mantener una densidad constante y que el densímetro de lechada de cal se encuentre en condiciones de operación, para evitar formación de incrustaciones y grumos.
- Mantener una limpieza del cedazo de grano grueso, su malla en buen estado y que no se encuentre saturada de sedimentaciones, para lograr retener los grumos de mayor tamaño antes de que ingresen al estanque de almacenamiento de lechada de cal.
- Realizar lavado de las líneas de forma periódica, evitando las obstrucciones y reducción de los diámetros internos de estas.
- Contar con un instrumento de medición de la reacción de la cal, para realizar pruebas en laboratorio y confirmar calidad de la cal según información del proveedor.
- Instalar bombas de diferentes fabricantes que se han aptas para trabajar con fluidos altamente abrasivos y determinar calidad de estas bajo operación constante.
- Mantener una inspección y limpieza de los estanques y líneas de la lechada de cal trimestralmente, retirando sedimentación acumulada en el fondo e incrustaciones en deflectores y aspas del agitador
- Subir la toma de la succión de las bombas de lechada de cal para evitar succionar grumos y sedimentos del fondo del estanque de almacenamiento.
- Contar con un programa de mantención preventivo de equipos, líneas y principalmente bombas de alimentación de lechada de cal, además de mantener bombas de reserva para su cambio cuando sea necesario.

El sistema de desulfurización de gases de combustión por medio de un SDA es nuevo en los procesos de centrales termoeléctricas en el país, lo que ha llevado a incurrir en algunos problemas operacionales de estos, principalmente enfocados en los procesos de preparación de lechada de cal y los equipos del sistema. Es por esto que se realizaron las sugerencias anteriormente descritas para optimizar dichas funciones, pero se debe seguir con estudios y evaluaciones en el futuro para lograr la mejora constante del sistema.

Mediante el presente trabajo es que se logro aprender y analizar en mayor medida acerca de las nuevas tecnologías usadas en centrales termoeléctricas pero que con el tiempo serán de gran importancia dentro de éstas debido a las nuevas normas y leyes que regulan las emisiones de SO₂ en el país.

BIBLIOGRAFÍA

- General Phisics Corporación,, Guía del estudiante, operación de plantas térmicas, Chile , 2008
- General Phisics Corporation,, Guía del estudiante, sistema de desulfurizador de gases de combustión Chile , 2008
- STX, Programa de entrenamiento para operadores SDA y filtros de tela
- Guillermo Coloma Alvarez, La Cal es un reactivo químico Primera edición, julio 2008, I.S.B.N. N° 978 - 956 - 319 - 225 – 4
- Chile, Ministerio Secretaria General de la Presidencia, Ley 19300: Anteproyecto para Norma de emisión para termoeléctricas, Santiago de Chile, 15 de Diciembre 2009.
- Kas Ingenieria, Análisis General del impacto económico y social de una norma de emisión para termoeléctricas, Informe Final, Chile Diciembre 2009.

ANEXOS

ANEXO 1: COMPOSICIÓN QUÍMICA CAL VIVA

Producto cal viva molida 3/80.

Nombre Comercial:
Cal Viva Molida
Fórmula Química:
CaO
Peso Molecular:
56 gr/mol
Apariencia:
Cal Viva Molida, color blanco grisáceo.
Densidad:
0,8 – 1,0 gr/cc (densidad a granel según norma DIN 1060 Parte 3).
Forma de entrega:
A granel camión silo.

Composición Química %

% CaO total	84,0 – 88,0
% CaO libre	80,0 – 82,0
% SiO ₂	4,0 – 7,0
% PPC	1,2 – 4,0
% MgO	0,4 – 2,2
% Fe ₂ O ₃	0,5 – 1,2
% Al ₂ O ₃	0,5 – 3,0
% S	0,0 – 0,5
% R. Insoluble	1,5 – 4,1

Porcentaje retenido sobre malla (RSM)

Mallas Tyler	%
+M30	0,0
+M50	1,0
+M100	4,5
+M170	2,0
+M200	2,0
+M325	3,0

ANEXO 2: FICHA DE SEGURIDAD DE LA CAL



SOPROCAL

FONO: 8323003 / 2318874

**HOJA DE DATOS
DE SEGURIDAD**

CAL VIVA



1.- IDENTIFICACION DEL PRODUCTO

NOMBRE COMUN	NOMBRE QUIMICO	FORMULA QUIMICA	Nº NACIONES UNIDAS	CLASE
CAL VIVA	OXIDO DE CALCIO	CaO	1910	Nº8 - CORROSIVO

2.- CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

REACTIVIDAD	LA HUMEDAD CONTRIBUYE A LA INESTABILIDAD DEL PRODUCTO, EL CONTACTO CON EL AGUA CAUSA SALPICADURA Y EL CALOR QUE DESPRENDE PUEDE ORIGINAR LA IGNICION DE SUSTANCIAS COMBUSTIBLES
DESCOMPOSICION	SE DESCOMPONE A HIDROXIDO DE CALCIO
INFLAMABILIDAD	NO ES INFLAMABLE
TOXICIDAD	NO ES TOXICO
CONCENTRACION	1.6 mgs/m3 DE AIRE PROMEDIADOS EN UN TURNO DE 8 HORAS
PRECAUCIONES	EL OXIDO DE CALCIO ATACA ALGUNOS PLASTICOS, CAUCHOS Y REVESTIMIENTOS
TRANSPORTE	CAMIONES SILOS O TOLVAS BIEN ENCARPADAS
ALMACENAJE	LUGARES SECOS, LEJOS DE GOTERAS Y MATERIALES COMBUSTIBLES

3.- RIESGOS PARA LA SALUD

INGESTION	QUEMADURAS GRAVES, ULCERACIONES
INHALACION	INFLAMACION DE LAS VIAS RESPIRATORIAS
OJOS	IRRITACIONES Y QUEMADURAS, NO USE LENTES DE CONTACTO CUANDO TRABAJE O MANIPULE ESTE PRODUCTO
PIEL	IRRITACIONES Y QUEMADURAS

4.- MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

INGESTION	SI ESTA CONSCIENTE DAR GRANDES CANTIDADES DE AGUA, NO PROVOCAR EL VOMITO
INHALACION	TRASLADAR AL AIRE PURO, EN CASO DE PARO RESPIRATORIO DAR RPC, MANTENER AL PACIENTE ABRIGADO PEDIR AYUDA MEDICA
OJOS	LAVAR DE INMEDIATO CON ABUNDANTE AGUA, PEDIR AYUDA MEDICA
PIEL	LAVAR LA PARTE AFECTADA CON ABUNDANTE AGUA, SI PENETRA EN LA ROPA QUITESELA, PEDIR AYUDA MEDICA SI LA IRRITACION PERSISTE

5.- EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

BOCA, NARIZ	PROTECCION RESPIRATORIA PARA POLVOS
OJOS	LENTES MONOVISORES O CARETA FACIAL COMPLETA
MANOS	GUANTES DE CUERO COMUNES
ROPA	TRAJE TYVEX, NO CEÑIDA AL CUERPO

6.- CONTROL DE DERRAMES Y FILTRACIONES

1.- MANTENER ALEJADA A LA GENTE INNECESARIA, AISLE EL AREA

2.- MANTENERSE A FAVOR DEL VIENTO, ALEJESE DE AREAS BAJAS

3.- USE EL EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

4.- SI EXISTE CONTAMINACION DE AGUAS, NOTIFIQUE A LAS AUTORIDADES

5.- DETENGA EL DERRAME O FILTRACION SI PUEDE HACERLO SIN RIESGOS

6.- VENTILE LA ZONA DE DERRAME SI ES EN ESPACIO CONFINADO

7.- RECOJA EL MATERIAL DERRAMADO EN FORMA CONVENIENTE Y SEGURA

8.- DEPOSITE EL MATERIAL EN TAMBORES SECOS, LIMPIOS Y QUE SE PUEDAN CERRAR HERMETICAMENTE

La información que se entrega en esta Hoja de Datos de Seguridad es la conocida actualmente sobre la materia Considerando que el uso de esta información y el producto está fuera del control del proveedor, la empresa no asume responsabilidad alguna por este concepto. Determinar las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

ILEMORAF - Folio: 8311429

ANEXO 3: GUIA DESPACHO CAL VIVA

**SOPROCAL**

Soprocál, Calerías e Industrias S.A.
Cales y Carbonatos Agrícolas, Industriales y de Construcción
GIRO: Fábrica de Cal y Explotación de Minas y Canteras

GERENCIA GRAL :

Ayda, Pedro de Valdivia 0199 - Of. 31 - Fono: 231 8874
Fax: 233 5396 - Casilla 9259 - Comuna de Providencia, Santiago.

CASA MATRIZ :

Ayda, José Massoud N° 230 - Casilla 62
Teléfono: 832 3003 - Fax: 832 4653 - Comuna de Melipilla

SUCURSALES :

1. MINA ELISA

Cajón de Aculeo - Comuna de Melipilla.

2. MINA CENIZAS

Cullorán - Comuna de Melipilla.

3. MINA TIRANA

Cajón de Aculeo - Comuna de Melipilla.

4. BODEGA LOS LIRIOS

Comuna de El Olivar - Rancagua.

5. SILO PELAMBRES

Norste Km. 76 - Comuna de Salamanca.

6. BODEGA DISPUTADA

Area Los Broncos - Cajón de San Francisco - Comuna Las Condes - Santiago.

7. BODEGA DISPUTADA

Area Las Tortolas - Autopista los Libertadores Km. 35,5 - Comuna de Colina.

8. BODEGA DISPUTADA

Area El Soldado - Ruta 5 Norte Km.120 Sector El Melón - Comuna de Nogales.

9. BODEGA DISPUTADA

Area Chagras - Camino el Troncal s/n - Comuna de Catemu.

10. SILO ANDINA

Salafino - Río Blanco - Comuna Los Andes.

GUIA DE DESPACHO

N°

S.I.I. - MELIPILLA

FECHA VIGENCIA EMISION HASTA 31 Diciembre 2012

MELIPILLA,29 DE MARZO DE 2012

SEÑOR(ES) :

DIRECCION :

COMUNA :

VENDEDOR :

PROPIETARIO / CHOFER :

DESTINO :

ORDEN DE COMPRA:

OBSERVACIONES :

SANTIAGO

R.U.T.:

GIRO:GENERACION, TRANSM. Y VENTA

PATRICIO REYES

ORDEN(ES) DE CARGA N°:

139.574

HUGO CARRASCO

T:FLORES Y WALTON LTDA. 0

PATENTE: CJHS72

PUESTO BODEGA CLIENTE

ORDEN DE DESPACHO: 075126

4500062046

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO
27,52 TON	CAL VIVA MOLIDA 3/80% A GRANEL	\$	89.623,00
27,52 TON	FLETE MELIPILLA VENTANAS.	\$	9.053,00

CAMINO COSTERO S/N PUCHUNCAVI.

SE ADJUNTA MUESTRA Y SELLO:7128382

Más I. V. A.

axido de calcio clase 8: sustancia corrosiva

V.U. 1910.

Esta sustancia no está clasificada como

peligrosa, excepto para el uso de

transporte aéreo, según norma chilena

120' OF 89

IDENTIFICACION DE QUIEN RECIBE GUIA DE DESPACHO

NOMBRE

RUT

LUGAR

FECHA DE RECEPCION

FIRMA

"El acuse de recibo que se declara en este acto, de acuerdo a lo dispuesto en la

letra b) del Art. 4º, y la letra c) del Art. 5º de la Ley 19.983, acredita que la entrega

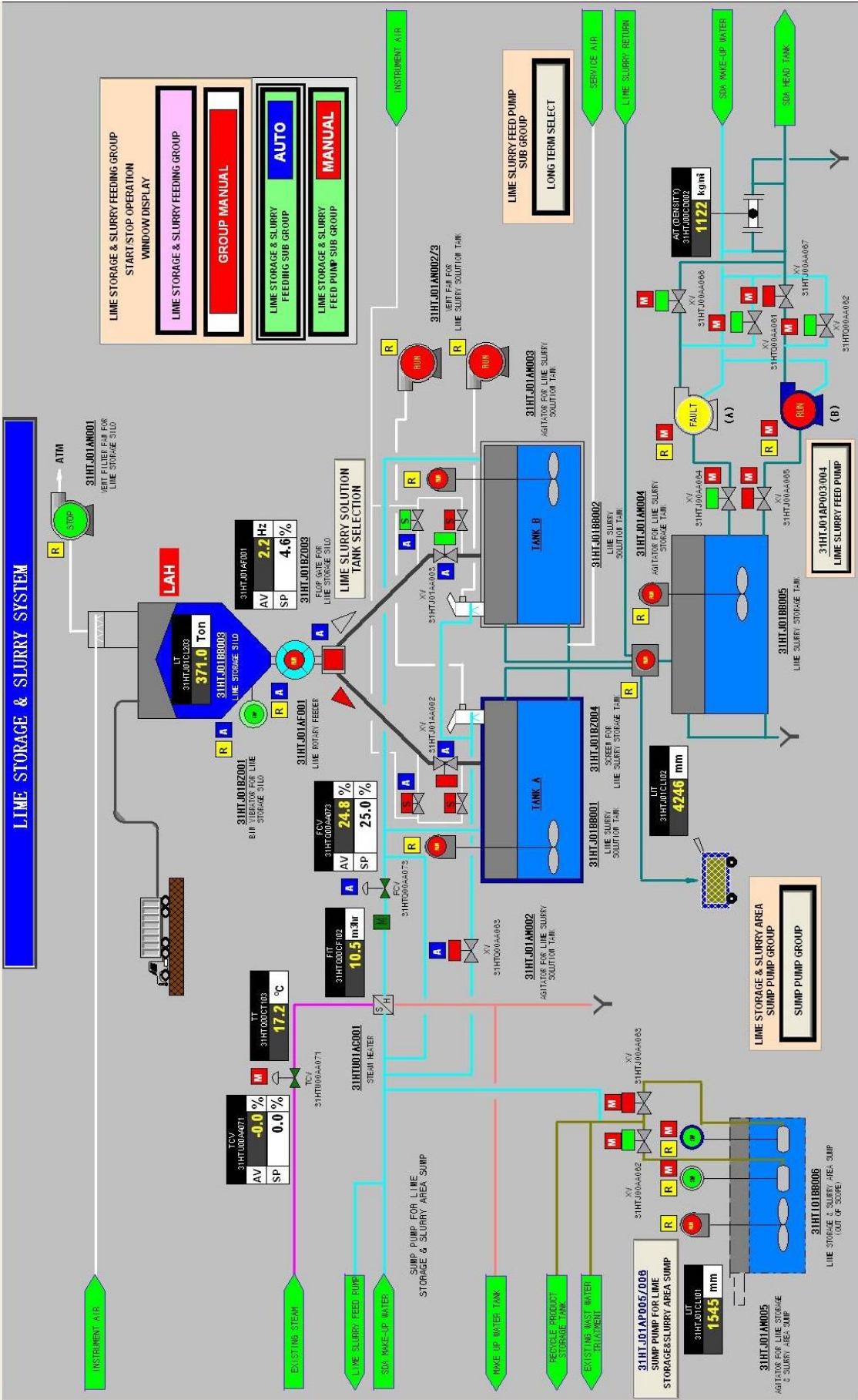
de mercaderías o servicio(s) prestado(s) ha(n) sido recibido(s). "

Padro Morano Carvajal • Imp. U. Americana 445 - Rut.4.286.553 - 2 689 2753 - Santiago

ORIGINAL: CLIENTE

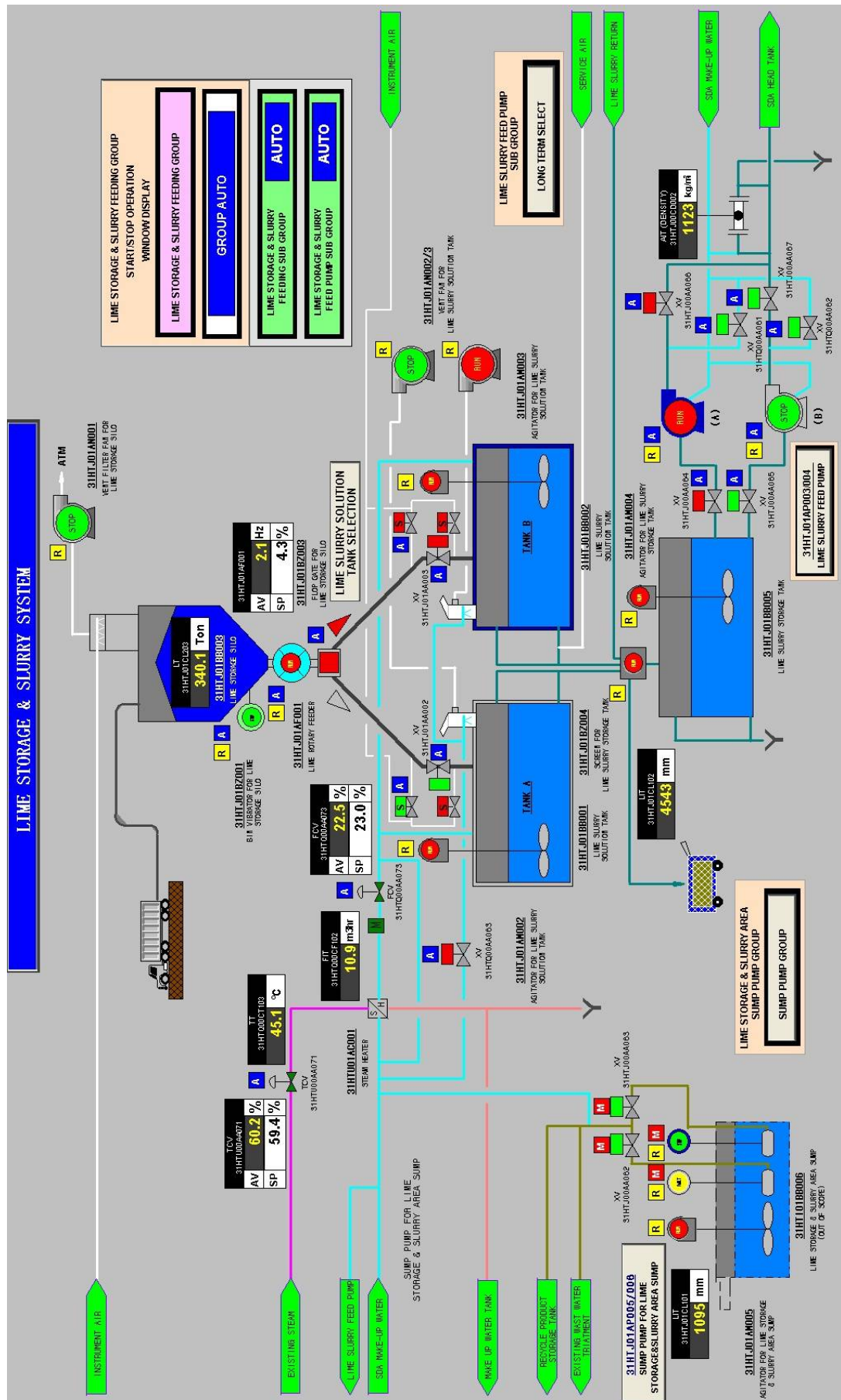
ANEXO 4: PANTALLAS DCS SISTEMA SDA.

a) Preparación de lechada sin calentamiento agua makeup



[illegible]

- c) Preparación de lechada con calentamiento Agua Makeup



d) Sistema de control de emisiones con calentamiento de agua makeup

