

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE VALPARAISO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL MECANICO
“ANALISIS TECNICO ECONOMICO SOBRE METODOS DE MITIGACION
DE EMISIONES DE SO₂, EN CENTRAL TERMOELÉCTRICA VENTANAS”

Juan Manuel Kohnenkamp Silva

Profesor guía:

Hugo Bernardo Valenzuela Rosenzuaig

2018

1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1 Introducción	4
1.2 Objetivos	6
CAPITULO II: DESCRIPCIÓN	7
2.1 Descripción de la caldera y del sistema de Desulfuración de central eléctrica Ventanas 2.....	7
2.1.1 Descripción general de la caldera	7
2.1.2 Descripción general del equipo de desulfuración	8
2.1.3 Características generales	9
2.1.3.1 Equipos principales del lado gases del equipo de desulfuración.....	11
• Ventiladores Booster	11
• Torre Absorber	12
• Calentador de gases gas a gas.	14
• Lamos	15
• Lamos de derivación.....	16
• Lamos de entrada y salida	16
• Lamos de derivación del calentador gas-gas	16
2.1.3.2 Equipos principales del SW	17
• Descripción de la planta de tratamiento de agua	17
• Sistema de aireación.....	18
• Distribuidor de efluente	18
• Bombas Absorber	19
• Sistema de vacío	20
2.2 Descripción de la caldera y del sistema de Desulfuración de central eléctrica Ventanas 3.....	21
2.2.1 Descripción general de la caldera	21
2.2.2 Descripción general del equipo de Desulfuración	22
2.2.3 Apagado de Cal	33
2.3 Marco regulatorio	35
2.4 Comparar eficiencia de los sistemas de desulfuración	38
2.4.1 Eficiencia del sistema de abatimiento de emisión de SO ₂	41
2.5 Análisis de las mayores fallas de ambos sistemas.....	44
3 CAPITULO III: ASPECTOS ECONÓMICOS	45
Aspectos económicos a considerar	45
3.1 Costo de operación de los distintos tipos de desulfurizador.	45
3.2 Costo de mantención de los distintos tipos de desulfurizador	47
3.3 Costo por falla del sistema.....	49

4 CAPITULO IV	53
Conclusiones	53
CAPITULO V.....	55
5.1 Anexos	55
• Detalle de costo de mantención de la central Ventanas 2	55
• Detalle de costo de mantención de la central Nueva Ventanas.....	58
5.2 BIBLIOGRAFÍA.....	66

1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Se realizó un estudio técnico y económico de dos sistemas de desulfuración, comparando un sistema semi seco utilizado en central Nueva Ventanas y otro húmedo utilizado en central Ventanas 2. Comparando las ventajas y desventajas de ambos sistemas, y analizando la eficiencia que tienen en la mitigación de emisiones de SO_2 .

Debido al aumento de la demanda de energía eléctrica y de las exigencias de las normas medioambientales, es que AES GENER ha aumentado su capacidad de generación de energía y realizado la instalación de nuevas centrales las cuales cuentan con nuevos sistemas de mitigación de emisiones y además, a las centrales ya existentes se procedió a la instalar sistemas de mitigación.

Para la construcción de las dos nuevas unidades se establece un compromiso de una disminución de las emisiones de SO_2 del central Ventanas 2 en un 85%. Para lograrlo, se instaló en la descarga de gases de la caldera, un sistema de desulfuración tipo húmedo, que realiza un lavado de los gases, reteniendo y neutralizando una parte de las emisiones de SO_2 .

Además de estos las nuevas unidades tienen incorporado un sistema de desulfuración semi-seco, que retiene la emisión de SO_2 con la atomización de agua mezclada con cal.

Para el objetivo de este trabajo, se hizo una descripción tanto de los tipos de sistemas, como los equipos que disponen para su operación y los elementos o medios que utiliza para la limpieza de los gases. Después se analizó, la eficiencia de ambos, utilizando como referencia la cantidad de emisiones históricas que entran al equipo de mitigación de emisión de SO_2 y que salen por la chimenea.

También se analizaron los costos implicados en la operación de ambos sistemas, los costos de energía para el funcionamiento de los distintos equipos y los costos de insumos que deben tener para su funcionamiento.

Además, se describen las principales fallas que han tenido ambos sistemas, con lo cuales se pudo determinar los costos implicados en la mantención y/o reparación de estas, y

también los costos asociados a las pérdidas de generación en que se incurren por falla de estos sistemas.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

1. Conocer los equipos de desulfuración existentes para la mitigación de emisiones de SO_2 .
2. Análisis técnico de eficiencia de limpieza de gases, tomando en cuenta los dos tipos de métodos de desulfuración.
3. Análisis de costos por fallas en equipos.
4. Análisis de costo por mantención de equipos principales para la operación de los distintos tipos de desulfurizador.

CAPITULO II: DESCRIPCIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA Y DEL SISTEMA DE DESULFURACIÓN DE CENTRAL ELÉCTRICA VENTANAS 2

2.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALDERA

La caldera de la central de Ventanas 2, es un generador de vapor Babcock & Wilcox radiante de ciclo regenerativo con sobre calentador y recalentador de vapor, tiene una capacidad de generar vapor continuo con un máximo de $646.822 \frac{kg}{h}$, a una presión de 160 Bar. La caldera tiene un domo, es de circulación natural y diseñada para suministrar vapor sobrecalentado con 140 bar y 541 °C. El hogar de la caldera es del tipo presurizado, diseñada para quemar como combustible principal carbón seco bituminoso, para ello consta de 20 quemadores en la pared frontal de la caldera. Para facilitar el encendido de los quemadores principales tiene quemadores de petróleo diésel encendidos por una bujía.

- Características del carbón que debe quemar**

Características	Rango Normal	Norma ASTM Para análisis	U-2	Experiencia
Poder calorífico superior como recibido kcal/kg	entre 5.000 y 7.000	D-2015	6361	Entre 5935-6443
Contenido de cenizas (base seca)	menor o igual que 15 %	D-3174	15%	Entre 11,57-10,36
Humedad total	menor que 12 %	D-3302	5%	Entre 10,97-10,02
Humedad residual	menor que 4,8 %	D-3302		
Azúfre (base seca) **	entre 1% y 2 %	D-4239 o D-3177	2%	Entre 0,82-1,36
Materia volátil (base seca)	entre 33 % y 45 %	D-3175	38,50%	Entre 36,9-33,9
Carbono fijo	entre 36 % y 63 %			Entre 43,85-48,5
Índice Hardgrove	mayor o igual que 45	D-409	50	Entre 43,38-55,35
Fusibilidad de ceniza en atm. Reductora: Deformación inicial: (IT) Punto de fusión (H=W) (ST) Punto de fluidez (FT)	> 1.250 °C > 1.350 °C > 1.390 °C	D-1857	1300 °C	> 1250
Factor de escoriamento (Slagging Factor)	menor o igual que 0,4	Según formula	<0,6	hasta 0,8
Factor de ensuciamiento (Fouling Factor)	menor o igual que 0,25	Según formula	<0,2	
Contenido de CaO en cenizas	menor o igual que 5 %			Entre 1,86-5,05
Contenido de Fe ₂ O ₃ en ceniza	10 % Máximo			Entre 3,4-7,94
Granulometría	0 por 50 mm			
Rango de 25 a 50 mm	15 % Máximo	D-4749		14,3
Rango de 13 a 25 mm	25 % Máximo			
Rango de 0 a 1 mm	25 % Máximo			
Toma de muestra		D-2234		
Preparación muestra para análisis		D-2013		

Fuente: Manual de operación y mantención de caldera B&W

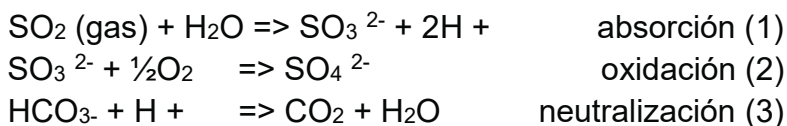
2.1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO DE DESULFURACIÓN

El proceso que utiliza el equipo desulfuración de gases de combustión con agua de mar, (SWFGD ^[1]), consiste en el abatimiento del SO₂ por medio de la limpieza de gases de la combustión provenientes de la caldera. Este consiste en dos sistemas: el primero un sistema de manejo de gases de combustión en donde estos se lavan con agua de mar y posteriormente se vuelve a calentar antes de la descarga a la chimenea y el segundo una planta de tratamiento de agua de mar, donde se neutraliza el agua que se utilizó en el lavado, para después descargarla al mar.

La principal ventaja del sistema de SWFGD, en comparación con los equipos desulfurador tradicional, es que no hay manipulación de compuestos adicionales los cuales suelen utilizar estanques o mezcladores. Esto se traduce en una menor inversión, menor costo de operación y mantenimiento.

El SWFGD, utiliza agua mar para absorber y neutralizar el dióxido de azufre, SO₂ del gas de combustión. El SO₂ absorbido en el agua de mar es convertido por el oxígeno del aire ambiente a los iones de sulfato, SO₄²⁻, antes de su descarga al mar.

Las reacciones químicas del agua de mar y los gases de combustión en la salida SWFGD se pueden resumir en agua + SO₂ según lo siguiente:



Fuente: Manual de operación y mantención ALSTOM

En la reacción (1), el SO₂ se absorbe en agua de mar y reacciona con el oxígeno para formar iones de sulfato e iones de hidrógeno. Con esto aumenta la concentración de iones de hidrógeno aumentando la acidez y disminuyendo el pH.

En la reacción (2), SO₂ consume oxígeno para formar sulfato. El agua de mar se oxigena más para completar la reacción de oxidación y para llevar el oxígeno disuelto a un nivel ecológicamente aceptable antes de la descarga.

^[1] SWFGD: es la abreviación del sistema de desulfurado de gases de combustión con agua de mar, la cual utilizaremos en este texto (sigla en inglés Sea Water Fuel Gas desulfuration).

En la reacción (3), iones bicarbonato (HCO_3^-) En el agua de mar reacciona con iones de hidrógeno, por lo tanto, neutraliza el efecto acidificante de la oxidación del azufre y mejorando con ello el pH.

2.1.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El SWFGD, está diseñado para reducir las emisiones de SO_2 provenientes de los gases de la caldera, esto para cumplir con la normativa del DS 13 ^[2] y tener la resolución ambiental que permita la construcción de las centrales eléctricas Nueva Ventanas y Campiche.

Los elementos principales que consta este son:

- Ductos de flujo de gases.
- Lamos de salida, entrada y recirculación de gases.
- Lamos para calentar los gases de salida.
- Ventiladores booster.
- Calentador de gases regenerativo.
- Torre Absorber.
- Bombas absorber.
- Planta de tratamiento de agua de mar.
- ventiladores y ductos para la aireación.
- Sistema de transporte de agua desde las descargas del condensador de central nueva Ventanas.

^[2] DS 13: Decreto supremo número 13, del Ministerio del medioambiente, El cual establece las normas de emisión para las termoeléctricas, promulgado el 18 de enero del 2011.

El proceso utiliza las propiedades del agua de mar, que por naturaleza es alcalina y, por lo tanto, tiene una gran capacidad para absorber el dióxido de azufre gaseoso SO_2 .

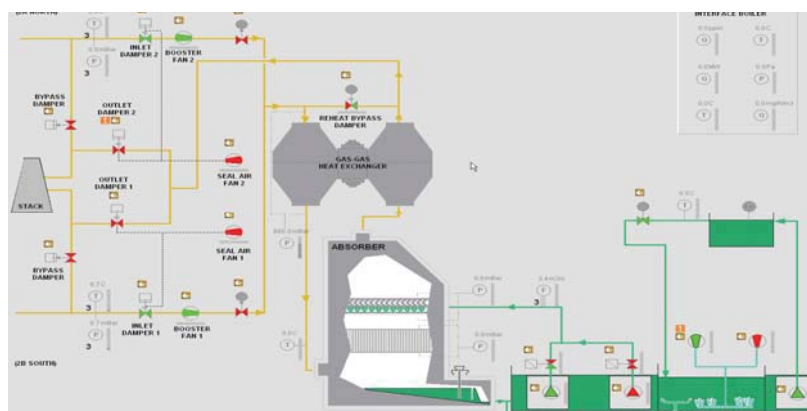
El agua de mar, se utiliza para la eliminación de SO_2 del gas de combustión. En un proceso de lavado de gases en una torre de absorción.

El flujo de agua de mar necesario, para lograr lavar los gases, es suministrado por una bomba, la cual envía agua desde la pileta de descarga del condensador, hacia la torre absorber, en donde al estar en contacto con los gases de combustión, aumenta su acidez. El efluente ácido fluye por gravedad desde la pileta del Absorber a una planta de tratamiento de agua de mar donde se mezcla con grandes cantidades de agua de mar y simultáneamente se inyecta aire por medio de ventiladores, lo cual permite lograr que el SO_2 absorbido se oxide y se transforme en iones sulfato (SO_4^{2-}). El agua se descarga posteriormente al mar.

Los ductos de gases de combustión, se modificaron en la entrada y salida, para llevar el flujo de gases de combustión, hacia el sistema de desulfuración. Esta consta de un intercambiador de calor gas-gas y la torre absorber. Para lograr compensar la caída de presión debido estos equipos, se instalaron dos ventiladores.

El flujo de gases de combustión pasa a través del intercambiador de calor, en donde se enfría para poder entrar a la torre absorber, después que es tratado con el agua de mar, este sale y es calentado por el mismo intercambiador de calor. Para después del proceso salir al ambiente por la chimenea.

Figura 1. Descripción general del sistema de lavado de gases con agua de mar



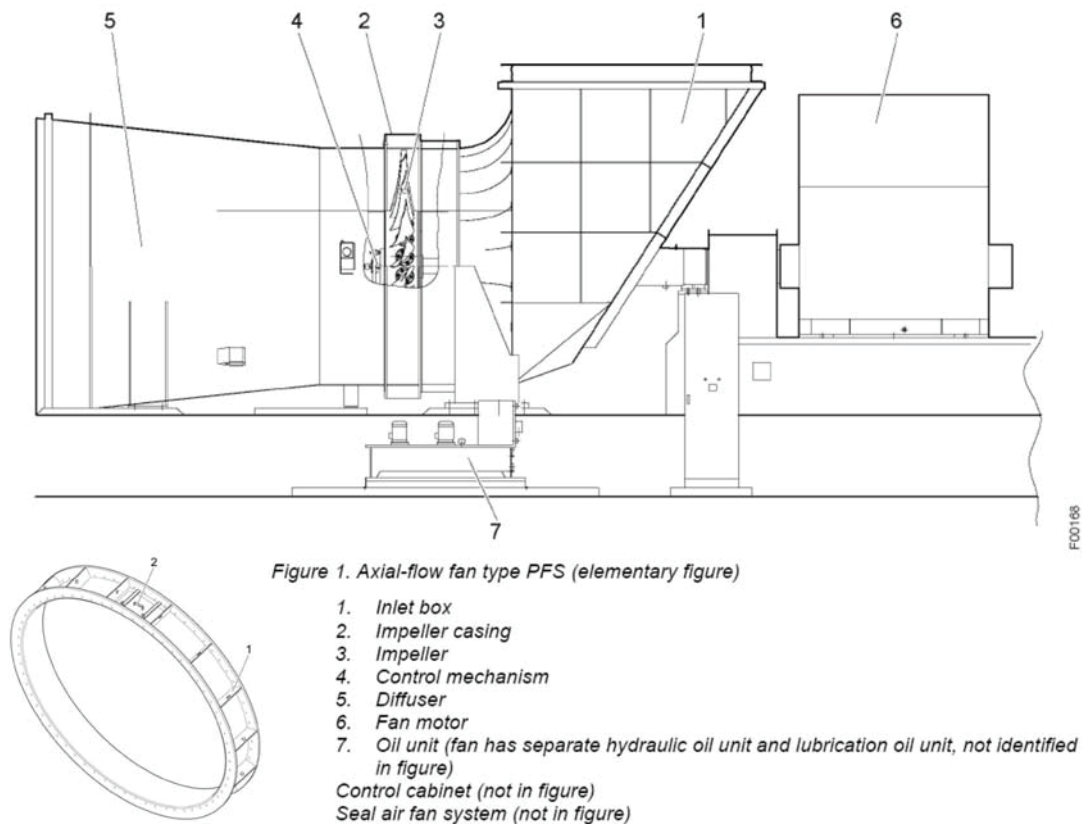
Fuente: Manual de operación del sistema de desulfuración ALSTOM

2.1.3.1 EQUIPOS PRINCIPALES DEL LADO GASES DEL EQUIPO DE DESULFURACIÓN

- **VENTILADORES BOOSTER**

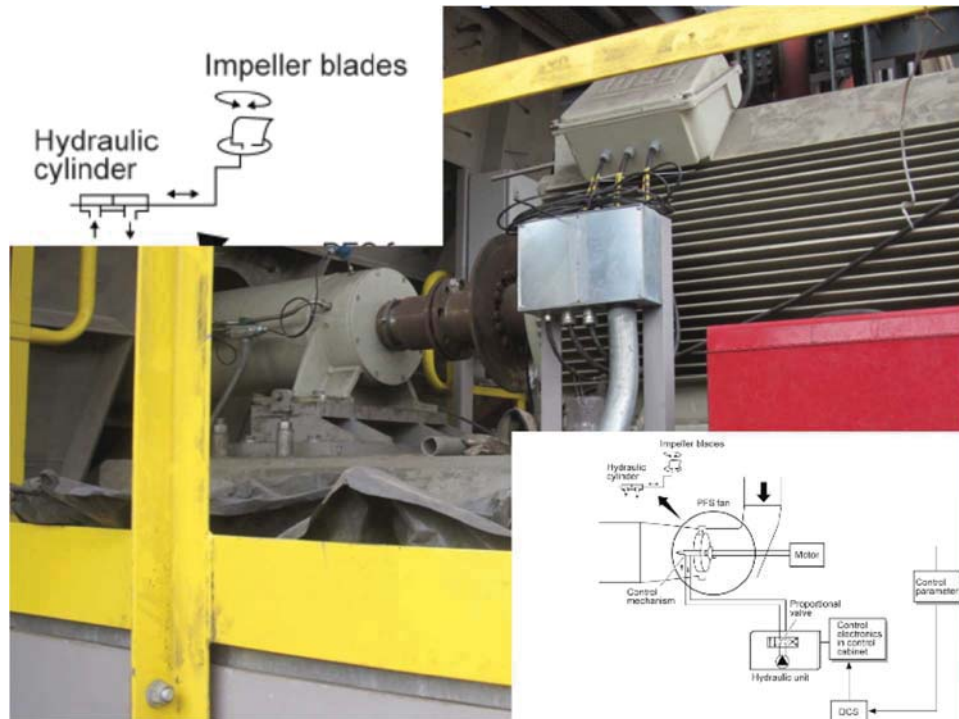
Dos ventiladores de gases de combustión de marca Fläktwood, proporcionan suficiente presión adicional, para compensar las pérdidas a través del equipo tratamiento de gases. Los ventiladores están equipados con lampos de paso variable accionadas hidráulicamente (pitch blade), que se utilizan para controlar el flujo. La unidad se inicia y detiene mediante el sistema de control distribuido monitoreado desde sala de control por un operador, que también controla el flujo del ventilador al alterar el ángulo de los lampos por medio del sistema de control hidráulico.

Figura 3. Descripción del ventilador booster



Fuente: Manual de operación y mantención ALSTOM

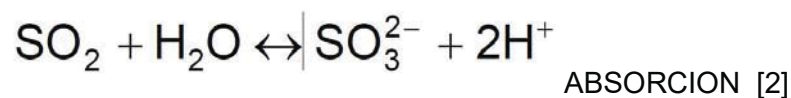
Figura 4. Ventilador booster y descripción de lampos de control.



Fuente: Manual de operación y mantención

• TORRE ABSORBER

El propósito del Absorber del sistema de lavado de gases, es la absorción de SO₂ en el agua de mar:



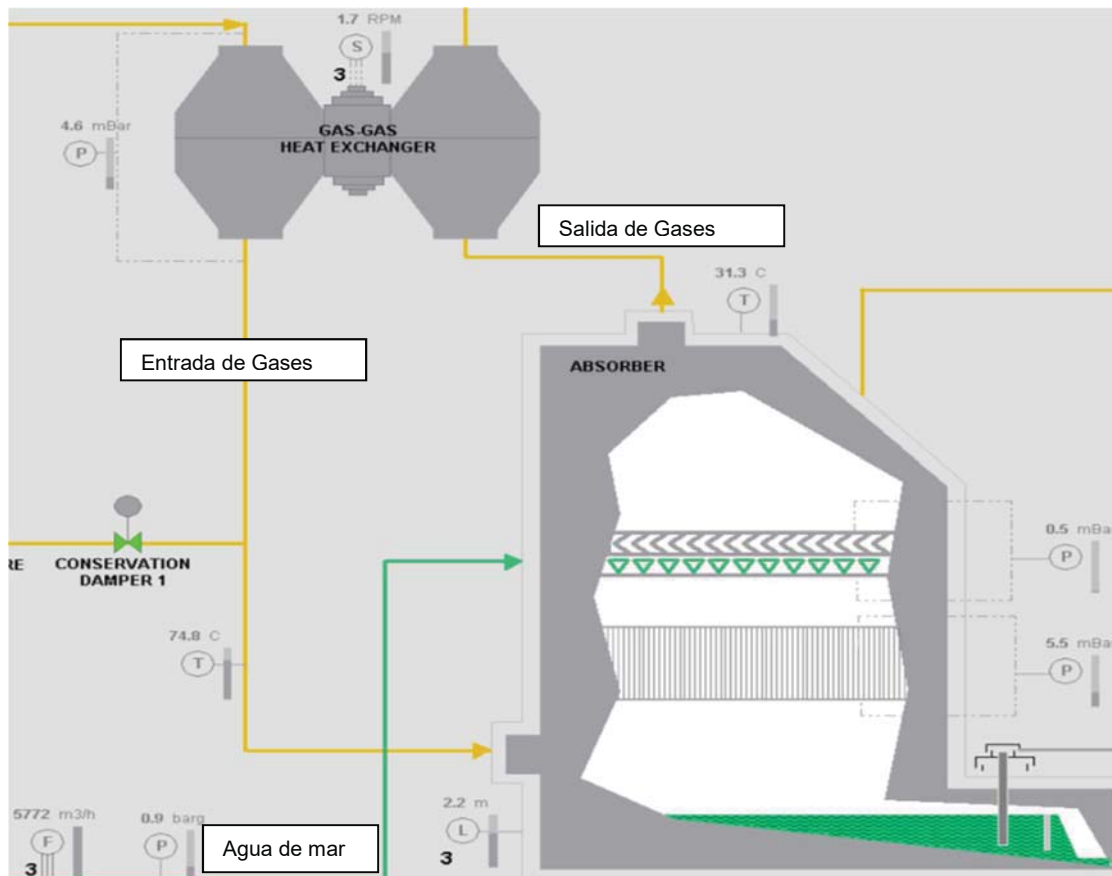
Fuente: Manual de operación y mantención ALSTOM

El Absorber es una torre, donde se introduce agua de mar desde la sección superior del absorber la cual pasa por unos rociadores, de tal manera que el agua descienda de manera homogénea en toda el área del mezclador de aire gas, mientras que, por la parte inferior, se introduce el gas de combustión.

El gas de combustión sube por el Absorber a través del mezclador, y queda en contacto con la corriente de agua de mar que desciende. Mientras que el gas de combustión está en contacto con el agua de mar, el SO_2 es absorbido por el agua. Esta transferencia disminuye el pH del agua de mar.

En la parte superior del Absorber, el gas de combustión también disminuye el SO_2 al pasar a través los rociadores y luego abandona el Absorber.

Figura 5. Torre absorber.



Fuente: Manual de operación y mantención ALSTOM.

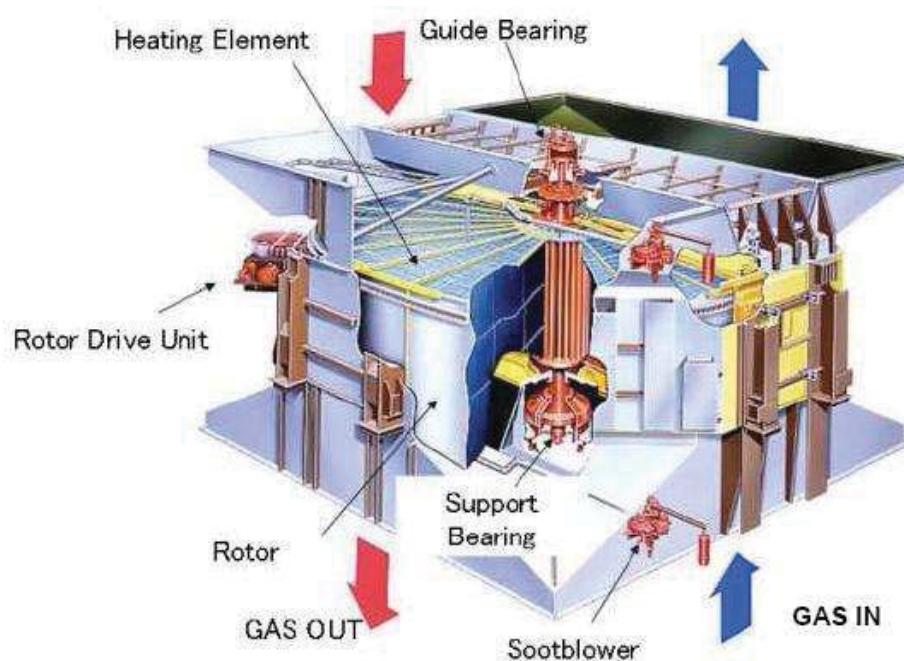
- **CALENTADOR DE GASES GAS A GAS.**

Un calentador regenerativo de gas a gas, de marca Liungstrom, se usa para enfriar el gas de combustión no tratado entrante, al tiempo que aumenta la temperatura del gas de combustión tratado proveniente del absorber.

El intercambiador de calor, comprende una sección de transferencia de calor que gira continuamente entre las dos secciones de la unidad, se calienta mientras está expuesta al gas de combustión entrante y luego se enfría cuando gira hacia la sección de salida de gas de combustión.

Los gases deben ser enfriados debido a que la torre absorber es de hormigón y recubierta en su parte interna por una pintura epóxica, de tal manera que el agua acida no se infiltre por el hormigón, si esto ocurriera podría causar graves daños a la integridad de la construcción, cada vez que la planta se detiene se realiza un limpieza e inspección de las paredes.

Figura 6. Descripción de calentador gas a gas.



Fuente: Manual de operación y mantención ALSTOM.

- **LAMPOS**

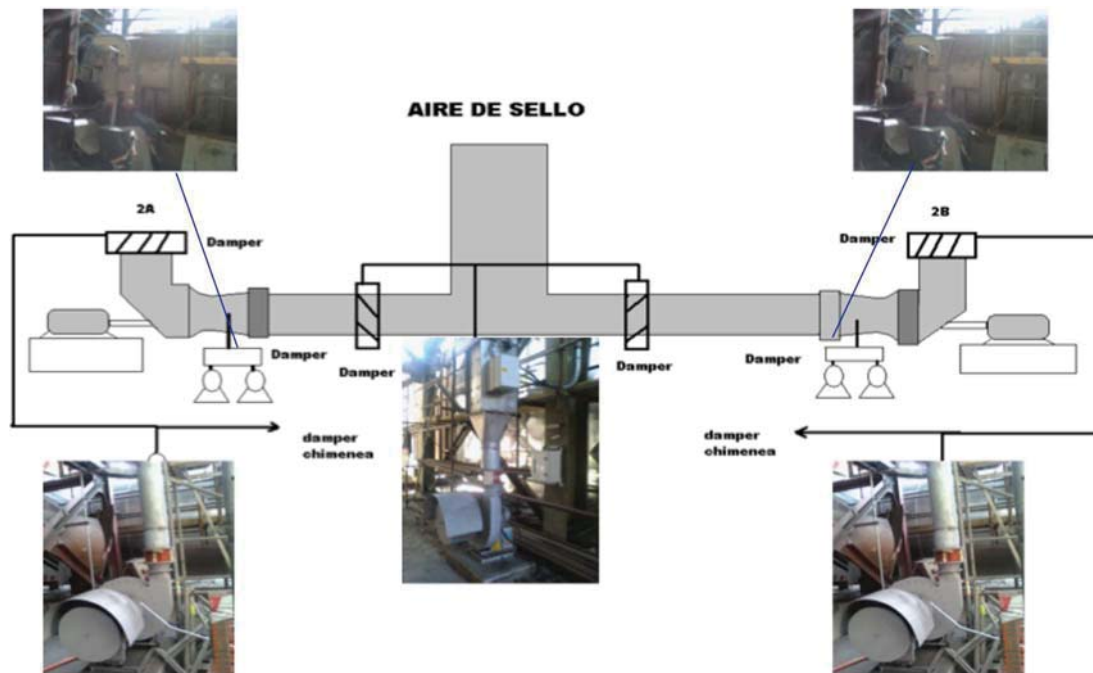
Los lampos de control se usan para controlar el flujo y el paso de gases. Los lampos son básicamente persianas de varias hojas, que se cierran o se abren según sea necesario.

En el sistema de lavado de gases, existen lampos moduladores y lampos de apertura y cierre. Los lampos pueden ser simples o dobles, donde hay dobles son dos lampos en serie separados por un pequeño espacio.

Los lampos dobles se utilizan con un sistema aire de sello, que garantiza cuando están cerrados, ningún gas de un lado del lampo pueda pasar al otro

El sistema de aire de sello se inicia automáticamente cuando el lampo está cerrado. El sistema aire de sello empuja el aire ambiental hacia el espacio entre los dos lampos, para proporcionar una sobrepresión, que sella el espacio no dejando pasar los gases de la combustión.

Figura 7, lampos sistema lavado de gases y sistema de aire de sello.



Fuente: propia y manual de operación y mantención de SWFGD de ALSTOM.

- **LAMPOS DE DERIVACIÓN.**

Los lampos de derivación del sistema de lavado de gases pueden estar cerrados o abiertos. Estos están ubicados en el conducto de gas a la salida de los calentadores de aire de la caldera. En la partida de la unidad y debido a que solo el sistema de lavado de gases, puede funcionar cuando la unidad se encuentra trabajando con parámetros estables de operación, quemando solo carbón estos lampos se encuentran cerrados por lo cual los gases salen directamente a la atmósfera, a través de la chimenea. Cuando el sistema de lavado de gases está funcionando, el lampo de derivación estará en posición cerrada.

- **LAMPOS DE ENTRADA Y SALIDA**

Los lampos de entrada y salida de FGD son de apertura y cierre, del tipo doble con múltiples rejillas, con un sistema de aire de sello.

Los lampos de entrada están ubicados en el conducto de entrada, corriente arriba del ventilador booster después de los lampos de derivación, y el de salida está ubicado en el conducto de a la salida del calentador gas-gas.

Los lampos de salida y entrada trabajan de manera coordinada con los lampos de derivación, de manera que cuando unos están abiertos los otros están cerrados, se debe tener la precaución de que siempre deben estar abiertos, uno de los dos, porque de lo contrario causaría una sobrepresión de la caldera y con esto la salida de servicio de la unidad generadora.

Cuando el sistema de lavado de gases está en funcionamiento, tanto los lampos de entrada como de salida están abiertos.

- **LAMPOS DE DERIVACIÓN DEL CALENTADOR GAS-GAS**

Estos lampos son utilizados con dos objetivos: primero para aumentar la temperatura de salida de los gases de combustión y segundo para bajar o subir las emisiones de la caldera al mezclar el gas limpio con el sucio.

El sistema de derivación de gases del calentador gas-gas, consta de 3 lampos que se encuentran en la parte superior del calentador, estos conectan los conductos de gases de combustión no tratados y tratados.

Un lampo controla la temperatura de salida de los gases y la concentración de SO_2 , mientras que los otros dos son manuales.

2.1.3.2 EQUIPOS PRINCIPALES DEL SW

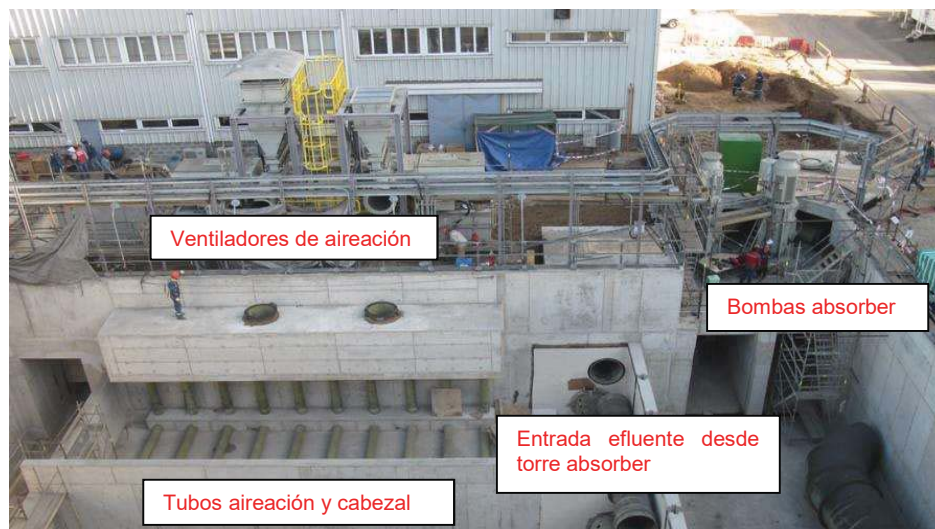
- **DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA**

El sistema de agua, recibe agua de mar de la descarga del condensador, la cual fue utilizada para enfriar el vapor de la descarga de la turbina de la unidad 2, esta es llevada por un sistema de bombeo hasta la torre absorber, donde se encarga de lavar los gases y posteriormente vuelve aguas arriba de la succión de bomba absorber y antes de la descarga de los ventiladores de aireación. El resto del agua de mar se suministra desde la unidad 3 directamente a la piscina de aireación.

El sistema de agua de mar incluye:

- 2 bomba absorber.
- Una pileta de aireación de dos pasos.
- 2 ventiladores de aireación.
- Un cabezal de aireación con 10 tubos de aireación.
- Una tubería de suministro de agua de mar (agua de mar de la central ventanas 3) y una bomba de retorno de agua de mar que devuelve parte del agua de mar tratada a la a la descarga de agua de mar de la central ventanas 3.

Figura 8. Planta de tratamiento de agua.



- **SISTEMA DE AIREACIÓN**

El aire ambiente, se sopla en el agua de mar en la pileta de aireación con el ventilador de aireación. El aire se distribuye a través del cabezal de aireación, que se extiende a lo largo de la pileta de aireación, por las tuberías. Las tuberías son paralelas que cruzan el ancho de la pileta de aireación. Las tuberías tienen agujeros, los cuales permiten que el aire soplado se distribuya homogéneamente en la pileta y al mezclarse con el agua de mar, aumente su oxígeno disuelto, esto para provocar la reacción química de neutralizado del SO_2 extraído de los gases de combustión.

Figura 9. Planta de tratamiento de agua en servicio.



- **DISTRIBUIDOR DE EFLUENTE**

El efluente de agua de mar cargado con SO_2 del Absorber, ingresa a la pileta de Aireación en la sección que esta después de la succión de las bombas absorber.

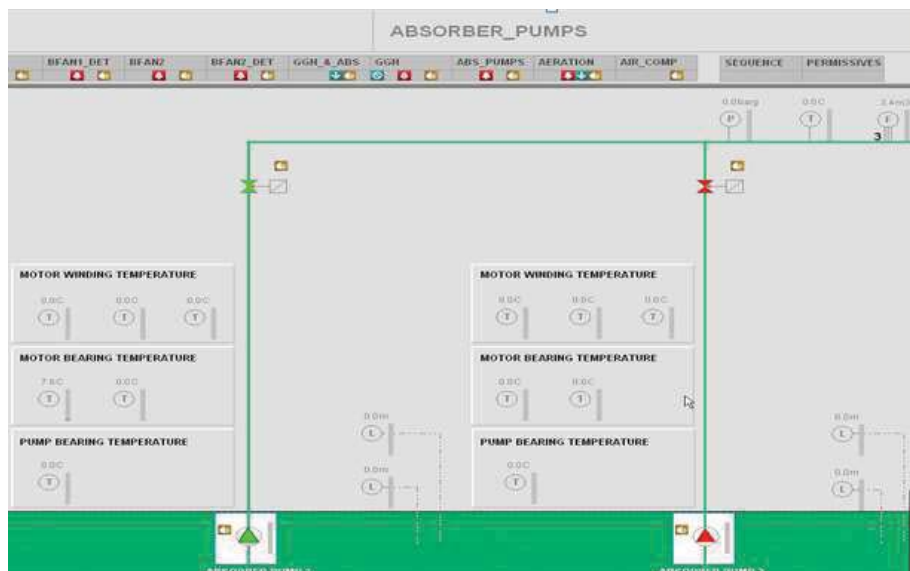
El efluente de agua de mar alimenta a la pileta de aireación a través de un distribuidor de efluentes perforado, que está anclado al piso de la piscina. El distribuidor de efluentes garantiza una buena mezcla entre el efluente y el agua de mar de la salida del condensador.

- **BOMBAS ABSORBER**

Una parte del agua de mar de la salida del condensador, es bombeada desde los pozos de las bombas de absorber hacia la torre absorber. Los pozos están ubicados al lado de la pileta de entrada, y están equipados con filtros para evitar que entren partículas grandes o biota del mar en las bombas absorber, y con ello podrían obstruir los difusores de agua y el mezclador de gases con agua de mar, en la torre absorber, provocando una disminución de eficiencia debido a bajar el área de contacto agua de mar y los gases de combustión.

Hay dos Bombas Absorber de eje vertical, cada una con el 100% de capacidad del sistema de lavado de gases, es decir, una de las bombas está funcionando mientras que la otra está en espera. Posteriormente el agua de mar entra en un colector común que conduce a la torre absorber.

Figura 9. Esquema de las bombas absorber



Fuente: manual de operación y mantención de SWFGD de ALSTOM.

- **SISTEMA DE VACÍO**

El sistema de vacío, está incluido para crear un sifón entre el pozo de descarga del condensador de la central Nueva Ventanas y la pileta de aireación, transportando a esta una cantidad de $3000 \frac{m^3}{h}$ de agua de mar por efectos de vasos comunicantes. El agua de mar que es traída desde la central Nueva Ventanas, es utilizada para aumentar la dilución del agua ácida que va desde el absorber a la pileta de aireación. El agua posteriormente aguas arriba es devuelta a la piscina de Nueva Ventanas.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA CALDERA Y DEL SISTEMA DE DESULFURACIÓN DE CENTRAL ELÉCTRICA VENTANAS 3

2.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CALDERA

La caldera de la unidad Nueva Ventanas, es un generador de vapor Doosan radiante de ciclo regenerativo con sobre calentador y recalentador de vapor, tiene una capacidad de generar vapor continuo con un máximo de $764.784 \frac{kg}{h}$, a una presión de 166 Bar. La caldera tiene un domo, es de circulación forzada y diseñada para suministrar vapor sobrecalentado con 160 bar y 568 °C. El hogar de la caldera es del tipo inducido, es decir, existe vacío en su interior, está diseñada para quemar como combustible principal carbón seco bituminoso y sub-bituminoso, para ello consta de 24 quemadores en las esquinas de la caldera de manera de producir un remolino dentro de la caldera. Estos quemadores están distribuidos en 5 pisos de los cuales para alcanzar la máxima potencia se necesitan solo 4 y el restante queda disponible por alguna mantención o falla de otro equipo. Para facilitar la ignición de los quemadores principales tiene quemadores de petróleo diésel encendidos por una bujía.

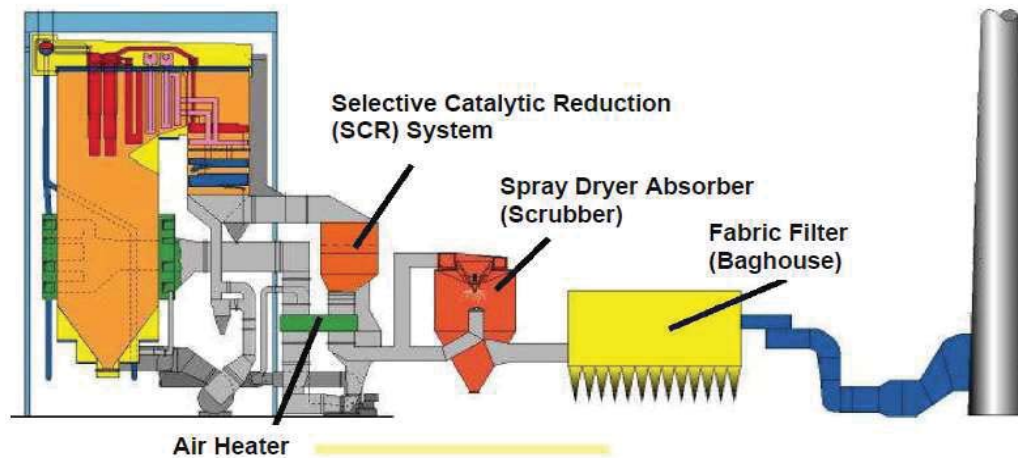
- Características del carbón de debe quemar

1. Análisis inmediato		Tipo CARBÓN	Mezcla
Datos Como Recibido	N° EMBARQUE		Objetivo V3
Poder Calorífico Superior	kcal/Kg		5112
Humedad Total	%		17.63
Humedad Inherente	%		
Ceniza	%		14.19
Materia Volátil	%		34.00
Carbono Fijo	%		34.18
Azufre	%		0.64
Cloro	%		
Flúor	%		
HGI			39.00
Beta			

Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

2.2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÉQUIDO DE DESULFURACIÓN

Figura 10. Descripción general con sistema de Desulfuración semi-seco con caldera a carbón.



Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

Figura 11. Características del sistema de desulfurización de gases

Item	Unit & Condition	Inlet	Outlet	Remark
SOx	mg/Nm ³ (dry, 6%-O ₂)	Max. 2,175	< 450	
SOx Removal	%		> 74.5%	
Lime	ton/hr as 80% CaO		< 2.63	Performance coal 100% TMCR
Power Consumption	kW		< 830	Performance coal 100% TMCR
Water Consumption	m ³ /hr		< 35	Performance coal 100% TMCR
Dust concentration	mg/Nm ³ (dry, 6%-O ₂)	Max. 17,000	< 44.6	
Gas Press. Drop	mmAq (inside B.L)		< 390	Performance coal 100% TMCR
Outlet Gas Temp.	°C	115~140	≥ 81	

Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

El sistema de desulfuración de gas de combustión de la central Nueva Ventanas, consiste de tuberías, estanques, alimentadores, válvulas, atomizadores, filtros de manga, reguladores y válvulas de husillo.

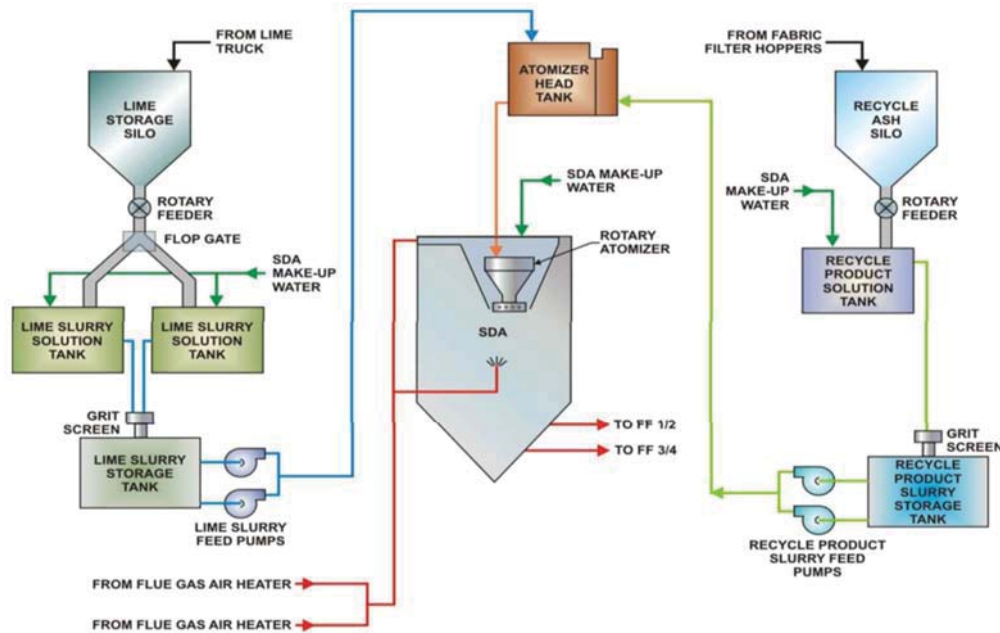
Para poder realizar la reducción en la emisión, se usan como reactivo la lechada de cal^[3]. Esta se mezcla con la lechada del producto de reciclado^[4] en el estanque superior del atomizador antes de la introducción al atomizador.

Para poder mantener un nivel de cal adecuada, esta debe ser suministrado por un camión y transportada hacia el silo de cal con un sistema de transporte neumático. Este silo, proporciona la cal para la preparación de la lechada de cal a través de un alimentador rotatorio, un vibrador de tolva en el fondo cónico del silo ayuda a que exista un flujo de cal continua hacia el alimentador, además consta con una compuerta de paso la cual aísla el silo, para que la humedad de la cal apagada, no ocasione la aglomeración en las paredes de bajada. El alimentador rotatorio de cal controla el gasto de cal de silo hacia los tanques de lechada de cal, la velocidad del alimentador variara según el nivel de la lechada de cal en su estanque de almacenamiento.

^[3] Lechada de cal: fluido que está compuesto por una suspensión de hidróxido de calcio (cal) en agua. Para este proceso en particular encuentra con una razón de 2,5 T de cal en 10 m³ de agua aproximadamente con unidad a máxima generación.

^[4] Reciclada de cal: fluido que está compuesto con parte de la ceniza de carbón, que ya reaccionó con la lechada de cal, fue captada por los filtros de mangas y que llega al sistema de transporte de subproducto de ceniza y cal.

Figura 12. Esquema del sistema de desulfuración semi humedo.



Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

El sistema consta con 2 estanques de solución de lechada de cal, de los cuales solo uno se mantiene en servicio. Los reguladores de aislamiento corriente abajo de la compuerta automática, proporcionan el aislamiento final entre el silo de almacenamiento de cal y los estanques de solución de lechada de cal. Estos se usan para preparar la lechada de cal. Cada estanque de solución de lechada de cal usa un agitador para ayudar en el proceso de apagado de la cal.

Cada estanque de solución de lechada de cal tiene un extractor de polvo y de vapor, que limita la cantidad de polvo producido y extrae los vapores que se crean en el proceso para apagar la cal. Un ventilador de extracción hace la succión y ventila la humedad a la atmósfera.

Conforme se crea la lechada de cal en el estanque de solución, se producen algunos granos gruesos de cal los cuales son rechazados por un filtro. Este 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 cal de gran tamaño puede tapar el atomizador y esto obstaculizaría la operación del sistema.

El estanque de almacenamiento de lechada de cal, proporciona un volumen que se enviará al estanque superior del atomizador. Un agitador del estanque mantiene la lechada de cal uniforme y evita que se endurezca en sus paredes. Se proporcionan dos

bombas de alimentación de la lechada de cal, que succionan del estanque de almacenamiento y la descargan al estanque 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 su densidad, aumentando o disminuyendo el volumen de agua que se envía a los estanques de solución de lechada de cal.

Después del estanque de almacenamiento, hay una válvula de control de flujo que regula la cantidad de lechada al estanque superior del atomizador. La información del analizador de dióxido de azufre (SO_2), controla la cantidad de lechada de cal que se añade al estanque superior. Conforme aumentan los niveles de SO_2 , esto indica la necesidad de más lechada, en lugar de ceniza de reciclada en el estanque superior del atomizador, ocasionando que se abra aún 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 retorno dirige la lechada de regreso al estanque de almacenamiento durante un flujo bajo al tanque superior del atomizador.

El otro reactivo que se usa para la extracción de gas ácido es la lechada de producto de reciclado. La ceniza recolectada en el filtro de tela ^[5] contiene lechada de cal sin reaccionar, que se convierte en lechada de producto de reciclado. Esta se combina con lechada de cal en el tanque superior del atomizador, antes de su introducción al sistema de atomización. La ceniza reciclada se recolecta en el silo del sistema de manejo de ceniza. Se usa un filtro de mangas para la ceniza de reciclamiento, para evitar que el polvo generado durante el proceso de carga de ceniza salga a la atmósfera. Un extractor, en el venteo del silo de ceniza de reciclada, se usa para proporcionar una presión negativa en el silo, durante el proceso de carga de ceniza, para auxiliar en la extracción de polvo.

El silo de ceniza de reciclada proporciona ceniza seca, recolectada de las tolvas de filtro de mangas. Para la preparación de lechada reciclada, se alimenta un estanque de producto a través de un alimentador rotatorio. Una compuerta en el fondo del silo de ceniza de reciclada, se usa para aislarlo durante la detención del sistema. Si no se aísla el silo la humedad en el silo de almacenamiento de cal puede ocasionar una obstrucción en el conducto de descarga.

^[5] Filtro de mangas: son utilizados en el flujo de gases de la caldera para separar el material sólido del gas, en este caso con filtros de tela.

El alimentador de ceniza de reciclada, controla el gasto de la ceniza que va al estanque de solución de producto de reciclado. La velocidad del alimentador se basa en el nivel del estanque de almacenamiento de producto de reciclado. Este estanque se usa para preparar la lechada de producto de reciclado, mezclando la ceniza con agua del sistema de agua de reposición. En el estanque de solución de producto de reciclado se usa un agitador para auxiliar en el proceso de hidratación.

El estanque de almacenamiento de la lechada de producto reciclado, proporciona un volumen que se enviará al estanque superior del atomizador. El agitador del estanque ayuda a mezclar de manera uniforme la lechada de producto reciclado y evita que se endurezca en las superficies del estanque. El sistema consta, con dos bombas de alimentación de lechada de producto de reciclado, que toman el material desde estanque de almacenamiento de lechada de producto de reciclado y descargan al estanque superior del atomizador. Cada bomba es capaz de proporcionar todo el flujo del sistema. Se realiza una medición de la densidad de la lechada de producto de reciclado, aumentando o reduciendo el volumen del agua que se envía al estanque de solución de lechada de producto de reciclado.

El estanque superior del atomizador proporciona un volumen de lechada de cal y producto de reciclado para inyectarse en el atomizador del sistema de desulfuración a través del atomizador rotatorio. El estanque filtra la lechada en la línea de succión del atomizador. Un agitador en el estanque ayuda a mezclar de manera uniforme la lechada de producto de reciclado y evita que se endurezca en las superficies del estanque. Una conexión para limpieza en el estanque se usa para extraer sólidos, cuando sea necesario.

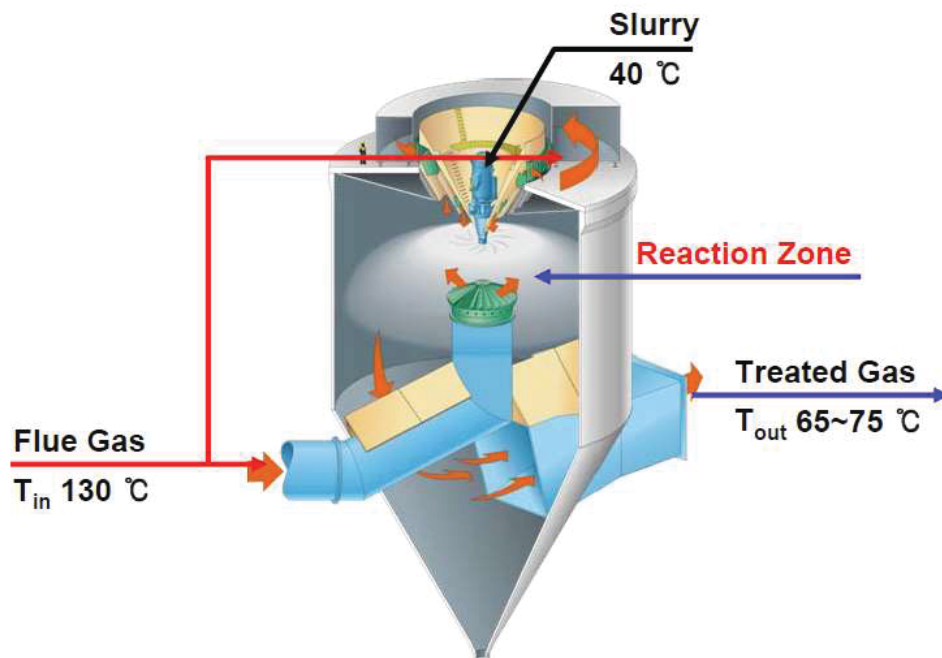
El atomizador rotatorio, recibe lechada de cal del estanque superior del atomizador y agua del sistema de agua de reposición. El atomizador gira a alta velocidad (aproximadamente 10,000 rpm), ocasionando que la lechada se pulverice logrando gotas pequeñas, aumentando el área superficial de la lechada, para que haya una mayor interacción con el gas de combustión, que pasa hacia el sistema de desulfuración. Se proporciona un juego de ventiladores de enfriamiento del atomizador para mantener la temperatura de sus partes internas. Por lo general, uno está en operación y el otro se mantiene en reserva.

El gas de combustión, sale de la caldera a través del calentador aire gas y va hacia el a hacia la cámara absorber por atomización semi seca (SDA ^[6]). Aproximadamente 60 % del gas de combustión se dirige a la parte superior de la camara 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.

Figura 13. Cámara absorber por atomización semi seca

Spray Drying



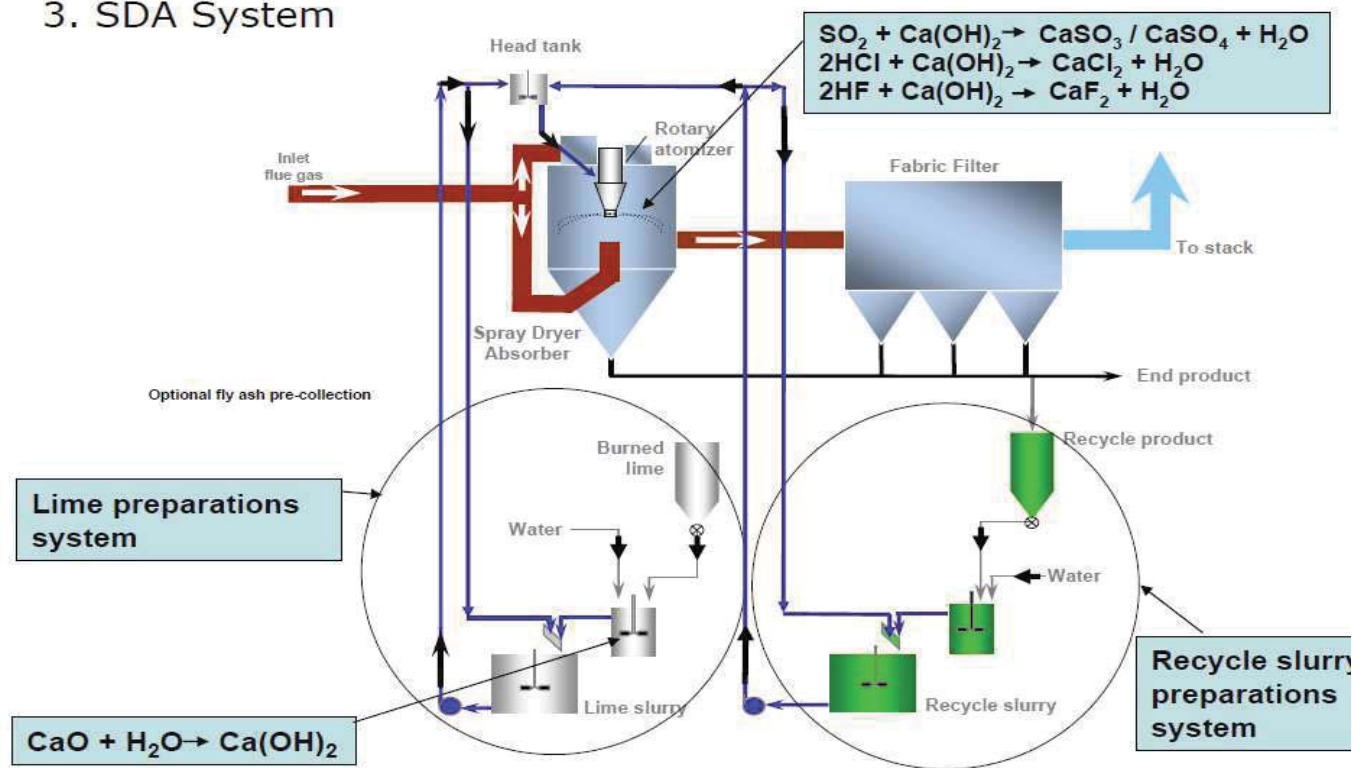
Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

[6] SDA: Cámara o torre donde se produce la depuración del gas de combustión, es decir, la disminución de concentración de óxido de azufre, por método de atomización de lechada de cal semi seca. Por sus siglas en ingles spray dryer atomizer.

Parte del material sólido cae a la tolva del SDA. Esta se encuentra equipada con dos vibradores motorizados, que ayudan a que el flujo del material sólido baje al conducto de descarga. Se proporciona una compuerta deslizante para aislar la tolva de un triturador. El triturador de ceniza, asegura que la ceniza que sale de la tolva de SDA sea lo suficientemente pequeña para que pueda fluir en el sistema de manejo de ceniza.

Figura 14. Sistema cámara absorber por atomización semi seca

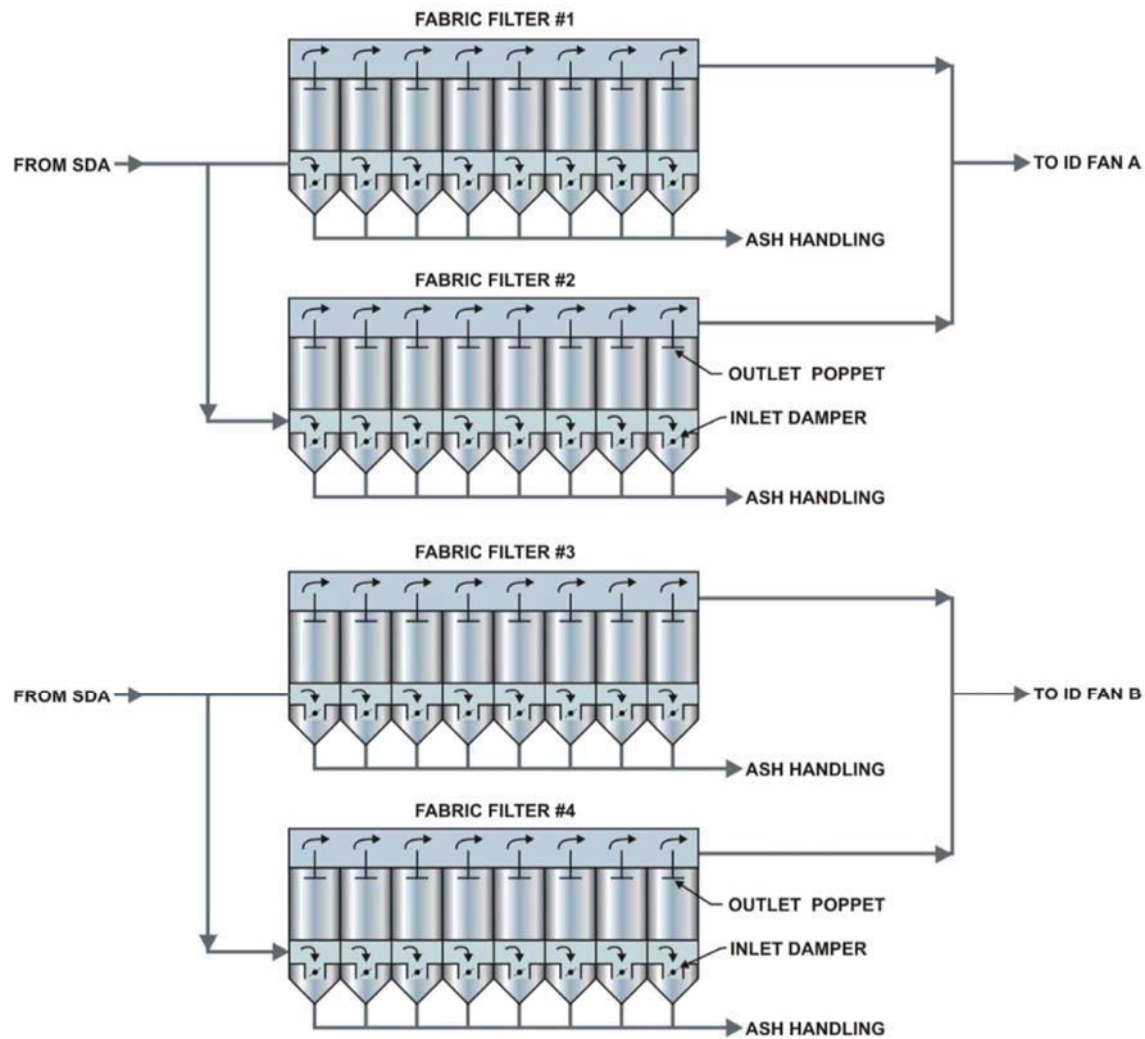
3. SDA System



Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

El gas de combustión que sale de la cámara del SDA, pasa a través de dos conductos de descarga hacia los filtros de manga.

Figura 15. Diagrama salida SDA, entrada al filtros de mangas, salida al sistema de manejo de ceniza



Fuente: Manual de operación y mantenimiento Doosan.

Las bolsas de filtros de tela, se limpian usando aire comprimido a través de cabezales de pulsos de aire adentro de cada compartimiento. Las bolsas de filtros se colocan alrededor de jaulas metálicas y se cuelgan en secciones redondas que se localiza en la parte superior del compartimiento. La sección que se encuentra antes y después de donde se cuelgan los filtros, es donde se separa el gas sucio y el gas limpio del filtro de mangas.

Figura 16. Instalación de filtro de mangas.



Figura 17. Absorción en filtro de tela



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 y así se desprenda la mezcla de material sólido de los gases de combustión y la lechada de cal (ceniza), que queda retenida por el filtro de tela. Esta cae al fondo del compartimiento y se recolecta en la tolva de la cámara del filtro de mangas.

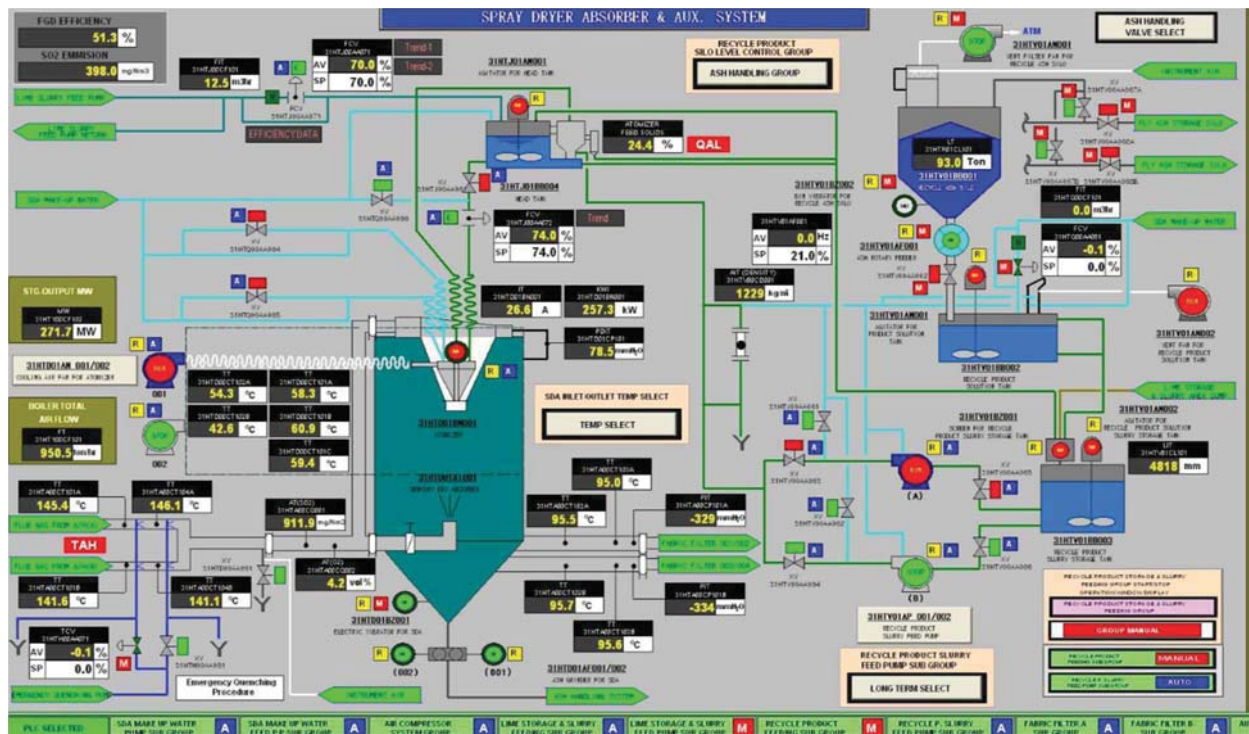
La tolva de la cámara, recolecta la mezcla de cal y ceniza, para ser extraída al sistema de manejo de ceniza. Cada compartimiento tiene un calentador eléctrico para evitar la condensación dentro del compartimiento que podría ocasionar que la ceniza tapara el conducto de descarga a la tolva. Cada tolva tiene una compuerta deslizante para aislarla del sistema de manejo de ceniza.

Los componentes principales del Sistema de FGD incluyen:

- Silo de almacenamiento de cal.
- Alimentador rotatorio de cal.
- Compuerta automática del silo de almacenamiento de cal.
- 2 estanques de solución de lechada de cal.
- Agitador del tanque de solución de lechada de cal.
- Filtro de grano grueso de lechada de cal.
- Estanque de almacenamiento de lechada de cal.

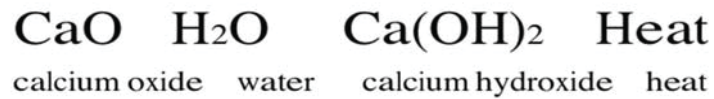
- Agitador del tanque de almacenamiento de lechada de cal.
- 2 Bombas de alimentación de lechada de cal.
- Silo de ceniza de reciclamiento.
- Alimentador rotatorio de ceniza de reciclamiento.
- Estanque de solución de producto de reciclamiento
- Agitador del estanque de solución de producto de reciclamiento.
- Filtro de grano grueso de producto de reciclamiento.
- Estanque de almacenamiento de lechada de producto de reciclamiento.
- Agitador del estanque de almacenamiento de lechada de producto de reciclamiento.
- 2 Bombas de alimentación de lechada de producto de reciclamiento.
- Estanque superior del atomizador.

Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.



2.2.3 APAGADO DE CAL

La piedra de cal (CaO) se usa para el control de la emisión de dióxido de azufre (SO₂) y de otros gases ácidos. La piedra de cal se convierte en hidróxido de calcio (Ca (OH)₂) mediante la adición de agua. Esto produciría un polvo seco, pero con la adición de agua en exceso, se produce una lechada. Esta reacción se puede ver a continuación:



Fuente: Manual de operación y mantención Doosan.

Los factores que afectan el proceso de apagado incluyen: Tipo de piedra caliza, temperatura del apagado, relación de cal contra agua, viscosidad de la lechada, tiempo de apagado, calidad del mezclado, química del agua, temperatura del agua, proceso de calcinación.

El tipo de piedra caliza afecta el proceso de apagado y la calidad de la lechada producida. La cantidad de impurezas que contiene la piedra caliza va a afectar el volumen total disponible. Además, la reactividad de la piedra caliza no será siempre la misma. Diferentes cargas de piedra caliza podrían provenir de canteras o venas diferentes y tendrán distintas propiedades que afectarán el proceso de apagado.

El apagado es más eficiente conforme aumenta la temperatura y se acerca al punto de ebullición. A temperaturas bajas, el proceso es lento. Se debe tener cuidado a temperaturas bajas de apagado para evitar añadir demasiada piedra de cal. Conforme reacciona la cal, la temperatura aumentará, al igual que la capacidad de apagado de la cal. Si se añade demasiada cal, ocurrirá una reacción incontrolada, liberando una cantidad peligrosa de calor y vapor. Por lo general, las temperaturas del apagado se controlan entre 71.1 °C y 85 °C para limitar la formación de vapor. La velocidad del alimentador y la introducción de agua, se controlan para mantener la temperatura de apagado.

Es importante controlar la relación de cal, contra agua en el estanque de mezcla para mantener el tamaño correcto de las partículas de la lechada. El agua en exceso es importante para producir partículas más pequeñas y más adecuadas, aunque aumentará el tiempo de residencia requerido para producir la lechada.

Distintas cargas de cal darán como resultado diferentes viscosidades en la lechada de

cal, dependiendo de las impurezas que contenga. Conforme aumenta la temperatura a cerca de 82 °C, aumentará la viscosidad de la lechada. La reactividad de la cal dará como resultado distintos tiempos de apagado.

La cal menos reactiva podría necesitar casi media hora para hidratarse, mientras que la más reactiva se hidratará en dos o tres minutos. La agitación es necesaria para mezclar la cal por completo durante el apagado. Si el mezclado es insuficiente, podrían producirse lugares calientes dónde la temperatura exceda el punto de ebullición, mientras que otros lugares estarán fríos y no se llevará a cabo la hidratación.

La calidad del agua usada en el proceso de apagado es importante. El agua con contenido alto de sólidos disueltos o que contenga sulfitos es una mala elección para el apagado. La temperatura del agua afecta en gran medida el proceso de apagado. El agua a temperatura baja aumentará el tiempo requerido para hidratar la cal, mientras que el agua a temperatura alta tendrá el efecto contrario.

2.3 MARCO REGULATORIO

Debido a la gran contaminación ambiental que existe actualmente, se hizo necesario la implementación de nuevas tecnologías con el objetivo de mitigar y/o disminuir la emisión de distintos tipos de contaminantes, que producen las diferentes tipos de industrias, en este sentido en nuestro país ha implementado leyes en las cuales limitan la generación de emisión, en este caso, los sistema de desulfuración tienen como principal objetivo el abatimiento de los óxidos de azufre (SO_2), los cuales en mucha concentración pueden producir lluvia ácida.

En el complejo eléctrico de central Ventanas hasta el año 2008 existían 2 plantas de generación eléctrica, las cuales utilizan como combustible principal el carbón, Centrales Ventanas 1 y 2 la cuales en conjunto generaban 340 MWH. Teniendo en ese tiempo como único sistema para mitigar emisiones, un sistema de precipitado electrostáticos los cuales tenían como misión la captación de la ceniza a la salida de la caldera.

Para lograr la construcción de Central Nueva Ventanas y Central Campiche, la empresa Aes Gener S.A. se comprometió en disminuir las emisiones totales en las que incurrieran tener en servicio a las centrales Ventanas 2, Nueva Ventanas y Campiche, para lograr esto instaló un sistema de desulfuración del tipo húmedo en la descarga de los gases de la caldera de central Ventanas 2, la cual permitió disminuir la emisión de SO_2 de un promedio de 1800 mg/Nm^3 a 300 mg/Nm^3 .

Además, para lograr construcción de estas centrales se realiza resoluciones de calificación ambiental RCA 275/10 ^[7] y 1632/06 ^[8] las cuales indican cual es el mínimo nivel de compensación de las emisiones las unidades. La compensación se obtiene sumando las emisiones totales diarias de las Central Nueva Ventanas y Central Campiche. Además, de sumar un 10 %, el cual siempre debe ser menor a $20,2 \frac{\text{T}}{\text{día}}$ de emisión de SO_2 . Lo cual implica que es la emisión máxima diaria que debe tener la central Ventanas 2 .

^[7] RCA 275/10, resolución de calificación ambiental, del ministerio de medio ambiente para la central Campiche, aprobada el 26 de febrero del año 2010.

^[8] RCA 1632/06, resolución de calificación ambiental, del ministerio de medio ambiente para la central Nueva Ventanas, aprobada el 21 de noviembre del año 2006.

De manera de tener un sistema confiable, en la mediciones de emisión de la unidades, se instalan sistemas de monitoreo de chimenea, denominado CEM, el cual tiene datos en línea de las emisiones que salen de la chimenea, estos equipos deben ser validados por una empresa externa cada seis meses, de manera de asegurar que los valores de emisión que se están generando son reales. Además de esta medición se toman datos horarios los cuales ayudan a tener un control diario de las emisiones.

Figura 18. Planilla de emisiones diarias

Unidad 1				
Emisiones	Valor Real Medido Diario	Max. Limite Emisiones	Unidades	Normativa Aplicable
SO ₂	0,110	<= 1,13	[kgSO ₂ /MMBtu]	DS 252
SO ₂	311	<= 400	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	444	<= 500	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	4,56		[Ton/día]	No hay restricciones
MP	1,8	<= 50	[mg/Nm ³]	DS 13
MP	0,020	<= 8,2	[Ton/día]	DS 252
Compensaciones Unidad 4	Valor Real Medido Diario	Mínimo Nivel Compensación	Unidades	Normativa Aplicable
Material Particulado	8,200	>= 0,1104	[Ton/día]	RCA 275 Central Campiche
Unidad 2				
Emisiones	Valor Real Medido Diario	Max. Limite Emisiones	Unidades	Normativa Aplicable
SO ₂	0,108	<= 1,13	[kgSO ₂ /MMBtu]	Decreto 252
SO ₂	279	<= 400	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	412	<= 500	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	6,476		[Ton/día]	No hay restricciones
MP	4,6	<= 50	[mg/Nm ³]	DS 13
MP	0,082	<= 8,2	[Ton/día]	Decreto 252
Compensaciones	Valor Real Medido Diario	Mínimo Nivel Compensación	Unidades	Normativa Aplicable
SO ₂ Unidad 3 y 4	25,587	>= 15,2331	[Ton/día]	RCA 1632 Nueva Ventanas y 275 Campiche
NO _x Unidad 3	14,624	>= 3,01	[Ton/día]	RCA 1632 Nueva Ventanas
Material Particulado Unidad 4	1,232	>= 0,2628	[Ton/día]	RCA 275 Central Campiche
Unidad 3				
Emisiones	Valor Real Medido Diario	Max. Limite Emisiones	Unidades	Normativa Aplicable
SO ₂	7,37	<= 10,10	[Ton/día]	RCA 1632 Nueva Ventanas
SO ₂	369	<= 400	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	389	<= 500	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	8,60	<= 11,52	[Ton/día]	RCA 1632 Nueva Ventanas
MP	5,12	<= 50,00	[mg/Nm ³]	DS-13
MP	0,12	<= 1,06	[Ton/día]	RCA 1632 Nueva Ventanas
Unidad 4				
Emisiones	Valor Real Medido Diario	Max. Limite Emisiones	Unidades	Normativa Aplicable
SO ₂	6,47	<= 10,10	[Ton/día]	RCA 275 Central Campiche
SO ₂	337	<= 400	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	336	<= 500	[mg/Nm ³]	DS 13
NO _x	7,03	<= 11,52	[Ton/día]	RCA 275 Central Campiche
MP	1,15	<= 50,00	[mg/Nm ³]	DS-13
MP	0,03	<= 1,06	[Ton/día]	RCA 275 Central Campiche

Fuente: Departamento de gestion ambiental de AESGENER Complejo Costa

Además de la resolución ambientales 1632 y 275, el 18-01-2011 el ministerio de medio ambiente establece la norma de emisión para centrales termoeléctricas según el DS 13. la cual indica que pasados 3 años de su promulgación las unidades antiguas deben instalar equipos que aseguren el cumplimiento de esta.

El objetivo de la norma es la de prevenir y controlar las emisiones de polvo de ceniza, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y mercurio.

Figura 19. Tabla de emisiones maximas permitidas por el DS13

Combustible	Material Particulado (MP)	Dióxido de azufre (SO ₂)	Óxidos de Nitrógeno (NO _x)
Sólido	50	400	500
Líquido	30	30	200
Gas	n.a.	n.a.	50

Fuente: Decreto supremo N°13

No obstante, si por alguna emergencia los sistemas de abatimiento de SO₂ fallan. Está permitido un 5 % de falla de los equipos, este porcentaje está relacionado con las horas totales de servicio de la unidad durante el periodo de un año. En las cuales se pueden exceder las emisiones por una razón justificable de falla intempestiva o mantención de los equipos.

2.4 COMPARAR EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE DESULFURACIÓN

La eficiencia de cada uno de los sistemas de abatimiento de óxidos de azufre, viene dada según la calidad del carbón, referente a la concentración de óxido de azufre que contenga el carbón según el análisis que se realiza a cada tipo de carbón y tipo de mezcla que se esté utilizando. Además de la capacidad de abatir el SO_2 , que entra al desulfurizador y sale del mismo.

Según la calidad del carbón que queman las calderas, en cuanto a la concentración de óxido de azufre, por diseño de las unidades es similar debiendo tener una concentración máxima de un 2%, con la diferencia que central Nueva Ventanas puede quemar carbón sub bituminoso. El límite de concentración de SO_2 vienen dado por los calentadores de aire, los cuales pueden dañarse al bajar a la temperatura del punto de rocío ^[9] en los gases de salida, para esto se deben mantener una temperatura superior a 110 °C a la salida de los calentadores de gas aire. La eficiencia de cada sistema de abatimiento se analizará según la concentración de entrada y salida de este.

Debido a que son muchos datos se tomara como referencia el promedio mensual de emisión de óxido de azufre de las unidades, en periodos en que las unidades se encontraban a plena carga y sin problemas en sus sistemas de abatimiento de SO_2 .

La eficiencia del SWFGD de central Ventanas 2, puede variar según el porcentaje de apertura del lampo derivativo del calentador de gas-gas, el cual puede estar abierto entre un 20 a un 100 %, debido a que las unidades se mantienen con carga estable durante el periodo, este lampo se mantiene con una apertura de un 50 % según la experiencia operacional manteniendo las emisiones bajo el marco regulatorio.

Para central Nueva Ventanas, el control de emisiones es automático, el abatimiento de SO_2 dependerá de la calidad mezcla, lechada de cal y lechada de cal reciclada, además, esto variara según la emisión de salida la cual el control la mantendrá en el valor límite establecido y esto afectara el consumo de cal.

Para ambas unidades, si en el caso que no se pudiera bajar la emisión de SO_2 , se deberá bajar la producción de vapor que se está produciendo en el generador de vapor. Hasta poder cumplir con la normativa vigente.

^[9] Punto de rocío: la temperatura a la que la humedad contenida en el gas cambia de estado gaseoso al líquido. En los gases de combustión de caldera a carbón, esta condensación se mezcla con el SO_2 , provocando corrosión en los calentadores de gas aire.

A continuación, se muestra el cuadro resumen mensual de las unidades:

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Día	Promedio Emisión SO ₂ horaria (mg/Nm ³) Ventanas 2											
1	262,63	0,00	297,00	19,65	294,94	279,75	212,35	145,55	143,72	0,00	307,01	161,63
2	244,31	0,00	257,08	290,72	312,69	267,51	225,67	146,24	142,92	0,00	631,72	180,46
3	252,31	444,78	284,75	292,29	334,01	278,96	205,91	153,09	150,11	0,00	285,79	181,59
4	239,66	274,83	299,89	262,39	302,73	311,57	209,40	162,78	156,26	0,00	73,48	169,13
5	210,70	265,03	283,88	362,40	313,40	282,72	210,42	157,81	155,61	0,00	95,68	149,07
6	213,94	276,47	292,59	435,11	329,90	277,10	208,13	157,78	155,24	0,00	98,50	151,31
7	218,85	292,50	298,15	272,40	318,16	355,07	212,62	152,28	150,46	0,00	97,31	229,07
8	234,27	285,41	305,31	271,46	307,87	316,22	180,06	156,30	151,48	0,00	104,92	146,30
9	257,03	290,04	283,19	268,70	258,05	304,01	163,09	159,64	152,00	0,00	139,95	146,30
10	234,65	265,80	288,69	382,19	257,48	302,81	147,16	157,47	150,08	0,00	109,68	141,29
11	240,38	306,70	255,84	292,84	249,40	305,10	157,81	161,32	154,95	0,00	121,23	137,76
12	243,09	288,82	197,91	298,14	243,98	331,88	169,04	165,71	148,70	731,03	151,94	136,46
13	251,91	293,90	158,60	280,13	305,91	291,49	183,53	155,18	145,07	173,82	132,31	135,98
14	266,18	297,77	164,19	294,46	275,30	312,28	158,42	159,87	143,32	145,50	106,16	138,30
15	263,60	291,53	182,69	300,59	280,86	317,64	151,29	157,33	147,90	155,61	125,64	137,07
16	259,81	299,45	197,10	295,76	225,81	311,76	155,44	151,04	166,56	172,18	93,55	137,72
17	270,75	276,33	231,05	0,00	230,93	289,46	173,75	189,92	168,16	169,50	80,78	132,50
18	271,62	294,47	305,52	0,00	239,14	283,15	165,33	151,90	164,47	158,85	81,05	129,38
19	267,17	407,48	304,77	0,00	249,95	306,76	175,39	152,20	317,11	162,67	115,34	131,52
20	282,74	307,71	297,96	220,63	238,06	313,29	146,86	154,83	236,47	156,85	135,78	134,95
21	269,20	284,49	296,15	297,07	0,00	311,45	145,28	413,14	196,77	152,28	137,69	141,36
22	287,24	282,81	316,80	281,73	136,06	283,15	150,03	150,13	225,70	0,00	153,82	141,98
23	271,81	308,27	339,63	242,22	247,54	238,44	149,25	154,91	200,72	252,35	153,44	122,55
24	259,30	245,99	313,77	265,42	269,65	253,54	149,66	151,47	200,59	181,73	184,94	129,70
25	267,00	212,48	293,44	309,00	261,04	240,97	144,83	152,74	198,70	183,98	147,83	124,04
26	258,59	206,32	296,78	234,29	235,90	236,34	143,69	158,37	204,21	182,66	147,26	124,02
27	274,27	205,02	310,56	248,40	236,69	239,99	146,48	158,68	200,73	185,06	148,84	126,92
28	269,34	225,54	300,41	301,22	242,58	237,10	147,81	158,43	206,30	184,89	137,85	121,13
29	292,89	247,56	0,00	272,48	269,79	448,15	150,75	245,49	0,00	185,18	184,55	126,85
30	56,19	0,00	0,00	279,13	267,29	237,00	143,80	161,42	0,00	180,12	172,44	135,62
31	444,78	0,00	0,00	0,00	261,92	0,00	141,84	150,47	0,00	279,87		134,52

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Día	Promedio Emisión SO₂ horaria (mg/Nm³) Nueva Ventanas											
1	326,08	252,6	333,79	332,07	18,67	305,59	329,29	294,70	207,26	317,58	295,50	144,84
2	329,65	204,1	249,17	561,46	309,85	299,63	334,28	313,21	306,04	273,79	292,86	0,00
3	324,21	214,8	261,52	321,81	268,97	326,08	328,54	276,51	305,08	323,13	281,42	216,65
4	273,85	217,8	265,16	318,90	281,29	284,47	322,14	284,96	328,22	297,75	311,67	229,31
5	324,33	245,9	316,30	307,56	277,49	314,36	312,85	279,79	350,04	285,55	346,24	219,04
6	308,82	287,0	273,35	285,97	272,37	340,36	310,21	302,13	247,75	334,32	278,13	206,54
7	315,80	252,0	290,38	270,83	312,74	320,81	307,72	284,49	0,00	334,87	316,73	282,70
8	341,06	275,2	316,95	304,75	275,36	318,46	322,94	276,64	0,00	323,72	324,63	302,71
9	302,73	269,7	264,83	301,09	241,54	266,27	293,15	300,50	0,00	294,61	322,38	303,73
10	352,09	244,8	313,63	303,31	260,74	287,70	336,79	268,75	0,00	308,72	324,51	295,26
11	341,98	282,7	321,38	298,72	234,55	303,42	318,99	271,48	0,00	304,84	326,20	312,73
12	346,73	297,5	342,38	315,26	294,71	319,84	322,95	304,17	0,00	308,89	332,13	298,81
13	325,56	311,1	338,03	322,66	287,88	327,82	282,22	313,01	0,00	302,15	328,68	284,29
14	353,74	253,2	279,01	305,02	324,63	281,51	254,25	277,24	0,00	287,11	324,81	284,89
15	339,53	265,6	294,45	297,28	284,99	315,49	245,47	261,39	0,00	273,95	328,24	275,06
16	258,65	274,2	300,16	309,22	257,69	331,83	307,28	262,97	0,00	246,37	312,51	272,94
17	0,00	293,1	295,35	275,46	259,59	301,44	306,76	253,85	0,00	235,13	329,77	294,36
18	0,00	286,9	319,11	298,15	311,64	310,48	318,00	295,53	0,00	320,12	273,59	250,88
19	0,00	282,1	314,71	311,29	302,98	341,61	285,11	262,98	0,00	313,19	290,89	294,59
20	0,00	270,0	313,55	276,13	305,38	308,27	308,60	261,76	0,00	320,77	263,70	300,62
21	0,00	306,7	292,85	271,81	303,77	338,24	313,53	256,79	0,00	269,64	305,05	274,98
22	0,00	286,4	301,27	319,86	261,75	350,33	297,55	241,88	0,00	306,49	280,37	275,42
23	0,00	315,7	319,75	353,62	311,38	340,43	465,95	278,08	0,00	310,26	296,88	271,65
24	0,00	301,6	307,92	350,47	306,78	340,84	286,84	245,49	0,00	313,61	307,94	277,03
25	0,00	318,6	317,83	340,77	319,92	321,28	307,62	232,42	33,13	298,71	293,87	264,62
26	0,00	282,1	270,24	316,20	324,23	324,08	306,64	267,35	0,00	279,16	315,75	285,85
27	0,00	285,1	282,53	0,00	341,66	340,02	252,85	294,86	23,97	286,24	224,43	243,38
28	0,00	285,1	318,32	0,00	307,02	323,65	251,89	309,30	92,18	317,04	270,22	277,70
29	0,00	290,4	316,84	0,00	287,46	338,36	276,27	271,19	0,00	275,15	244,67	299,67
30	0,00	0,00		0,00	315,41	341,65	329,83	270,14	0,00	289,02	266,67	317,53
31	0,00	0,0		0,00	315,41	341,65	329,83	270,14	0,00	289,02		317,53

2.4.1 EFICIENCIA DEL SISTEMA DE ABATIMIENTO DE EMISIÓN DE SO₂

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Eficiencia del desulfurizador Ventanas 2 en %											
85,4	100,0	83,5	98,9	83,6	84,5	88,2	91,9	92,0	100,0	82,9	91,0
86,4	100,0	85,7	83,8	82,6	85,1	87,5	91,9	92,1	100,0	64,9	90,0
86,0	75,3	84,2	83,8	81,4	84,5	88,6	91,5	91,7	100,0	84,1	89,9
86,7	84,7	83,3	85,4	83,2	82,7	88,4	91,0	91,3	100,0	95,9	90,6
88,3	85,3	84,2	79,9	82,6	84,3	88,3	91,2	91,4	100,0	94,7	91,7
88,1	84,6	83,7	75,8	81,7	84,6	88,4	91,2	91,4	100,0	94,5	91,6
87,8	83,7	83,4	84,9	82,3	80,3	88,2	91,5	91,6	100,0	94,6	87,3
87,0	84,1	83,0	84,9	82,9	82,4	90,0	91,3	91,6	100,0	94,2	91,9
85,7	83,9	84,3	85,1	85,7	83,1	90,9	91,1	91,6	100,0	92,2	91,9
87,0	85,2	84,0	78,8	85,7	83,2	91,8	91,3	91,7	100,0	93,9	92,2
86,6	83,0	85,8	83,7	86,1	83,0	91,2	91,0	91,4	100,0	93,3	92,3
86,5	84,0	89,0	83,4	86,4	81,6	90,6	90,8	91,7	59,4	91,6	92,4
86,0	83,7	91,2	84,4	83,0	83,8	89,8	91,4	91,9	90,3	92,6	92,4
85,2	83,5	90,9	83,6	84,7	82,7	91,2	91,1	92,0	91,9	94,1	92,3
85,4	83,8	89,9	83,3	84,4	82,4	91,6	91,3	91,8	91,4	93,0	92,4
85,6	83,4	89,1	83,6	87,5	82,7	91,4	91,6	90,7	90,4	94,8	92,3
85,0	84,6	87,2	100,0	87,2	83,9	90,3	89,4	90,7	90,6	95,5	92,6
84,9	83,6	83,0	100,0	86,7	84,3	90,8	91,6	90,9	91,2	95,5	92,8
85,2	77,4	83,1	100,0	86,1	83,0	90,3	91,5	82,4	91,0	93,6	92,7
84,3	82,9	83,4	87,7	86,8	82,6	91,8	91,4	86,9	91,3	92,5	92,5
85,0	84,2	83,5	83,5	100,0	82,7	91,9	77,0	89,1	91,5	92,4	92,1
84,0	84,3	82,4	84,3	92,4	84,3	91,7	91,7	87,5	100,0	91,5	92,1
84,9	82,9	81,1	86,5	86,2	86,8	91,7	91,4	88,8	86,0	91,5	93,2
85,6	86,3	82,6	85,3	85,0	85,9	91,7	91,6	88,9	89,9	89,7	92,8
85,2	88,2	83,7	82,8	85,5	86,6	92,0	91,5	89,0	89,8	91,8	93,1
85,6	88,5	83,5	87,0	86,9	86,9	92,0	91,2	88,7	89,9	91,8	93,1
84,8	88,6	82,7	86,2	86,9	86,7	91,9	91,2	88,8	89,7	91,7	92,9
85,0	87,5	83,3	83,3	86,5	86,8	91,8	91,2	88,5	89,7	92,3	93,3
83,7	86,2	100,0	84,9	85,0	75,1	91,6	86,4	100,0	89,7	89,7	93,0
96,9	100,0	100,0	84,5	85,2	86,8	92,0	91,0	100,0	90,0	90,4	92,5
75,3	100,0	100,0	100,0	85,4	100,0	92,1	91,6	100,0	84,5	100,0	92,5

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Eficiencia del desulfurizador Nueva Ventanas en %											
82,37	86,34	81,96	82,05	98,99	83,48	82,20	84,07	88,80	82,83	84,03	92,17
82,18	88,96	86,53	69,65	83,25	83,80	81,93	83,07	83,46	85,20	84,17	100,00
82,48	88,39	85,86	82,60	85,46	82,37	82,24	85,05	83,51	82,53	84,79	88,29
85,20	88,23	85,67	82,76	84,79	84,62	82,59	84,60	82,26	83,91	83,15	87,60
82,47	86,71	82,90	83,38	85,00	83,01	83,09	84,88	81,08	84,56	81,28	88,16
83,31	84,48	85,22	84,54	85,28	81,60	83,23	83,67	86,61	81,93	84,97	88,84
82,93	86,38	84,30	85,36	83,09	82,66	83,37	84,62	100,00	81,90	82,88	84,72
81,56	85,12	82,87	83,53	85,12	82,79	82,54	85,05	100,00	82,50	82,45	83,64
83,64	85,42	85,68	83,73	86,94	85,61	84,15	83,76	100,00	84,08	82,57	83,58
80,97	86,77	83,05	83,60	85,91	84,45	81,80	85,47	100,00	83,31	82,46	84,04
81,51	84,72	82,63	83,85	87,32	83,60	82,76	85,33	100,00	83,52	82,37	83,10
81,26	83,92	81,49	82,96	84,07	82,71	82,54	83,56	100,00	83,30	82,05	83,85
82,40	83,18	81,73	82,56	84,44	82,28	84,74	83,08	100,00	83,67	82,23	84,63
80,88	86,31	84,92	83,51	82,45	84,78	86,26	85,01	100,00	84,48	82,44	84,60
81,65	85,64	84,08	83,93	84,59	82,95	86,73	85,87	100,00	85,19	82,26	85,13
86,02	85,18	83,78	83,29	86,07	82,06	83,39	85,79	100,00	86,68	83,11	85,25
100,00	84,16	84,04	85,11	85,97	83,71	83,42	86,28	100,00	87,29	82,17	84,09
100,00	84,49	82,75	83,88	83,15	83,22	82,81	84,03	100,00	82,70	85,21	86,44
100,00	84,75	82,99	83,17	83,62	81,53	84,59	85,78	100,00	83,07	84,28	84,08
100,00	85,40	83,05	85,07	83,49	83,34	83,32	85,85	100,00	82,66	85,75	83,75
100,00	83,42	84,17	85,31	83,58	81,72	83,05	86,12	100,00	85,42	83,51	85,14
100,00	84,52	83,72	82,71	85,85	81,06	83,92	86,93	100,00	83,43	84,84	85,11
100,00	82,93	82,72	80,89	83,17	81,60	74,81	84,97	100,00	83,23	83,95	85,32
100,00	83,69	83,36	81,06	83,42	81,58	84,49	86,73	100,00	83,05	83,35	85,03
100,00	82,78	82,82	81,58	82,71	82,63	83,37	87,44	98,21	83,85	84,11	85,70
100,00	84,71	85,39	82,91	82,47	82,48	83,42	85,55	100,00	84,91	82,93	84,55
100,00	84,59	84,73	100,0	81,53	81,62	86,33	84,06	98,70	84,53	87,87	86,84
100,00	84,59	82,79	100,0	83,40	82,51	86,38	83,28	95,02	82,86	85,39	84,99
100,00	84,30	82,87	100,0	84,46	81,71	85,07	85,34	100,00	85,13	86,77	83,80
100,00	100,00	100,00	100,0	82,95	81,53	82,17	85,40	100,00	84,38	85,59	82,84
100,00	100,00	100,00	100,0	82,95	81,53	82,17	85,40	100,00	84,38	100,00	82,84

Según los valores de las tablas, se observa que la eficiencia promedio del sistema de abatimiento de SO_2 de central Ventanas 2, es de un 85 % en los periodos que la unidad se encuentra trabajando a plena carga, pero debido a que no cuenta con un sistema automático para el control de emisión de SO_2 , en periodos que la unidad se encuentra con baja carga la eficiencia aumenta ya que una menor cantidad de gases que es lavado, con el mismo flujo de agua de las bombas absorber y la misma apertura del lampo derivativo de calentador gas-gas. Teniendo variaciones entre 80 % y 93 % de abatimiento de SO_2 .

Para el desulfurizador de central Nueva Ventanas, se observa el mismo promedio de 85 % de eficiencia, con valores que están entre 81% y 88 % de eficiencia los cuales están determinados según el valor de ajuste que el operador haya mantenido como parámetro de salida de las unidades, el cual permite al sistema regular según ese valor, el uso eficiente del de cal que se adiciona a la lechada de cal.

2.5 ANÁLISIS DE LAS MAYORES FALLAS DE AMBOS SISTEMAS.

Para el sistema de desulfurado con agua de mar de central ventanas 2, el problema más recurrente, se encuentra relacionado indirectamente al sistema original ya que para realizar el proceso de lavado de gases, se utiliza de agua de mar, de la descarga del condensador, esta agua es extraída desde el mar por las bombas de agua de circulación y es filtrada por un sistema de rejillas fijas y móviles. En estas queda la mayor parte de biota de mar, que ingresa a la central. Pero de todas maneras ingresa biota la cual pasa por el condensador y ensucia el filtro de las bombas absorber. Esto implica que el nivel del pozo de las bombas baje y por protección las bombas por baja nivel, estas se detienen, provocando la salida de servicio de manera automática de SWFGD. Para evitar esto el filtro de las bombas absorber consta con un sistema de limpieza, que en algunos casos cuando no es mantener la limpieza de los filtros.

Para el desulfurizador de central Nueva Ventanas, la falla más común es en la cámara de atomización, en el cual existe un atomizador el cual gira a 10.000 rpm, por lo cual produce un desgaste progresivo, y debe ser remplazado aproximadamente cada 6 meses, realizando una mantención predictiva, verificando el comportamiento del flujo la mezcla de lechada de cal para esto, la unidad baja su generación a mínimo técnico y con el SDA fuera de servicio, durante este periodo la unidad queda sin sistema de abatimiento de SO₂.

3 CAPITULO III: ASPECTOS ECONÓMICOS

ASPECTOS ECONÓMICOS A CONSIDERAR

Los equipos auxiliares de una central termoeléctrica consumen en promedio un 12 % de la generación bruta de la unidad y es un aspecto importante a considerar ya que sin estos sistemas las unidades no podrían mantenerse en servicio.

Cuando las unidades se encuentran fuera de servicio tienen alimentación del sistema interconectado del coordinador eléctrico nacional, posteriormente cuando ya se encuentran generando energía ellas son capaces de sustentar por si solas los equipos auxiliares que tengan.

3.1 COSTO DE OPERACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE DESULFURIZADOR.

Ventanas 2: el sistema de desulfuración de ventanas 2 al utilizar agua de mar para el abatimiento del SO_2 , no necesita productos adicionales para lograr su objetivo. Debido a lo simple del sistema, solo que se debe considerar el costo de mantención que tengan los equipos y el consumo eléctrico que tenga los equipos principal para este cálculo se utilizara un promedio de los costos marginales del año 2016, por el consumo energético de los diferentes promedio diario. Que para este sistema es de 3 MW diarios.

Para este caso utilizamos como valor de referencia, el costo de la venta de la energía, para saber el costo de la operación del equipo.

Para el cálculo del costo total, se utilizará el consumo diario de energía, multiplicado por el costo de marginal promedio mensual, es decir, el costo de venta promedio de la energía mensual, expresado en [\$/US/MW].

Costo total con el promedio mensual del SWFGD de central Ventanas 2

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Costo marginal promedio mensual [US/MW]											
42	55	61	45	42	85	92	44	46	43	46	41
3906	4620	5673	4050	3906	7650	8556	4092	4140	3999	4140	3813
Total \$US		58545									

Nueva Ventanas: debido a que el sistema de desulfuración utiliza como materia prima principal, piedra de cal, este es el costo de operación más relevante, el resto como: bombas, mezcladores, extractores y atomizador, son mínimos comparados con el consumo de energía de central Ventanas 2 debido a que los equipos son más pequeños. Para el cálculo de costo de la cal se toma como referencia que la tonelada tiene un valor de \$US 7,3.

Para esto se utilizará el consumo de cal diario multiplicado por su precio:

Costo total con el promedio mensual del SDA de central Ventanas 3

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Consumo de cal mensual [T]											
1186	1231	1413	1362	1639	1448	1204	1663	1374	1296	1322	1470
8657,8	8986,3	10314,9	9942,6	11964,7	10570,4	8789,2	12139,9	10030,2	9460,8	9650,6	10731
Total \$US	121238,4										

3.2 COSTO DE MANTENCIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE DESULFURIZADOR

Para los diferentes equipos de la central se tiene un proceso de mantención preventiva y otra correctiva.

Mantenimiento preventivo: es el que se realiza de manera anticipada para evitar una falla, principalmente para este objetivo se realiza inspección de equipo, lubricación, limpieza de filtros, medición de vibraciones y utilización de experiencia previa para saber cada cuanto periodo se revisar un equipo.

Mantenimiento correctivo: es aquel que la falla ya ocurrió y debe realizar una reparación o cambio de elemento, estas son comunes por falla de material, fatiga u operación inadecuada de los equipos.

Para el caso de los costos de mantención se tiene el detalle de todos los gastos en que se incurrieron el año 2016, para ambas unidades se incluyen la mantenciones preventivas y correctivas.

En el caso de la central Nueva Ventanas, se incluye el filtro de mangas ya que afecta directamente en la operación del SDA aportando con alrededor de un 15% de eficiencia en el ciclo de abatimiento.

En la central Nueva Ventanas , como ya se había mencionado, el mayor de los gastos está en el atomizador del SDA que por cambio de utilizan cerca de \$US 110.000

En los anexos se entrega el detalle de todos los costos asociados a los mantenimientos que se realizaron el 2016.

Descripción	Costos Reales	Costos Material SAP [10]	Costos Material Texto	Costos Servicios	Año
Costo total de mantenimiento \$US Central Ventanas 3	454698,46	9114,38	278394,49	167189,59	2016

Descripción	Costos Reales	Costos Material SAP	Costos Material Texto	Costos Servicios	Año
Costo total de mantenimiento \$US Central Ventanas 2	100099,28	2699,64	31631,59	65768,05	2016

[10] SAP: un programa computacional que se utiliza para la administración de: sistemas, aplicaciones y productos para el procesamiento, el cual puede ser utilizada para llevar los seguimientos de activos, tasas de falla, costos etc, este sistema es muy versátil ya que puede ser utilizado en empresas de negocios, manufactura, ventas, entidades bancarias, hospitales, etc.

De las tablas se observa que los mayores costos están en los costos de materiales y de los costos de servicio de central ventanas, además realizando una comparación, entre los costos totales de mantención anual, con central Ventanas 2 es más de 4,5 veces mayor.

3.3 COSTO POR FALLA DEL SISTEMA.

Durante el proceso en que las unidades se encuentran en servicio es posible que, por diversos motivos, algunos sistemas auxiliares fallen y esto afecte directamente la generación de las unidades. Esto podría afectar en una disminución de la generación o directamente en la desconexión de las unidades.

Para el caso de los equipos de desulfuración, afectarían directamente a la caldera en caso que hubiese una falla de control o existiera una algún tipo de obstrucción en el flujo de los gases, y además si estos no fuesen capaces de abatir las emisiones la unidad generadora, deberá bajar tanta generación como sea posible para mantener las emisiones bajo la norma, si esto no fuese suficiente y la falla persiste en el tiempo la unidad deberá salir de servicio para no afectar el 5% de exceso de emisiones de SO₂, atribuible a fallas, según el DS 13.

Los costos asociados a las fallas de los sistemas, que utilizaremos en este caso, son los que las unidades dejaron de producir por falla de equipos asociados al sistema de abatimiento de SO₂. Para lograr este propósito de utilizaran los datos que se llevan en un registro, de cada falla que ocurra en cada unidad y el por qué esta debió disminuir la generación y/o salir de servicio.

En ventanas 2 como ya se había mencionado la principal falla es la detención de las bombas absorber debido al bajo nivel de los pozos, a pesar de estos se realiza la revisión de eventos del año 2016, y se detecta que hubo una falla atribuible a una mala operación en una UPS ^[10] que se encontraba fuera de servicio, según esto se obtiene la siguiente tabla resumen para ventanas 2

Inicio		Termino		Carga en evento [MWH]		Observación
04-06-16	03:23	04-06-16	04:23	130	119	Falla FGD
07-06-16	14:15	07-06-16	15:00	150	138	Falla FGD
12-08-16	10:13	12-08-16	10:45	164	151	Falla FGD
17-08-16	17:00	17-08-16	18:30	150	138	Falla FGD

Fuente: Eventos unidad año 2016, AESGENER VENTANAS

^[11] **UPS:** Sistema de Energía Ininterrumpida, la cual proporcionan la energía eléctrica necesaria a equipos críticas, en caso de falla de alimentación eléctrica normal, es decir, es un sistema de alimentación de respaldo con baterías que mantiene equipos críticos disponibles durante la falla.

En central Nueva Ventanas, como ya se había mencionado la principal mantención es el cambio del atomizador cada 6 meses, a pesar de estos se realiza la revisión de eventos del año 2016, se detectan alta emisiones en la cual para poder controlar esto, se debió bajar generación, estas son atribuibles a una falla en el control, dando como resultado una mala mezcla en la lechada de cal los que produce un aumento en las emisiones.

Adicionalmente se incluye en las fallas las limitaciones que tuvo la unidad por efecto de problemas en los filtros de mangas, debido a que afecta directamente en la eficiencia del desulfurizador, para este caso se observa como falla más común el alta diferencial del filtro de mangas, lo que podría provocar una salida automática de la unidad. Las posibles causas de esta alta diferencial, son que las mangas estén saturadas de polvo debido a una deficiente limpieza de las mangas o que hayan tenido problemas en sistema de transporte de ceniza y las tolvas de los filtros de mangas estuvieron llenas de polvo.

A continuación, se muestra la tabla con las fallas del filtro de mangas y SDA de central Nueva Ventanas

Inicio		Termino		Carga en evento		Observación
01-01-16	19:10	01-01-16	19:14	260	238	Control emisiones de SO ₂
01-01-16	19:14	01-01-16	20:07	250	229	Control emisiones de SO ₂
01-01-16	20:07	01-01-16	20:42	260	238	Control emisiones de SO ₂
01-01-16	20:42	01-01-16	21:16	265	243	Control emisiones de SO ₂
12-02-16	14:08	12-02-16	22:43	235	215	Alta diferencial FF- A y B
13-02-16	19:52	13-02-16	21:02	230	211	Alta diferencial FF- A y B
13-02-16	21:02	13-02-16	21:20	210	192	Alta diferencial FF- A y B
22-04-16	16:39	22-04-16	16:50	260	238	Control emisiones de SO ₂
22-04-16	16:50	22-04-16	17:22	250	229	Control emisiones de SO ₂
22-04-16	17:22	22-04-16	17:37	260	238	Control emisiones de SO ₂
22-04-16	17:37	22-04-16	17:50	265	243	Control emisiones de SO ₂
23-07-16	12:00	23-07-16	21:13	110	101	Cambio atomizador
29-11-16	18:42	29-11-16	18:55	260	238	Alta diferencial FF- A y B

Para poder cuantificar cual es costo por disminuir la generación, se tomaran como base la generación oficial que está del Coordinador Eléctrico Nacional, que para central Ventanas 2 son 220 MWH y Central Nueva Ventanas 272 MWH. Menos a la generación que se tuvo que llegar para mantener la unidad con parámetros de operación normales.

Por ejemplo; si la unidad 2 debe bajar la generación a 130 MWH, la energía no generado por efecto de la falla será: $220 - 130 = 90$ MWH.

Este valor se deberá cuantificar por el periodo de tiempo que ocurrió la falla y el valor del costo marginal (para este caso el costo marginal promedio del mes) por ejemplo la primera falla de ventanas 2:

$$(220-130) \text{ MWH} * 1 \text{ H} * 42 \text{ \$US/MW} = 3780 \text{ \$ US}$$

Según esto tenemos los costos asociados a falla de Ventanas 2

Cmg	Duración evento	Energía no generada	Costo evento
\$US/MW	Horas	MWH	\$US
42	01:00	90	3780
85	00:45	70	4462,5
44	00:32	56	1256,6
44	01:30	70	4620

Lo que entrega un total de 14.119,14 \$US por falla en el año 2016

Según esto, tenemos los costos asociados a falla de Ventanas 3

Cmg	Duración evento	Energía no generada	Costo evento
\$US/MWH	Horas	MWH	\$US
42	00:04	34	99,9
42	00:53	43	1594,8
42	00:35	34	828,1
42	00:34	29	716,6
55	08:35	57	26842,1
55	01:10	61	3921,0
55	00:18	80	1316,1
45	00:11	34	260,1
45	00:32	43	1068,0
45	00:15	34	382,5
45	00:13	29	278,0
92	09:13	171	145151,0
46	00:13	34	328,4

Lo que entrega un total de 182.786,8 \$US por falla en el año 2016

4 CAPITULO IV

CONCLUSIONES

Según los antecedentes recopilados se puede concluir lo siguiente:

- Para los sistemas de desulfuración existe la diferencia que uno es semi seco utilizando cal para absorber el SO_2 y el de ventanas dos 2 es húmedo utilizando agua de mar para lavar los gases de la combustión y disminuir con esto la emisión.
- Según la eficiencia de ambos sistemas tenemos que el sistema de abatimiento de SO_2 , del tipo húmedo en su rango máximo, es un 5 % más efectivo que el tipo semi seco. En cuanto en su rango inferior también es más eficiente en un 1 %. Por lo tanto el sistema de desulfuración humedo es más eficiente
- Un sistema automático es más eficiente que uno manual debido a que maximiza el uso de los recursos manteniendo las emisiones bajo el marco regulatoria usando solo la cantidad de materia prima que sea necesaria.
- Desde el punto de vista del costo de mantener en servicio los sistemas de FGD basándonos únicamente en el costo de materia prima principal, el SDA es más de un 1,1 veces más costoso que el SWFGD por concepto de compra de cal teniendo un costo anual de \$US 121.238,4 y en cambio el SWFGD por concepto de uso de energía solo consume \$US 57.780.
- Debido a que utiliza equipos rotativos que giran a gran velocidad sumado a la cal que ocasiona problemas da abrasión el SDA, tiene un mayor costo en concepto de mantenimiento debido a que se debe realizar disminución de generación de 170 MW por un periodo de 9 horas, más el costo de materiales del atomizador.
- Realizando una revisión a los costos por concepto de reparaciones en trabajos de mantenimiento correctivo o preventivo el costo de mantener el SDA es casi un 4,5 veces más costoso que el SWFGD de Ventanas 2, esto debido a que tiene muchos más equipos asociados a la operación los cuales necesitan mayor observación, y también tiene más degaste de material debido a la abrasión debido al flujo de cal.
- Basándonos en los costos de los sistemas de desulfuración según sus fallas durante el año 2016, observamos que el FGD al tener mayor cantidad de equipos asociados tiene una mayor tasa de fallas y con esto un mayor costo total de durante el año siendo 13 veces mayor el costo de falla del sistema de desulfuración de central Nueva Ventanas que Ventanas 2
- Basándonos en los datos obtenidos por concepto de costos totales, la operación de SDA de central Nueva Ventanas, resulta mucho más costoso que el SWFGD de Ventanas 2, siendo más económico por concepto de fallas y costos de reparación.

- No se incluye en este estudio los costos de transporte de sub-producto, ceniza más cal a vertedero ya que son comunes para las 4 unidades
- Debido a la simplicidad del sistema que solo utiliza una pasada de agua de mar y que luego se mezcla con los gases de salida de la caldera, es mucho menos probable que tenga mayores fallas, ya que casi todos los equipos tienen un respaldo.
- Se toma el periodo del año 2016 ya que es el más cercano y que durante la operación, ya no se sufrían fallas por concepto de falla de construcción o falla de operación debido a que se debió pasar por un proceso de aprendizaje para tener los valores de operación normales.

CAPITULO V

5.1 ANEXOS

• DETALLE DE COSTO DE MANTENCIÓN DE LA CENTRAL VENTANAS 2

Descripción	Costos Reales	Costos Material SAP	Costos Material Texto	Costos Servicios	Unidad
Sistema Tratamiento Gases Combustión FGD	54.840,84	6.644,51	13.558,68	34.633,15	VENTANAS 2
Sistema Conductos de Gases de Combustión	-1.350,98	0,00	3204,56	-4.633,34	VENTANAS 2
Gases Entrada lado Sur	7	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Temperatura. Entrada Gases (sur)	0	0	0	0	VENTANAS 2
Gases Salida Ventiladores Booster a GGH	0	0	0	0	VENTANAS 2
Lampo Salida FGD Ventilador Booster (sur) 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Lampo Salida FGD Ventilador Booster (norte)2A	6	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Presión Diferencial (Gases-A.Sello) 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Gases de Salida GGH hacia Absorber	0	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Temperatura entrada Absorber	0	0	0	0	VENTANAS 2
Jta Exp.Salida Gases Tratados desde GGH	0	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Presión Diff(Gases-A.Sello) 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Ducto A2 a Chimenea Sur	0	0	0	0	VENTANAS 2
Estructuras Ducto Norte a Chimenea	2.859,23	0	0	2.859,23	VENTANAS 2
Gases Entrada Norte	7	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Temp. Entrada Gases (norte)	0	0	0	0	VENTANAS 2
Intercambiador Gas to Gas (GGH)	9,4	0	0	0	VENTANAS 2
Descanso de Soporte Rotor GGH (inferior)	0	0	0	0	VENTANAS 2
Soplador Superior GGH	-51,48	0	0	-51,48	VENTANAS 2
Soplador Inferior GGH	0	0	0	0	VENTANAS 2
LS Lanza Limpieza GGH Superior (fuera)	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema de Ventiladores Escape de Gases	9.546,59	0,00	9540,59	0	VENTANAS 2
Sistema Ventilador Booster 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador Booster 2B	201,39	0	157,19	0	VENTANAS 2
Transmisor Presión diferencial. Carcasa 10CP110 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Presión Diferencial. Carcasa 10CP111 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema Hidráulico Ventilador Booster 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Estanque Aceite Sistema Hidráulico 2B	519,65	0	519,65	0	VENTANAS 2
Transmisor Nivel TK Aceite Hidráulico 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 11CP201 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 11CP202 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 12CP201 2B	12	0	0	0	VENTANAS 2

Descripción	Costos Reales	Costos Material SAP	Costos Material Texto	Costos Servicios	Unidad
Switch Diferencial Presión 12CP202 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema Ventilador Booster 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador Booster 2A	28,4	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema Hidráulico Ventilador Booster 2A	-9,17	0	0	-9,17	VENTANAS 2
Estanque Aceite Sistema Hidráulico 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 21CP201 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 21CP202 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 22CP201 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Switch Diferencial Presión 22CP202 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Absorber	129,84	0	103,34	0	VENTANAS 2
Absorber	28,7	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Nivel Absorber 10CL101	1.258,93	0,00	1258,93	0	VENTANAS 2
Panel PLC Absorber	0	0	0	0	VENTANAS 2
Rectificador ECO System	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema de Neutralización	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema de Aireación	0	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador Aireación 2A	-5.161,63	0	0	-5.161,63	VENTANAS 2
Ventilador Aireación 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Presión diferencial entrada Ventilador. 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Transmisor Temperatura descanso ventilador 2B	130,82	130,09	0	0,73	VENTANAS 2
Piscina de Descarga	860,54	0	834,54	0	VENTANAS 2
Bomba Sumergible a Unidad 3	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sensor	12,4	0	0	0	VENTANAS 2
Suministro de Agua	7.516,58	0	0	7.516,58	VENTANAS 2
Indicador Nivel Pozo Suc.Bba.Abs.111 2B	8,8	0	0	0	VENTANAS 2
Bombas Suministro Agua de Mar a Absorber	8.557,25	0,00	7514,15	900	VENTANAS 2
Válvula Control Flujo Bomba Absorber 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Válvula Control Flujo Bomba Absorber 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Bomba Absorber 2A	1.947,33	0	0	1.655,58	VENTANAS 2
Bomba Absorber 2B	58.643,65	2161,65	760,43	55.456,17	VENTANAS 2
Malla Filtro Succión Bomba 2A	0	0	0	0	VENTANAS 2
Panel Control.Unidad Hdr.Valv.Desc.Bombas	3	0	0	0	VENTANAS 2
Suministro de Agua Mar hacia y desde U3	0	0	0	0	VENTANAS 2
Bomba Vacío	0	0	0	0	VENTANAS 2
Analizador PH Seal Pit U2	140,15	0	83,45	0	VENTANAS 2
Transmisor Temperatura Seal Pit U2	3.514,77	0,00	3514,77	0	VENTANAS 2
Compresor de Aire de Servicio sistema de soplado GGH	334,92	0	288,92	0	VENTANAS 2
Sistema Limpieza Algas Filtros FGD	13,77	0	0	-10,73	VENTANAS 2
Sistema de Levante N°1	79,19	0	45,99	0	VENTANAS 2

Descripción	Costos Reales	Costos Material SAP	Costos Material Texto	Costos Servicios	Unidad
Motor Reductor Carro N°1	24,7	0	0	0	VENTANAS 2
Carro Limpieza N°1	5.119,39	407,90	2143,97	1.966,42	VENTANAS 2
Sensor de Nivel Laser Carro N°1	5.479,32	0	0	5.360,52	VENTANAS 2
Sistema de Levante N°2	30	0	0	0	VENTANAS 2
Motor Reductor Carro N°2	16,9	0	0	0	VENTANAS 2
Carro Limpieza N°2	662,65	0	386,95	0	VENTANAS 2
Limit Switch de carrera N°1 Carro N°2	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sensor de Nivel Laser Carro N°1	18,6	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema Neumático	47,2	0	0	0	VENTANAS 2
Válvula Neumática N°1	10	0	0	0	VENTANAS 2
Válvula Neumática N°5	0	0	0	0	VENTANAS 2
Bomba Neumática N°2	759,53	0	710,43	0	VENTANAS 2
Bomba Neumática N°3	607,26	0	556,26	0	VENTANAS 2
Sistema Hidráulico	19,1	0	0	0	VENTANAS 2
Piping HDPE Sistema Hidráulico	25,8	0	0	0	VENTANAS 2
Compresor de aire	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema Eléctrico Filtros Limpieza Algas	0	0	0	0	VENTANAS 2
PLC y Estación de Control	27	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema de Aire de Sello	0	0	0	0	VENTANAS 2
Lampo Aire Sello Salida Ventilador Booster 2B	0	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador de Aire Sello lampo de Salida Ventilador Booster	5,3	0	0	0	VENTANAS 2
VAS a Dampers Sal-Entr.FGD 2B	1,8	0	0	0	VENTANAS 2
VAS a Dampers Sal-Entr FGD 2A	1,8	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador Aire Sello a GGH 2A	23,7	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador Aire Sello a GGH 2B	1,8	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilator 1 Aire sello Vent. Booster 2B	5,4	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilator 2 Aire sello Vent. Booster 2B	3,8	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador 1 Aire Sello ventilador Booster 2A	3,8	0	0	0	VENTANAS 2
Ventilador 2 Aire Sello ventilador Booster 2A	3,8	0	0	0	VENTANAS 2
Panel de Alumbrado 380 - 220 v	33,47	0	7,47	0	VENTANAS 2
UPS Sistema Absorber	33,5	0	0	0	VENTANAS 2
Sala Eléctrica Sector Aireación	0	0	0	0	VENTANAS 2
Sistema de Control	0	0	0	0	VENTANAS 2
Estación de Control	-80,83	0	0	-80,83	VENTANAS 2
TOTAL	102.688,83	2.699,64	31.631,59	65.768,05	

• DETALLE DE COSTO DE MANTENCIÓN DE LA CENTRAL NUEVA VENTANAS

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Tratamiento de Gases, Sistema Absorción	62,1	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema de Ductos de Gases Combustión	0	0	0	0	VENTANAS 3
Analizador 01 de SO ₂ Entrada SDA	2.216,00	546,22	1648,78	0	VENTANAS 3
Sistema Lavado de Gases de la Combustión	38.229,35	0,00	2250,1	35.979,25	VENTANAS 3
Sistema Atomizador	-4.464,81	0	0	-4.464,81	VENTANAS 3
Válvula Guillotina Secador Absorbedor	0	0	0	0	VENTANAS 3
Ventilador Enfriamiento Atomizador A	38,9	0	0	0	VENTANAS 3
Ventilador Enfriamiento Atomizador B	38,4	0	0	0	VENTANAS 3
Atomizador SDA	110.113,05	155,67	99207,91	9.504,57	VENTANAS 3
Bomba Lubricación Atomizador	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Limpieza y Filtrado Gases Combustión	105.871,01	2.191,26	77.894,93	24.318,37	VENTANAS 3
Sistema Filtros de Mangas	32.972,60	0,00	20697,56	12.142,14	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 071G Tolva A1 001G	30,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Aire Soplado 073D Tolva A1	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 077B Tolva A2 002B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 077F Tolva A2 002F	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 077H Tolva A2 002H	17,1	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Aire Soplado 079A Tolva A2	19,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Aire Soplado 079B Tolva A2	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 083B Tolva B1 003B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 083C Tolva B1 003C	6,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 083E Tolva B1 003E	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Aire Soplado 085A Tolva B1	26,3	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 089D Tolva B2 004D	15	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Poppet Salida 089H Tolva B2 004H	17,1	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Aire Soplado 091B Tolva B2	15,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Aire Soplado 091C Tolva B2	6	0	0	0	VENTANAS 3
LS Tolva G Fabric Filter B Elev.5500	12	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva B Filtro A	0	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva C Filtro A	0	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva E Filtro A	0	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva A Filtro B	0	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva E Filtro B	0	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva C Filtro B	0	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva E Filtro B	10,8	0	0	0	VENTANAS 3
GS Posic.Valvu. Descar. Tolva H Filtro B	0	0	0	0	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Sistema Tolvas Filtros de Mangas	60,8	0	0	0	VENTANAS 3
Filtro de Mangas A1	0	0	0	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A1 001B	4.800,16	0,00	4800,16	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A1 001F	12.332,92	0,00	7260,19	5.037,63	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A1 001G	0	0	0	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A1 001H	18,9	0	0	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A2 002B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A2 002C	0	0	0	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga A2 002E	4.034,63	0,00	3992,93	0	VENTANAS 3
Filtro de Mangas B1	41,2	0	0	0	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga B2 004E	7.313,56	0,00	3920,74	3.358,42	VENTANAS 3
Tolva Filtro Manga B2 004G	0	0	0	0	VENTANAS 3
PDT Entrada Y Salida FiLTro Manga A	28,3	0	0	0	VENTANAS 3
PDT Entrada Y Salida FiLTro Manga B	350,24	0	309,54	0	VENTANAS 3
Panel 2 Control Local Fabric Filter A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación Neumática 001A Tolva A1 001A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Entrada a Esclusa de Ceniza A1-1	24	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	24,6	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001A Tolva A1 001A	51,3	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001A Tolva A2 002A	34,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	31,6	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Soplado a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001A Tolva A2 002A	55,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001A Tolva B1 003A	43,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	24,4	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001A Tolva B1 003A	69,6	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001A Tolva B2 004A	53,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001A Tolva B2 004A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	65,6	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	18,8	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001A Tolva B2 004A	101,1	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001B Tolva A1 001B	317,15	0	269,35	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001B Tolva A1 001B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	6	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	61,8	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001B Tolva A1 001B	121,9	0	0	0	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Sistema Alimentación neumática 001B Tolva A2 002B	17,1	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	29,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001B Tolva A2 002B	82,7	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001B Tolva B1 003B	58,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	165	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	17,8	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001B Tolva B1 003B	113,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001B Tolva B2 004B	83,7	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001B Tolva B2 004B	10,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	58,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	31,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001B Tolva B2 004B	159,5	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001C Tolva A1 001C	9,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	11,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Entrada Silo B de Filtro Manga B	8,8	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001C Tolva A1 001C	76,2	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001C Tolva A2 002C	54,1	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	58,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	7,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001C Tolva A2 002C	103,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001C Tolva B1 003C	33,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001C Tolva B1 003C	6,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	43	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	63	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Entrada Silo B de Filtro Manga A	56,7	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Soplado a Esclusa de Ceniza	65,1	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001C Tolva B1 003C	57,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001C Tolva B2 004C	4,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	23,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	20,4	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001C Tolva B2 004C	39,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	30,4	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001D Tolva A1 001D	36,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001D Tolva A2 002D	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	19,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001D Tolva A2 002D	36,7	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001D Tolva B1 003D	39,6	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001D Tolva B1 003D	67,9	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001D Tolva B2 004D	45,6	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	92,5	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001D Tolva B2 004D	75,6	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001E Tolva A1 001E	71,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001E Tolva A1 001E	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	11,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001E Tolva A1 001E	98,2	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001E Tolva A2 002E	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001E Tolva A2 002E	5,1	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001E Tolva B1 003E	16,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	52,3	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	39	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001E Tolva B1 003E	13,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001E Tolva B2 004E	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001E Tolva B2 004E	6,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	11,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	45,5	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001E Tolva B2 004E	235,1	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001F Tolva A1 001F	48,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001F Tolva A1 001F	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	18	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001F Tolva A1 001F	113,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001F Tolva A2 002F	17,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	17,4	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001F Tolva A2 002F	57,9	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001F Tolva B1 003F	72,4	0	0	0	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	106,9	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	30,6	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001F Tolva B1 003F	119,7	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Alimentación neumática 001F Tolva B2 004F	8,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001F Tolva B2 004F	9,6	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	93,1	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	17,6	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001F Tolva B2 004F	139,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001G Tolva A1 001G	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	8	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001G Tolva A1 001G	51,2	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001G Tolva A2 002G	58,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	16,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Soplado a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001G Tolva A2 002G	143,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001G Tolva B1 003G	35,8	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	29,8	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001G Tolva B1 003G	33,8	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001G Tolva B2 004G	96	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Igualadora 001G Tolva B2 004G	7	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	16,4	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001G Tolva B2 004G	173,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	36,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001H Tolva A1 001H	48,5	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001H Tolva A2 002H	15,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	53,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001H Tolva A2 002H	57,4	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001H Tolva B1 003H	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	36,2	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001H Tolva B1 003H	29,3	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Aliment Neum 001H Tolva B2 004H	15,4	0	0	0	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Válvula Igualadora 001H Tolva B2 004H	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Entrada a Esclusa de Ceniza	23,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Salida a Esclusa de Ceniza	37,9	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Neumático 001H Tolva B2 004H	65,7	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula A Sectoriz.a Silo Ceniza A-B	16,2	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Duct B Descarga Ceniza Silos A-B	7,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Sectorizadora Ceniza Tolva A1	9,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Sectorizadora Ceniza Tolva A2	21	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Sectorizadora Ceniza Tolva B1	25,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Sectorizadora Ceniza Tolva B2	11,4	0	0	0	VENTANAS 3
Bomba Emergencia Enfriamiento Gases A	9,5	0	0	0	VENTANAS 3
Bomba Emergencia Enfriamiento Gases B	4,5	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Válvulas Desc Estanque Superior	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula de Descarga Estanque Superior	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Succión Bomba Lechada de Cal 3A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Succión Bomba Lechada de Cal 3B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Descarga Bomba Aliment Lechada A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Descarga Bomba Aliment Lechada B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Control Alim. Lechada Atomizador	41	0	0	0	VENTANAS 3
Línea Descarga Bomba Pozo Sumidero Cal	161,68	0	39,18	0	VENTANAS 3
AIT Densidad Limeslurry A Heat Tank SDA	47,7	0	0	0	VENTANAS 3
FIT Limeslurry A heat Tank En SDA	25	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Lechada de Caliza	1.648,88	0	569,93	1.044,75	VENTANAS 3
Válvula Incomunicación TK Lechada Cal A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Incomunicación TK Lechada Cal B	0	0	0	0	VENTANAS 3
Alimentador Rotatorio Descarga Silo Cal	58,5	0	0	0	VENTANAS 3
Agitador del Estanque Superior	50,4	0	0	0	VENTANAS 3
Agitador Estanque Preparación Lechada A	73,9	0	0	0	VENTANAS 3
Agitador Estanque Preparación Lechada B	84,7	0	0	0	VENTANAS 3
Agitador Estanque Almacenamiento Lechada	9.730,38	0	175,12	9.390,66	VENTANAS 3
Agitador Estanque Sumidero Lechada Cal	83,5	0	0	0	VENTANAS 3
Ventilador Venteo Silo Almacén Caliza	3.128,39	0	0	3.101,19	VENTANAS 3
Ventilador Venteo Estanque Lechada A	4	0	0	0	VENTANAS 3
Ventilador Venteo Estanque Lechada B	9	0	0	0	VENTANAS 3
Bomba Alimentación Lechada A	1.471,21	0,00	1259,61	0	VENTANAS 3
Bomba Alimentación Lechada B	7.195,22	0,00	6850,42	0	VENTANAS 3
Bomba A Descarga Pozo Sumidero Lechada	333,86	0	190,86	0	VENTANAS 3
Bomba B Descarga Pozo Sumidero Lechada	173,2	0	0	0	VENTANAS 3
Filtro Venteo Silo Almacenamiento Caliza	553,15	0	498,55	0	VENTANAS 3
Estanque Preparación de Lechada A	1.813,76	0	87,62	1.700,84	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Estanque Preparación de Lechada B	4.157,82	0	0	4.055,52	VENTANAS 3
Silo Almacenamiento de Caliza	3.921,62	0	0	3.850,72	VENTANAS 3
Estanque Superior	0	0	0	0	VENTANAS 3
Estanque Almacenamiento Lechada Caliza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Vibrador Silo Almacenamiento de Caliza	11,5	0	0	0	VENTANAS 3
Compuerta Distribución de Silo de Caliza	0	0	0	0	VENTANAS 3
Tamiz Estanque Almacenamiento de Lechada	624,35	0	572,95	0	VENTANAS 3
FIT Estanque Almacenamiento Limeslurry	8,8	0	0	0	VENTANAS 3
LT Silo Almacenamiento de Cal	3,5	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Suministro y Elim.Agua Planta FG	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Suministro de Agua al FDG	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Agua Make Up a Atomizador	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Agua Make Up a Descarga Est.Sup	0	0	0	0	VENTANAS 3
FT Aliment. Agua Estanque Solus. Recicl.	27	0	0	0	VENTANAS 3
FT Aliment.Agua TK.Lechada Cal	43,5	0	0	0	VENTANAS 3
Analizador 01 de So2 Entrada SDA	0	0	0	0	VENTANAS 3
Bomba Relleno A Estanque Make Up SDA	428,56	0	360,66	0	VENTANAS 3
Bomba Relleno B Estanque Make Up SDA	50,2	0	0	0	VENTANAS 3
Bomba Agua Alimentación A al SDA	132,5	0	0	0	VENTANAS 3
Bomba Agua Alimentación B al SDA	106,7	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Compresores y Distribución Aire	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Compresores Aire Sistemas SDA	6,5	0	0	0	VENTANAS 3
Compresor Aire A Sistema SDA_Tornillo	-4.664,22	0	0	-4.675,32	VENTANAS 3
Compresor Aire B Sistema SDA	79.515,46	0,00	28738,12	50.759,84	VENTANAS 3
Compresor Aire C Sistema SDA_Tornillo	12,4	0	0	0	VENTANAS 3
Secador de Aire Instrumento A	17.782,43	2.649,75	4.701,90	10.430,78	VENTANAS 3
Secador de Aire Instrumento B	9.584,81	3.134,19	6.510,00	-59,38	VENTANAS 3
Sistema Vapor a Calentador	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Válvulas Calentador	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Control Temperatura a Calentador	0	0	0	0	VENTANAS 3
Calentador a Vapor Agua Makeup al SDA	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Válvulas Cenizas Recicladas	32,5	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Agua Make Up a Bomba Producto A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Descarga Bba.Producto Reciclad B	3,4	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Succión Bba.Producto Reciclada A	0	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Ceniza Reciclada a Silo Ceniza	35,2	0	0	0	VENTANAS 3
Válvula Ceniza Reciclada a Silo Ceniza	16,2	0	0	0	VENTANAS 3
AIT Analizador de Limeslurry	6,4	0	0	0	VENTANAS 3
PI Impulsión Bomba Alim. Slurry Recicl.	0	0	0	0	VENTANAS 3
Sistema Lechada Reciclada	864,69	0	0	850,69	VENTANAS 3

Descripción	Costos Reales	Costos SAP	Costos Texto	Costos Servicios	Unidad
Alimentador Rotatorio de Ceniza	11,7	0	0	0	VENTANAS 3
Agitador Est Almacenamiento Producto Rec	33	0	0	0	VENTANAS 3
Ventilador Filtro Venteo Silo Ceniza Rec	1.342,43	0,00	1285,83	0	VENTANAS 3
Bomba Alimentación Lechada Reciclada A	493,9	0	203,5	0	VENTANAS 3
Bomba Alimentación Lechada Reciclada B	2.117,33	0,00	2034,43	0	VENTANAS 3
Filtro Venteo Silo Reciclaje Ceniza	956,71	0	948,91	0	VENTANAS 3
Silo Reciclaje de Ceniza	64,2	0	0	0	VENTANAS 3
Estanque Solución Producto Reciclaje	28	0	0	0	VENTANAS 3
Estanque Almacenamiento Lechada Reciclad	4	0	0	0	VENTANAS 3
Tamiz Estanque de Lechada Reciclada	2.008,89	437,29	572,95	861,75	VENTANAS 3
Vibrador Silo de Ceniza Reciclada	547,74	0	541,76	1,98	VENTANAS 3
	467031,51	9114,38	278394,49	167189,59	

5.2 BIBLIOGRAFÍA

- Costos marginales se obtuvieron de la página oficial del coordinador eléctrico nacional CEN
https://cmg-sic.coordinadorelectrico.cl/Modulos/CMg/CDEC_CMgBarras.aspx
- Manual de operación y mantenimiento de desulfuración de VEN 3
- Manual de operación y mantenimiento del SWFGD de VEN 2
- Manual de operación de la caldera de VEN 3
- Manual de operación de la caldera de VEN 2
- Planilla de eventos de la unidad 1-2
- Planilla de evento de la unidad 3
- Datos operaciones de la unidad 3
- SAP sistema interno de la empresa
- Microgads sistema que usa para revisar los KPI de la central
- GEOP sistema de recopilación de datos de operación generación y fallas de las unidades