

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Implementación de un nuevo sistema de tratamiento de agua con
ceniza proveniente de los lavadores de gases de combustión de
las calderas del Ingenio San Carlos”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Julio Alexander Vizueta Méndez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2012

AGRADECIMIENTO

A Jehová Dios por las bendiciones inmerecidas, a todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo y de manera especial al Ing. Ernesto Martínez, Director de Tesis, por su invaluable ayuda.

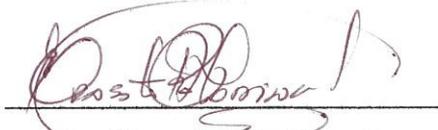
DEDICATORIA

A mi esposa Anita, que a lo largo de mi carrera estudiantil y profesional siempre estuvo a mi lado apoyándome. A mis hijos Andrés y July, por las horas no compartidas. A mis padres Ricardo y Perlita, por el sacrificio que realizaron para poder educarme.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Mario Patiño A.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio', is written over a horizontal line.

Julio Alexander Vizqueta Méndez

RESUMEN

El ingenio San Carlos quema el bagazo de caña de azúcar en sus calderas para la generación de vapor de agua que utiliza en sus procesos productivos. Sus calderas están equipadas con sistemas de captación de cenizas y partículas en suspensión que evitan que la totalidad de estas salgan por sus chimeneas, a estos sistemas se los conoce como lavadores de gases.

La cantidad de particulado emitido hacia el aire es regulado por el Ministerio del Ambiente de la República del Ecuador mediante las normas de emisión de fuentes fijas de combustión. Estas normas establecen las cantidades máximas permisibles de emisiones de particulado para calderas que usan bagazo como combustible.

En el año 2010 el ingenio San Carlos emprende un proyecto de mejora de su sistema de tratamiento de agua con ceniza buscando dar continuidad a la alimentación de agua hacia los lavadores de gases de sus calderas logrando de esta forma el correcto cumplimiento de los parámetros de emisiones de gases que exige el Ministerio del Ambiente.

Este trabajo de tesis documenta la implementación de un nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza proveniente de los lavadores de gases. El departamento de proyectos del Ingenio San Carlos se encargó de la dirección técnica, supervisión, pruebas y puesta en marcha de este nuevo sistema. El autor de esta tesis formó parte del equipo de proyectos que trabajó en la implementación de este nuevo sistema.

El proyecto fue dividido en dos etapas debido a su alto costo de implementación. En la primera etapa se construyó e instaló equipos que permitieron dar continuidad al tratamiento del agua con ceniza y por ende a la alimentación de agua hacia los lavadores de gases. En la segunda etapa se completó la instalación de todos los equipos logrando así que el nuevo sistema trabaje según su concepción original, es decir como un sistema cerrado que recicle constantemente el agua requiriendo solamente pequeñas cantidades como reposición. En esta etapa también se implementó el manejo óptimo de la ceniza facilitando su traslado a los canteros para ser usada como abono natural.

En el desarrollo de los capítulos de este trabajo de tesis se hace una descripción de los procesos productivos del Ingenio San Carlos y de los equipos usados para su generación de vapor y control de emisiones de gases. Se analizan los problemas que normalmente se presentaban con su antiguo sistema de tratamiento de agua con ceniza y sus alternativas de

solución. Más adelante se realiza la selección de la nueva ingeniería a adquirir para la implementación de un nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza y se hace la descripción de su ejecución desde la obra civil, construcciones metal mecánicas, montajes, automatización, pruebas y puesta en marcha.

Por último se realiza un análisis comparativo de los resultados de las emisiones de particulados antes y después de la implementación del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza. En los resultados se destaca la notable disminución de la cantidad de particulado emitido por las calderas, ubicándose estos muy por debajo del límite permitido por el ministerio del Ambiente en la última prueba del año 2010 y la que se confirma con los datos de particulado del año 2011.

ÍNDICE GENERAL

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| RESUMEN..... | VI |
| ÍNDICE GENERAL..... | IX |
| ABREVIATURAS..... | XIV |
| SIMBOLOGÍA..... | XVI |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XVII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XXI |
| ÍNDICE DE PLANOS..... | XXII |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| | |
| CAPÍTULO 1 | |
| | |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA..... | 3 |
| 1.1. Producción de azúcar..... | 3 |
| 1.1.1. Transporte de la caña de azúcar hacia la Fábrica | 5 |
| 1.1.2. Pesado y lavado de la caña de azúcar | 6 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.1.3. | Preparación de la caña | 7 |
| 1.1.4. | Proceso de molienda | 8 |
| 1.1.5. | Sulfitación en caliente del jugo..... | 10 |
| 1.1.6. | Alcalización del jugo..... | 10 |
| 1.1.7. | Clarificación del jugo | 11 |
| 1.1.8. | Precalentamiento del jugo..... | 11 |
| 1.1.9. | Evaporación del jugo..... | 12 |
| 1.1.10. | Cristalización | 14 |
| 1.1.11. | Centrifugación..... | 15 |
| 1.1.12. | Secado..... | 15 |
| 1.1.13. | Envasado..... | 16 |
| 1.2. | Cogeneración de energía eléctrica..... | 16 |
| 1.2.1. | Generación de vapor..... | 17 |
| 1.2.2. | Turbogeneradores..... | 19 |

CAPÍTULO 2

| | | |
|------|---|----|
| 2. | GENERACIÓN DE VAPOR CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (BIOMASA)..... | 21 |
| 2.1. | Normas reguladoras para emisiones de fuentes fijas de combustión | 22 |
| 2.2. | Sistemas lavadores de gases de combustión..... | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.2.1. Lavador de gases tipo contraflujo..... | 24 |
| 2.2.2. Lavador de gases tipo venturi y separador centrifugo..... | 25 |
| 2.3. Recuperación del agua para los lavadores de gases..... | 27 |
| 2.3.1. Sistema de tratamiento de agua con decantador de ceniza tipo bandeja y rastras | 28 |
| 2.4. Aprovechamiento de la ceniza para la actividad productiva de la empresa..... | 32 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|----|
| 3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN..... | 36 |
| 3.1. Reparar y mejorar el sistema de tratamiento de agua con ceniza actual | 36 |
| 3.2. Diseñar un nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza..... | 37 |
| 3.3. Adquirir la ingeniería de un sistema de tratamiento de agua con ceniza existente y probado..... | 38 |
| 3.4. Cuadro de evaluación y determinación de la solución óptima..... | 38 |

CAPÍTULO 4

| | |
|--|----|
| 4. SELECCIÓN DE LA INGENIERÍA E IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA CON CENIZA..... | 47 |
|--|----|

| | |
|---|-----|
| 4.1. Criterios de selección de la ingeniería..... | 47 |
| 4.2. Matriz de selección de la ingeniería para el nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza..... | 48 |
| 4.3. Descripción del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza | 52 |
| 4.4. Cronograma del proyecto..... | 65 |
| 4.5. Fabricación, montaje y puesta en marcha del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza | 66 |
| 4.6. Costos del proyecto..... | 120 |

CAPÍTULO 5

| | |
|---|-----|
| 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 123 |
| 5.1. Pruebas de emisión de gases de combustión de las calderas..... | 123 |
| 5.1.1. Resultados de emisión de gases en Zafra 2009..... | 127 |
| 5.1.2. Resultados de emisión de gases en Zafra 2010..... | 129 |
| 5.1.3. Comparativo de resultados de emisión de gases..... | 130 |
| 5.2. Operación de los lavadores de gases con el nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza..... | 134 |

CAPÍTULO 6

| | | |
|------|-------------------------------------|-----|
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 137 |
| 6.1. | Conclusiones..... | 137 |
| 6.2. | Recomendaciones..... | 139 |

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

ABREVIATURAS

| | |
|-------------------|--|
| % | Por ciento |
| °C | Grados Celsius |
| °F | Grados Fahrenheit |
| °brix | Grados Brix |
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| ASTM | American Society for Testing and Materials |
| AWS | American Welding Society |
| C | Carbono |
| CO | Monóxido de carbono |
| CO ₂ | Dióxido de carbono |
| F'c | Resistencia del concreto |
| g/cm ³ | Gramos por centímetro cúbico |
| GMAW | Gas metal arc welding |
| GPM | Galones por minuto |
| H ₂ | Hidrogeno gaseoso |
| INEN | Instituto Ecuatoriano de Normalización |
| Kg | Kilogramos |
| Kw | Kilowatios |
| Kwh | Kilowatios por hora |
| m ³ | Metros cúbicos |
| m ³ /h | Metros cúbicos por hora |
| mg | Miligramos |
| mg/m ³ | Miligramos por metro cúbico |
| mm | Milímetros |
| N ₂ | Nitrógeno gaseoso |
| O ₂ | Oxigeno gaseoso |
| ph | Potencial de hidrogeno |
| PLC | Programmable Logic Controller |
| ppm | Partes por millón |

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| psi | Libras por pulgada cuadrada |
| SAE | Society of Automotive Engineers |
| SAW | Submerged Arc Welding |
| SMAW | Shield Metal Arc Welding |
| SO ₂ | Dióxido de azufre |
| SSPC | Society for Protective Coatings |
| Tm/h | Tonelada métrica por hora |
| ton/h | Toneladas por hora |

SIMBOLOGÍA

| | |
|-----------|---|
| BB-01 A/B | Bombas A y B de agua con ceniza |
| BB-02 A/B | Bombas A y B de floculante |
| BB-03 A/B | Bombas A y B de agua tratada |
| BB-04 A/B | Bombas A y B de lodos de ceniza |
| BB-05 A/B | Bombas A y B de productos de drenaje |
| DE-01 A/B | Celdas A y B de decantación de lodos |
| PR-01 | Prensa desaguadora |
| seg | Segundos |
| temp | Temperatura |
| TQ | Tanque |
| TQ-01 | Tanque receptor de agua con ceniza |
| TQ-02 A/B | Tanque A y B de floculante |
| TQ-03 | Tanque receptor de agua tratada |
| TQ-04 | Tanque receptor de lodos de ceniza |
| TQ-05 | Tanque receptor de productos de drenaje |
| TR-01 | Tamiz rotativo |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| Figura 1.1. Diagrama del proceso de producción de azúcar en el Ingenio San Carlos..... | 5 |
| Figura 1.2. Procesos de pesado y lavado de la caña de azúcar | 7 |
| Figura 1.3. Tándem de molinos A y B del Ingenio San Carlos..... | 8 |
| Figura 1.4. Esquema de la extracción de sacarosa en el tándem de molinos “B” del Ingenio San Carlos..... | 9 |
| Figura 1.5. Pre-evaporadores..... | 12 |
| Figura 1.6. Cuádruple efecto..... | 13 |
| Figura 1.7. Tacho continuo..... | 15 |
| Figura 1.8. Edificio de cogeneración – Ingenio San Carlos..... | 17 |
| Figura 1.9. Calderas..... | 19 |
| Figura 1.10. Turbogeneradores..... | 20 |
| Figura 2.1. Tabla de límites máximos permisibles de emisión de gases para la industria azucarera..... | 23 |
| Figura 2.2. Diagrama de lavador de gases tipo flujo cruzado o contraflujo – caldera #7 y #8..... | 25 |
| Figura 2.3. Diagrama de lavador de gases tipo lámina de agua – caldera #2..... | 26 |
| Figura 2.4. Decantador de ceniza tipo bandeja y rastras..... | 28 |
| Figura 3.1. Propuesta de Fourteam Engenheiros Associados Ltda | 44 |
| Figura 3.2. Propuestas de Engenho Novo..... | 46 |
| Figura 4.1. Colador tipo barajas y cedazo..... | 54 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Figura 4.2. | Tanque receptor y bombas..... | 54 |
| Figura 4.3. | Tamiz rotativo..... | 55 |
| Figura 4.4. | Interior de tamiz rotativo..... | 56 |
| Figura 4.5. | Tamiz estático..... | 56 |
| Figura 4.6. | Prensa desaguadora y proceso de transporte de la ceniza..... | 57 |
| Figura 4.7. | Celdas de decantación..... | 59 |
| Figura 4.8. | Estación de floculante..... | 60 |
| Figura 4.9. | Tanque de agua tratada..... | 61 |
| Figura 4.10. | Tanque de lodos..... | 62 |
| Figura 4.11. | Tanque de drenos..... | 63 |
| Figura 4.12. | Desmontaje de antiguo clarificador de agua con ceniza..... | 66 |
| Figura 4.13. | Trazado y demoliciones para obra civil..... | 67 |
| Figura 4.14. | Trabajos de excavación, compactación, armado de hierros y encofrado..... | 68 |
| Figura 4.15. | Molde guía para instalación de pernos de anclaje..... | 69 |
| Figura 4.16. | Trabajos de vaciado de hormigón..... | 70 |
| Figura 4.17. | Prueba del cono de Abrams aplicado al hormigón..... | 71 |
| Figura 4.18. | Preparación de cilindros de hormigón..... | 72 |
| Figura 4.19. | Instalación de placa base y relleno con Grouting..... | 73 |
| Figura 4.20. | Análisis de esfuerzos de las estructuras mediante software SAP 2000 versión 11..... | 74 |
| Figura 4.21. | Montaje de columnas..... | 75 |
| Figura 4.22. | Montaje de vigas de amarre entre columnas..... | 75 |
| Figura 4.23. | Montaje de celdas de decantación..... | 77 |
| Figura 4.24. | Construcción e instalación de plataformas de operación, escaleras y pasamanos..... | 78 |
| Figura 4.25. | Tamiz estático..... | 79 |
| Figura 4.26. | Canalón de descarga de ceniza desde el tamiz estático..... | 79 |
| Figura 4.27. | Construcción de tanques de floculante..... | 80 |
| Figura 4.28. | Tanque de agua tratada..... | 81 |
| Figura 4.29. | Nuevo sistema de clarificación antes y después de aplicada su capa final de pintura..... | 82 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.30. Montaje de tuberías..... | 83 |
| Figura 4.31. Procesos de soldadura de las tuberías..... | 84 |
| Figura 4.32. Pruebas de laboratorio del floculante EXRO 651..... | 88 |
| Figura 4.33. Vertedero de celdas de decantación. A la izquierda se observan los pernos de ajuste de altura..... | 91 |
| Figura 4.34. Estación de bombeo de floculante y dosificación de floculante a una de las celdas..... | 94 |
| Figura 4.35. Nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza (1era etapa) en plena operación..... | 98 |
| Figura 4.36. Montaje de nueva estructura soporte para la prensa desaguadora..... | 100 |
| Figura 4.37. Construcción y montaje de tolva para recolección de ceniza..... | 101 |
| Figura 4.38. Montaje de tamiz rotativo..... | 103 |
| Figura 4.39. Ducto de descarga de ceniza del tamiz rotativo..... | 104 |
| Figura 4.40. Prensa desaguadora..... | 105 |
| Figura 4.41. Construcción de tanque de lodos e instalación de sus bombas..... | 106 |
| Figura 4.42. Montaje de bombas y tuberías del tanque de drenos..... | 107 |
| Figura 4.43. Montaje de tuberías de interconexión – 2da etapa..... | 109 |
| Figura 4.44. Pantalla de supervisión y control del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza..... | 111 |
| Figura 4.45. Prensa desaguadora en plena operación..... | 116 |
| Figura 4.46. Sistema de clarificación de agua con ceniza en su 2da etapa..... | 119 |
| Figura 5.1. Pantalla de página web del Organismo de Acreditación Ecuatoriano..... | 124 |
| Figura 5.2. Técnicos de Abrus Cia. Ltda. durante monitoreo de gases de combustión de la caldera #8..... | 126 |
| Figura 5.3. Autor de este proyecto de tesis durante monitoreo de gases de combustión de la caldera #8..... | 126 |
| Figura 5.4. Diagrama de comparativo de monitoreo de particulado..... | 131 |
| Figura 5.5. Histórico de particulado en calderas desde año 2009 al 2010..... | 132 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 5.6. | Línea de tendencia de los datos de particulado de la caldera #2 | 133 |
| Figura 5.7. | Línea de tendencia de los datos de particulado de la caldera #7 | 133 |
| Figura 5.8. | Línea de tendencia de los datos de particulado de la caldera #8 | 134 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | <u>Pág.</u> |
|-----------|---|
| Tabla 3.1 | Cuadro de evaluación de la solución óptima.....40 |
| Tabla 4.1 | Matriz de selección de la ingeniería.....51 |
| Tabla 4.2 | Costos de 1era etapa del proyecto.....120 |
| Tabla 4.3 | Costos de 2da etapa del proyecto.....121 |
| Tabla 4.4 | Costos totales del proyecto.....122 |
| Tabla 5.1 | Valores de particulado en monitoreo de emisión de gases zafrá 2009.....128 |
| Tabla 5.2 | Valores de particulado en monitoreo de emisión de gases zafrá 2010.....129 |

ÍNDICE DE PLANOS

| | |
|---------|----------------------------------|
| Plano 1 | Diagrama de proceso |
| Plano 2 | Obra civil |
| Plano 3 | Isométrico de tuberías y equipos |
| Plano 4 | Isométrico de tuberías |
| Plano 5 | Vistas y detalles de tuberías |

INTRODUCCIÓN

Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos se dedica desde el año 1897 a la producción y comercialización de azúcar en sus diferentes presentaciones. Desde el año 2005 se emprendió el proyecto de Cogeneración de energía eléctrica mediante el cual, la fábrica produce su propia energía eléctrica y el excedente se lo vende al estado ecuatoriano. Tanto para la obtención de azúcar como para la generación de energía eléctrica, es necesario la transformación de la energía potencial presente en el bagazo de la caña de azúcar a la forma de energía térmica y cinética. Esto se logra al quemar el bagazo en las calderas para la generación del vapor que va a mover turbinas y a concentrar el jugo de caña.

El estado Ecuatoriano, mediante el Ministerio del Ambiente, regula la emisión de gases de las calderas y establece normas que deben ser cumplidas por las empresas que hacen uso del vapor en sus procesos de producción.

Con la finalidad de cumplir los lineamientos que establecen el Ministerio del Ambiente con respecto a la emisión de gases de combustión, las calderas del ingenio "San Carlos" poseen sistemas lavadores de gases que mediante el uso de agua industrial, atrapan la ceniza en suspensión presente en dichos gases. Esta agua con ceniza que sale de los lavadores de gases es recolectada y procesada para separar la ceniza del agua. La ceniza, luego es

llevada a los canteros y usada como abono natural para el cultivo de la caña de azúcar. El agua ya clarificada es bombeada nuevamente a los lavadores de gases.

Para el proceso de separación de la ceniza y el agua, el ingenio “San Carlos” hasta el año 2009 contaba con un sistema de clarificación de agua con un decantador de ceniza tipo bandeja y rastras. Este sistema presentaba problemas operativos y mecánicos durante los cuales el proceso de lavado de la ceniza en las calderas se veía interrumpido incumpliendo así las normas establecidas por el ente regulador. A este problema se suma el taponamiento con ceniza del lavador de gases de una de las calderas producto de la falta de agua, lo que ocasionaba la baja de producción de vapor de dicha caldera impactando directamente a la producción de la empresa.

En el año 2010 se implementa un nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza con la finalidad de lograr un suministro continuo de agua hacia los lavadores de gases y una eficiente separación de la ceniza. La ingeniería de este sistema fue suministrada por una empresa especializada y su implementación, construcción, montaje, pruebas y puesta en marcha se la realizó con personal propio y contratistas a cargo del departamento de proyectos del Ingenio San Carlos.

CAPITULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA.

Sociedad Agrícola e Industrial “San Carlos” está presente en el mercado ecuatoriano desde el año 1897 como una empresa alimenticia productora de azúcar, mieles y actualmente de energía eléctrica. Su planta industrial está ubicada en el cantón Coronel Marcelino Maridueña en la provincia del Guayas. La fábrica del ingenio San Carlos está dotada de equipos con tecnología de punta únicos en el Ecuador, que hacen más eficiente sus procesos productivos. La planta está totalmente automatizada y tiene una capacidad de molienda de 12.000 toneladas de caña al día.

1.1. Producción de azúcar.

La principal actividad de la empresa es la producción de azúcar en sus diferentes presentaciones, desde funditas de 0.25 Kg hasta sacos de 50 Kg de azúcar blanca, blanca especial y morena. Últimamente la

empresa ha incursionado en el mercado de azúcar en sachets y azúcar light. Otras presentaciones son el azúcar impalpable, la miel de caña y la panela granulada.

La producción de azúcar promedia los 20.000 sacos de 50 Kg diarios y la producción durante una zafra de 6 meses, supera los 3'300.000 sacos de 50 kg.

El ingenio "San Carlos" ostenta el último record de producción de azúcar en el Ecuador con 3'412.295 en el año 2011.

En la figura 1.1 se muestra el diagrama de proceso de la producción de azúcar de caña.

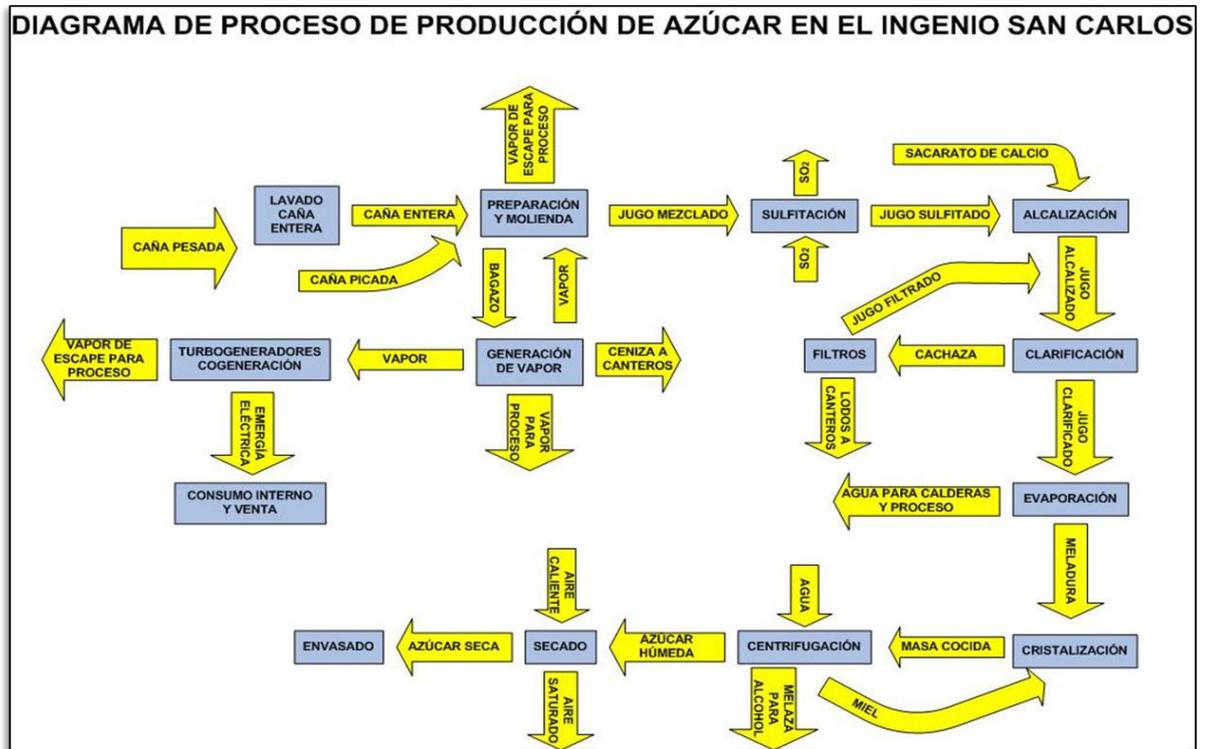


FIGURA 1.1. DIAGRAMA DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR EN EL INGENIO SAN CARLOS.

A continuación se hace una breve descripción de cada uno de los procesos que se realizan en la fábrica para la obtención del azúcar de caña.

1.1.1. Transporte de la caña de azúcar hacia la Fábrica.

La caña de azúcar, una vez que ha sido cosechada, es transportada a la fábrica mediante camiones cañeros o carretones. Un camión cañero puede llevar hasta 20 toneladas de caña y un carretón puede llevar hasta 30 toneladas de caña.

1.1.2. Pesado y lavado de la caña de azúcar.

Una vez que los camiones llegan al batey, son pesados en las basculas para determinar el peso de caña que están transportando, para esto previamente los camiones han sido pesados en vacío. Se registra el peso de cada camión o carretón para llevar un control de la caña que se procesa diariamente y durante toda la zafra. Este dato de peso también va a servir para calcular la cantidad de azúcar a obtener al final del proceso y las pérdidas que han ocurrido durante el mismo.

Una vez pesado, el camión se dirige hacia las plataformas volteadoras, las cuales levantan el camión para que la caña caiga en las mesas alimentadoras donde se procede a lavar la caña con una cortina de agua a 50°C con la finalidad de retirarle la mayor cantidad de impurezas presentes. Vale mencionar que el lavado de la caña origina pérdidas de sacarosa por los cortes, debido a esto solo se lava la caña larga que es cortada manualmente. La caña trozada o cosechada con maquina no es lavada por la gran cantidad de cortes que presenta.



FIGURA 1.2. PROCESOS DE PESADO Y LAVADO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

1.1.3. Preparación de la caña.

Mediante las mesas alimentadoras, la caña es depositada en los conductores donde va a ser preparada para la extracción de sacarosa por 3 juegos de cuchilla que giran a altas velocidades. El objetivo de las cuchillas es romper la estructura dura de la caña. El primer juego, llamado trozadora, corta la caña en pequeños trozos. El segundo juego, llamado picadora, desmenuza la caña. Y por último, la caña pasa por un juego de cuchillas oscilantes llamado swing knife, con el que se consigue desmenuzar aún más la caña. De la buena preparación de la caña, depende la buena extracción de sacarosa en los molinos.

1.1.4. Proceso de molienda.

La caña ya preparada forma un colchón que es nivelado en su altura antes de entrar a los molinos. El proceso de extracción del jugo de la caña se lo realiza con un arreglo de 4 rodillos o mazas que van a exprimir la caña para sacarle la mayor cantidad de jugo posible. A este arreglo de 4 masas se la llama molino. El ingenio San Carlos posee dos tándems de molinos. El tándem “A” está provisto de 6 molinos y el tándem “B” de 5 molinos.



FIGURA 1.3. TÁNDEM DE MOLINOS A Y B DEL INGENIO SAN CARLOS

Para asegurar un eficiente agotamiento de la sacarosa, a la caña antes de pasar por el último molino se le agrega agua para imbibición. Esta agua ayuda a lavar la caña y extraer la mayor cantidad de sacarosa del bagazo que se va a quemar en las

calderas. El agua que se exprime en el último molino, es bombeado al molino anterior el cual al ser exprimido junto con la caña, se convierte en jugo diluido. Este jugo diluido es bombeado al molino anterior y así sucesivamente hasta llegar al 2do molino. Este proceso se lo conoce como maceración y es vital para una buena extracción.

Una vez extraído el jugo es tamizado para retirarle restos de caña y bagacillo.

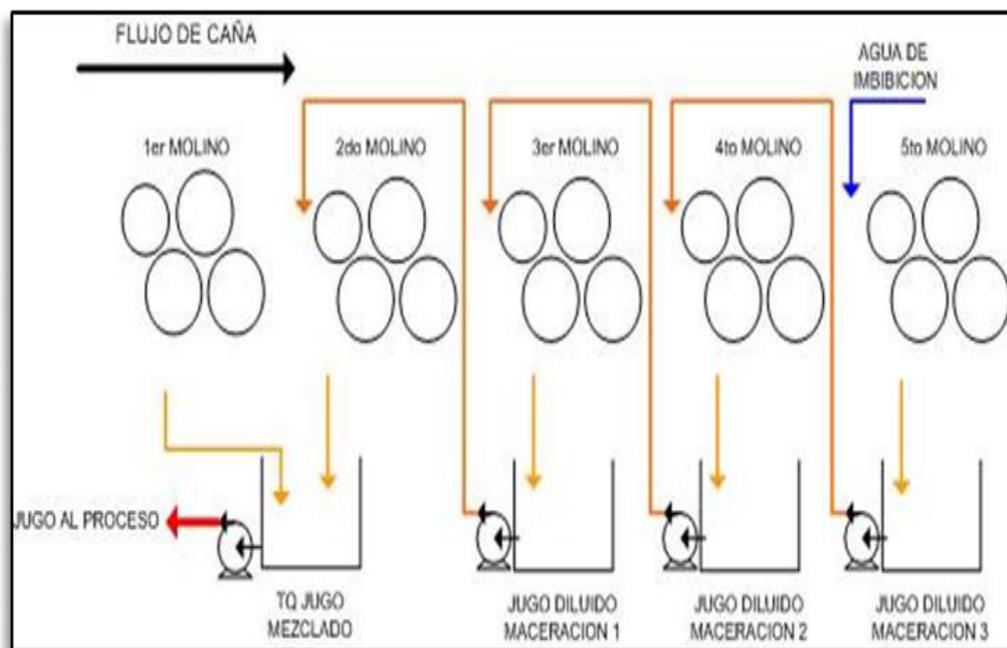


FIGURA 1.4. ESQUEMA DE LA EXTRACCIÓN DE SACAROSA EN EL TÁNDEM DE MOLINOS “B” DEL INGENIO SAN CARLOS

1.1.5. Sulfitación en caliente del jugo.

Para esta etapa del proceso, el jugo se precalienta hasta 50 °C y se le adiciona lechada de cal para elevar su ph hasta un valor de 6,5. El jugo en estas condiciones es llevado a hacia las torres de sulfitación, en las cuales se realiza la sulfitación del jugo por contacto y mezcla con gas sulfuroso SO₂ en una columna vertical descendente.

La sulfitación del jugo tiene como objetivo eliminar las materias colorantes y transformar en compuestos ferrosos incoloros las sales férricas que pueden formarse por el contacto del jugo con los tanques, tuberías y molinos. Gracias a esto, la mayor ventaja de la sulfitación es la mejora notable del color final de la azúcar blanca.

Para la producción de azúcar morena no se realiza la sulfitación.

1.1.6. Alcalización del jugo.

El jugo ya sulfitado se deposita continuamente en un tanque provisto de un agitador donde se le adiciona lechada de cal para subir su ph hasta 7,2.

El objetivo de la alcalización es neutralizar la acidez natural del jugo de caña y evitar así la inversión de la sacarosa a glucosa y fructosa.

1.1.7. Clarificación del jugo.

El jugo alcalizado es calentado hasta una temperatura de 105°C y llevado a un tanque de expansión (flash tank) para separar todos los gases incondensables y vapores que se encuentran ocluidos en el jugo. Luego el jugo pasa a un decantador de tipo bandeja y rastras donde con la adición de floculante, se van a separar todas las impurezas, lodos y materiales en suspensión. El resultado es un jugo claro de color parduzco libre de impurezas. Por otro lado, en el fondo del decantador se precipitan lodos mezclados con jugo, por lo tanto en estos lodos existe sacarosa. Dichos lodos son bombeados hacia los filtros de vacío para extraerles la mayor cantidad de jugo que retornara al proceso. El producto final luego de la filtración es la cachaza que se usa como abono natural para el cultivo de la caña de azúcar.

1.1.8. Pre calentamiento del jugo.

El jugo clarificado es bombeado hacia un banco de intercambiadores de calor del tipo tubos y coraza, en los cuales

el jugo pasa por el interior de los tubos y vapor pasa lamiendo externamente los tubos. El jugo clarificado es llevado hasta 112°C para evitar la destrucción de la sacarosa y el aumento del color.

1.1.9. Evaporación del jugo.

El jugo clarificado posee un 85% de agua por lo que su concentración esta alrededor de los 13°brix. Este jugo es bombeado a los preevaporadores, que son equipos intercambiadores de calor alimentados con vapor de 20 psi producto del escape de las turbinas de los tándems y de generadores eléctricos.



FIGURA 1.5. PRE-EVAPORADORES



FIGURA 1.6. CUÁDRUPLE EFECTO

El jugo sale de los preevaporadores con 20°brix aproximadamente, es decir que se le ha retirado por evaporación cierta cantidad de agua. Producto de dicha evaporación, los preevaporadores producen vapor vegetal a 10 psi. Este vapor va a continuar la evaporación del jugo al alimentar a los Cuádruples Efectos que son un arreglo de cuatro cuerpos evaporadores en serie al vacío. El vapor de 10 psi alimenta al 1er cuerpo que no posee vacío, el jugo concentrado y el vapor producto de la 1era evaporación pasan al 2do cuerpo que posee un grado de vacío con respecto al primer cuerpo. El jugo y el vapor de la segunda evaporación pasan al 3er cuerpo que posee un grado más alto de vacío que el anterior con lo que se logra la ebullición del jugo a una menor temperatura. Por

último, el vapor y el jugo de la 3era evaporación pasa al 4to cuerpo que posee el más alto grado de vacío del conjunto de cuerpos. El jugo sale del último cuerpo con 65°brix y toma el nombre de meladura. El vapor de salida es llevado a un condensador.

1.1.10. Cristalización.

El jugo concentrado o meladura es bombeado hacia el área de los tachos, que son equipos similares a los cuádruples efectos, pero estos están formados de un solo cuerpo y con tubos de mayor diámetro para poder manejar la perdida de fluidez del material producto del aumento de la concentración. Estos equipos también funcionan con vacío. Cuando el brix llega hasta 77 – 80° comienzan a aparecer los cristales de azúcar. En los tachos se obtiene una masa con 93° brix de concentración en los cuales ya está presentas los cristales de azúcar. Los tachos operan con vapor de 10 psi.



FIGURA 1.7. TACHO CONTINUO

1.1.11. Centrifugación.

La masa cocida, la cual está compuesta de cristales de azúcar y miel, es llevada a las centrifugas de 1era, en las cuales mediante centrifugado y lavado con agua se procede a la separación de los cristales de azúcar y la miel. Luego de la centrifugación se obtiene azúcar blanca húmeda, que va a continuar su proceso y miel “A” que va a pasar a un proceso de agotamiento con la finalidad de extraer la mayor cantidad de azúcar presente.

1.1.12. Secado.

El azúcar blanca sale de las centrifugas con una humedad que está entre el 0.5% y 2%. Esta azúcar es llevada a un secador

rotativo en el cual en contraflujo se aplica aire calentado con vapor de 20 psi. Los gases de este secador son atrapados por un separador y devueltos al proceso. El azúcar sale del secador con 0,004% de humedad.

1.1.13. Envasado.

El azúcar seca es llevada a diferentes tolvas que van a alimentar a las maquinas envasadoras. El azúcar se envasa en presentaciones de 50 kg, 5 kg, 2 kg, 1 kg, ½ kg y ¼ kg.

1.2. Cogeneración de energía eléctrica.

A partir del año 2005 arranco el proyecto de cogeneración de energía eléctrica mediante el cual se genera hasta 19000 Kwh de los cuales 9000 Kwh los va a consumir la planta para su proceso productivo y 10000 Kwh promedio se vende mediante el sistema interconectado al estado ecuatoriano. Este proyecto nace con la finalidad de producir energía limpia mediante el uso de biomasa (bagazo) como combustible en las calderas.

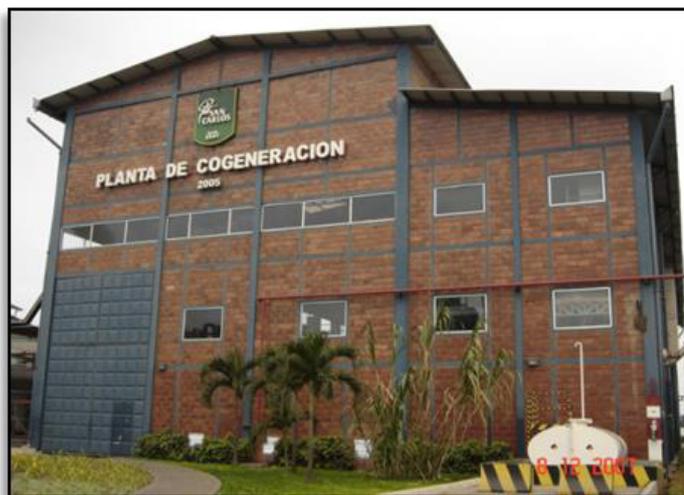


FIGURA 1.8. EDIFICIO DE COGENERACIÓN – INGENIO SAN CARLOS

1.2.1. Generación de vapor.

Para el proceso productivo de azúcar y energía eléctrica, la fábrica requiere un total máximo de 300000 lb/h de vapor de 220 psi y 260000 lb/h de vapor de 600 psi aproximadamente, para la cual actualmente se cuentan con 6 calderas operativas:

Caldera No 1: Con una producción nominal de 60000 lb/h de vapor de 220 psi. Esta caldera no posee supercalentador.

Caldera No 2: Con una producción nominal de 120000 lb/h de vapor de 220 psi. Esta caldera está equipada con un lavador de gases.

Caldera No 3: Con una producción nominal de 60000 lb/h de vapor de 220 psi.

Caldera No 4: Con una producción nominal de 60000 lb/h de vapor de 220 psi.

Caldera No 7: Con una producción nominal de 120000 lb/h de vapor de 220 psi. Esta caldera está totalmente automatizada y posee lavador de gases.

Caldera No 8: Con una producción nominal de 260000 lb/h de vapor de 600 psi. Esta caldera está totalmente automatizada y posee lavador de gases.

La demanda de vapor va a variar dependiendo de la capacidad operativa de la planta, es decir que a máxima capacidad la demanda de vapor será máxima. Generalmente se trabaja solo con 3 calderas de 220 psi y con la caldera de 600 psi.



FIGURA 1.9. CALDERAS

1.2.2. Turbogeneradores.

Para la generación de energía eléctrica se cuentan con 4 turbogeneradores:

Turbogenerador No 1: Con una capacidad de generación eléctrica de 3000Kw. Está equipado con una turbina a escape que admite vapor de 220 psi y escapa vapor de 20 psi que luego va a ser utilizado en el proceso de evaporación.

Turbogenerador No 2: Con una capacidad de generación eléctrica de 4000Kw. La admisión de vapor de su turbina es de 220 psi y su escape de 20 psi.

Turbogenerador No 3: Con una capacidad de generación eléctrica de 16000Kw. Su turbina admite vapor de 600 psi y genera un escape de 20 psi. Esta turbina es la mayor aportadora de vapor 20 psi para el proceso de evaporación y su funcionamiento es vital para el proceso de elaboración de la planta.

Turbogenerador No 4: Con una capacidad de generación eléctrica de 12000Kw. Su turbina admite vapor de 600 psi y es a condensación, es decir que su escape se condensa para recuperar el agua que volverá a alimentar a la caldera de alta presión (caldera No 8).



FIGURA 1.10. TURBOGENERADORES

CAPITULO 2

2. GENERACIÓN DE VAPOR CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (BIOMASA).

El bagazo de la caña de azúcar es el residuo del proceso de molienda que sale al final del último molino del tándem. Este bagazo es rico en celulosa que constituye su fibra y que lo hace un excelente combustible para ser quemado en el hogar de las calderas siempre que se cumpla que su humedad este entre el 40% y 50%. Esto hace que la humedad sea la característica más importante del bagazo al ser este utilizado como el combustible para la generación de vapor. El bagazo de la caña de azúcar es considerado una forma de biomasa por ser un combustible de origen vegetal lo que lo convierte en un recurso renovable.

El 47% de la composición química del bagazo es carbono (C) que al combustionar con oxígeno se transforma en CO_2 . Otros compuestos químicos presentes en los gases de combustión son el CO , H_2 , N_2 , O_2 . El

porcentaje de CO₂ en los gases de combustión está entre el 10 y 14%. Los gases que salen por las chimeneas, arrastran partículas diminutas de ceniza y bagacillo sin quema completa, estas partículas sólidas se precipitan y son un foco contaminante del medio ambiente.

2.1. Normas reguladoras para emisiones de fuentes fijas de combustión.

El estado Ecuatoriano mediante el Ministerio del Ambiente, regula las emisiones de gases de fuentes fijas con el fin de reglamentar y establecer límites en la cantidad de particulado presente en los gases de combustión.

Para el caso de las industrias que utilizan bagazo como combustible los límites máximos permisibles de emisiones al aire están definidos en las Normas de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión, punto 4.3.5 del Libro VI anexo 3 de la Ley de Gestión Ambiental del estado ecuatoriano. VER ANEXO 1

Esta misma norma, renglones antes define como fuentes existentes a las que están instaladas antes de Enero del 2003 y fuentes nuevas a las instaladas luego de esa fecha.

En la figura 2.1 podemos ver la tabla que define la cantidad de partículas que la Ley de gestión ambiental permite emitir a fuentes

existentes, esto es 300 mg de partículas sólidas por cada m³. Esto se aplica para la caldera #2 y #7. Para fuentes nuevas la cantidad de particulado se reduce a 150 mg por cada m³. Esto es aplicable a la caldera #8.

4.3.5 Elaboración de azúcar: equipos de combustión que utilizan bagazo como combustible

Tabla 10. Límites máximos permisibles de emisiones al aire desde combustión de bagazo en equipos de instalaciones de elaboración de azúcar

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|----------------------------------|
| Partículas Totales | -- | 300 | 150 | mg/m ³ ^[1] |

Notas:
^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 12% de O₂, en base seca.

FIGURA 2.1. TABLA DE LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIÓN DE GASES PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA.

Para lograr cumplir con lo que la ley ambiental establece, las calderas del ingenio San Carlos están equipadas con sistemas lavadores de gases que atrapan las partículas sólidas presentes en los gases y evitan que estos sean entregados al ambiente.

2.2. Sistemas lavadores de gases de combustión.

Es un sistema que mediante el uso de agua industrial capta las partículas en suspensión presentes en los gases producto de la combustión de bagazo en los hornos de las calderas. En la Fábrica del ingenio San Carlos se utilizan dos tipos de sistema de lavado de

gases, que básicamente difieren en su diseño, pero que el resultado final es el mismo: separar los sólidos de los gases de combustión.

2.2.1. Lavador de gases tipo contraflujo.

Este sistema se utiliza en las calderas #7 y #8, consiste básicamente en que los gases choquen inicialmente con una película de agua atomizada en flujo cruzado, para luego continuar con dos películas de agua en la dirección del flujo de los gases. Los gases de combustión ingresan por la parte superior del lavador donde se está inyectando agua a presión con un sistema de atomizadores en flujo cruzado, luego los gases descienden por el ducto del lavador donde existe un arreglo de atomizadores inyectando agua paralelamente a la dirección del flujo de gases. Esto consigue precipitar las partículas sólidas presentes en los gases de combustión. Las partículas sólidas salen junto con el agua por la parte baja del sistema lavador y es llevado a un tanque de recepción de agua con ceniza.

En la siguiente figura se muestra un esquema del lavador de gases de tipo contraflujo donde se puede apreciar la distribución de sus atomizadores y planchas deflectoras del flujo de gases de combustión.

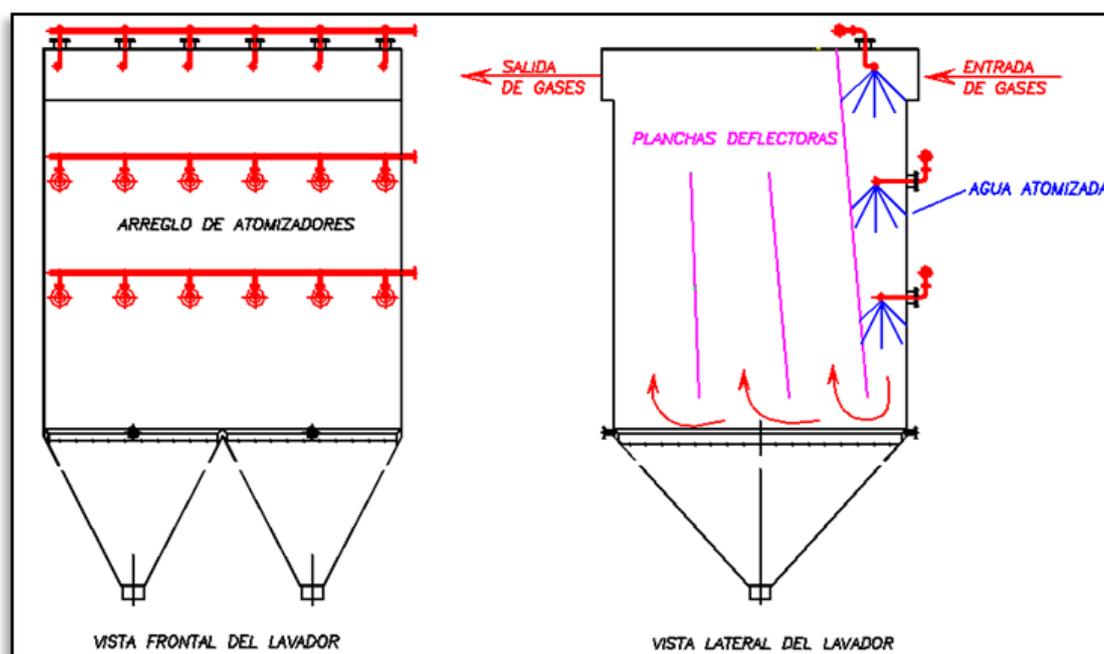


FIGURA 2.2. DIAGRAMA DE LAVADOR DE GASES TIPO FLUJO CRUZADO O CONTRAFLUJO – CALDERA #7 Y #8.

2.2.2. Lavador de gases tipo venturi y separador centrifugo.

Este tipo de lavador posee en el ducto de entrada de gases 2 atomizadores de agua que es el primer punto de captación de sólidos en suspensión, luego los gases ingresan al cuerpo del lavador donde los reciben un juego de duchas de agua. Este tipo de lavador trabaja con un nivel de agua variable en la parte baja de su cuerpo que es de forma cónica. Este nivel se ajusta para que la salida de los gases se realice al límite de la película de agua que se forma con el ducto de salida. Para evitar cualquier arrastre de agua, el lavador posee un separador

centrífugo estático en la salida final de los gases en donde existe también un juego de duchas de agua. Los sólidos precipitados son llevados junto con el agua al tanque receptor de agua con ceniza.

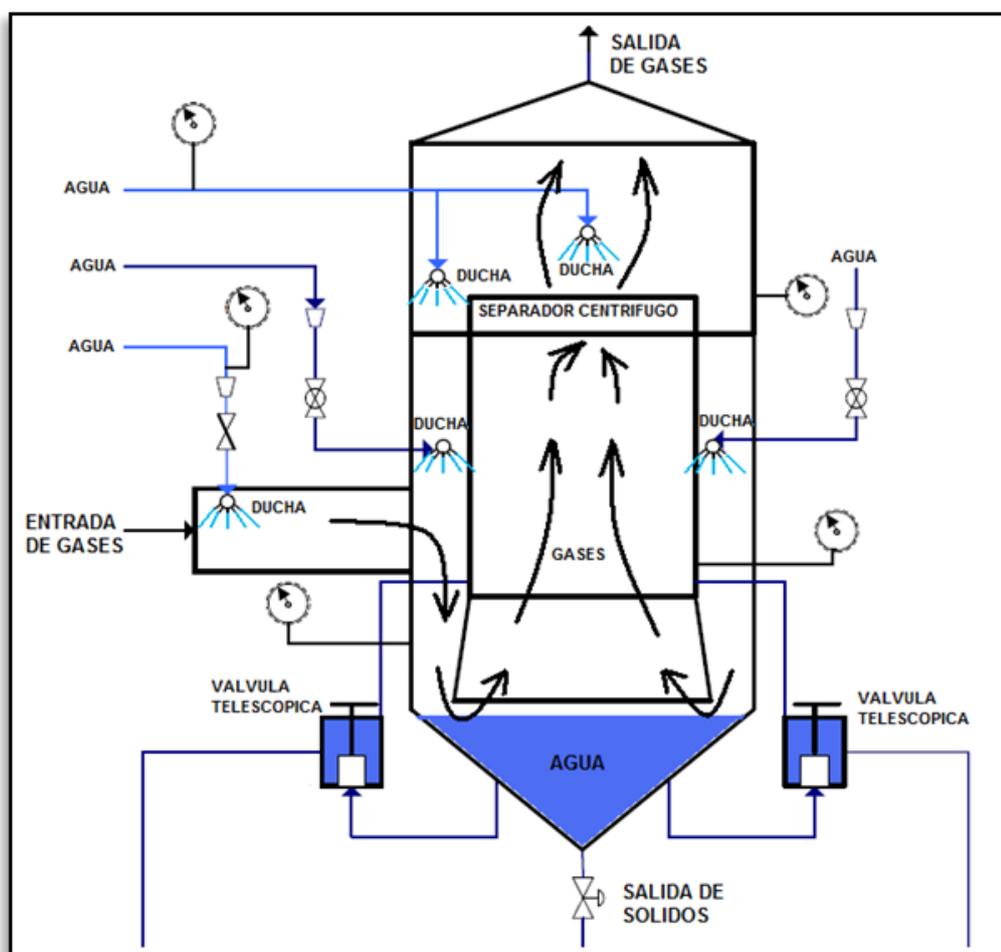


FIGURA 2.3. DIAGRAMA DE LAVADOR DE GASES TIPO LAMINA DE AGUA – CALDERA #2.

2.3. Recuperación del agua para los lavadores de gases.

Gracias a las mediciones realizadas para el desarrollo del proyecto se ha determinado que la cantidad necesaria de agua para los sistemas de lavadores de gases de las calderas está en el orden de los 330 m³/h, a esto hay que sumarle la cantidad de agua que se debe adicionar al proceso como reposición debido a las pérdidas por evaporación y humedad de la ceniza retirada.

Bajo estas premisas, la recuperación del agua utilizada en los lavadores de gases de las calderas es de suma importancia debido al gran volumen necesario para llevar a cabo este proceso y al gran impacto ambiental que significaría renovar constantemente esta agua.

Hasta la zafra 2009, para clarificar el agua y atrapar la ceniza proveniente de los lavadores de gases y las calderas, el Ingenio San Carlos contaba con sistema de clarificación con decantador de ceniza tipo bandeja y rastras, este sistema se detalla a continuación.



FIGURA 2.4. DECANTADOR DE CENIZA TIPO BANDEJA Y RASTRAS

2.3.1. Sistema de tratamiento de agua con decantador de ceniza tipo bandeja y rastras.

En este sistema de tratamiento de agua con ceniza se recolectaba todas las aguas con sólidos provenientes de los sistemas lavadores de gases y limpieza de calderas mediante un canal que pasaba por un colador con barajas móviles. Este colador separaba la ceniza más gruesa y la depositaba en unos coches que la llevan hacia el depósito de ceniza. El agua ya colada se depositaba en un tanque receptor. Esta agua se bombeaba hacia un sistema de tamizado estático para separar

las cenizas de mayor tamaño, estas cenizas eran empujadas con el flujo de agua que no lograba pasar por el tamiz y se conducía mediante una canal hacia una piscina de oxidación donde luego se recuperaba la ceniza con palas mecánicas y volquetes.

El agua que pasaba por el tamiz se depositaba en el cuerpo del clarificador donde con la adición de floculante y un sistema de bandejas con raspadores móviles se separaba la ceniza del agua. El agua clara rebosaba hacia un tanque receptor para ser bombeada nuevamente al sistema. La ceniza decantada salía por la parte baja del tanque del separador y era llevada por el canal hacia la piscina de oxidación.

PROBLEMAS DEL SISTEMA

Los principales problemas de este sistema eran:

Daño en la transmisión de movimiento de los brazos de los raspadores.

La transmisión estaba compuesta por un moto reductor acoplado a un tornillo sin fin que a su vez transmitía el

movimiento a una rueda dentada. Esta rueda estaba conectada al eje que movía los brazos raspadores.

Los daños más comunes en este sistema de transmisión son los desgastes del tornillo sin fin y de los dientes de la rueda.

Un daño en la transmisión podía ocasionar una parada del sistema de clarificación de ceniza hasta por 48 horas.

Sobrecarga de ceniza en el cuerpo del decantador.

El tanque decantador se llenaba tanto de ceniza que se trababan los brazos raspadores y se paraba la transmisión. Para volverla a arrancar se debía liquidar y limpiar todo el tanque decantador. Luego se debía volver a llenarlo con agua para ponerlo a trabajar. Todo este proceso conllevaba una parada del sistema de al menos 8 horas.

Excesivo requerimiento de agua de reposición.

La gran cantidad de agua que se eliminaba del sistema debido al tamiz estático y la purga del decantador ocasionaban que la reposición de agua sea excesiva. A esto se le sumaba las

pérdidas de agua por la evaporación propia del sistema. El agua de reposición debía ser relativamente limpia.

IMPACTO DE LOS PROBLEMAS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA.

El paro del sistema de clarificación de agua con ceniza conlleva parar también el sistema lavador de gases de las calderas. Esto ocasiona el incumplimiento en los parámetros de emisión de los gases de las calderas y dejar de cumplir lo establecido por el ente regulador. A esto se suma que el sistema de lavador gases de la caldera #2 por ser del tipo centrífugo acumula ceniza seca en su separador y en la parte baja de su cuerpo. Mientras más tiempo este parado el sistema lavador de gases, mas critica será la acumulación de la ceniza seca.

La ceniza seca ocasiona taponamiento del lavador al momento de volverlo a poner en funcionamiento, este taponamiento deja sin tiro inducido a la caldera, desencadenando una falta de vapor y parada del proceso de molienda de caña hasta que se solucione el problema. El taponamiento de ceniza dura aproximadamente entre 15 a 20 minutos, tiempo durante el cual

se activa continuamente la purga de fondo del lavador de gases.

2.4. Aprovechamiento de la ceniza para la actividad productiva de la empresa.

Las cenizas que se obtienen de la combustión de elementos vegetales poseen altas concentraciones de fósforo, potasio, hierro y calcio principalmente, los cuales son elementos químicos que aportan nutrientes a las plantas. Estas propiedades de la ceniza lo convierten en un abono o fertilizante orgánico ampliamente usado en la agricultura.

Abono es cualquier sustancia orgánica o inorgánica que mejora la calidad del sustrato, a nivel nutricional, para las plantas arraigadas en éste.

Los abonos aportan:

Elementos de base, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K).

Elementos secundarios, calcio (Ca), azufre (S), magnesio (Mg), oligoelementos tales como el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el molibdeno (Mo), el cobre (Cu), el boro (B), el zinc (Zn), el cloro (Cl), el sodio (Na), el cobalto (Co), el vanadio (V) y el silicio (Si).

Los elementos secundarios se encuentran habitualmente en cantidad suficiente en el suelo, y son añadidos únicamente en caso de carencia.

Las plantas tienen necesidad de cantidades relativamente importantes de los elementos de base. El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los elementos que es preciso añadir más corrientemente al suelo.

El Nitrógeno contribuye al desarrollo vegetativo de todas las partes aéreas de la planta. Es muy necesario al inicio de la vegetación, pero es necesario distribuirlo sin exceso pues iría en detrimento del desarrollo de las flores, de los frutos o de los bulbos.

El Fósforo refuerza la resistencia de las plantas y contribuye al desarrollo radicular.

El Potasio contribuye a favorecer la floración y el desarrollo de los frutos.

En el caso del ingenio San Carlos, la ceniza producto de la combustión del bagazo en los hornos de las calderas y la que se recoge con los lavadores de gases es llevada hacia los canteros como abono orgánico, dependiendo de la necesidad de elementos

químicos que estos requieran. Para esto se realiza análisis de laboratorio a los suelos y se maneja estadísticas anuales de estos análisis que ayudan a trazar un mapa de ruta para la dosificación de ceniza durante las zafras anuales. Adicionalmente se realizan análisis sobre la caña de azúcar para monitorear su desarrollo en los canteros a los cuales se les está suministrando la ceniza proveniente de la fábrica.

A nivel mundial, tanto la ceniza de las calderas, los lodos de cachaza y las hojas producto de la cosecha son llevadas a estaciones de composta, los cuales son grandes galpones donde se mezclan estos productos y se los deja reposar para que se inicie su descomposición orgánica convirtiéndose en compostaje o fertilizante para luego ser depositado en los canteros.

En el Ecuador todavía no existen estaciones de composta, pero los ingenios están estudiando su implementación. En nuestro país todavía se continúa depositando directamente en los canteros la ceniza, los lodos y las hojas para mezclarlos con la tierra de los canteros para que de esta forma mejore su calidad gracias a los elementos químicos que estos le entregan.

El último análisis realizado por el laboratorio de campo del ingenio San Carlos a la ceniza proveniente de las calderas de la fábrica data del mes de noviembre del 2008 cuyos resultados se pueden observar en el ANEXO 2.

CAPITULO 3

3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Con la finalidad de dar solución tanto al problema de incumplimiento de los parámetros de emisiones de gases y a las pérdidas de producción por falla de los lavadores de gases de las calderas, el área técnica del ingenio San Carlos se enfrasco en un estudio de las posibles soluciones a implementarse para terminar con dichos problemas. Por otro lado, la planta debe estar preparada para la llegada de una nueva caldera y con ello mayor cantidad de ceniza a manejar. A continuación se hace un resumen de las alternativas de solución.

3.1.Reparar y mejorar el sistema de tratamiento de agua con ceniza actual.

Realmente esta alternativa es la que se ejecutaba todos los años en la época de reparación. Básicamente la reparación consistía en cambio de elementos desgastados y reemplazo de planchas que

conformaban el cuerpo del tanque clarificador. En la transmisión se reemplazaban los elementos averiados y desgastados.

El mejoramiento de este sistema se lo realizaba en cada época de mantenimiento. Se hacían cambio en las rastras, se re potenciaba la transmisión, se reemplazaba el cedazo de los coladores, etc.

Esta alternativa de solución es continuar con lo que se ha venido haciendo en cada época de reparación.

3.2. Diseñar un nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza.

El diseño de un nuevo sistema de recuperación de agua con ceniza estaría basado en los equipos que actualmente posee la planta para la separación de sólidos de un medio acuoso. Sistemas de clarificación se usa para separar los lodos del jugo que va a continuar el proceso hasta transformarse en azúcar. Estos sistemas son básicamente de tanques con rastras pero con un sistema de bandejas internas diseñadas para permitir una mejor decantación se sólidos.

El nuevo diseño del clarificador se asemejaría a estos equipos que posee la planta y trabajan satisfactoriamente en la decantación de lodos.

El diseñar un nuevo equipo conllevaría un trabajo arduo de ingeniería e investigación lo que haría imposible cumplir con los tiempos propuestos para la ejecución del proyecto.

3.3. Adquirir la ingeniería de un sistema de tratamiento de agua con ceniza existente y probado.

El adquirir la ingeniería de un sistema de recuperación de agua con ceniza que esté trabajando en otro ingenio azucarero y se haya verificado su efectividad es una alternativa de solución bastante viable. En ingenios azucareros con tecnología de punta como en Brasil o Colombia se utilizan otros sistemas que han sido implementados por empresas dedicadas a la recuperación de aguas industriales.

La ventaja de esta alternativa es que de antemano se sabe que el sistema trabajara bien y se tendrá el asesoramiento de un equipo de técnicos peritos en este sistema.

3.4. Cuadro de evaluación y determinación de la solución óptima.

En base a las propuestas de solución planteadas, se ha realizado un cuadro de evaluación donde se calificara los parámetros definidos para las alternativas, para lo cual se le ha asignado un peso del 100% a el parámetro más ventajosa de las propuestas y del 0% al menos

ventajosa. Luego se hace un promedio de las calificaciones lo que nos dará la pauta de cuál es la mejor propuesta. Los parámetros a calificar se los ha definido considerando los objetivos finales del proyecto y son los siguientes:

COSTO.- Parámetro muy importante en un proyecto, que se justifica dependiendo de los resultados obtenidos luego de la implementación.

VIABILIDAD.- Es vital considerar si la propuesta a seleccionar es viable dentro de las propiedades de ejecución del proyecto.

SUPERVISIÓN Y MANTENIMIENTO.- Una vez implementada la mejor propuesta cual sería el nivel de supervisión y mantenimiento necesario del equipo.

EFICACIA.- Es importante considerar cual va ser la eficacia de la solución a implementar, para nuestro caso en particular la clarificación del agua y manejo de la ceniza.

CONFIABILIDAD.- Este parámetro define cuan confiable es la decisión de inversión que se va a realizar al seleccionar la mejor solución del problema.

CUADRO DE EVALUACIÓN.

TABLA 3.1

CUADRO DE EVALUACIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

| | REPARAR Y MEJORAR EL SISTEMA ACTUAL | DISEÑAR UN NUEVO SISTEMA | ADQUIRIR LA INGENIERÍA DE UN SISTEMA EXISTENTE |
|------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| COSTO | 100% (bajo) | 20% (alto) | 20% (alto) |
| VIABILIDAD | 100 % (viable) | 20% (poco viable) | 100% (viable) |
| SUPERVISIÓN Y MANTENIMIENTO | 20% (critico) | 50% (promedio) | 50% (promedio) |
| EFICACIA | 20% (baja) | 50% (promedio) | 90%(alta) |
| CONFIABILIDAD | 20% (baja) | 50% (promedio) | 100% (alta) |
| % PROMEDIO | 52% | 38% | 72% |

Según el cuadro de evaluación anterior, la alternativa de solución óptima es la de adquirir la ingeniería de un sistema de clarificación existente y probado en otros ingenios azucareros. Esta alternativa es sin duda la más costosa pero también la más confiable puesto que se ha demostrado que funciona y arroja los resultados esperados justificando la inversión que está dispuesta a realizar la empresa con la finalidad de aportar al cuidado del medio ambiente y cumplir con lo establecido por el ente regulador.

LICITACIÓN DE LA NUEVA INGENIERÍA

Con la finalidad de receptar propuestas de empresas dedicadas al tratamiento de aguas de uso industrial se preparó una solicitud de cotización para la adquisición de la ingeniería de un sistema de clarificación de agua con ceniza para operar con los equipos instalados en la fábrica del ingenio San Carlos. Esta solicitud contemplaba lo siguiente:

Oferta para la adquisición de la ingeniería de un sistema de clarificación de agua con ceniza en circuito cerrado el cual trabaje con 3 calderas:

1. Caldera 8. Capacidad de generación de vapor: 120 ton/h; presión: 600 psi; temp: 750°F. Caldera equipada con lavador de gases Caldema.
2. Caldera 7. Capacidad de generación de vapor: 60 ton/h; presión: 220 psi; temp: 550°F. Caldera equipada con lavador de gases Caldema.
3. Caldera 2. Capacidad de generación de vapor: 60 ton/h; presión: 220 psi; temp: 550°F. Caldera equipada con lavador de gases Fourteam.

Flujo de agua de sistema de clarificación actual: 300 a 310 m³/h.

Alcance del proyecto:

- Resultados acordes a lo estipulado por normas de emisiones de los entes gubernamentales tanto de emisión de particulados como en la de líquidos.
- Reducir los costos de operación y mantenimiento
- Reducir al mínimo la parada del equipo
- Posibilidad de ampliación sin perder la inversión inicial (futura caldera: 200 ton/h de vapor)
- Permitir automatizar todo el sistema
- Baja reposición de agua
- Control de humedad de la ceniza

Esta solicitud de cotización fue enviada a dos empresas brasileñas, las cuales tienen experiencia previa en sistemas de tratamiento de aguas industriales. Las empresas y las propuestas fueron las siguientes:

FOURTEAM ENGENHEIROS ASSOCIADOS LTDA.

Es una empresa de ingeniería del sector azucarero, los cuales brindan servicios de consultoría, proyectos e ingeniería. Está presente en Brasil desde el año 1981.

Su propuesta consiste en:

- Selección de un tamiz rotativo para separación de la ceniza de mayor tamaño.
- Diseño de un decantador de cenizas de tipo bandejas y raspadores (transmisión con motor eléctrico).
- Selección de un filtro prensa a vacío para reducir la humedad de la ceniza final.
- Diseño de sistema de almacenamiento de ceniza con alimentación a volquetes.
- Ingeniería de bombas, tuberías, válvulas y accesorios para interconexión.
- Ingeniería del proceso hidráulico y cálculos estructurales.

las áreas de proceso y de tratamientos en desechos en general. La empresa está compuesta por un cuadro funcional multidisciplinario que actúan en todas las fases de un proyecto industrial, incluyendo ingeniería de proceso, mecánica, civil, eléctrica e instrumentación y control.

Su propuesta consiste en:

- Selección de un tamiz rotativo para separación de la ceniza de mayor tamaño.
- Diseño de celdas de decantación de cenizas (equipos estáticos)
- Fabricación de una prensa hidráulica para retirar el exceso de humedad de la ceniza.
- Diseño de Sistema de almacenamiento de ceniza con alimentación a volquetes.
- Ingeniería de bombas, tuberías, válvulas y accesorios para interconexión.
- Ingeniería del proceso hidráulico, cálculos estructurales, civiles y automatización/control del sistema.

- No se incluye proyecto eléctrico y de iluminación.

En la figura 3.2 se muestra la propuesta de Engenho Novo.

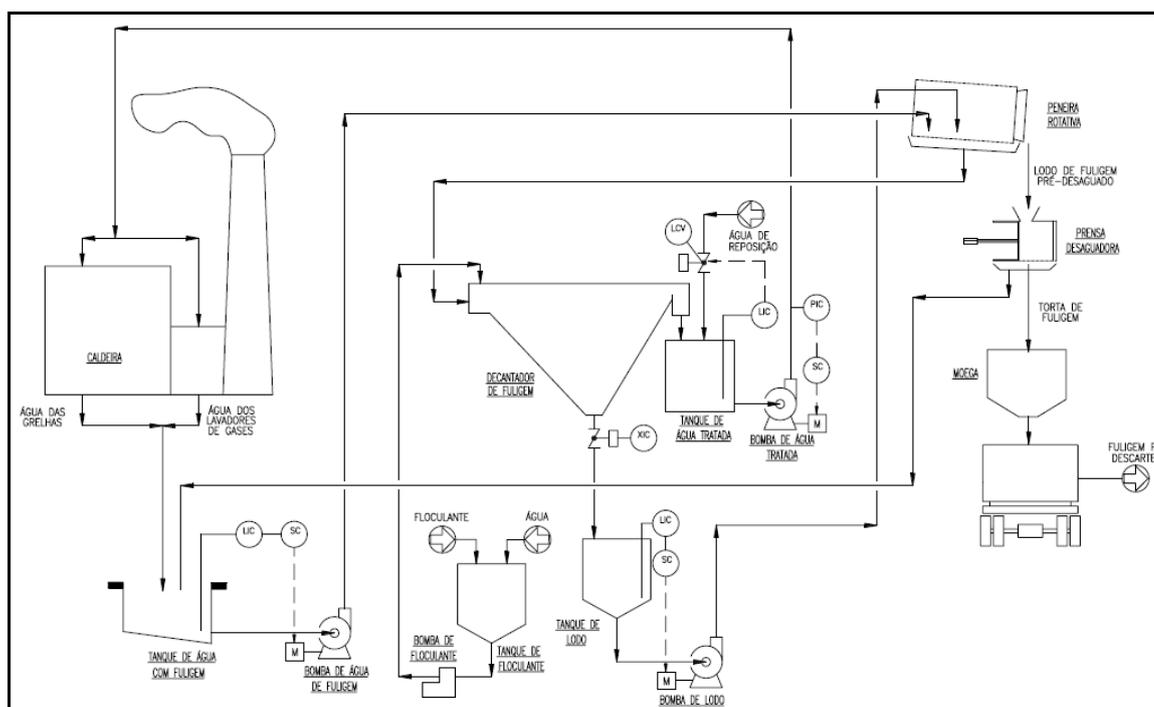


FIGURA 3.2. PROPUESTAS DE ENGENHO NOVO.

En el siguiente capítulo se utilizarán diversos criterios de selección para escoger el sistema más adecuado y amigable para el proceso de separación de la ceniza del agua. De esta selección dependerá el correcto direccionamiento que se le va a dar a la inversión que la empresa va a realizar en esta mejora.

CAPITULO 4

4. SELECCIÓN DE LA INGENIERÍA E IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA CON CENIZA.

4.1. Criterios de selección de la ingeniería.

Para la selección de la ingeniería a adquirir para el nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza se consideraron criterios según la experiencia del sistema anterior y del nuevo manejo que se le quiere dar a la ceniza retirada del agua. Los criterios de selección fueron definidos de la siguiente manera:

Continuidad del proceso de clarificación.- Es de suma importancia que en el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza no se vea interrumpido por alguna falla o mantenimiento de sus equipos. La interrupción del proceso de clarificación producirá la salida de operación de los lavadores de gases de las calderas lo que luego desencadenaría la parada de las calderas por acumulación de ceniza.

Confiabilidad del sistema de decantación.- Uno de los problemas neurálgicos del sistema de clarificación instalado es su equipo de decantación compuesto por raspadores que tenían que ser movidos por una transmisión que a pesar de ser repotenciada, sufría daños severos que obligaban a parar el sistema de clarificación de agua. Se requiere que en el nuevo sistema, este problema ya no se presente.

Optimización del uso de agua.- Este proyecto busca evitar la contaminación del medio ambiente evitando el depósito de grandes cantidades de ceniza a la atmosfera, pero al mismo tiempo busca frenar el uso indiscriminado de agua limpia en el proceso industrial de la planta.

Posibilidad de ampliación futura en la capacidad de clarificación de agua.- El nuevo sistema a implementarse debe permitir una ampliación futura a una capacidad que se ha definido en el proyecto.

Capacidad de automatización de todo el sistema.- Esto permitirá que la supervisión sea mínima, que se puedan controlar parámetros y llevar historiales de datos a través de un computador.

4.2. Matriz de selección de la ingeniería para el nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza.

Para seleccionar la ingeniería se hará un análisis de cada una de las propuestas considerando los criterios de selección que hemos definido. Luego realizaremos una matriz de selección donde se calificara cada criterio y al final se realizara un promedio de las calificaciones lo que nos dará la pauta de cuál es la ingeniería más conveniente a adquirir. Las propuestas que cumplan con los criterios serán calificadas con un 100% y las que no los cumplan su calificación será de 0%. El promedio más alto será la ingeniería seleccionada.

ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS

La continuidad del proceso de clarificación de agua con ceniza va a depender de cuan capaz es el sistema de poder absorber daños o mantenimientos propios del proceso en sus equipos. En el caso de la propuesta de Fourteam, el uso de un decantador móvil ya se ha probado para este proceso con pésimos resultados porque su punto débil es la transmisión. El uso de un filtro prensa a vacío también pararía el proceso de clarificación, puesto que es el paso obligatorio de la ceniza húmeda hacia el depósito que alimenta los volquetes.

En el caso de la propuesta de Engenho novo, la confiabilidad de las celdas estáticas está intacta y como el sistema se conforma de varias

celdas, el mantenimiento o limpieza de una de ellas no produciría el paro del sistema. La prensa hidráulica que se propone viene equipada con un bypass en caso de requerirse el mantenimiento de esta. Aplicado el bypass, la ceniza pasa directamente al depósito de alimentación de los volquetes con una mayor humedad.

Ambos sistemas son circuitos cerrados por los que la reposición del agua que se pierde por evaporación y en la humedad de la ceniza es mínima.

El ingenio San Carlos tiene en su planificación de ampliación de planta la adquisición de una nueva caldera con una producción de vapor de 200 ton/h, por lo que es de suma importancia que el sistema de clarificación de agua con ceniza se pueda ampliar para el nuevo volumen de agua a tratar sin perder la inversión inicial que se realizara en el nuevo sistema. En el caso de Fourteam, una ampliación futura se complica debido al tipo de decantador propuesto. Este decantador debería ser construido inicialmente con la capacidad requerida para la futura ampliación, lo que incrementaría la inversión inicial. En la propuesta de Engenho novo, la ampliación se lograría con la instalación de nuevas celdas de decantación, para lo cual bastaría con dejar lista la obra civil para las celdas requeridas en la ampliación.

En ambas propuestas, en el dimensionamiento de bombas, tanques y líneas de interconexión estará considerada la futura ampliación.

Todo el proceso productivo de la Fábrica del ingenio San Carlos esta automatizado y el sistema de clarificación de agua con ceniza no será la excepción. La automatización hace a los procesos más amigables, permite una mejor operación y supervisión. Es por esto que para este proyecto la automatización es muy importante. La propuesta de Engenho novo considera el proyecto de automatización, la propuesta de Fourteam lo excluye de su suministro.

TABLA 4.1
MATRIZ DE SELECCIÓN DE LA INGENIERÍA

| CRITERIOS DE SELECCIÓN | FOURTEAM ENGENHEIROS ASSOCIADOS LTDA. | ENGENHO NOVO TECNOLOGÍA LTDA. |
|---|--|--|
| Continuidad del proceso de clarificación | 0% | 100% |
| Confiabilidad del sistema de decantación | 20% | 80% |
| Optimización del uso de agua | 100% | 100% |
| Posibilidad de ampliación futura | 50% | 100% |
| Capacidad de automatización | 60% | 100% |
| PROMEDIO | 46% | 96% |

Gracias a la matriz de selección se ha decidido adquirir la ingeniería que cumple con las expectativas trazadas al inicio del proyecto y que

corresponde a la propuesta por la empresa ENGENHO NOVO TECNOLOGÍA LTDA.

4.3. Descripción del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza.

La ingeniería del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza se la adquirió en su totalidad en el año 2010. La implementación del proyecto se lo realizó en dos etapas. La primera etapa se la concluyó para la zafra del año 2010 y en esta el circuito aun no trabajaba de una forma cerrada. Durante la 1era etapa el tratamiento de la ceniza retirada del agua era igual al del sistema de tratamiento antiguo, es decir que la ceniza en forma húmeda era llevada hacia una piscina de oxidación. La 2da etapa del proyecto se finalizó para la zafra 2011 en el cual el sistema fue culminado tal como se contemplaba en la ingeniería de Engenho Novo. Varios equipos del sistema de tratamiento fueron adquiridos e implementados en la 2da etapa. La división en 2 etapas del proyecto obedeció al presupuesto anual asignado para el mismo.

A continuación se describen los equipos y funcionamiento del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza.

El agua con ceniza proveniente de los lavadores de gases y de las parrillas de limpieza de los hornos de las calderas es depositada a un canal que la lleva hacia un colador tipo barajas y cedazo en el cual se separa la ceniza de mayor dimensión y se la deposita en unos coches que ayudan a su desalojo. La separación inicial de la ceniza se la continuara realizando con este equipo ya instalado en la planta. El agua con la ceniza más pequeña se deposita en un tanque desde el cual se la bombea hacia el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza.

Con la finalidad de identificar en el diagrama de procesos los equipos que conforman el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza, se les asignara una identificación abreviada que ayudara a su seguimiento durante la explicación del proceso. Para referencia, consultar el diagrama de proceso en el PLANO No 1.

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON CENIZA

Este sistema cuenta con un tanque receptor (TQ-01) y dos bombas centrífugas marca Equipe (BB-01 A/B), las cuales están diseñadas para trabajar con una mezcla de agua y ceniza a una temperatura entre 70 y 75°C con un caudal de 400 m³/h. Estas bombas envían el

agua con ceniza hacia el tamiz rotativo donde se inicia el sistema de clarificación el agua.



FIGURA 4.1. COLADOR TIPO BARAJAS Y CEDAZO



FIGURA 4.2. TANQUE RECEPTOR Y BOMBAS

TAMIZ ROTATIVO O COLADOR ROTATORIO (TR-01)

Se trata de un tamiz rotativo marca Prominas, diseñado para agua con cenizas. Posee una capacidad de 700 m³/h. Todas las partes que van a estar en contacto con el agua y la ceniza están fabricadas en acero inoxidable. Su movimiento de rotación se produce gracias a dos moto-reductores que mueven 4 ruedas de fricción donde descansa el tambor tamiz del equipo. En este equipo se inicia el proceso de secado de la ceniza, pues este captura la ceniza de mayor tamaño y la separa del agua con ceniza más fina. La ceniza de mayor tamaño se deposita en el ducto de alimentación de la prensa hidráulica, mientras que el agua con ceniza más fina cae por gravedad hacia las celdas de decantación debido a que la ubicación del tamiz rotativo es en el último nivel de la estructura que soporta los equipos.



FIGURA 4.3. TAMIZ ROTATIVO



FIGURA 4.4. INTERIOR DE TAMIZ ROTATIVO

En la 1era etapa del proyecto, el tamizado de agua con ceniza se lo realizo con un sistema estático. Este sistema consistía en una maya a través de la cual se hace pasar el agua con la ceniza. Este sistema de tamizado se utilizaba en el sistema de tratamiento antiguo.



FIGURA 4.5. TAMIZ ESTÁTICO

PRENSA DESAGUADORA (PR-01)

Esta prensa desaguadora es diseñada y fabricada por Engenho Novo, tiene una capacidad de 10 Tm/h de solido húmedo. Es del tipo hidráulica en disposición horizontal. Permite alcanzar una humedad de la ceniza de hasta un 65%. La ingeniería del nuevo sistema de tratamiento incluye el diseño de un ducto de alimentación de ceniza para la prensa el cual está provisto de un bypass que permite sacar de servicio este equipo sin interrumpir el tratamiento del agua con ceniza. La ceniza a la que se le extrajo parte de su humedad, se deposita en una tolva que va a alimentar a los volquetes que la llevan hacia los canteros.



FIGURA 4.6. PRENSA DESAGUADORA Y PROCESO DE TRANSPORTE DE LA CENIZA

El diseño de la tolva con su sistema de compuertas es parte de la ingeniería adquirida. El agua obtenida producto del prensado de la ceniza cae por gravedad hacia el tanque de lodos de donde vuelve a ser bombeada hacia el tamiz rotativo originándose así un circuito cerrado.

CELDAS DE DECANTACIÓN (DE-01 A/B)

Las celdas de decantación son equipos estáticos que con la adición de floculante, facilitan la decantación de las cenizas suspendidas en el agua. Estas cenizas se precipitan hasta el fondo de la celda donde se acumula en forma de lodos. Estos lodos son desalojados de las celdas gracias a válvulas automáticas con ciclos y tiempos de aperturas determinados. La ventaja de las celdas de decantación es que no poseen partes móviles y su funcionamiento es independiente entre sí, lo que permite que una de ellas salga a mantenimiento sin interrumpir el proceso de clarificación del agua con ceniza. El desalojo de los lodos es muy importante para evitar el saturamiento de las celdas. Los lodos acumulados en el fondo de la celda, fluyen por gravedad hacia el tanque de lodos, desde donde son nuevamente bombeados al tamiz rotativo cerrando el circuito. El agua que se obtiene producto de la clarificación con las celdas es limpia y cristalina lo que evita el taponamiento de boquillas en los lavadores

de gases y además evita el desgaste por abrasión en bombas y tuberías. El agua clarificada cae por gravedad hacia el tanque pulmón de agua limpia desde donde se la vuelve a bombear hacia los sistemas de lavadores de gases de las calderas.



FIGURA 4.7. CELDAS DE DECANTACIÓN

ESTACIÓN DE FLOCULANTE

El polímero floculante tiene la función de hacer posible y acelerar la separación de las impurezas en el agua con ceniza, mediante la formación de flóculos de mayor tamaño que facilitan su decantación hacia el fondo de las celdas.

La estación está provista de dos tanques con un total de 5000 litros para preparación de floculante (TQ-02 A/B) y dos bombas de

desplazamiento positivo marca Netzsch Nemo tipo tornillo (BB-02 A/B) con una capacidad de bombeo de 0,6 m³/h. Estas bombas alimentan de floculante a las celdas de decantación directamente en la tubería de salida del tamiz rotativo o en las entradas de agua con ceniza de las celdas de decantación.



FIGURA 4.8. ESTACIÓN DE FLOCULANTE

TANQUE DE AGUA TRATADA (TQ-03)

Este tanque es alimentado por el rebalse de agua limpia producto de la separación de la ceniza en las celdas de decantación. Es en este tanque donde se realiza la reposición del agua que se pierde por evaporación y humedad de la ceniza descartada. La reposición es automática y va a depender del nivel de agua del tanque. La alimentación de agua tratada hacia los lavadores de gases se la

realiza desde este tanque con la ayuda de dos bombas centrífugas (BB-03 A/B) marca Goulds con una capacidad de 900 GPM. En operación normal trabaja una sola bomba mientras la otra permanece en stand by.



FIGURA 4.9. TANQUE DE AGUA TRATADA

TANQUE DE LODOS (TQ-04)

En este tanque se recogen los lodos producto de las purgas de fondo de las válvulas automáticas de las celdas de decantación. A este tanque también llega el agua que la prensa desaguadora extrae al compactar la ceniza. Este tanque está provisto de dos bombas marca Imbil (BB-04 A/B) que poseen una capacidad de bombeo de 90 m³/h y

están diseñadas para trabajar con lodos de ceniza los cuales son llevados nuevamente hacia el tamiz rotativo donde se le repite el proceso de clarificación.



FIGURA 4.10. TANQUE DE LODOS

TANQUE DE DRENOS (TQ-05)

Este tanque recoge todas las aguas que caigan a el canal de drenaje producto del rebose del tanque de lodos, dosificación de ceniza hacia los volquetes, etc. Existe una línea que permite que el agua extraída por la prensa desaguadora se dirija hacia este tanque. Este tanque posee dos bombas (BB-05 A/B) marca Imbil de 30 m³/h de capacidad de bombeo de lodos.



FIGURA 4.11. TANQUE DE DRENOS

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación se hace un resumen del nuevo proceso de clarificación de agua con ceniza. Para referencia, consultar el diagrama de proceso en el PLANO No 1.

El agua con ceniza producto de la limpieza de las calderas y de los lavadores de gases son recibidas en el tanque receptor TQ-01, luego de haber sido separada la ceniza de mayor tamaño con la ayuda de un colador tipo barajas.

Desde el TQ-01, el agua con ceniza es bombeada por la bomba BB-01 A/B hacia el tamiz rotativo para la remoción del material más grueso. Este material es depositado por el tamiz en el ducto de alimentación de la prensa desaguadora que lo compacta extrayéndole

agua hasta alcanzar una humedad de la ceniza del 65%. Esta ceniza cae en una tolva receptora desde la cual se la dosifica hacia los volquetes que lo transportaran a los canteros.

La ceniza más fina que pasa junto con el agua a través del cedazo del tamiz rotativo entra por gravedad a las celdas de decantación DE-01 A/B. En el camino el agua recibe polímero floculante, dosificado por las bombas de floculante BB-02 A/B. Después de recibir el polímero, los flóculos de ceniza sedimentan hacia el fondo de los decantadores, formando el lodo, mientras que el agua tratada sobrenadante rebalsa a través de los vertederos hacia el tanque de agua tratada, TQ-03. Desde este tanque, con las bombas de agua tratada BB-03 A/B se bombea el agua nuevamente hacia los lavadores de gases y para uso de la limpieza de calderas.

El lodo decantado es purgado continuamente por medio de válvulas automáticas y por gravedad cae hacia el tanque de lodos TQ-04. Desde aquí se bombea el lodo hacia el tamiz rotativo con las bombas de lodos BB-04 A/B.

El agua extraída producto del prensado de la ceniza, es llevada por gravedad hacia el tanque de drenos TQ-05 desde donde se bombea hacia el tamiz rotativo con las bombas BB-05 A/B.

El polímero floculante para las celdas de decantación de ceniza es preparada en los tanques de floculante TQ-02 A/B y es dosificado gracias a las bombas BB-02 A/B.

4.4. Cronograma del proyecto.

El proyecto del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza se manejó en 2 etapas:

1era Etapa.- Esta se desarrolló desde el mes de Marzo del 2010 y comprendió el desmontaje del antiguo equipo para clarificación de agua con ceniza, la construcción de la obra civil para el nuevo sistema, la construcción y montaje de las estructuras, equipos, tanques, tuberías, etc. El cronograma para la construcción de la obra civil corresponde al ANEXO 3 de esta tesis. En el ANEXO 4 corresponde al cronograma de la construcción y montaje de estructuras y equipos. Incluye instalación de equipos eléctricos y de control.

2da Etapa.- Se desarrolló desde el mes de Febrero del 2011 y comprende la construcción de la estructura soporte para la prensa y tolva de ceniza, la construcción e instalación del tanque de lodos y tolva de ceniza. Montaje del tamiz rotativo, prensa desaguadora e instalación de tuberías de interconexión. El ANEXO 5 corresponde al

cronograma de esta etapa del proyecto donde además se incluye las instalaciones eléctricas y de automatización.

El seguimiento de avance de la obra se lo realizaba semanalmente para lo cual se controlaba cuanto el contratista había construido y montado en peso de material para compararlo con los tiempos que se habían definido en el cronograma. Uno de los formatos de control de la 1era etapa se observa en el ANEXO 6.

4.5. Fabricación, montaje y puesta en marcha del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza.

La construcción del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza, empieza con el desmontaje y retiro del antiguo clarificador.



FIGURA 4.12. Desmontaje de antiguo clarificador de agua con ceniza.

Este trabajo se lo realiza con personal contratista y los elementos cortados son llevados a una bodega de materiales usados donde luego estos pueden ser recuperados.

Paralelamente al desmontaje del clarificador antiguo, se iniciaron los trabajos de trazado y demolición para la obra civil. Este trabajo fue asignado a otro contratista. El alcance de la obra civil es dejar listas las bases para todo el proyecto, incluidas las bases para 4 celdas de decantación para futura ampliación.



FIGURA 4.13. TRAZADO Y DEMOLICIONES PARA OBRA CIVIL

OBRA CIVIL

Para mayor referencia de la obra civil ejecutada para el proyecto, diríjase al PLANO 2 que corresponde a la obra civil del nuevo sistema

de clarificación de ceniza, estos planos fueron realizados por el departamento de proyecto bajo la supervisión y aprobación de la unidad ejecutora de obras civiles de la empresa.

La figura 4.14 muestra los trabajos de excavación y compactación de suelos. Una vez realizado un re plantillo de hormigón en el suelo compactado, se inicia el armado de hierros y encofrado dejando todo listo para verter el hormigón en las bases y riostras. En esta fase de la obra civil, la parte critica es la instalación y amarre de los pernos de anclaje que sujetaran las placas bases donde se soldaran las vigas para las estructuras.



FIGURA 4.14. TRABAJOS DE EXCAVACIÓN, COMPACTACIÓN, ARMADO DE HIERROS Y ENCOFRADO.

Estos pernos de anclaje son fabricados de acero SAE 1040 y su diseño es proporcionado por el departamento de obra civil y

estructuras. Para asegurarse que los pernos de anclaje queden correctamente ubicados en los dados y al mismo tiempo evitar que sufran desplazamientos durante el trabajo de fundición, se construyen moldes de las placas bases con plancha de acero de 1/8 de pulgada, que van a servir como guía durante el montaje y amarre de hierros de la obra civil. Ver figura 4.15



FIGURA 4.15. MOLDE GUÍA PARA INSTALACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE.

Para el suministro del hormigón ya preparado para la fundición, se contrató a la empresa Hormigones Hércules. Esta empresa suministro hormigón en camiones mixer de 7.5 m³ de capacidad. El hormigón suministrado cumplió con las normas exigidas por la unidad ejecutora de obra civil con respecto al valor de resistencia a la compresión el

cual fue de $F'c= 280 \text{ Kg/cm}^2$. Ver hoja de datos del hormigón en el ANEXO 7.

El trabajo de fundición se realizó en dos etapas, primeramente se vertió el hormigón en las zapatas y parte de las riostras, considerando que se trataba de zapatas corridas. Luego se instaló el encofrado en la parte sin fundir de las riostras, en los dados, bases de tanques y bombas. Se volvió a coordinar con la empresa de hormigón para culminar la fundición. Durante el vertido del hormigón, se usó un vibrador mecánico que era introducido en el hormigón con la finalidad de evitar vacíos o bolsas de aire en la fundición. Ver figura 4.16



FIGURA 4.16. TRABAJOS DE VACIADO DE HORMIGÓN.

Con la finalidad de determinar la fluidez y consistencia del hormigón utilizado para la fundición de la obra civil, se realizó la prueba del cono de Abrams (Ver figura 4.17) según la norma técnica INEN 1578.



FIGURA 4.17. PRUEBA DEL CONO DE ABRAMS APLICADO AL HORMIGÓN.

Esta prueba consiste en llenar con hormigón un cono de asentamiento construido exclusivamente para estas pruebas. Dicho cono se lo llena en 3 tercios y en cada llenado se lo apisona 25 veces con un vástago de acero. Una vez que el cono este lleno y el hormigón correctamente apisonado, se retira el cono hacia arriba lentamente y cuidando que la muestra de hormigón no se desplace hacia los lados. Se espera un momento hasta que la muestra de hormigón se asiente. Una vez que la muestra se haya estabilizado se procede a medir la distancia de asentamiento o caída de altura con

respecto al molde cónico. El objetivo de la prueba es verificar que el asentamiento o caída de altura este dentro del rango de los 2 y 18 cm. Para nuestro caso particular, la caída de altura fue de 5 cm.

Adicionalmente se realizaron cilindros de hormigón para ensayos de compresión, elaboración y curado según la norma internacional ASTM C31. Ver figura 4.18.



FIGURA 4.18. PREPARACIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN.

ESTRUCTURAS METÁLICAS

Una vez culminada la fundición de la obra civil, se inició el montaje de las placas bases en los dados. En estas placas se procederá a soldar las columnas que conforman las estructuras soporte de los equipos. Las placas son colocadas en los dados con dos tuercas en cada perno, una tuerca en la parte de abajo de la placa y la otra tuerca

sobre la parte superior de la placa. Estas tuercas van a permitir la fijación de todas las placas al mismo nivel. Una vez niveladas todas las placas, la parte vacía que queda entre el hormigón y la placa se la cubre con mortero Grouting Sika, para lo cual se instala un encofrado alrededor del dado y la placa. Ver figura 4.19.



FIGURA 4.19. INSTALACIÓN DE PLACA BASE Y RELLENO CON GROUTING.

Las columnas previamente fueron fabricadas bajo las especificaciones proporcionadas por el departamento de diseño estructural considerando la ubicación sísmica de la planta. Para verificar la estabilidad y robustez del diseño estructural, se realizó análisis de esfuerzos con el software SAP 2000 versión 11 aplicándole a las estructuras las cargas correspondientes a cada equipo durante su operación. Ver figura 4.20.

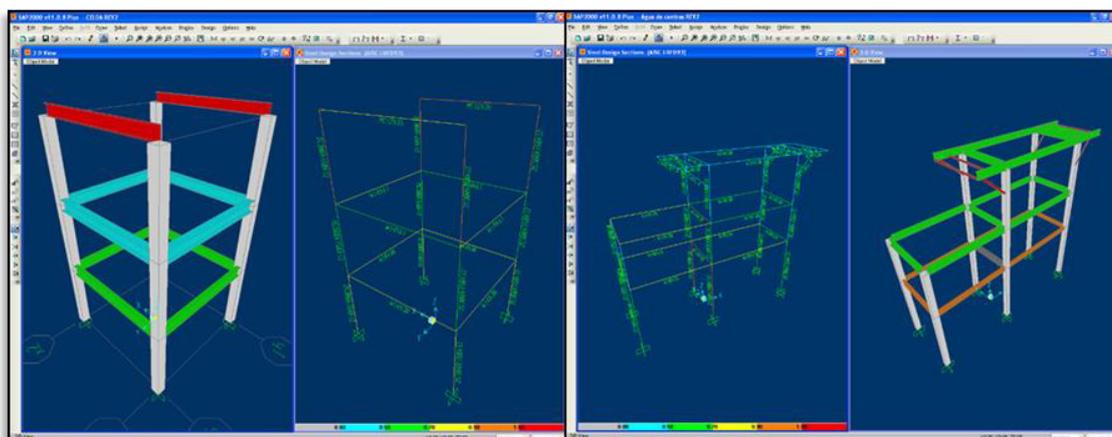


FIGURA 4.20. ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LAS ESTRUCTURAS MEDIANTE SOFTWARE SAP 2000 VERSIÓN 11.

Luego de haber cumplido los 5 días de curado del hormigón, se inicia el montaje de las estructuras que soportaran los equipos del nuevo sistema de clarificación de cenizas.

Para el montaje de las columnas se utilizó una grúa con la cual se manipulo las columnas para ubicarlas en la base correspondiente. Una vez que la columna era ubicada en su posición, se procedía a nivelarla para que esta quede en una correcta posición vertical. Una vez verificado el nivel, se procede a aportar soldadura con cordones cortos para evitar que se pierda el nivel. Por último, una vez realizada la 1era fijación de la columna a su placa base, se verifica nuevamente el nivel para que esta pueda ser liberada para el remate de la

soldadura que la sujetara permanentemente a la placa base que a su vez está sujeta a la obra civil por los pernos de anclaje.



FIGURA 4.21. MONTAJE DE COLUMNAS.



FIGURA 4.22. MONTAJE DE VIGAS DE AMARRE ENTRE COLUMNAS.

Para el proceso de soldadura de todos los elementos que conforman el proyecto se consideró el código AWS D1.1 de la Sociedad Americana de Soldadura.

Una vez instaladas las columnas, se inicia con el montaje de las vigas horizontales que amarran las columnas entre sí. Se continúa con la instalación de las cartelas que permitirán instalar las vigas tensoras que darán estructura al edificio metálico. Ver figura 4.22

CELDAS DE DECANTACIÓN

El procedimiento de preparación del material y construcción de las celdas de decantación fue proporcionado por EngenoNovo como parte de la ingeniería adquirida para el nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza. Este procedimiento contemplaba el tipo de material, dimensiones para trazado y corte, número de partes requeridas a preparar, procedimiento de soldadura y armado de las celdas. Toda la información y el material fueron entregados al contratista a cargo de la construcción y montaje de los equipos para el proyecto. El material fue preparado en el taller del contratista y armado en partes que permitan su traslado hacia obra. Con la grúa se realiza el procedimiento de montaje de las celdas en sus estructuras soportes. Una vez ubicadas las celdas en su sitio de trabajo, se procede a verificar que estas se encuentren correctamente niveladas. Comprobados que todos los parámetros del montaje estén acordes a lo estipulado en la ingeniería, se inicia el remate de las soldaduras de las partes que se unieron durante el montaje.

Una vez culminado el remate de soldaduras, se proceden a limpiar las paredes internas de las celdas de todo rastro de soldadura que haya quedado producto de la construcción del equipo. Por último, se coloca una válvula en la descarga de fondo de la celda con la finalidad de realizarle prueba hidrostática y detectar posibles fallas en las soldaduras y fugas de agua que de existir se deben corregir.

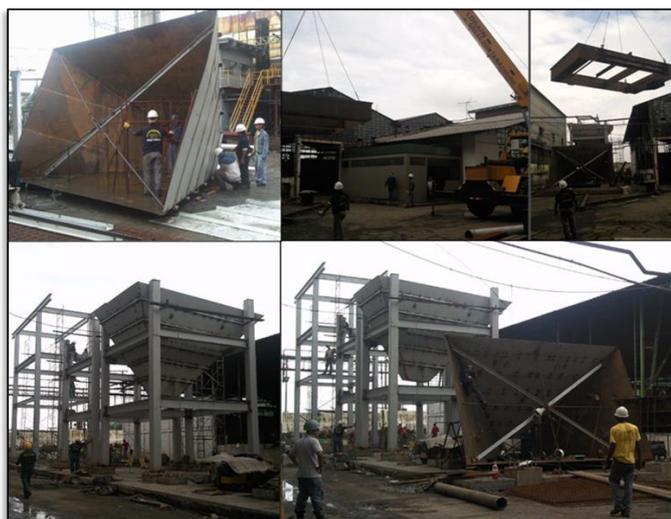


FIGURA 4.23. MONTAJE DE CELDAS DE DECANTACIÓN.

PLATAFORMAS DE OPERACIÓN, ESCALERAS DE ACCESO Y PASAMANOS

Una vez instaladas las celdas de decantación, se procede a la construcción de las plataformas para operación, pasillos, escaleras de acceso y pasamanos. Estos elementos fueron construidos y

montados de acuerdo al diseño estructural estipulado en la ingeniería adquirida para el proyecto, respetando material, dimensiones y formas.



FIGURA 4.24. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE PLATAFORMAS DE OPERACIÓN, ESCALERAS Y PASAMANOS.

TAMIZ ESTÁTICO

Para la 1era fase del proyecto se utilizó el tamiz estático del antiguo clarificador de agua con ceniza. Este equipo fue montado en la estructura donde, en la implementación de la 2da etapa, descansara el colador rotativo. Ver figura 4.25.



FIGURA 4.25. TAMIZ ESTÁTICO.

La ceniza separada por el tamiz estático será desalojada a través de un canalón metálico que la direcciona hacia el canal de salida hacia la piscina de oxidación. La construcción de este canalón metálico no está contemplada en el proyecto original, pero fue necesaria su construcción para el desalojo de la ceniza. En la 2da etapa se elimina el canalón y la ceniza será desalojada mediante volquetes.



FIGURA 4.26. CANALÓN DE DESCARGA DE CENIZA DESDE EL TAMIZ ESTÁTICO.

TANQUES DE FLOCULANTE

Se construyeron 2 tanques para preparación y dosificación de floculante según los planos proporcionados por Engenho Novo. Estos tanques están proporcionados de agitación por aire en su 1era etapa y mediante un rotor con patetas movido por un conjunto motor – reductor en la 2da etapa.



FIGURA 4.27. CONSTRUCCIÓN DE TANQUES DE FLOCULANTE.

TANQUE DE AGUA TRATADA

Para el proyecto del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza se contempló la reutilización del tanque de agua tratada del antiguo sistema de clarificación, para lo cual se lo adecuo incrementando la longitud de sus patas soportes.



FIGURA 4.28. TANQUE DE AGUA TRATADA.

LIMPIEZA SUPERFICIAL Y PINTURA

La limpieza de los metales bases fueron realizadas según el estándar SSPC-5. Este estándar establece una limpieza que se logra haciendo impactar una partícula abrasiva sobre la superficie, que al chocar suelta las partículas extrañas a la base dejando una huella en la zona de impacto. El objetivo es lograr un grado de metal blanco que consiste en una limpieza de manera tal que la superficie se apreciará de un color gris blanco uniforme y metálico. La superficie mirada sin aumentos deberá estar libre de toda contaminación y apreciarse levemente rugosa para formar un perfil adecuado que permita un buen anclaje de los revestimientos.

Una vez limpia las superficies, se procedió a cubrir con pintura alquídica base con un espesor de 25 micras.

Todos los materiales utilizados para la construcción de las estructuras y equipos que conforman el proyecto fueron inicialmente limpiados mediante Sand Blasting o limpieza con chorro de arena a presión y luego cubiertos con la pintura alquídica base de color gris claro.



FIGURA 4.29. NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE APLICADA SU CAPA FINAL DE PINTURA.

TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN - 1er ETAPA DEL PROYECTO

Para culminar la 1era etapa del proyecto se instalan las tuberías de interconexión entre los equipos y las bombas. La tubería de alimentación de agua hacia el nuevo sistema de clarificación es la misma que alimentaba el sistema antiguo. Las líneas nuevas son las de agua tamizada que van a alimentar a las celdas de decantación, la salida de agua limpia hacia el tanque reservorio y las líneas de alimentación/descarga de sus bombas. Por otro lado, también se

realizó el montaje de las líneas de succión y descarga de floculante hacia el sistema de clarificación. También se han incluido en este montaje la instalación de las válvulas automáticas de descarga de ceniza de las celdas y las válvulas de reposición del tanque de agua limpia con sus respectivas bridas.



FIGURA 4.30. MONTAJE DE TUBERÍAS.

Para el montaje de las tuberías se siguieron los correctos procedimientos de soldadura y de preparación de las juntas. Se prepararon biseles en los extremos de los tubos a soldar y se dejó 1/8 de pulgada de apertura entre la unión de tubos para permitir la penetración de la soldadura. Se esmerilo la soldadura de fondo y se aportó la soldadura de relleno siguiendo el procedimiento de soldadura según código AWS D1.1 (SAW/GMAV/SMAW).



FIGURA 4.31. PROCESOS DE SOLDADURA DE LAS TUBERÍAS.

Adicionalmente, se realizó el trabajo de montaje de tuberías roscadas de $\frac{1}{2}$ " , $\frac{3}{4}$ " y 1" y sus accesorios que se utilizarán para el suministro de agua para limpieza, floculante y aire comprimido.

La instalación de las tuberías de interconexión también conlleva la construcción de la soportería que permitirá su sujeción a la estructura del equipo. Para este caso particular se utiliza ángulos comerciales de $2'' \times 2'' \times \frac{1}{4}''$ y perfiles UPN-100 como soportería por tratarse de tuberías de mediana dimensión.

AUTOMATIZACIÓN DE LA 1era ETAPA DEL SISTEMA

La automatización de la 1era etapa del sistema de tratamiento de agua con ceniza consistió en permitir la programación sincronizada de

las purgas de las celdas mediante las válvulas de fondo, permitiendo setear el tiempo de espera y de apertura de acuerdo a las necesidades de operación. Para esto fue necesario la instalación de dos válvulas automáticas en las tuberías de las purgas de fondo de las celdas, las cuales eran controladas por un PLC que comandaba su apertura o cierre dependiendo de los valores seteados por el operador.

La reposición hacia el tanque de agua tratada también se automatizo mediante la instalación de una válvula automática que se abre dependiendo del nivel del tanque. Esta válvula automática es comandada por un PLC que recibe la información de un medidor de nivel instalado en el tanque de agua tratada.

La limpieza del tamiz estático también se automatizo con ayuda de un PLC y una válvula automática. Esta limpieza se realizaba de manera continua con intervalos y tiempos de duración establecidas para la operación del equipo.

FLOCULANTE

Uno de los puntos críticos en el nuevo sistema, que tuvo que ser minuciosamente analizado y que requirió entrenamiento del personal fue el de la preparación y dosificación de floculante.

El polímero floculante especificado en la ingeniería suministrada por ENGHENO NOVO posee las siguientes características:

Actuación: Macro-floculación de las impurezas en el agua con ceniza, haciéndolas más grandes y acelerando su separación.

Especificación: Poli-electrolito Catiónico (positivo) de alto peso molecular y elevado grado de hidrólisis, a base de co-polímeros de acrilamida y acrilatos (poliacrilamida y acrilatos) en forma sólida granulada o en emulsión.

Suministrador: Existen varios proveedores y productos que fueron probados y han sido aceptados para esta aplicación y que se enlistan a continuación. Se sugiere realizar pruebas de floculación en el laboratorio antes de usar el producto en campo.

CIBA: ZETAG 8125; LT-22S

FLOERGER: FLONEX 9014

BUCKMAN: BULAB 5158

NALCO: OPTIMER 7128

CYTEC: SUPERFLOC C492 HMW

Aplicación: Solución acuosa entre 0.05% y 0.20% p/v. La solución debe ser preparada en agua fría y limpia.

Dosificación: 0.5 ppm hasta 1.5 ppm en al agua con ceniza (0.5 hasta 0.15 g/cm³).

Basándose en las características solicitadas en la ingeniería del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza, se solicitó a la empresa EXRO DEL ECUADOR CIA. LTDA. suministrar un polímero floculante que cumpla con estos requisitos. La empresa EXRO recomienda utilizar el floculante EXRO 651 que es una poliacrilamida de alto peso molecular de carácter levemente catiónico, utilizado eficientemente en los procesos de espesamiento, aguas residuales y clarificación de agua de pozo.

Con la finalidad de determinar un programa químico y de dosificación adecuado del floculante EXRO 651 para lograr un rápido tiempo de sedimentación y eficaz clarificación se realizaron pruebas de laboratorio recogiendo los siguientes resultados:

Floculante : EXRO 651

Dosificación : 1 ppm

| | | |
|---------------------------|---|--------|
| Concentración | : | 0,1 % |
| Sol. Suspendidos IN, ppm | : | 4265 |
| Sol. Suspendidos OUT, ppm | : | 1 |
| Remoción (%) | : | 99.99% |

En la siguiente figura se muestran las pruebas de laboratorio realizadas:

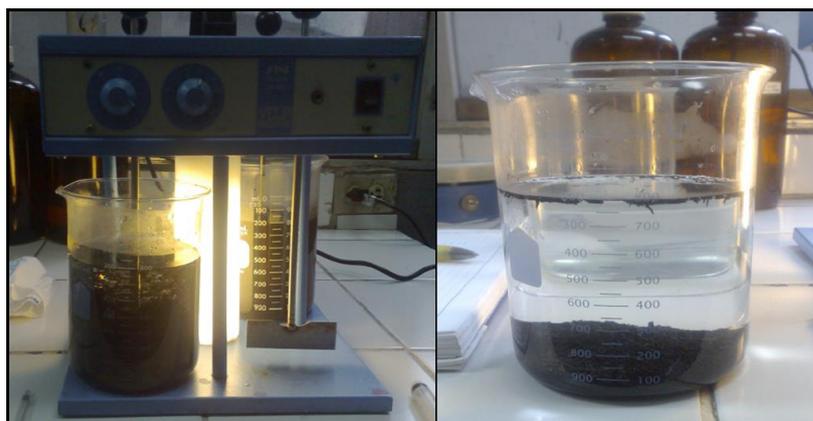


FIGURA 4.32. PRUEBAS DE LABORATORIO DEL FLOCULANTE EXRO 651.

PREPARACIÓN DE FLOCULANTE

El floculante es un producto sensible por lo que no debe ser expuesto a agitación brusca ni ser preparado con demasiada anterioridad a su utilización para evitar que pierda su actividad con facilidad.

En el nuevo sistema de clarificación existen dos tanques de floculante, por lo que para su correcta operación uno de ellos siempre debe estar en uso, mientras que el otro debe permanecer vacío a la espera de requerimiento de preparación de más floculante. Cuando el tanque que está en uso se encuentre a la mitad de su nivel o le quede aproximadamente 4 horas de capacidad del producto, se debe iniciar la preparación de floculante en el 2do tanque.

Para la preparación de floculante se procede como sigue: se llena con agua limpia el volumen del tanque vacío hasta la mitad de su capacidad y se inicia la agitación con una cantidad de aire suficiente para generar una buena agitación, pero no violenta. Vale mencionar que en la 1era etapa del proyecto la agitación se la realiza con aire comprimido, en la 2da etapa esta agitación se la realiza de forma mecánica con paletas movidas por un moto-reductor.

A continuación se procede a verter lentamente el floculante en la boca del embudo de alimentación con $\frac{1}{4}$ de apertura de la válvula de agua de mezcla floculante/agua.

El vertido de floculante en el tanque de preparación dura entre 15 a 30 minutos hasta que se haya depositado por completo los 5 kg de producto y este se haya mezclado con el agua.

Luego de mezclado todo el producto, se procede a llenar con agua el tanque y dejarlo con agitación suave con aire durante 30 minutos más, luego de lo cual se para la agitación.

Para el caso de la agitación con aire, unos diez minutos antes del consumo del floculante del tanque, se reinicia la agitación suave con aire durante 20 minutos y luego se para la agitación hasta se culmine el volumen del tanque. Para el caso de la agitación mecánica, no es necesario parar la agitación durante le preparación, espera y consumo del tanque de floculante.

PUESTA EN MARCHA DE LA 1era ETAPA DEL PROYECTO

PREPARACIÓN DEL ARRANQUE

El primer paso para la puesta en marcha del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza es el llenado de las dos celdas de decantación (DE-01 A/B) con agua de proceso limpia. Este llenado debe realizarse al mismo tiempo, para lo cual se deben abrir completamente las válvulas de alimentación de agua con ceniza de las celdas y cerrar completamente las válvulas de las purgas de fondo, de este modo se conseguirá el efecto de vasos comunicantes en las celdas logrando que el nivel de agua en las dos sean iguales.

Las celdas deben llenarse hasta que comiencen a rebosar por su vertedero dentado o con forma de peine. Ver figura 4.33. Una vez llenas las celdas, se debe ajustar la altura individual de cada vertedero con la ayuda de sus pernos de ajuste de tal modo que el nivel de ambas celdas sea igual con respecto a los dientes de sus vertederos. Manteniendo el efecto de vasos comunicantes, se debe verificar que el nivel de agua de ambas celdas sea el mismo a lo largo de sus vertederos.



FIGURA 4.33. VERTEDERO DE CELDAS DE DECANTACIÓN. A LA IZQUIERDA SE OBSERVAN LOS PERNOS DE AJUSTE DE ALTURA.

A continuación se procede a llenar el tanque pulmón de agua clarificada (TQ-03) con agua de proceso limpia.

Antes del arranque del sistema, se debe haber preparado un tanque de polímero (TQ-02 A/B) con el procedimiento anteriormente descrito en cantidad suficiente para la operación del sistema en forma continua y tenerlo listo para su dosificación.

Es de suma importancia verificar que todos los motores estén apagados y operativos antes del arranque del sistema.

Verificar que las válvulas de operación estén correctamente posicionadas para el arranque del sistema, esto es:

- Válvulas de las bombas de agua con ceniza (BB-01 A/B) hacia los decantadores: abiertas
- Válvulas de alimentación al tamiz estático: abiertas
- Válvulas de alimentación a las celdas de decantación: abiertas
- Válvulas de fondo de las celdas de decantación: cerradas
- Válvulas de las bombas de polímeros (BB-02 A/B) y válvula del tanque con polímero preparado: abiertas.

- Válvulas de dosificación de floculante hacia la tubería de salida de agua con ceniza del tamiz estático y a la entrada de las celdas decantadoras: abiertas.
- Válvulas de las bombas de agua clarificada (BB-03 A/B) del tanque pulmón hacia calderas: abiertas.
- Válvulas de sistemas auxiliares para limpieza de tuberías, ceniza y drenajes: cerradas.

Una vez que todos los procedimientos anteriormente descritos se han cumplido, se está listo para poner en línea el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza.

ARRANQUE

El arranque conlleva el siguiente procedimiento:

Iniciar el bombeo de agua limpia hacia los lavadores y calderas a través de las bombas BB-03 A/B.

Una vez que se inicie la puesta en línea de los lavadores de gases de las calderas, observar el llenado de agua con ceniza el tanque TQ-01 y cuando llegue a su nivel de operación encender las bombas BB-01 A/B. Estas bombas envían el agua con ceniza hacia el tamiz estático,

donde se separa la ceniza de mayor tamaño, pasando hacia las celdas de decantación el agua con ceniza más fina.

El proceso de alimentación de agua con ceniza de las celdas de decantación se habrá iniciado, por lo cual se deberá empezar la dosificación de polímero floculante mediante las bombas BB-02 A/B. Es preferible que la dosificación de floculante se la realice en la tubería de salida de agua con ceniza del tamiz, aunque la dosificación también es eficaz en la entrada de agua a las celdas.



FIGURA 4.34. ESTACIÓN DE BOMBEO DE FLOCULANTE Y DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTE A UNA DE LAS CELDAS.

Con las celdas de decantación ya alimentadas por agua con ceniza y floculante, se debe configurar los ciclos de apertura de las válvulas automáticas de purga de fondo para que estas abran y cierren periódicamente y permitan la salida de la ceniza decantada en el

fondo de las celdas. El drenaje del lodo del fondo de las celdas es de suma importancia para evitar que estas se saturen de ceniza y esto afecte la eficiencia de todo el proceso de clarificación de agua con ceniza.

Una acumulación de ceniza en las celdas puede ocasionar que el agua que retorna a las calderas lleve un porcentaje de ceniza hacia el proceso de los lavadores lo que produciría un desequilibrio en el sistema, puesto que para que este funcione correctamente, toda la ceniza que llega al sistema de clarificación debe ser retirada del agua que luego se va a bombear hacia el proceso de lavado de gases de las calderas.

Se recomienda realizar el ajuste inicial de las válvulas automáticas de fondo de los decantadores en un intervalo de 4 a 8 segundos en ciclos de 90 segundos. Con esto se logra una relación de aproximadamente 5 al 10 % de caudal de lodo con respecto al caudal de agua con ceniza que está alimentando a las celdas. Los tiempos de apertura y de espera de las válvulas de fondo deben ser ajustados paulatinamente y bajo observación de la concentración de lodo del caudal de salida y el volumen de lodo decantado en las celdas, buscando un equilibrio entre la cantidad de ceniza que entra en las celdas y la cantidad que sale. Cada vez que se realice un cambio en

el caudal de lodo purgado de las celdas, se debe esperar un tiempo prudente para que el sistema encuentre su nuevo punto de equilibrio naturalmente, tiempo luego del cual se podrá observar los resultados del ajuste realizado.

Durante el proceso de ajuste de los tiempos de purgas de las válvulas de fondo se deben considerar los siguientes criterios:

- Si el tiempo ajustado produce una concentración excesiva de ceniza en las celdas, debido a que el tiempo de purga es demasiado corto, se pueden producir los siguientes inconvenientes: 1) Obstrucción de las válvulas de purga de fondo. 2) Acumulación de sólidos en el interior de los decantadores que genera pérdida de eficiencia del sistema.
- En la 1era etapa del proyecto, donde las purgas de fondo son desechadas hacia la piscina de oxidación, una excesiva purga de fondo ocasionara que una importante cantidad de agua se pierda junto con la ceniza desechada incrementándose la cantidad de agua de reposición al sistema y generando una eficiencia excesiva pero falsa del sistema de clarificación de agua.

- Es preferible el ajuste de las válvulas de fondo de los decantadores en ciclos y tiempos cortos que en ciclos y tiempos largos, es decir que es mejor un ciclo de 40 seg con las válvulas abiertas 4 seg, que un ciclo de 80 seg con las válvulas abiertas 8 seg.

Continuar con el ajuste del tiempo de apertura de las válvulas de acuerdo con la demanda del proceso. Este ajuste debe continuar hasta que se establezca la operación del sistema.

El agua limpia que rebosa a través de los vertederos de las celdas de decantación es recolectada por el tanque TQ-03 desde donde se vuelve a bombear para que retorne al proceso de los lavadores de gases de las calderas. En este tanque se encuentra una válvula automática que repone el agua que se pierde por evaporación y por el drenaje de los lodos hacia la piscina de oxidación en esta etapa del proyecto. La apertura de esta válvula de reposición es gobernada por el nivel de agua en el tanque TQ-03 y su misión es mantener este tanque en nivel de operación.

Una vez que el sistema de clarificación de agua con ceniza está operando, se procede a abrir las válvulas de los atomizadores que van a ayudar a decantar los elementos sólidos más livianos que flotan

a la entrada de agua con ceniza en las celdas. También se procede a colocar en operación la válvula automática para limpieza con agua de la ceniza que se deposita en la superficie de la malla del tamiz estático.

Una vez culminados todos estos procedimientos, se habrá puesto en operación el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza.



FIGURA 4.35. NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA (1ERA ETAPA) EN PLENA OPERACIÓN.

SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO

Para esta etapa del proyecto se totalizó la construcción de la estructura, se adquirieron y montaron el resto de equipos y se instalaron sus tuberías de interconexión con lo que se completó la

totalidad del proyecto. A continuación se describe el procedimiento de construcción y montajes ejecutados en la 2da etapa que se desarrolló en la temporada de interzafra 2011.

ESTRUCTURA SOPORTE PARA PRENSA DESAGUADORA

En la 1era etapa del proyecto, se manejó la ceniza de forma húmeda de la misma manera que se lo hacía en el antiguo sistema de clarificación de ceniza. Para la 2da etapa, se adquiere una prensa desaguadora que retirara parte de la humedad de la ceniza separada por el colador. Esta prensa se va a instalar sobre una estructura soporte cuyo proceso de construcción y montaje es igual a la estructura inicial. Las bases civiles para las columnas de esta estructura soporte fueron consideradas en la construcción de la obra civil.

De manera similar al montaje de las columnas de la estructura inicial, se procede a su instalación considerando los niveles de las placas y perpendicularidad de las columnas. Una vez que las columnas están en posición correcta se las fija con pequeños cordones de soldadura para luego verificar por ultimo nuevamente su perpendicularidad. Ver figura 4.36.

Una vez instaladas las dos nuevas columnas, se procede al montaje de las vigas horizontales, vigas de amarre y cartelas que conforman la nueva estructura.

El procedimiento de soldadura aplicado para el remate de las columnas y vigas corresponde al código AWS D1.1 de la Sociedad Americana de Soldadura.



FIGURA 4.36. MONTAJE DE NUEVA ESTRUCTURA SOPORTE PARA LA PRENSA DESAGUADORA.

TOLVA DE RECOLECCIÓN DE CENIZA

La nueva estructura a más de soportar la prensa desaguadora, soportara la tolva que recolectara la torta de ceniza que desecha la

prensa desaguadora. Esta ceniza luego es deseacuada mediante volquetes con la ayuda de un mecanismo de compuertas que posee la tolva en su parte baja. El diseño de la tolva es parte de la ingeniería adquirida para el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza y se fabricó de acero ASTM A36. La compuerta de salida de ceniza de la tolva es operada mediante dos actuadores neumáticos que mediante una botonera controlada por el operador de la volqueta, abren la compuerta dejando caer la ceniza en su depósito para ser trasladada está a los canteros correspondientes.

En la figura 4.37 se puede observar la construcción de la tolva de recolección de ceniza como su montaje en la estructura soporte.



FIGURA 4.37. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE TOLVA PARA RECOLECCIÓN DE CENIZA.

TAMIZ ROTATIVO

Este equipo reemplaza al tamiz estático en la 2da etapa del proyecto. Este tamiz rotativo posee una capacidad de trabajo de hasta 700 m³/h de agua con ceniza. Está equipado con un cesto filtrante con hélice interna fabricado en acero AISI 304. Su cuerpo de malla filtrante está conformado de 5 secciones con 0,75 mm de abertura en la primera y segunda sección, 0,25 mm en la tercera sección y 0,50 mm para la cuarta y quinta sección. Cuerpo y accesorios construidos en acero inoxidable AISI 304. Sustentación del movimiento para el cesto filtrante a través de cuatro ruedas de fricción. El accionamiento del sistema es realizado mediante dos moto-reductores marca SEW. Posee un sistema automatizado de limpieza interno y externo con boquillas.

La entrada de efluente al tamiz rotativo es doble, una entrada con tubería de 14" para la primera y segunda sección donde se recibirá el agua con ceniza. La segunda entrada con tubería de 6" para la tercera sección que es por donde entraran los lodos decantados de las celdas.

El montaje del tamiz rotativo se lo realizo con la ayuda de una grúa y se lo soporto sobre dos bases trapezoidales con la finalidad de darle

inclinación al cesto filtrante y facilitar la descarga de la ceniza separada por el tamiz. La estructura soporte para el equipo se contempló y construyó en la 1era etapa del proyecto.



FIGURA 4.38. MONTAJE DE TAMIZ ROTATIVO.

La descarga de ceniza del tamiz rotativo se la realiza mediante un ducto que permite direccionar la ceniza separada del agua hacia la prensa desaguadora. Este ducto de descarga está equipado por una compuerta bypass que permite descargar la ceniza directamente hacia la tolva recolectora de ceniza sin pasar por la prensa desaguadora en caso de que esta tenga que salir de operación por mantenimiento. Este ducto se fabricó en acero ASTM A36 y va a unido a la prensa desaguadora por una brida cuadrada en su entrada de alimentación. Ver figura 4.39.

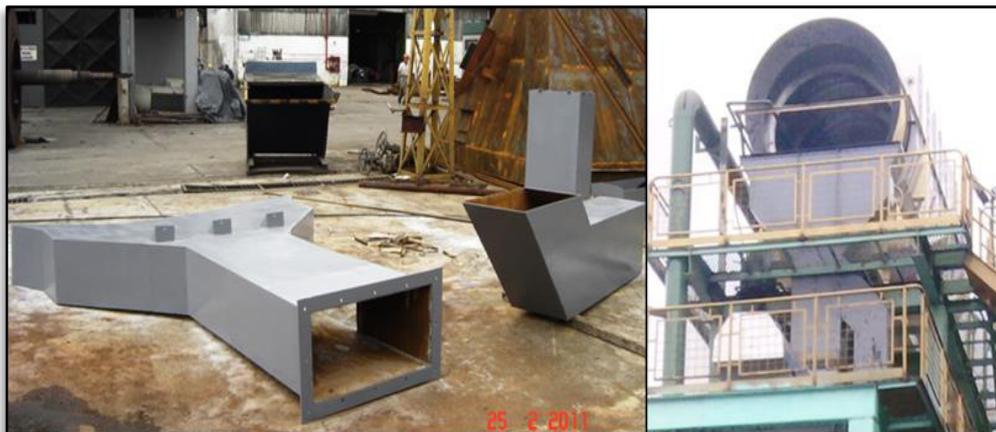


FIGURA 4.39. DUCTO DE DESCARGA DE CENIZA DEL TAMIZ ROTATIVO.

PRENSA DESAGUADORA

La prensa desaguadora diseñada y construida por ENGENHO NOVO posee una capacidad de 10 Tm/h de sólido húmedo, es horizontal y su sistema de compresión está conformado por una unidad hidráulica con cilindros de doble efecto como elementos de compresión. La carga de compresión del sistema hidráulico es de 10 toneladas. La admisión de lodos de ceniza la hace por un embudo en la parte superior, dicho embudo va conectado a el ducto de descarga del tamiz rotativo. La salida de ceniza prensada la realiza por la parte inferior y esta cae por gravedad directamente en la tolva de recolección de cenizas. La humedad de la ceniza prensada puede estar entre 55 a 70%. El agua extraída producto del prensado se la

puede direccionar hacia el tanque de lodos o hacia el tanque de drenos desde donde se la bombea nuevamente al tamiz rotativo generándose así un circuito cerrado.

La prensa desaguadora viene provista de un sistema de automatización de su operación, en el cual se puede ajustar el tiempo de recepción de ceniza y el tiempo de prensado.



FIGURA 4.40. PRENSA DESAGUADORA.

TANQUE DE RECOLECCIÓN DE LODOS

Con la finalidad de hacer del sistema un circuito cerrado, donde el mayor porcentaje del agua del proceso sea recuperada, en la 2da etapa del proyecto se implementa el tanque de recolección de lodos, llamado así porque recoge el lodo decantado de las celdas. Existe también la posibilidad de enviar a este tanque el agua extraída por la

prensa desaguadora. Este tanque está provisto por 2 bombas de 90 m³/h de capacidad que son las que bombean el lodo recolectado hacia el tercer cuerpo del tambor del tamiz rotativo. El funcionamiento de las bombas es automático y está controlado por un medidor de nivel instalado en el tanque. El motor de las bombas está equipado por un variador de velocidad que permite adecuar el flujo de bombeo dependiendo del nivel de lodo censado en el tanque.

El tanque de recolección de lodos fue fabricado en acero ASTM A36 y su diseño de forma y automatización fue concebido por la empresa proveedora de la ingeniería.



**FIGURA 4.41. CONSTRUCCIÓN DE TANQUE DE LODOS E
INSTALACIÓN DE SUS BOMBAS.**

TANQUE DE DRENOS

La construcción de este tanque se la realizo en la etapa de realización de las obras civiles puesto que está construido en su totalidad de hormigón y sus principales alimentadores son los canales de drenaje que recorren todo el sistema clarificador de agua con ceniza. Este tanque recoge el agua que drene desde cualquiera de los equipos que conforman el sistema de clarificación de ceniza. Generalmente el agua extraída por la prensa desaguadora se envía a este tanque, que mediante sus 2 bombas de 30 m³/h cada una, envían esta agua hacia el tercer cuerpo del tamiz rotativo donde se recupera el agua.



FIGURA 4.42. MONTAJE DE BOMBAS Y TUBERÍAS DEL TANQUE DE DRENOS.

TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN – 2da ETAPA DEL PROYECTO

La interconexión con tuberías en la 2da etapa del proyecto comprende la modificación de la alimentación y descarga para el tamiz rotativo, recuérdese que para el tamiz estático ya existían estas líneas instaladas. Para el caso de la prensa desaguadora se requirió la instalación de un arreglo de tuberías y válvulas para descargar el agua extraída producto del prensado. Este arreglo de tuberías y válvulas, permite llevar el agua extraída hacia el tanque de lodos o hacia el tanque de drenos.

Se realizó la instalación de las tuberías y accesorios para la succión y descarga de las bombas de los tanques de lodo y drenos, así como la instalación de cañerías para agua de limpieza.

Para la instalación de las tuberías de interconexión en la 2da etapa del proyecto, también se consideró para las uniones soldadas el código AWS D1.1 como en la 1era etapa. Para el tratamiento superficial y pintura se siguió el mismo estándar que en la 1era etapa.



FIGURA 4.43. MONTAJE DE TUBERÍAS DE INTERCONEXIÓN – 2DA ETAPA.

AUTOMATIZACIÓN DE LA 2DA ETAPA DEL PROYECTO

La automatización que se realizó en la 1era etapa del proyecto se mantiene en la 2da etapa con la adición del control de velocidad de los motores de las bombas de los tanques de lodos y drenos. La variación de velocidad de estos motores permite disminuir o incrementar el flujo de bombeo dependiendo de la necesidad del momento. Para esto se realizó la instalación de instrumentos medidores de nivel ultrasónicos, variadores de velocidad y programadores lógicos controlables (PLC).

Un punto crítico de la automatización de la 2da etapa del proyecto es la calibración fina a la que deberá ser sometido el sistema de automatización de apertura y cierre de las válvulas automáticas de las

purgas de fondo de las celdas de decantación. Una mala calibración de los ciclos y tiempos de purga de las celdas ocasionara que estas se saturen de ceniza rápidamente debido a que en esta etapa del proyecto, toda la ceniza extraída por los lavadores de gases será manejada por el sistema de clarificación, retornando incluso una parte de ceniza muy fina a las celdas de decantación. Es recomendable que la calibración de la lógica de control en los PLC que gobiernan la apertura y cierre de las válvulas automáticas no sean secuenciales sino independientes. Gracias a esto, las purgas de las celdas durante un ciclo de descarga de fondo se independizan por lo que para la apertura de la válvula de fondo de la celda A no es necesario el cierre de la válvula de la celda B, incluso ambas celdas pueden estar purgándose al mismo tiempo durante el ciclo de descarga de fondo.

Para la limpieza del tamiz rotativo, se utilizó los mismos instrumentos que se usaron en la limpieza del tamiz estático, con la diferencia que el tamiz rotativo está equipado con una bomba que incrementa la presión del agua de limpieza.

La prensa desaguadora viene con su sistema de automatización incorporado y listo para funcionar luego de la instalación del equipo, este sistema permite cambiar los tiempos de prensado y admisión de ceniza al equipo.

La operación del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza puede ser monitoreada en línea y sus parámetros controlados desde cualquier cuarto supervisor de la planta gracias a computadores conectados en red. En la siguiente figura se puede observar la pantalla de control y monitoreo del sistema.

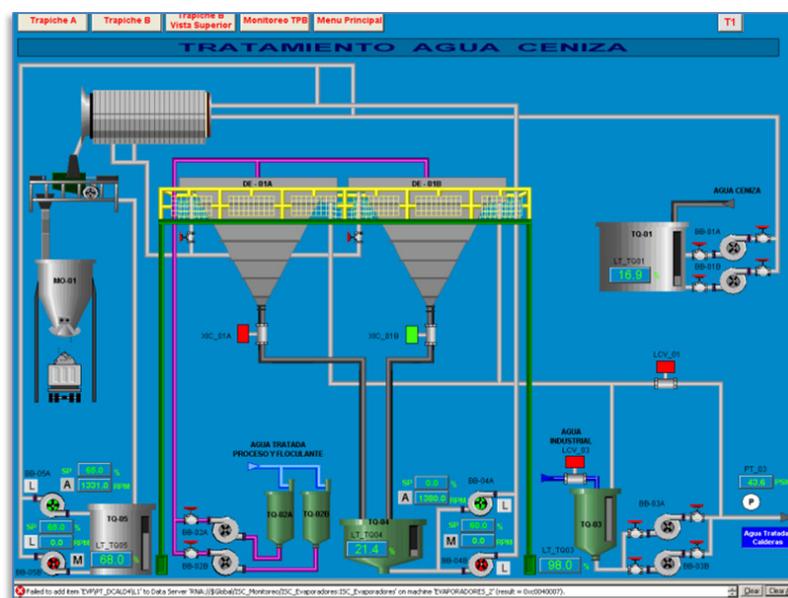


FIGURA 4.44. PANTALLA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DEL NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA.

PUESTA EN MARCHA DE LA 2da ETAPA DEL PROYECTO

PREPARACIÓN DEL ARRANQUE

Para el arranque de la 2da etapa del sistema de clarificación de ceniza se debe considerar el mismo procedimiento que se utilizó para

la preparación del arranque de la 1era etapa, a lo que debe adicionársele la preparación para el arranque de los nuevos equipos instalados:

- Antes del bombeo de agua con ceniza desde el tanque receptor (TQ-01) se debe dar arranque al tamiz rotativo (TR-01), en vista de que este es el primer punto de llegada del agua con ceniza bombeada. Sus válvulas de admisión de agua con ceniza deben estar abiertas.
- Para el caso de la prensa desaguadora (PR-01), se aplica la compuerta de by pass en su ducto de alimentación para que inicialmente la ceniza no entre a la prensa sino que pase directamente hacia la tolva receptora. Adicionalmente se debe verificar que se hayan lubricado las correderas que soportan el cuerpo de los cilindros hidráulicos. Se debe abrir las válvulas de agua para limpieza y calibrar un tiempo de recepción y prensado inicial que luego de debe ajustar durante la operación. Realizar la apertura de la válvula que llevara el agua extraída de la ceniza prensada hacia al tanque de lodos (TQ-04) o tanque de drenos (TQ-05). Verificar el normal funcionamiento de la apertura de la compuerta de descarga de ceniza en la tolva

receptora. Un volquete deberá estar listo debajo de la tolva para el desalojo y traslado de la ceniza.

- Válvula de la bomba de lodos de ceniza seleccionada (BB-04 A/B) hacia el tamiz rotativo: abierta. Considérese que estas dos bombas comparten una misma válvula check en una línea de descarga común, por lo que es necesario que la bomba que va a quedar en stand by permanezca con su válvula de descarga cerrada para evitar el retorno del flujo de bombeo hacia el tanque.
- Válvulas de las bombas del tanque de drenos (BB-05 A/B) hacia el tamiz rotativo: abiertas.

Una vez revisados todos estos puntos y considerados también los de la preparación del arranque de la 1era etapa, se estará listo para el arranque del nuevo sistema de clarificación de ceniza.

ARRANQUE

Para el arranque de la 2da etapa del sistema de clarificación se debe proceder igual como al arranque de la 1era etapa, pero teniendo en cuenta la operación de los nuevos equipos.

El agua con ceniza bombeada desde el tanque receptor TQ-01 llega al tamiz rotativo (TR-01) donde se separa la ceniza de mayor tamaño. La ceniza separada por el tamiz se deposita en el ducto de alimentación de ceniza hacia la prensa desaguadora (PR-01) que para el arranque del sistema está aplicado su bypass por lo que la ceniza con un alto porcentaje de humedad cae directamente hacia la tolva receptora.

El agua que sale del tamiz rotativo alimenta a las celdas de decantación (DE-01 A/B) por lo que se inicia el bombeo del polímero floculante hacia las celdas como se lo venía haciendo en la 1era etapa.

Se inicia entonces la purga de fondo de las celdas de decantación con la apertura y cierre de sus válvulas automáticas, que para esta etapa del sistema, depositaran sus lodos decantados en el tanque de lodos (TQ-04). Una vez que este tanque tenga su nivel de operación, se da arranque a la bomba selecciona para el bombeo de los lodos hacia el tamiz rotativo. Este procedimiento convierte al sistema en un circuito cerrado, pues recupera el agua y la ceniza del fondo de las celdas las cuales eran desechadas a la piscina de oxidación en la 1era etapa del sistema. La bomba de lodo (BB-04 A/B) que se puso a trabajar disminuirá su flujo de bombeo dependiendo del nivel del

tanque de lodos, esto gracias al variador de velocidad instalado en su motor eléctrico el cual esta comandado por un PLC que esta retroalimentado por un medidor de nivel ultrasónico instalado en el tanque.

El agua limpia que rebosa de las celdas de decantación es recogida en el tanque pulmón (TQ-03) desde donde se bombea para que nuevamente alimente a los lavadores de gases. La reposición de agua del tanque pulmón se la realiza igual que en la 1era etapa, mediante una válvula automática que mantiene el tanque a su nivel de operación. Vale mencionar que debido a que en la 2da etapa del sistema se recupera el mayor porcentaje de las aguas, la reposición de agua industrial hacia el tanque pulmón disminuyo considerablemente con respecto a la 1era etapa.

En esta etapa del arranque, todo el sistema de clarificación de agua con ceniza está operando a excepción de la prensa desaguadora que es el último equipo en ponerse en funcionamiento. La ceniza con exceso de humedad se ha depositado en la tolva receptora y ya puede ser despachada hacia los canteros mediante los volquetes.

Para poner en funcionamiento la prensa desaguadora, se procede a abrir la válvula de descarga de agua de la prensa hacia el tanque de

drenos (TQ-05), se seleccionó este tanque para la recepción del agua producto del prensado de la ceniza. Se retira la compuerta del bypass del ducto de alimentación y se permite la entrada de ceniza hacia la cámara receptora de la prensa. Se acciona el sistema de arranque de la prensa con lo que se inician los ciclos de recepción y prensado de la ceniza con los tiempos asignados en la preparación del arranque. Una vez que la prensa este en operación normal, se inicia el ajuste de los tiempos.



FIGURA 4.45. PRENSA DESAGUADORA EN PLENA OPERACIÓN.

La calibración del tiempo de prensado debe realizarse tomando en cuenta la cantidad máxima de ceniza que está saliendo del tamiz rotativo. Si el tiempo de prensado es demasiado largo, la ceniza que se está acumulando en el ducto de alimentación a la prensa

comenzara a rebosar por el bypass por lo que parte de ceniza sin prensar caerá en la tolva de recepción, aumentando excesivamente la humedad de la ceniza que se transportara hacia los canteros.

Si el tiempo de prensado es demasiado corto, la humedad de la ceniza se incrementara y la cantidad de ceniza en la cámara de prensado será pobre.

Un punto muy importante en la operación de la prensa desaguadora es su mantenimiento preventivo, el cual debe ser revisado a diario en vista de que la ceniza es un material sumamente abrasivo lo que genera desgastes importantes en la correderas de los cilindros hidráulicos y sellos. La lubricación de las correderas debe efectuarse cada 8 horas de operación del equipo, para lo cual se lo saca de línea y se le realiza una limpieza superficial para luego aplicar una capa de grasa común sobre las correderas. Los sellos de los platos de prensado deben ser cambiados cuando presenten fugas significativas de agua. Es importante también la limpieza de los fines de carrera ópticos que posee el equipo para evitar alguna falla en el sistema automático de prensado.

Durante la operación de la prensa, se debe cuidar que los puntos de limpieza continua con agua estén operativos para evitar obstrucciones y averías.

El agua producto del trabajo de la prensa se está recolectando en el tanque de drenos. Cuando este tanque alcance su nivel de operación, se procede a dar arranque a una de las bombas BB-05 con lo que dicha agua se envía al tamiz rotativo cerrando el sistema. Similarmente al trabajo de las bombas del tanque de ceniza, las bombas del tanque de drenos regulan su flujo dependiendo del nivel gracias a la instalación de variadores de velocidad, sensores de nivel ultrasónico y PLC.

Realizados todos estos pasos, se habrá puesto en marcha el nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza como un sistema cerrado y con todos sus equipos concebidos en su ingeniería.



FIGURA 4.46. SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA EN SU 2DA ETAPA.

MONITOREO DEL SISTEMA

El seguimiento de operación y mantenimiento del sistema es realizado por 3 tecnólogos mecánicos que ejercen el cargo de ayudantes del supervisor de planta. Cada tecnólogo está asignado a una guardia de 8 horas, por lo que el monitoreo del sistema se cumple durante las 24 horas del día. En el informe que los tecnólogos realizan al final de cada guardia, se incluyen los parámetros en los cuales quedan operando todos los equipos del sistema de tratamiento de agua con ceniza, el mantenimiento que se le realizó durante la guardia y los parámetros seteados para control de su automatización. En este informe también se incluyen datos de los lavadores de gases

y los condensados que están llegando a los tanques reservorios de calderas. A continuación se presenta uno de estos informes de fin de guardia.

En el ANEXO 8 se muestra uno de los informes generado por el tecnólogo de caldera de una de las guardias.

4.6. Costos del proyecto.

A continuación se presentan dos tablas resumen de los costos del proyecto en sus dos etapas. En estas se tabulan los valores presupuestados y reales de los servicios, insumos y equipos adquiridos para los proyectos.

TABLA 4.2
COSTOS DE 1ERA ETAPA DEL PROYECTO

| MATERIALES Y EQUIPOS AL EXTERIOR | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
|---|----------------------|---------------------|
| REINGENIERÍA SISTEMA CLARIFICACIÓN AGUA LAVADO DE CENIZA - CALDERAS | \$ 75.000,00 | \$ 33.750,00 |
| EQUIPOS DE BOMBEO | | \$ 41.574,00 |
| EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN | | \$ 1.644,80 |
| | \$ 75.000,00 | \$ 76.968,80 |
| MATERIALES Y EQUIPOS LOCALES | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
| EQUIPOS PARA BOMBEO DE FLOCULANTE | \$ 35.000,00 | \$ 5.950,53 |
| PERFILERÍA PARA | | \$ 63.929,25 |

| | | |
|---|------------------------------------|----------------------|
| ESTRUCTURA | | |
| MATERIAL PARA PLATAFORMAS Y ESCALERAS | | \$ 1.968,84 |
| TUBERÍAS Y ACCESORIOS | | \$ 34.719,80 |
| MATERIAL ELÉCTRICO | | \$ 6.180,23 |
| EQUIPOS Y MATERIALES DE INSTRUMENTACIÓN | | \$ 10.429,46 |
| | \$ 35.000,00 | \$ 123.178,11 |
| SERVICIOS EXTERNOS - CONTRATISTAS | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
| DESMONTAJE DE ANTIGUO CLARIFICADOR DE AGUA CON CENIZA | | \$ 7.756,11 |
| OBRA CIVIL | | \$ 62.000,00 |
| MONTAJE DE ESTRUCTURAS Y TUBERÍAS DE NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN | \$ 140.000,00 | \$ 81.449,57 |
| MONTAJE DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL | | \$ 30.671,00 |
| | \$ 140.000,00 | \$ 181.876,68 |
| | TOTAL 1er FASE DEL PROYECTO | |
| | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
| | \$ 250.000,00 | \$ 382.023,59 |

TABLA 4.3

COSTOS DE 2DA ETAPA DEL PROYECTO

| MATERIALES Y EQUIPOS AL EXTERIOR | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
|---|----------------------|-------------------|
| TAMIZ ROTATIVO PARA AGUA CON CENIZA | \$ 360.000,00 | \$ 195.072,73 |
| PRENSA HIDRÁULICA PARA SECADO DE LODO | | \$ 157.078,01 |

| | | |
|---|----------------------|----------------------|
| BOMBAS CENTRIFUGAS PARA LODOS | | \$ 34.091,73 |
| | \$ 360.000,00 | \$ 386.242,47 |
| MATERIALES Y EQUIPOS LOCALES | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
| PERFILERÍA PARA ESTRUCTURA | \$ 70.000,00 | \$ 24.387,00 |
| MATERIAL Y ELEMENTOS PARA TOLVA | | \$ 20.154,20 |
| TUBERÍAS Y ACCESORIOS | | \$ 20.955,95 |
| MATERIAL ELÉCTRICO | | \$ 15.523,20 |
| EQUIPOS Y MATERIALES DE INSTRUMENTACIÓN | | \$ 4.025,12 |
| | \$ 70.000,00 | \$ 85.045,47 |
| SERVICIOS EXTERNOS - CONTRATISTAS | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
| MONTAJE DE ESTRUCTURAS Y TUBERÍAS DE NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN | \$ 30.000,00 | \$ 28.795,90 |
| MONTAJE DE EQUIPOS DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL | | \$ 977,76 |
| | \$ 30.000,00 | \$ 29.773,66 |
| TOTAL 1er FASE DEL PROYECTO | | |
| | PRESUPUESTADO | COSTO REAL |
| | \$ 460.000,00 | \$ 501.061,60 |

TABLA 4.4

COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

| PRESUPUESTO TOTAL | COSTO REAL TOTAL |
|-------------------|------------------|
| \$ 710.000,00 | \$ 883.085,19 |

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

5.1. Pruebas de emisión de gases de combustión de las calderas.

Las pruebas de emisión de gases de las calderas se las realiza en dos ocasiones durante el periodo de zafra o de operación de las mismas. Estas pruebas son contratadas por Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos considerando para ello las empresas acreditadas por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano (OAE). Este organismo del estado se encarga de evaluar y acreditar de acuerdo a normas acordadas internacionalmente a las organizaciones de evaluación de las conformidades para todos los propósitos establecidos en las leyes de la Republica con respecto a acuerdos, tratados y convenios asumidos por el estado ecuatoriano. Para contratar a una organización acreditada para realizar pruebas de emisión de gases, basta con entrar a su página web: www.oae.gob.ec. En esta página se muestra el listado de todos los

laboratorios acreditados para realizar diferentes tipos de ensayos y el alcance de su acreditación, es decir los parámetros límites hasta los cuales está autorizada a evaluar. Para nuestro caso particular se escogió al laboratorio ABRUS CIA. LTDA. En la figura 5.1 se muestra la página de internet de la OAE. En el anexo 5.1 se puede observar la hoja del alcance de la acreditación del laboratorio ABRUS CIA. LTDA.

| No. | Nombre del Laboratorio | Certificado de Acreditación | Campos | Contacto | Teléfono | Ciudad |
|-----|---|-----------------------------|------------------------------|--|----------------------|----------|
| 1 | AMBIGEST GESTIÓN AMBIENTAL CIA. LTDA | DAE LE 2C 06-002 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. Ian Narváez T, Ing. Fausto Villavicencio | 593(0)22465377/08890 | QUITO |
| 2 | CENTRO DE SERVICIOS AMBIENTALES Y QUIMICOS CESAQ - PUJCE | DAE LE 2C 04-001 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Dr. Manuel Corrales Pascual, M.Sc. Wendy Heredia | 022991712/022991709 | QUITO |
| 3 | CORPORACIÓN DE LABORATORIOS AMBIENTALES COBILABEC S.A | DAE LE 2C 05-005 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Sr. Pablo Gordón/Quim. Miguel Maliza | 02 259 9280/02 341 3 | QUITO |
| 4 | LABORATORIO ABRUS CIA. LTDA | DAE LE 2C 07-001 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. Iván López | 593(0)22820189 | QUITO |
| 5 | LABORATORIO AFH SERVICES | DAE LE 2C 05-002 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. Gustavo Flores | 02 280 6519 | QUITO |
| 6 | LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL CYAMBIENTE CIA. LTDA | DAE LE C 10-002 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. Diana Fabara | 02 2502975 | QUITO |
| 7 | LABORATORIO CEMERIN | DAE LE 2C 04-007 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. José Peña | 02 241 5067 | QUITO |
| 8 | LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB-CESTTA | DAE LE 2C 04-008 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Dr. Luis Erazo/Dra. Nancy Veloz | 03 296 8912 ext 160 | RIOBAMBA |
| 9 | LABORATORIO DEL GRUPO CONSULTOR CHEMENG CIA. LTDA | DAE LE 2C 05-006 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. Lucía Montenegro, Ing. Gloria Montenegro | 02 2546230/02 254722 | QUITO |
| 10 | LABORATORIO DPEC, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR | DAE LE 2C 06-010 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. César Alvarado, Ing. Ana Machado | 02 290 4794 | QUITO |
| 11 | LABORATORIO EISMATER CIA. LTDA | DAE LE 2C 06-001 | AMBIENTAL-EMISIONES GASEOSAS | Ing. Consuelo Chávez | 02 246 4304 | QUITO |
| ... | LABORATORIO | DAE LE C | AMBIENTAL-EMISIONES | | | |

FIGURA 5.1. PANTALLA DE PÁGINA WEB DEL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN ECUATORIANO.

Los parámetros monitoreados durante las pruebas de emisión de gases son:

- Velocidad

- Humedad
- Presión
- Temperatura
- Material particulado
- Oxígeno y Dióxido de Carbono
- Monóxido de Carbono
- Dióxido y Monóxido de Nitrógeno
- Dióxido de Azufre

Los equipos utilizados para la determinación de los parámetros son:

- Analizador portátil de gases
- Tren Isocinético
- Anemómetro
- Medidor de flujo
- Kit de gases para calibración

En la figura 5.2 se muestra a los técnicos de ABRUS CIA. LTDA durante la realización del monitoreo de los gases de combustión.



FIGURA 5.2. TÉCNICOS DE ABRUS CIA. LTDA. DURANTE MONITOREO DE GASES DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA #8.

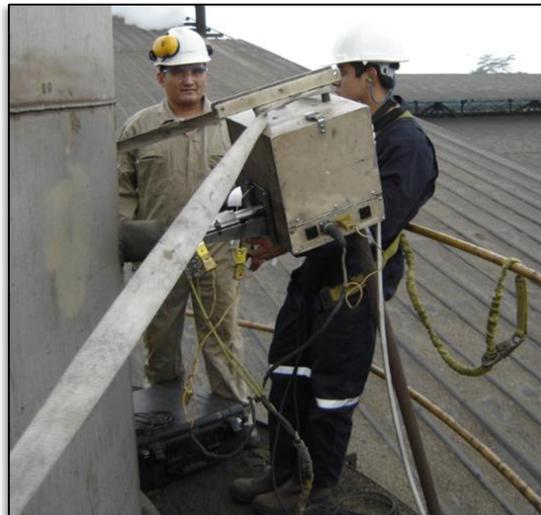


FIGURA 5.3. AUTOR DE ESTE PROYECTO DE TESIS DURANTE MONITOREO DE GASES DE COMBUSTIÓN DE LA CALDERA #8.

La correcta operación de los lavadores de gases de las calderas se ve reflejada en la cantidad de material particulado que se despiden con los gases de combustión durante su operación. El ministerio del ambiente exige que este parámetro sea monitoreado y controlado para que no exceda su valor permitido de 300 mg/m^3 . Recordemos que los lavadores de gases atrapan los sólidos o partículas en suspensión gracias a su película de agua o lluvia interna dependiendo de su diseño, de aquí que una deficiente alimentación de agua hacia los lavadores se traducirá en altos datos de particulado en los monitoreos anuales. En conclusión, el particulado registrado en los gases es el parámetro más importante durante el monitoreo y por lo tanto es el parámetro objetivo a analizar en este proyecto de tesis.

5.1.1. Resultados de emisión de gases en Zafra 2009.

A continuación se tabulan los datos de particulados obtenidos en las pruebas de emisiones del año 2009 en las calderas #2, #7 y #8. Estas calderas son las que operan durante toda la zafra y son las que están equipadas con lavadores de gases. Vale recalcar que los datos que a continuación se presentan fueron obtenidos durante la operación de los lavadores de gases con el anterior sistema de clarificación de agua con ceniza el cual estuvo en operación hasta la zafra 2009.

TABLA 5.1
VALORES DE PARTICULADO EN MONITOREO DE EMISIÓN DE GASES
ZAFRA 2009

| | CALDERA #2 (mg/m³) | CALDERA #7 (mg/m³) | CALDERA #8 (mg/m³) |
|------------------------|--|--|--|
| SEPTIEMBRE 2009 | 195 | 472 | 1180 |
| DICIEMBRE 2009 | 33 | 365 | 274 |

Nótese que los datos de particulado son más bajos en la caldera #2 debido a que el diseño de su lavador de gases contribuye a la mejor captación de sólidos en suspensión siempre que no le falte la cantidad suficiente de agua para su correcta operación.

Los datos de particulado de la caldera #7 se muestran elevados durante los dos monitoreos.

En la caldera #8 el 1er monitoreo se muestra sumamente elevado mientras que el 2do monitoreo está cerca del límite de particulado permisible.

Estos datos de particulado alto son atribuidos al deficiente suministro de agua hacia los lavadores de gases, sobre todo en los lavadores de tipo contraflujo que son más sensibles a perder

captación de sólidos en suspensión cuando sufren falta de agua hacia sus atomizadores.

5.1.2. Resultados de emisión de gases en Zafra 2010.

Para la zafra 2010 ya se implementó la 1era etapa del proyecto del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza, por lo que los datos que a continuación se presentan corresponden a el trabajo de los lavadores de gases de las calderas #2, #7 y #8 con este nuevo sistema.

TABLA 5.2
VALORES DE PARTICULADO EN MONITOREO DE EMISIÓN DE GASES
ZAFRA 2010

| | CALDERA #2 (mg/m³) | CALDERA #7 (mg/m³) | CALDERA #8 (mg/m³) |
|------------------------|--|--|--|
| SEPTIEMBRE 2010 | 36 | 364 | 233 |
| DICIEMBRE 2010 | 59 | 35 | 114 |

Se puede observar que la caldera #2 mantiene sus datos de particulado sumamente bajos gracias al diseño de su lavador de gases como se mencionó anteriormente.

La caldera #7 durante el 1er monitoreo presenta un valor que excede el permitido de 300 mg/m³. Se atribuye este valor

elevado a una falla en la alimentación de agua de su lavador de gases producto del proceso de ajustes en la operación del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza. Nótese que en el monitoreo del mes de Diciembre el valor está muy por debajo del rango máximo permitido.

En el caso de la caldera #8 se observa que para el 1er monitoreo el valor de particulado excede el valor permisible pero luego de ajustes de parámetros de operación y de familiarización del nuevo sistema este valor decrece por debajo del mínimo permisible para este tipo de caldera.

5.1.3. Comparativo de resultados de emisión de gases.

A continuación se presentan diagramas generados con los datos de particulados registrados en los monitoreos de los gases del año 2009 y 2010. El objetivo de estos diagramas es generar una representación gráfica de los datos de particulados que faciliten su observación y análisis.

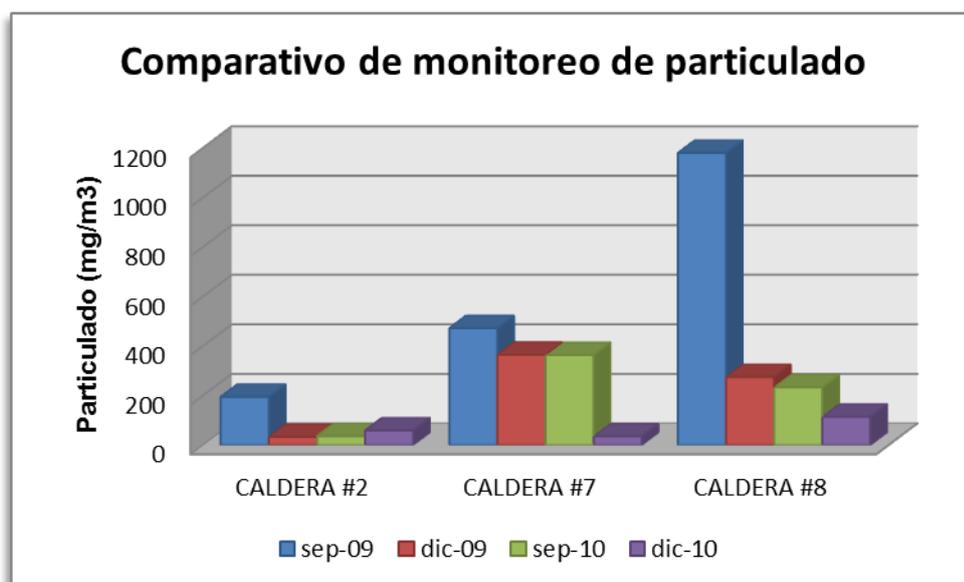


FIGURA 5.4. DIAGRAMA DE COMPARATIVO DE MONITOREO DE PARTICULADO.

El diagrama de barras anterior permite visualizar claramente los decrementos en particulado que se han ido registrando en los monitoreos desde Septiembre del 2009 hasta Diciembre del 2010. Nótese que el decremento más notorio se ha producido en la caldera #8.

La figura 5.5 muestra el histórico de particulado de las calderas, este permite comparar y observar el decremento de los particulados para cada caldera durante la zafra 2009 en la cual se trabajó con el antiguo sistema de clarificación de agua con

ceniza, y durante la zafra 2010 que fue en la que se implementó el nuevo sistema.

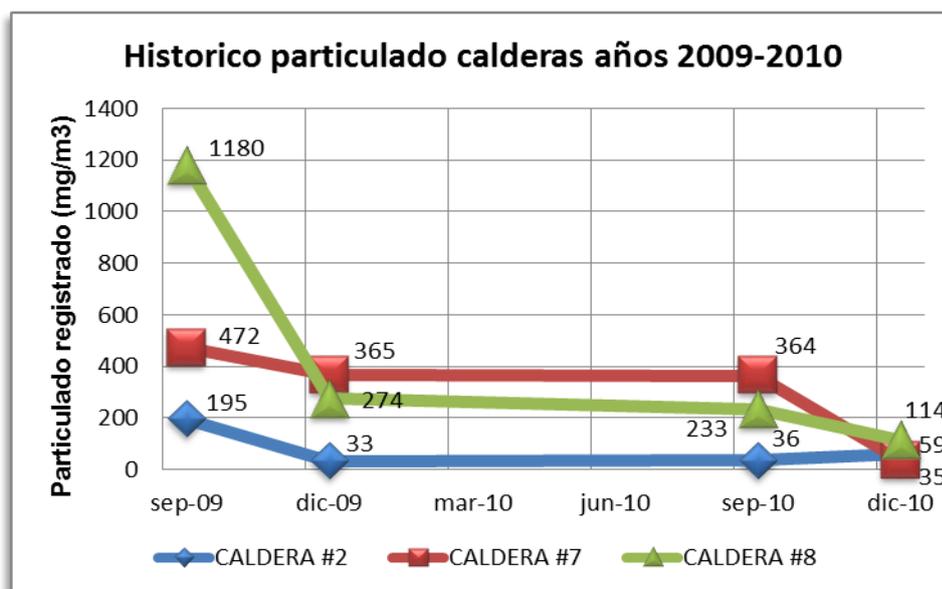
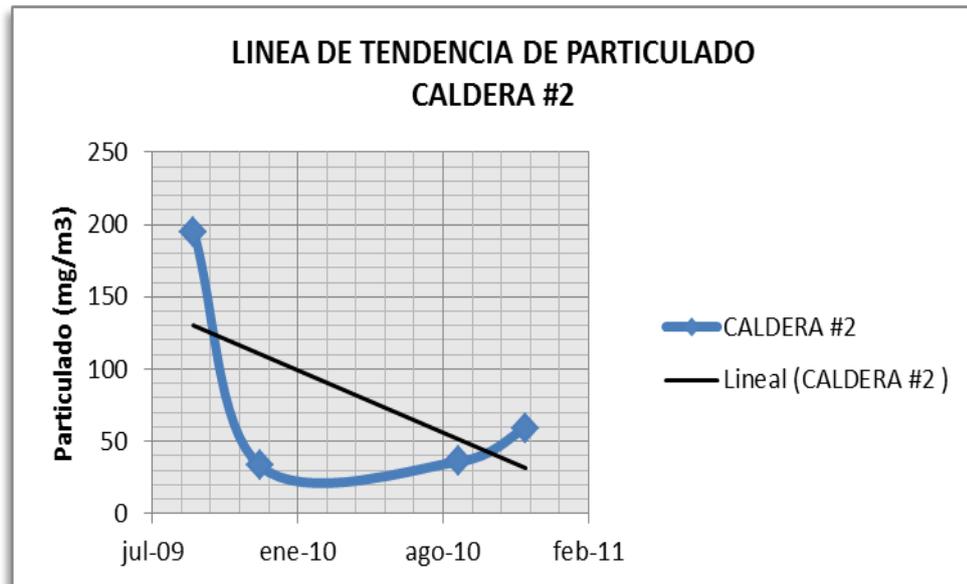
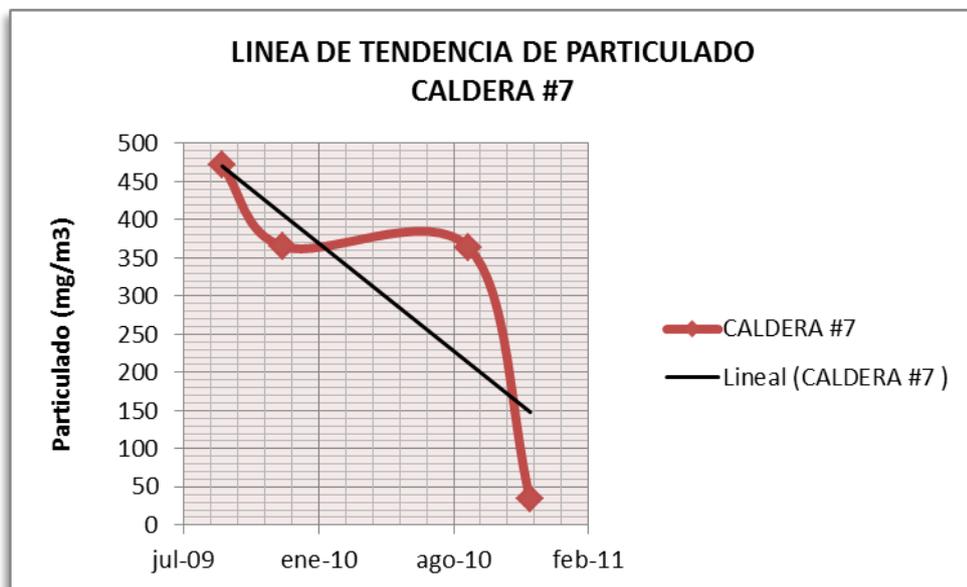


FIGURA 5.5. HISTÓRICO DE PARTICULADO EN CALDERAS DESDE AÑO 2009 AL 2010.

A continuación se presenta las líneas de tendencias de los datos de particulado registrados para cada caldera. Lógicamente, las líneas de tendencia son hacia la baja.



**FIGURA 5.6. LÍNEA DE TENDENCIA DE LOS DATOS DE PARTICULADO
DE LA CALDERA #2.**



**FIGURA 5.7. LÍNEA DE TENDENCIA DE LOS DATOS DE PARTICULADO
DE LA CALDERA #7.**

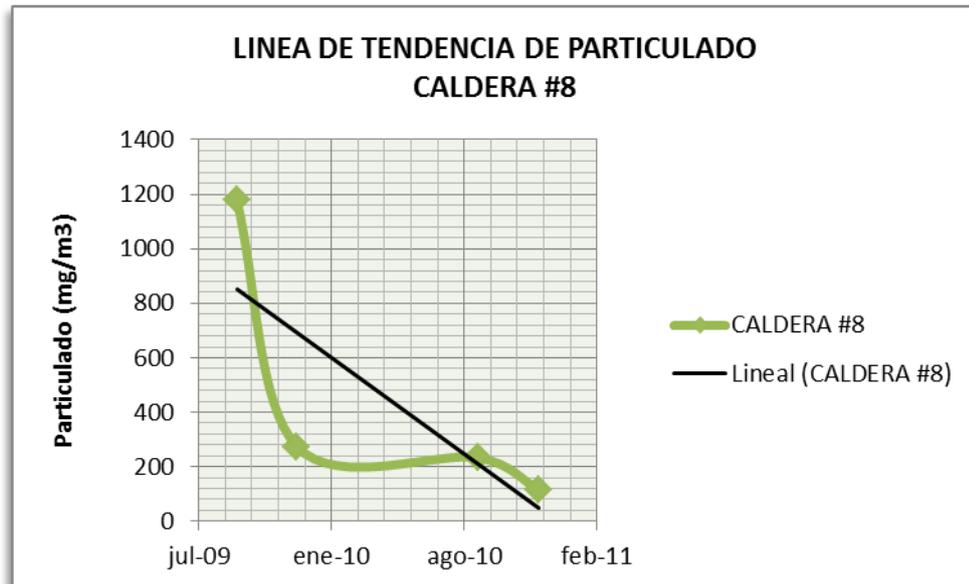


FIGURA 5.8. LÍNEA DE TENDENCIA DE LOS DATOS DE PARTICULADO DE LA CALDERA #8.

5.2. Operación de los lavadores de gases con el nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza.

El nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza ha permitido que mejore notablemente la operación de los lavadores de gases de las calderas, no solo por la calidad del agua clarificada que regresa a los lavadores, sino por la continuidad en la alimentación de dicha agua.

Para el caso de la caldera #2, su principal problema era las continuas salidas de funcionamiento del sistema de clarificación de agua con cenizas lo que ocasionaba que su lavador de gases se obstruya,

pierda su tiro inducido y la caldera deje de producir vapor. Nótese que en las gráficas de análisis de los datos de particulado, es en esta caldera donde se registraron los datos más bajos con el antiguo y nuevo sistema. El bajo particulado en los gases de esta caldera se atribuye a su moderno e innovador diseño de lavador de gases. En la zafra 2010 con la entrada a operación del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza, el problema de obstrucciones se redujo a cero gracias a que el nuevo sistema nunca dejó de operar. Gracias a que este nuevo sistema está equipado por dos celdas de decantación, para su limpieza periódica se sacaba de operación una de las celdas con lo que el sistema continuaba operando a un 50% de su capacidad y con un incremento periódico en su reposición de agua limpia.

En la caldera #7 el funcionamiento de su lavador de gases no presento problema alguno, aunque la medición inicial de particulado supero el rango permisible de 300 mg/m^3 . Para la segunda medición, y con una mejor operación del nuevo sistema, se logró el objetivo de bajar el particulado de sus gases a niveles permisibles.

El lavador de gases de la caldera #8 fue el que verdaderamente deajo notar la efectividad del nuevo sistema de clarificación de agua con ceniza, puesto que su funcionamiento fue bastante estable y sus

datos de particulado sufrieron una disminución considerable con respecto a la zafra anterior.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. Conclusiones.

- La implementación del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza ha permitido cumplir a cabalidad con las exigencias del ministerio de ambiente con respecto a las emisiones de gases de las chimeneas de las calderas, con lo que se ha cumplido con el objetivo trazado al inicio del proyecto.
- El agua recuperada por el sistema de tratamiento es compatible con las exigencias de los equipos lavadores de gases, evitando así el taponamiento, desgaste de las boquillas, equipos y tuberías lo que se traduce en mayor eficiencia de los sistemas de captación de ceniza de los gases de las calderas.
- Gracias al reciclado total del agua usada para la captación de ceniza y limpieza de las calderas, se ha logrado reducir en un

90% la reposición de agua para estos fines, lo que hace del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza un circuito cerrado y con una necesidad mínima de repuesto de agua.

- El nuevo sistema permite una mayor flexibilidad operacional gracias a que cada celda de decantación opera totalmente independiente de las demás, lo que permite su mantenimiento sin la pérdida de continuidad de la operación del sistema de tratamiento de agua con ceniza y de la alimentación de agua limpia hacia los lavadores de gases.
- El sistema permite su automatización total, exigiendo un mínimo de mano obra y garantizando la mayor eficiencia del proceso.
- El diseño del nuevo sistema de tratamiento de agua con ceniza permite el bypass de todos los equipos que lo conforman, con la finalidad de que cualquiera de ellos pueda salir a mantenimiento sin ocasionar la interrupción del proceso de clarificación y de suministro de agua hacia los lavadores de gases. Por otro lado, en cada estación de bombeo de agua o lodos existen equipos en stand by listos para entrar en operación.

- Gracias a su sistema de decantación de lodos sin raspadores y a su manejo de sólidos con un mínimo de partes móviles, se ha visto reducido los costos de mantenimiento con respecto al sistema de tratamiento de agua con ceniza anterior.
- Su sistema de prensa hidráulica y tolva receptora, permite darle a la ceniza una humedad adecuada para su transporte y una dosificación continua a los volquetes que la llevaran hacia el campo para su uso como abono o fertilizante orgánico.
- Los datos históricos registrados en las pruebas de emisiones de gases de las calderas reflejan un decremento considerable de material particulado emitido, con lo que se reafirma la efectividad del nuevo sistema de tratamiento de agua. En la zafra 2011 los promedios de emisión de particulado para la caldera #2 fue de 41,8 mg/m³, para la caldera #7 fue de 31,6 mg/m³ y en la caldera #8 fue de 69,1 mg/m³, estas mediciones están muy por debajo del rango permitido que es de 300 y 150 mg/m³ respectivamente.

6.2. Recomendaciones.

- La limpieza y mantenimiento de los equipos es primordial para el correcto desempeño del nuevo sistema de clarificación de

agua con ceniza, por lo que se recomienda una revisión del sistema por cada guardia de 8 horas por parte del personal de operación.

- La limpieza de la malla del colador rotativo es crítica puesto que de esto dependerá la concentración de sólidos con la que llega el agua hacia las celdas de decantación. Esta limpieza debe continuar realizándose durante cada guardia periódicamente mediante su bomba de limpieza suministrada y una válvula automática comandada por un PLC.
- Es importante corregir el ángulo de incidencia del agua con ceniza hacia la malla del colador rotativo. El agua con ceniza no debe llegar perpendicular a las paredes de la malla, la incidencia debe ser tangencial para que la separación de los sólidos se realice correctamente.
- Se debe monitorear la cantidad de ceniza decantada en las celdas, ya que a pesar de sus purgas continuas, la ceniza se ira acumulando restando efectividad en la clarificación del agua. Para esto se debe utilizar un tubo plástico que hace las veces de una regla que ayudara a determinar la altura de ceniza en la celda. Cuando la cantidad de ceniza es

demasiado elevada, se deberá proceder a su liquidación y enjuague.

- Al inicio de cada guardia, el operador debe realizar una limpieza con agua de todos los elementos que conforman la prensa desaguadora para retirar los restos de ceniza sobre esta. Luego de la limpieza, se debe colocar grasa en las correderas soportes de los cilindros hidráulicos. Para este proceso de limpieza y lubricación, se deberá sacar de funcionamiento la prensa con la ayuda de su bypass.
- La velocidad de las bombas de alimentación de agua con ceniza al sistema deben poder regularse, esto evitara que excesiva cantidad de agua con ceniza llegue al colador rotativo y esta pase a la prensa desaguadora incrementando la humedad de la ceniza prensada. Para esto se recomienda la instalación de variadores de velocidad para los motores eléctricos de las bombas.
- Para facilitar la regulación de los tiempos de apertura de las válvulas de purgas de las celdas de decantación, se recomienda que la lógica de control de dichas válvulas no sea en secuencia si no que sean independientes entre ellas. La

correcta regulación de los tiempos de apertura de las válvulas automáticas de las purgas, es vital para evitar la prematura acumulación de ceniza en las celdas de decantación.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. Hugot, Manual para Ingenieros Azucareros, Cia. Editorial Continental. S. A. de C. V., México. Primera Edición en Español.
2. EUGENE A. AVALLONE, Manual del Ingeniero Mecánico, Mc Graw-Hill / Interamericana de México, S.A. de C.V, Tercera Edición en Español, México 1995, Tomo 1
3. Claudio M. Vaz, Sergio M. Stamile Soares, José Oswaldo da Silva, Sistema para tratamiento de agua de ceniza para lavado de gases de calderas, ENGENHO NOVO Tecnología Ltda. – TecEN Comercial Ltda. Disponible en: www.engenovo.com



PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA

NORMA DE EMISIONES AL AIRE DESDE FUENTES FIJAS DE COMBUSTION

LIBRO VI ANEXO 3

0 INTRODUCCIÓN

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para emisiones de contaminantes del aire hacia la atmósfera desde fuentes fijas de combustión.
- Los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las cantidades emitidas de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión.

1 OBJETO

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar o conservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites permisibles de emisiones al aire desde diferentes actividades. La norma provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las emisiones al aire que se verifiquen desde procesos de combustión en fuentes fijas. Se provee también de herramientas de gestión destinadas a promover el cumplimiento con los valores de calidad de aire ambiente establecidos en la normativa pertinente.

2 DEFINICIONES

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

2.1 Aire

O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

2.2 Celda electroquímica

Parte del sistema de medición de emisiones, mediante analizador portátil de gases, que mide el gas de interés y genera una salida proporcional a la concentración de dicho gas.

2.3 Chimenea

Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

2.4 Combustión

Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

2.5 Combustibles fósiles

Son aquellos hidrocarburos encontrados en estado natural, ejemplos, petróleo, carbón, gas natural, y sus derivados.

2.6 Combustibles fósiles sólidos

Se refiere a las variedades de carbón mineral cuyo contenido fijo de carbono varía desde 10% a 90% en peso, y al coque de petróleo.

2.7 Combustibles fósiles líquidos

Son aquellos derivados del petróleo, tales como petróleo crudo, diesel, búnker, kerosene, naftas.

2.8 Combustibles fósiles gaseosos

Son aquellos derivados del petróleo o del gas natural, tales como butano, propano, metano, isobutano, propileno, butileno o cualquiera de sus combinaciones.

2.9 Condiciones normales

Cero grados centígrados (0 °C) y mil trece milibares de presión (1 013 mbar).

2.10 Contaminante del aire

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

2.11 Contaminantes comunes del aire

Cualquier contaminante del aire para los cuales se especifica un valor máximo de concentración permitida, a nivel del suelo, en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo, según la normativa aplicable.

2.12 Contaminación del aire

La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

2.13 Diámetro equivalente

Para un conducto o chimenea de sección cuadrada, se define con la siguiente expresión:

$$De = \frac{2LW}{(L + W)}$$

donde L es la longitud y W el ancho de la sección interior del conducto o chimenea, en contacto efectivo con la corriente de gases.

2.14 Emisión

La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

2.15 Fuente fija de combustión

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

2.16 Fuente fija existente

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones ya sea en operación o que cuenta con autorización para operar, por parte de la Entidad Ambiental de Control, antes de Enero de 2003.

2.17 Fuente fija nueva

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones que ingrese en operación a partir de Enero de 2003.

2.18 Fuente fija modificada

Se entiende a aquella fuente fija existente que experimenta un incremento en su capacidad operativa y que implica mayores emisiones.

2.19 ISO

Organización Internacional para la Normalización.

2.20 Línea base

Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

2.21 Línea de muestreo

Es el eje en el plano de muestreo a lo largo del cual se localiza los puntos de medición, y está limitada por la pared interna de la chimenea o conducto.

2.22 Material particulado

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales.

2.23 Mejor tecnología de control disponible (BACT por sus siglas en inglés)

Limitación de emisiones al aire basada en el máximo grado de reducción de emisiones, considerando aspectos de energía, ambientales y económicos, alcanzable mediante la aplicación de procesos de producción y métodos, sistemas y técnicas disponibles.

2.24 Micrón

Millonésima parte de un metro.

2.25 Mínima tasa de emisión posible (LAER por sus siglas en inglés)

Es la tasa de emisión desde una fuente fija que refleja la limitación de la mayor exigencia en emisiones alcanzable en la práctica.

2.26 Modelo de dispersión

Técnica de investigación que utiliza una representación matemática y física de un sistema, en este caso el sistema consiste de una o varias fuentes fijas de emisión, de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región, y que se utiliza para predecir la(s) concentración(es) resultante(s) de uno o más contaminantes emitidos desde, ya sea una fuente fija específica o desde un grupo de dichas fuentes. La predicción de concentraciones de contaminantes, a nivel de suelo, para el caso de una o varias fuentes fijas, se especificará para receptores situados al exterior del límite del predio del propietario u operador de la(s) fuente (s) evaluadas.

2.27 Monitoreo

Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

2.28 Muestreo isocinético

Es el muestreo en el cual la velocidad y dirección del gas que entra en la zona del muestreo es la misma que la del gas en el conducto o chimenea.

2.29 Nivel de fondo (background)

Denota las condiciones ambientales imperantes antes de cualquier perturbación originada en actividades humanas, esto es, sólo con los procesos naturales en actividad.

2.30 Norma de calidad de aire

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites máximos permisibles se aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

2.31 Norma de emisión

Es el valor que señala la descarga máxima permitida de los contaminantes del aire definidos.

2.32 Opacidad

Grado de reducción de luminosidad que ocasiona una sustancia al paso por ella de la luz visible.

2.33 Partículas Totales

Para efectos de emisiones desde fuentes de combustión, se designa como partículas totales al material particulado que es captado en un sistema de muestreo similar en características al descrito en el método 5 de medición de emisiones de partículas, publicado por la US EPA.

2.34 Puerto de muestreo

Son los orificios circulares que se hacen en las chimeneas o conductos para facilitar la introducción de los elementos necesarios para mediciones y toma de muestras.

2.35 Puntos de medición

Son puntos específicos, localizados en las líneas de muestreo, en los cuales se realizan las mediciones y se extrae la muestra respectiva.

2.36 US EPA

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

3 CLASIFICACIÓN

Esta norma establece los límites máximos permisibles, tanto de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente, como de contaminantes emitidos desde fuentes fijas de combustión. La norma establece la presente clasificación:

1. Límites permisibles de emisión de contaminantes al aire desde combustión en fuentes fijas.
2. Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión.
3. Límites permisibles de emisión de contaminantes al aire para procesos productivos:
 - a. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de cemento.

- b. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de envases de vidrio.
- c. Límites permisibles de emisión desde procesos de elaboración de pulpa de papel.
- d. Límites permisibles de emisión desde procesos de fundición de metales ferrosos.
- e. Normas de emisión desde combustión de bagazo en equipos de combustión de instalaciones de elaboración de azúcar.
- f. Límites permisibles de emisión desde motores de combustión interna.

4 REQUISITOS

4.1 De los límites permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión

4.1.1 De las fuentes fijas significativas de emisiones al aire

4.1.1.1 Para la aplicación de la presente norma técnica, se definen fuentes fijas significativas y fuentes fijas no significativas, de emisiones al aire por proceso de combustión.

4.1.1.2 Serán designadas como fuentes fijas significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (*heat input*) sea igual o mayor a tres millones de vatios (3×10^6 W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora (10×10^6 BTU/h).

4.1.1.3 Para las fuentes fijas que se determinen como fuentes significativas, éstas deberán demostrar cumplimiento con los límites máximos permisibles de emisión al aire, definidos en esta norma técnica, en sus Tablas 1 y 2, según se corresponda. Para esto, la fuente deberá efectuar mediciones de la tasa actual de emisión de contaminantes. Si los resultados fuesen superiores a los valores máximos permisibles de emisión, la fuente fija deberá entonces establecer los métodos o los equipos de control necesarios para alcanzar cumplimiento con los valores máximos de emisión estipulados en esta norma.

4.1.1.4 Serán designadas como fuentes fijas no significativas todas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (*heat input*) sea menor a tres millones de vatios (3×10^6 W), o, diez millones de unidades térmicas británicas por hora (10×10^6 BTU/h). Estas fuentes fijas de combustión no estarán obligadas a efectuar mediciones de sus emisiones actuales, y deberán proceder según se indica en el siguiente artículo.

4.1.1.5 Las fuentes fijas no significativas, aceptadas como tal por parte de la Entidad Ambiental de Control, demostrarán cumplimiento con la normativa mediante alguno de los siguientes métodos:

- a. El registro interno, y disponible ante la Entidad Ambiental de Control, del seguimiento de las prácticas de mantenimiento de los equipos de combustión, acordes con los programas establecidos por el operador o propietario de la fuente, o recomendados por el fabricante del equipo de combustión;
- b. resultados de análisis de características físicas y químicas del combustible utilizado, en particular del contenido de azufre y nitrógeno en el mismo;
- c. la presentación de certificados por parte del fabricante del equipo de combustión en cuanto a la tasa esperada de emisiones de contaminantes, en base a las características del combustible utilizado.
- d. mediante inspección del nivel de opacidad de los gases de escape de la fuente;
- e. mediante el uso de altura de chimenea recomendada por las prácticas de ingeniería;
- f. otros que se llegaren a establecer.

4.1.1.6 Para la verificación de cumplimiento por parte de una fuente fija no significativa con alguno de los métodos descritos, el operador u propietario de la fuente deberá mantener los debidos registros o certificados, a fin de reportar a la Entidad Ambiental de Control con una frecuencia de una vez por año.

4.1.1.7 No obstante de lo anterior, las fuentes fijas no significativas podrán ser requeridas, por parte de la Entidad Ambiental de Control, de efectuar evaluaciones adicionales de sus emisiones, en el caso de que estas emisiones excedan o comprometan las concentraciones máximas permitidas, a nivel del suelo, de contaminantes del aire. Estas últimas concentraciones de contaminantes en el aire ambiente se encuentran definidas en la norma correspondiente a calidad de aire.

4.1.1.8 Las fuentes fijas no significativas deberán someter, a consideración de la Entidad Ambiental de Control, los planos y especificaciones técnicas de sus sistemas de combustión, esto como parte de los procedimientos normales de permiso de funcionamiento.

4.1.2 Valores máximos permisibles de emisión

4.1.2.1 Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión existentes, son los establecidos en la Tabla 1 de esta norma.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación antes de Enero de 2003

| CONTAMINANTE EMITIDO | COMBUSTIBLE UTILIZADO | VALOR | UNIDADES ^[1] |
|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Partículas Totales | Sólido | 355 | mg/Nm ³ |
| | Líquido ^[2] | 355 | mg/Nm ³ |
| | Gaseoso | No Aplicable | No Aplicable |
| Óxidos de Nitrógeno | Sólido | 1 100 | mg/Nm ³ |
| | Líquido ^[2] | 700 | mg/Nm ³ |
| | Gaseoso | 500 | mg/Nm ³ |
| Dióxido de Azufre | Sólido | 1 650 | mg/Nm ³ |
| | Líquido ^[2] | 1 650 | mg/Nm ³ |
| | Gaseoso | No Aplicable | No Aplicable |

Notas:

^[1] mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

^[2] combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

4.1.2.2 Los valores de emisión máxima permitida, para fuentes fijas de combustión nuevas, son los establecidos en la Tabla 2 de esta norma.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fuentes fijas de combustión. Norma para fuentes en operación a partir de Enero de 2003

| CONTAMINANTE EMITIDO | COMBUSTIBLE UTILIZADO | VALOR | UNIDADES ^[1] |
|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Partículas Totales | Sólido | 150 | mg/Nm ³ |
| | Líquido ^[2] | 150 | mg/Nm ³ |
| | Gaseoso | No Aplicable | No Aplicable |
| Óxidos de Nitrógeno | Sólido | 850 | mg/Nm ³ |
| | Líquido ^[2] | 550 | mg/Nm ³ |
| | Gaseoso | 400 | mg/Nm ³ |
| Dióxido de Azufre | Sólido | 1 650 | mg/Nm ³ |
| | Líquido ^[2] | 1 650 | mg/Nm ³ |
| | Gaseoso | No Aplicable | No Aplicable |

Notas:

^[1] mg/Nm³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, de mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

^[2] combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

4.1.2.3 La Entidad Ambiental de Control utilizará los límites máximos permisibles de emisiones indicados en las Tablas 1 y 2 para fines de elaborar su respectiva norma (ver Reglamento a la Ley de Prevención y Control de Contaminación). La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de emisión de mayor exigencia, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe indicaren dicha necesidad.

4.1.2.4 El Ministerio del Ambiente definirá la frecuencia de revisión de los valores establecidos como límite máximo permitido de emisiones al aire. De acuerdo a lo establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación, se analizará la conveniencia de unificar los valores de emisión para fuentes en operación antes de Enero de 2003 y posteriores a esta fecha. La revisión deberá considerar, además, las bases de datos de emisiones, así como de los datos de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente, efectúe la Entidad Ambiental de Control.

4.1.3 Del cumplimiento con la normativa de emisiones máximas permitidas

4.1.3.1 Las fuentes fijas de emisiones al aire por combustión, existentes a la fecha de promulgación de esta norma técnica, dispondrán de plazos, a ser fijados mediante acuerdo entre el propietario u operador de la fuente fija y la Entidad Ambiental de Control, a fin de adecuar la emisión de contaminantes a niveles inferiores a los máximos permisibles. El otorgamiento de estos plazos queda supeditado, en cada caso, a los estudios y evaluaciones que realice la Entidad Ambiental de Control. En ningún caso estos plazos serán mayores a cinco años, de acuerdo a lo establecido en el reglamento.

4.1.3.2 Dentro de los términos que especifiquen las respectivas reglamentaciones, todas las fuentes fijas deberán obtener su respectivo permiso de funcionamiento, el cual será renovado con la periodicidad que determine la Entidad Ambiental de Control. Esta última queda también facultada para fijar las tasas que correspondan por la retribución del servicio.

4.1.3.3 Esquema Burbuja.- de existir varias fuentes fijas de emisión, bajo la responsabilidad sea de un mismo propietario y/o de un mismo operador, y al interior de una misma región, la emisión global de las fuentes podrá calcularse mediante una fórmula que pondere las fuentes fijas presentes en la instalación. Se establece la siguiente fórmula:

$$E_{global} = \frac{A_1 * E_1 + A_2 * E_2 + \dots + A_i * E_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

donde:

E_{global} : tasa de emisión global para el conjunto de fuentes fijas de combustión,

A_i factor de ponderación, y que puede ser el consumo de combustible de la fuente número i , o el caudal de gases de combustión de la respectiva fuente número i ,

E_i : tasa actual de emisión determinada para cada fuente.

El resultado a obtenerse con la ecuación indicada, y que representa el equivalente ponderado para un grupo de fuentes fijas de combustión, deberá ser comparado con el valor máximo de emisión permitida descrito en esta normativa, resultado equivalente para una sola fuente fija de combustión.

4.1.4 Fuentes fijas de combustión existentes, nuevas y modificadas

4.1.4.1 Toda fuente fija de combustión, que experimente una remodelación, una modificación sustancial de la misma, o un cambio total o parcial de combustible, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control este particular. Para el caso de una fuente fija significativa, se deberá comunicar además una evaluación de las emisiones esperadas una vez que el proyecto de remodelación o modificación culmine.

4.1.4.2 Las fuentes fijas significativas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas sustancialmente, como parte integral del estudio de impacto ambiental requerido, deberán evaluar su impacto en la calidad del aire mediante el uso de modelos de dispersión. Las fuentes existentes, significativas, deberán también proceder a evaluar su impacto en la calidad del aire mediante modelos de dispersión, esto de ser requerido en los estudios de auditoría ambiental o de estudio de impacto ambiental expost. El modelo de dispersión calculará la concentración esperada de contaminantes del aire a nivel del suelo, que se espera sean emitidos desde las fuentes fijas nuevas, y se procederá a determinar si estas concentraciones calculadas cumplen o no con la norma de calidad de aire. Para efectos de determinación de cumplimiento con la norma, la concentración calculada para cada contaminante del aire evaluado, atribuible a la operación de las fuentes fijas nuevas, deberá ser adicionada a la concentración existente de cada contaminante, según se describe en el siguiente artículo.

4.1.4.3 Una fuente fija nueva, remodelada o modificada, y que se determine como significativa, deberá establecer aquellos contaminantes emitidos por la misma, que son significativos para con la calidad del aire ambiente. Para tal efecto se utilizará un modelo de dispersión de tipo preliminar, ejemplo SCREEN, de la US EPA, mediante el cual se verificará si las concentraciones calculadas por este modelo, para cada contaminante modelado, sobrepasan o no los valores estipulados en la Tabla 3. Si la predicción mediante modelo indica que la concentración de un contaminante supera el valor presentado en la Tabla 3, entonces aquel contaminante se designa como significativo para la fuente. La Entidad Ambiental de Control solicitará que la fuente proceda a la aplicación de un modelo detallado, únicamente para los contaminantes significativos que se determinen. Eventualmente, la Entidad Ambiental de Control implementará programas de mediciones de concentraciones, a nivel de suelo, de los contaminantes significativos, una vez que la fuente ingrese en operación.

Tabla 3. Valores de incremento de concentración de contaminantes comunes, a nivel del suelo, para definición de contaminantes significativos ^[1]

| Contaminante / Período de Tiempo | Criterio de Significancia, expresado en microgramos por metro cúbico de aire |
|----------------------------------|--|
| Óxidos de Nitrógeno NOx Anual | 1,0 |
| Dióxido de Azufre SO2 Anual | 1,0 |
| 24-Horas | 5,0 |
| 3-Horas | 25,0 |
| Partículas Anual | 1,0 |
| 24-Horas | 5,0 |

Nota:

^[1] Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y de 1 013 milibares de presión.

4.1.4.4 La fuente fija significativa, nueva, remodelada o modificada sustancialmente, acordará con la Entidad Ambiental de Control la inclusión o no, dentro de la evaluación mediante modelo de dispersión, de otras fuentes fijas existentes en la región en que se instalará la fuente nueva, o en que se ubica la fuente modificada o remodelada. El estudio de impacto ambiental, requerido por la fuente como parte de los permisos de operación, establecerá cuáles fuentes fijas existentes deberán ser incluidas en el modelo de dispersión a aplicarse. La Entidad Ambiental de Control deberá proveer, a la fuente nueva, de los resultados de las bases de datos administradas por la misma, esto es, bases de datos de emisiones de fuentes fijas significativas existentes, y, bases de datos de los niveles de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. El área de influencia, sea de una sola fuente nueva evaluada, o del conjunto de varias fuentes, se determinará mediante el trazado de la curva de igual concentración para todos los contaminantes que sobrepasen los valores establecidos en la Tabla 3.

4.1.4.5 De tratarse de una o varias fuentes fijas nuevas significativas, o varias fuentes existentes modificadas, la evaluación deberá efectuarse mediante un modelo de dispersión del tipo detallado, con capacidad para incluir diferentes fuentes fijas, y con capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante. Para esto, se utilizará un modelo de dispersión de características técnicas similares a ISC, de la US EPA. Para efectuar predicciones de concentraciones de contaminantes por períodos de hasta un año, el modelo de tipo detallado requerirá el uso de datos meteorológicos hora por hora, y de extensión también de un año. La fuente fija significativa evaluará su impacto en la calidad del aire previa revisión de los datos meteorológicos, hora por hora, de los últimos tres años, como mínimo, previos a la etapa de proyecto de la nueva fuente. Los datos meteorológicos a utilizarse deberán ser representativos para la ubicación geográfica de la fuente fija a evaluarse. El uso de un modelo de dispersión del tipo detallado se extenderá también para el caso de un conjunto de fuentes fijas nuevas, o fuentes existentes remodeladas o modificadas, que estuvieren bajo la responsabilidad de una misma organización u operador, y en que se determine que la emisión global de dicho conjunto de fuentes (artículo 4.1.3.3) es significativa.

4.1.4.6 Las fuentes fijas nuevas significativas, a instalarse en las inmediaciones de áreas que se designen como protegidas, tales como parques nacionales, reservas de fauna, bosques protectores, entre otros, que se encuentren debidamente designados por la Entidad Ambiental de Control, deberán solicitar a esta autoridad la ejecución de un programa de monitoreo inicial de concentraciones de contaminantes del aire a nivel de suelo, previo al inicio de operaciones de la fuente o fuentes, en uno o más sitios designados al interior de dichas áreas protegidas. El estudio de impacto ambiental que ejecute la fuente fija nueva, determinará el número y ubicación del sitio, o los sitios, de medición de concentraciones de contaminantes del aire. El programa de monitoreo inicial incluirá, como mínimo, la determinación de concentraciones de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, y material particulado PM10. Los resultados de este programa permitirán determinar las concentraciones iniciales de contaminantes en ausencia de la nueva fuente, lo cual además permitirá establecer, a futuro, el nivel de cumplimiento con las normas de calidad de aire una vez que la fuente fija ingrese en operación.

4.1.4.7 Todas las fuentes fijas nuevas, significativas o no, a instalarse en áreas cuyas concentraciones a nivel de suelo cumplen con la norma de calidad de aire ambiente, estarán obligadas a hacer uso de la denominada Mejor Tecnología de Control Disponible (BACT por sus siglas en inglés), lo cual deberá ser justificado en el estudio ambiental a presentarse ante la Entidad Ambiental de Control. Las emisiones que se obtengan en la fuente que utilice tecnología BACT no deberán ser mayores en magnitud a los valores aplicables para una fuente existente.

4.1.4.8 Las fuentes fijas nuevas no podrán instalarse en un área en que las concentraciones de contaminantes comunes del aire ambiente no se encuentren en cumplimiento con la norma de calidad aquí estipulada, o, en aquellas áreas en que dichas concentraciones de contaminantes se encuentren cerca de incumplimiento. Para ser autorizadas a su instalación, en áreas en no cumplimiento con la norma de calidad de aire, las fuentes fijas nuevas utilizarán la denominada tecnología de Mínima Tasa de Emisión Posible (LAER por sus siglas en inglés), o en su lugar, cuando estas fuentes nuevas reemplacen a una o varias fuentes fijas existentes pero garantizando un estándar de emisión (cantidad de contaminante emitido) y un estándar de desempeño (cantidad de contaminante emitido por unidad de combustible utilizado) considerablemente menor al de la o las fuentes a ser reemplazadas. La Entidad Ambiental de Control deberá emitir la autorización correspondiente para ejecutar este esquema de operación para una fuente nueva. Un esquema similar al descrito se aplicará para fuentes existentes pero modificadas o remodeladas sustancialmente.

4.1.4.9 El estudio ambiental para una fuente fija nueva, en un área en no cumplimiento con la norma de calidad de aire ambiente, justificará las tecnologías o métodos que implementará la fuente fija a fin de alcanzar la mínima tasa de emisión, y por tanto, no inducir a un incumplimiento con la norma de calidad de aire, o mejorar en términos absolutos la calidad del aire ambiente de la región.

4.1.4.10 Las fuentes fijas nuevas significativas determinarán la altura apropiada de chimenea mediante la aplicación de modelos de dispersión. La altura seleccionada de chimenea deberá considerar el efecto de turbulencia creado por la presencia de edificaciones adyacentes a la chimenea, caracterizándose dicho efecto por la ocurrencia de altas concentraciones de contaminantes emitidos previamente junto a la estructura o edificación.

4.1.5 Disposiciones generales

4.1.5.1 Se prohíbe expresamente la dilución de las emisiones al aire desde una fuente fija con el fin de alcanzar cumplimiento con la normativa aquí descrita.

4.1.5.2 Se prohíbe el uso de aceites lubricantes usados como combustible en calderas, hornos u otros equipos de combustión, con excepción de que la fuente fija de combustión demuestre, mediante el respectivo estudio técnico, que cuenta con equipos y procesos de control de emisiones producidas por esta combustión, a fin de no comprometer la calidad del aire al exterior de la fuente, e independientemente de si la fuente fija es significativa o no significativa. Los planos y especificaciones técnicas de la instalación, incluyendo las previsiones de uso de aceites lubricantes usados, sea como combustible principal o como combustible auxiliar, o como combinación de ambos, se sujetarán a las disposiciones de la normativa aplicable para el manejo de desechos peligrosos y de su disposición final. La Entidad Ambiental de Control emitirá el respectivo permiso de operación para las fuentes que utilicen aceites lubricantes usados como combustible, permiso que será renovado cada dos años, previo el respectivo dictamen favorable, considerando los requerimientos estipulados tanto aquí como en la normativa aplicable a desechos peligrosos y su disposición final.

4.1.5.3 Aquellas fuentes fijas que utilicen como combustible otros que no sean combustibles fósiles, serán evaluadas, en primer lugar, en base al criterio de determinar si se trata de fuentes significativas o no. Para una fuente significativa, que utilice combustibles no fósiles, tales como biomasa, se aplicarán los valores máximos de emisión descritos en este reglamento en lo referente a fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos. Para fuentes no significativas, la Entidad Ambiental de Control podrá solicitar evaluaciones adicionales tendientes a prevenir el deterioro de la calidad del aire.

4.1.5.4 Toda fuente fija, sea significativa o no, deberá comunicar a la Entidad Ambiental de Control cualquier situación anómala, no típica, que se presente en la operación normal de la fuente, y en la que se verificaron emisiones de contaminantes superiores a los valores máximos establecidos en este reglamento. Este requisito no se aplica para el caso del período de arranque de operación de la fuente, o para el caso del período de limpieza por soplado de hollín acumulado en la fuente, siempre que estos períodos no excedan quince (15) minutos y la operación no se repita más de dos veces al día. Cuando por las características de los procesos y/o de los equipos de combustión se justifique técnicamente que se requiere mayor tiempo para su arranque o limpieza con soplado de hollín, se deberá obtener la aprobación de la Entidad Ambiental de Control.

4.1.5.5 Para las fuentes fijas significativas, se requerirá que estas cuenten, por lo menos, con equipos básicos de control de emisiones de partículas, esto a fin de mitigar aquellas emisiones que se registren durante períodos de arranque o de soplado de hollín en la fuente. Los equipos básicos de control comprenden equipos tales como separadores inerciales (ciclones). Además, la Entidad Ambiental de Control podrá requerir, por parte del regulado, la instalación de equipos de control de emisiones de partículas adicionales a los equipos básicos descritos, siempre que la evaluación técnica y económica del equipo de control a ser instalado así lo determine.

4.1.5.6 Toda fuente fija significativa está obligada a presentar a la Entidad Ambiental de Control los resultados que se obtengan de los programas de medición de emisiones que deban ejecutarse. La Entidad Ambiental de Control establecerá una base de datos con las emisiones de todas las fuentes bajo su control, así como establecerá los procedimientos de mantenimiento y de control de calidad de la misma.

4.2 Métodos y equipos de medición de emisiones desde fuentes fijas de combustión

4.2.1 General

4.2.1.1 Para demostración de cumplimiento con la presente norma de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión, los equipos, métodos y procedimientos de medición de emisiones deberán cumplir requisitos técnicos mínimos, establecidos a continuación. Además, la fuente fija deberá proveer de requisitos técnicos mínimos que permitan la ejecución de las mediciones.

4.2.2 Requisitos y métodos de medición

4.2.2.1 A fin de permitir la medición de emisiones de contaminantes del aire desde fuentes fijas de combustión, estas deberán contar con los siguientes requisitos técnicos mínimos:

- a. plataforma de trabajo, con las características descritas en la figura 1 (Anexo),
- b. escalera de acceso a la plataforma de trabajo,
- c. suministro de energía eléctrica cercano a los puertos de muestreo.

4.2.2.2 Método 1: definición de puertos de muestreo y de puntos de medición en chimeneas.- este método provee los procedimientos para definir el número y ubicación de los puertos de muestreo, así como de los puntos de medición al interior de la chimenea.

4.2.2.3 Número de puertos de muestreo.- el número de puertos de muestreo requeridos se determinará de acuerdo al siguiente criterio:

- a. dos (2) puertos para aquellas chimeneas o conductos de diámetro menor 3,0 metros,
- b. cuatro (4) puertos para chimeneas o conductos de diámetro igual o mayor a 3,0 metros.

4.2.2.4 Para conductos de sección rectangular, se utilizará el diámetro equivalente para definir el número y la ubicación de los puertos de muestreo.

4.2.2.5 Ubicación de puertos de muestreo.- los puertos de muestreo se colocarán a una distancia de, al menos, ocho diámetros de chimenea corriente abajo y dos diámetros de chimenea corriente arriba de una perturbación al flujo normal de gases de combustión (ver figura 1, Anexo). Se entiende por perturbación cualquier codo, contracción o expansión que posee la chimenea o conducto. En conductos de sección rectangular, se utilizará el mismo criterio, salvo que la ubicación de los puertos de muestreo se definirá en base al diámetro equivalente del conducto.

4.2.2.6 Número de puntos de medición.- cuando la chimenea o conducto cumpla con el criterio establecido en 4.2.2.5, el número de puntos de medición será el siguiente:

- a. doce (12) puntos de medición para chimeneas o conductos con diámetro, o diámetro equivalente, respectivamente, mayor a 0,61 metros,
- b. ocho (8) puntos de medición para chimeneas o conductos con diámetro, o diámetro equivalente, respectivamente, entre 0,30 y 0,60 metros, y,
- c. nueve (9) puntos de medición para conductos de sección rectangular con diámetro equivalente entre 0,30 y 0,61 metros.

4.2.2.7 Para el caso de que una chimenea no cumpla con el criterio establecido en 4.2.2.5, el número de puntos de medición se definirá de acuerdo con la figura 2 (Anexo). Al utilizar esta figura, se determinarán las distancias existentes tanto corriente abajo como corriente arriba de los puertos de muestreo, y cada una de estas distancias será dividida para el diámetro de la chimenea o conducto, esto a fin de determinar las distancias en función del número de diámetros. Se seleccionará el mayor número de puntos de medición indicado en la figura, de forma tal que, para una chimenea de sección circular, el número de puntos de medición sea múltiplo de cuatro. En cambio, para una chimenea de sección rectangular, la distribución de puntos de medición se definirá en base a la siguiente matriz (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de puntos de medición para una chimenea o conducto de sección rectangular

| NUMERO DE PUNTOS DE MEDICIÓN | DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 9 | 3 x 3 |
| 12 | 4 x 3 |
| 16 | 4 x 4 |
| 20 | 5 x 4 |
| 25 | 5 x 5 |
| 30 | 6 x 5 |
| 36 | 6 x 6 |
| 42 | 7 x 6 |
| 49 | 7 x 7 |

4.2.2.8 Ubicación de los puntos de medición en chimeneas de sección circular.- determinado el número de puntos de medición, los puntos se deberán distribuir, en igual número, a lo largo de dos diámetros perpendiculares entre sí, que estén en el mismo plano de medición al interior de la chimenea o conducto. La ubicación exacta de cada uno de los puntos, a lo largo de cada diámetro, se determinará según la Tabla 5.

4.2.2.9 Ubicación de los puntos de medición en chimeneas de sección rectangular.- para el número de puntos de medición determinado, se dividirá la sección transversal de la chimenea o conducto en un número de áreas rectangulares igual al número de puntos de medición determinado. Luego, cada punto de medición se ubicará en el centro de cada área rectangular definida (ver figura 3, Anexo).

4.2.2.10 Método 2: procedimiento para la determinación de la velocidad y gasto volumétrico de gases de escape en chimenea o conducto. Este método comprende:

- a. Uso de un tubo de Pitot, del tipo estándar o del tipo S, para medir la presión dinámica de la corriente de gases de escape.
- b. Medición de la temperatura del gas dentro de la chimenea.
- c. Barómetro para medir presión atmosférica.
- d. Analizador de gases para determinar el peso molecular húmedo del gas en chimenea (ver método 3).
- e. Cálculo de la velocidad del gas.
- f. Determinación del área transversal del ducto o chimenea.

Tabla 5. Ubicación de puntos de medición en chimeneas o conductos de sección circular

| Número de puntos de medición para un diámetro | Número de puntos de medición en un diámetro de chimenea | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
| 1 | 14,6 | 6,7 | 4,4 | 3,2 | 2,6 | 2,1 | 1,8 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |
| 2 | 85,4 | 25,0 | 14,6 | 10,5 | 8,2 | 6,7 | 5,7 | 4,9 | 4,4 | 3,9 | 3,5 | 3,2 |
| 3 | | 75,0 | 29,6 | 19,4 | 14,6 | 11,8 | 9,9 | 8,5 | 7,5 | 6,7 | 6,0 | 5,5 |
| 4 | | 93,3 | 70,4 | 32,3 | 22,6 | 17,7 | 14,6 | 12,5 | 10,9 | 9,7 | 8,7 | 7,9 |
| 5 | | | 85,4 | 67,7 | 34,2 | 25,0 | 20,1 | 16,9 | 14,6 | 12,9 | 11,6 | 10,5 |
| 6 | | | 95,6 | 80,6 | 65,8 | 35,6 | 26,9 | 22,0 | 18,8 | 16,5 | 14,6 | 13,2 |
| 7 | | | | 89,5 | 77,4 | 64,4 | 36,6 | 28,3 | 23,6 | 20,4 | 18,0 | 16,1 |
| 8 | | | | 96,8 | 85,4 | 75,0 | 63,4 | 37,5 | 29,6 | 25,0 | 21,8 | 19,4 |
| 9 | | | | | 91,8 | 82,3 | 73,1 | 62,5 | 38,2 | 30,6 | 26,2 | 23,0 |
| 10 | | | | | 97,4 | 88,2 | 79,9 | 71,7 | 61,8 | 38,8 | 31,5 | 27,2 |
| 11 | | | | | | 93,3 | 85,4 | 78,0 | 70,4 | 61,2 | 39,3 | 32,3 |
| 12 | | | | | | 97,9 | 90,1 | 83,1 | 76,4 | 69,4 | 60,7 | 39,8 |
| 13 | | | | | | | 94,3 | 87,5 | 81,2 | 75,0 | 68,5 | 60,2 |
| 14 | | | | | | | 98,2 | 91,5 | 85,4 | 79,6 | 73,8 | 67,7 |
| 15 | | | | | | | | 95,1 | 89,1 | 83,5 | 78,2 | 72,8 |
| 16 | | | | | | | | 98,4 | 92,5 | 87,1 | 82,0 | 77,0 |
| 17 | | | | | | | | | 95,6 | 90,3 | 85,4 | 80,6 |
| 18 | | | | | | | | | 98,6 | 93,3 | 88,4 | 83,9 |
| 19 | | | | | | | | | | 96,1 | 91,3 | 86,8 |
| 20 | | | | | | | | | | 98,7 | 94,0 | 89,5 |
| 21 | | | | | | | | | | | 96,5 | 92,1 |
| 22 | | | | | | | | | | | 98,9 | 94,5 |
| 23 | | | | | | | | | | | | 96,8 |
| 24 | | | | | | | | | | | | 98,9 |

Nota:

Valores como porcentaje del diámetro de la chimenea, y a ser contados desde la pared interior de la chimenea hasta el punto de medición.

4.2.2.11 Para la aplicación del procedimiento, el tubo Pitot, previamente calibrado, se introducirá en el conducto o chimenea, en el punto de medición seleccionado, y se tomará lectura de la presión de velocidad. Este procedimiento se repetirá para cada uno de los puntos de medición seleccionados. La velocidad promedio en el conducto o chimenea será el valor obtenido, mediante la siguiente ecuación, para el promedio aritmético de todas las lecturas de presión de velocidad registradas.

$$V = KpCp\sqrt{\Delta P} \sqrt{\frac{Ts}{PsMs}}$$

donde:

V: velocidad del gas en chimenea (m/s ó ft/s);

Kp: constante de la ecuación de velocidad (34,97 sistema internacional ó 85,49 unidades inglesas);

C_p : coeficiente del tubo Pitot, provisto por fabricante (adimensional);

ΔP : presión de velocidad promedio (mm. H₂O ó pulg. H₂O);

T_s : temperatura absoluta del gas en chimenea (°K ó °R);

P_s : presión total absoluta en chimenea = presión atmosférica + presión estática en chimenea (mm Hg ó pulg. Hg);

M_s : peso molecular húmedo del gas en chimenea (g/g-mol ó libras/libra-mol);

El gasto volumétrico de la fuente fija de combustión se obtendrá multiplicando la velocidad promedio del gas por el área transversal del conducto o chimenea en el sitio de medición.

4.2.2.12 Método 3: procedimiento para la determinación del peso molecular seco de los gases de escape. Este método comprende:

- a. Uso de un analizador de gases para determinación de contenido de dióxido de carbono, oxígeno y monóxido de carbono en los gases de escape. El analizador de gases podrá ser cualquiera de los modelos disponibles localmente, tales como Fyrite, Orsat o analizadores con tecnología de celdas electroquímicas. Se debe reconocer que algunos de estos instrumentos proveen resultados para dos de los tres parámetros requeridos, por lo que se aceptará el uso de cartas, figuras, nomogramas, ecuaciones, u otros medios, que permitan determinar el tercer parámetro a partir de dos parámetros conocidos.
- b. El peso molecular seco (M_d), se determinará mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$M_d = 0.44\% \text{ CO}_2 + 0.32\% \text{ O}_2 + 0.28\% \text{ CO} + 0.28\% \text{ N}_2$$

El porcentaje de nitrógeno N_2 se obtendrá restando del 100%, el % de CO_2 , el % de O_2 y el % de CO .

- c. Cuando no sea posible determinar el contenido de dióxido de carbono, de oxígeno y de monóxido de carbono en los gases de escape, se podrá utilizar el valor de 30,0 (treinta) para el peso molecular seco, siempre que la fuente fija opere con combustibles fósiles sólido, líquido o gaseoso.

4.2.2.13 Método 4: procedimiento para la determinación de contenido de humedad de los gases de escape. Este método comprende:

- a. Extracción de una muestra a un gasto constante. Se procurará que el volumen de gas colectado sea, por lo menos, de 0,60 metros cúbicos, a condiciones de referencia, y el gasto de succión del gas no sea mayor a 0,020 metros cúbicos por minuto (0,75 pies cúbicos por minuto). La colección de gas se efectuará con la sonda provista por el equipo de medición, y contará con dispositivo de calentamiento de la misma, a fin de evitar la condensación de humedad.
- b. Remoción de la humedad de la muestra. El equipo a utilizarse será, en diseño, igual al utilizado en el método 5, determinación de emisión de partículas. El equipo consiste de una sección de cuatro impactadores o envases de vidrio, de los cuales dos serán llenados con agua, y el cuarto impactador será llenado con sílica gel. Previo a la medición se registrará el peso de estos tres envases, tanto llenos con agua como llenos con sílica gel. Todos los impactadores se encontrarán alojados en una caja, llena con hielo, a fin de permitir la condensación de la humedad presente en los gases de chimenea.
- c. Determinación gravimétrica y volumétrica de la humedad colectada. Posterior a la toma de muestra, se determinará el contenido de humedad mediante el incremento de volumen de agua colectada en los impactadores, y, mediante el incremento de peso en el impactador llenado con sílica gel.

4.2.2.14 Los resultados que se obtengan, de volumen de agua colectada y de peso de agua colectada, serán corregidos a las condiciones de referencia. El contenido de humedad, en los gases de chimenea, será la razón entre el volumen total de agua colectada dividido para dicho volumen más el volumen de gas seco, este último determinado por el equipo de muestreo.

4.2.2.15 Como alternativa al método descrito, serán aceptables los métodos de estimación tales como técnicas de condensación, técnicas psicrométricas mediante temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, cálculos estequiométricos, experiencias previas, entre otros.

4.2.2.16 Método 5: procedimiento para la determinación de emisión de partículas desde la fuente fija. Este método comprende:

- a. Colección de muestras mediante el equipo denominado tren isocinético. Este equipo consiste de cuatro secciones principales: la sonda de captación de partículas, la sección de filtro, la sección de condensación de humedad, o de impactadores, y, la sección de medidor de volumen de gas seco muestreado. Las

mediciones a efectuarse deberán incluir la descripción técnica del equipo tren isocinético, el cual necesariamente deberá proveer las especificaciones del fabricante, y en las que se especifique que el equipo cumple con el método promulgado por la US EPA.

- b. Las muestras de partículas serán colectadas, en cada uno de los puntos de muestreo al interior de la chimenea, definidos en el método 1, durante un período de cinco (5) minutos en cada uno de dichos puntos. En ningún caso el tiempo de muestreo, en cada punto, será inferior a tres (3) minutos.
- c. La condición de isocinetismo aceptada deberá estar comprendida entre 90 y 110%.
- d. Previo a la ejecución de mediciones, se deberá efectuar una prueba de detección de fugas en el equipo de muestreo, una vez armado en el sitio.
- e. La masa de partículas se determinará gravimétricamente, esto es, mediante la diferencia de peso en el filtro a la finalización de la medición con respecto al peso previo al inicio de la misma.
- f. Además, se determinará el peso de aquellas partículas captadas en la sonda de muestreo. Para esto, se realizará un enjuague del interior de la sonda, de la boquilla de succión de la sonda, y de accesorios de esta, utilizando para el efecto acetona. El líquido colectado será almacenado en un frasco de vidrio, y llevado a laboratorio, en donde será transferido a un vaso de precipitación, será registrado su peso inicial, y se dejará evaporar el solvente a temperatura y presión ambiente. El vaso será secado por un período de 24 horas y registrado su peso final.
- g. La masa total de partículas colectadas será la suma de las partículas obtenidas en el filtro más aquellas captadas al interior de la sonda de muestreo.
- h. La concentración de partículas emitidas, a expresarse en miligramos por metro cúbico de aire seco, será la masa total de partículas dividida para el volumen total de gas seco muestreado, y corregido a las condiciones de referencia.

4.2.2.17 Métodos para determinación de emisión de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno desde una fuente fija.- Esta determinación se realizará mediante uno de los dos sistemas de medición aquí propuestos, estos son, con el uso de instrumentación basada en analizadores portátiles, o, con el uso de los procedimientos de colección, recuperación y análisis en laboratorio de muestras colectadas. Se especificará claramente el método utilizado en la medición de emisiones.

4.2.2.18 Uso de analizadores portátiles.- se utilizarán equipos disponibles en el mercado, que reporten las emisiones de dióxido de azufre y/o de óxidos de nitrógeno en base a técnicas tales como de fluorescencia, ultravioleta, e infrarrojo no dispersivo, para el caso de dióxido de azufre, o, de quimiluminiscencia, para el caso de óxidos de nitrógeno. Otra opción consiste en la utilización de analizadores portátiles, que operan con tecnología de celdas electroquímicas, y diseñados para medición también de dióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno.

4.2.2.19 De utilizarse analizadores portátiles, sea con cualquiera de las técnicas descritas en 4.2.2.18, estos equipos deberán contar con los respectivos certificados de calibración, otorgados por el fabricante de los mismos.

4.2.2.20 Los analizadores deberán contar con los accesorios que permitan el acondicionamiento de la muestra de gases en chimenea, previo al ingreso de la misma a la sección de medición. El sistema de medición deberá contar con una sonda de admisión del gas en chimenea, provista de sección de calentamiento o similar, que garanticen la no condensación de vapor de agua presente en la muestra y evitar así la consiguiente absorción de dióxido de azufre o de óxidos de nitrógeno en el líquido condensado. Si el analizador reporta los resultados en base seca, el sistema de medición deberá contar con una unidad de condensación, o dispositivo similar, que garanticen la purga o evacuación del vapor de agua condensado, y al mismo tiempo, minimice el contacto entre la muestra de gases y el líquido condensado. Se aceptarán también equipos analizadores que determinen concentraciones de SO₂ y/o de NO_x en base húmeda, siempre que los resultados sean convertidos a concentración en base seca mediante métodos apropiados.

4.2.2.21 Los analizadores que utilicen la técnica de celdas electroquímicas deberán contar con celdas individuales tanto para medir el óxido nitroso NO como el dióxido de nitrógeno NO₂ y reportarán los resultados de emisión de óxidos de nitrógeno como la suma de óxido nitroso (NO) y de dióxido de nitrógeno (NO₂). En el caso de analizadores que utilicen la técnica de quimiluminiscencia, los resultados se reportarán directamente como total de óxidos de nitrógeno expresados como NO₂.

4.2.2.22 La medición de NO_x y de SO₂, utilizando cualquier tipo de equipo analizador portátil, se efectuará seleccionando el número de puntos al interior de la sección de chimenea que se determine según lo descrito en el método 1 de esta norma técnica.

4.2.2.23 Método de laboratorio para SO₂.- el método consiste en la retención de SO₂ por medio de una reacción química irreversible y la posterior determinación de la concentración mediante titulación de bario-torina. En este método, se colectará una muestra de gas en un equipo similar al tren de muestreo descrito en el método 5. Los reactivos necesarios, así como las características de los componentes del equipo serán aquellos descritos en el método 6 promulgado por la US EPA (40 CFR 60). El equipo deberá contar con un medidor del volumen de gas seco colectado. La muestra se colectará en un único punto, situado en el centro geométrico interior de la chimenea o

conducto, y durante un período de treinta (30) minutos, a fin de asegurar la representatividad de la muestra. Se inspeccionará cada cinco (5) minutos la proporcionalidad del flujo seleccionado. Para una medición completa, se colectarán seis (6) muestras individuales.

4.2.2.24 Método de laboratorio para NOx.- se colecta una muestra en un frasco al que se ha efectuado vacío previamente, este envase contiene una solución absorbente diluida de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno. La muestra es posteriormente analizada en laboratorio colorimétricamente, utilizándose el procedimiento del ácido fenoldisulfónico. Los reactivos necesarios, los procedimientos de preparación, muestreo y recuperación de muestras, así como las características de los procedimientos de análisis de las muestras, serán aquellos descritos en el método 7 promulgado por la US EPA (40 CFR 60). Los resultados se expresarán como NO2. La muestra se colectará en un único punto, situado en el centro geométrico interior de la chimenea o conducto. Para una medición completa, se colectarán doce (12) muestras individuales.

4.2.3 De la frecuencia de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión

4.2.3.1 Las fuentes fijas que se determine requieran de monitoreo de sus emisiones al aire, efectuarán los respectivos trabajos de medición y reporte de resultados, al menos, una vez cada seis meses.

4.2.3.2 Requerimientos de Reporte.- Se elaborará un reporte con el contenido mínimo siguiente:

- a) Identificación de la fuente fija (Nombre o razón social, responsable, dirección);
- b) ubicación de la fuente fija, incluyendo croquis de localización y descripción de predios vecinos;
- c) nombres del personal técnico que efectuó la medición;
- d) introducción, la cual describirá el propósito y el lugar de la medición, fechas, contaminantes objeto de medición, identificación de observadores presentes, tanto de la fuente como representantes de la Entidad Ambiental de Control (de aplicarse);
- e) resumen de resultados, incluyendo los resultados en sí obtenidos, datos del proceso de combustión, emisiones máximas permitidas para la fuente;
- f) características de operación de la fuente fija, esto es, descripción del proceso y de equipos o técnicas de control o reducción de emisiones (de aplicarse), descripción de materias primas o combustibles utilizados, propiedades relevantes de estos, y cualquier información relevante para con la operación de la fuente;
- g) métodos de muestreo y de análisis utilizados, describiendo la ubicación de los puertos de muestreo y de los puntos de medición al interior de la chimenea, descripción de los equipos y/o accesorios utilizados en la recolección de muestras o medición, procedimientos o certificados de calibración empleados, y una breve discusión de los procedimientos de muestreo y de análisis de resultados seguidos, incluyendo cualquier desviación en el procedimiento, y las debidas justificaciones técnicas;
- h) anexos, los cuales incluirán cualquier información de respaldo.

4.3 De los límites máximos permisibles de emisiones al aire para procesos específicos

4.3.1 Elaboración de cemento

Tabla 6. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de cemento

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES ^[1] |
|----------------------|----------------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales | Horno de clínker | 150 | 50 | mg/Nm ³ |
| | Enfriador de clínker | 100 | 50 | mg/Nm ³ |
| Óxidos de Nitrógeno | -- | 1 800 | 1 300 | mg/Nm ³ |
| Dióxido de Azufre | -- | 800 | 600 | mg/Nm ³ |

Notas:

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

4.3.2 Elaboración de vidrio

Tabla 7. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de vidrio

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES ^[1] |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales | -- | 250 | 200 | mg/Nm ³ |
| Óxidos de Nitrógeno | -- | 1 200 | 1 000 | mg/Nm ³ |
| Dióxido de Azufre | -- | 1 800 | 1 500 | mg/Nm ³ |

Notas:

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno. Esta norma no se aplica cuando se utilice inyección de oxígeno en los quemadores.

4.3.3 Elaboración de pulpa de papel

Tabla 8. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para elaboración de pulpa de papel

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES |
|----------------------|---|--------------------|----------------|-----------------------------------|
| Partículas Totales | Pasta por proceso kraft o por bisulfito | 250 | 150 | mg/Nm ³ ^[1] |
| Dióxido de Azufre | -- | 10 | 5 | kg/ton pasta ^[2] |

Notas:

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C.

^[2] kg/ton pasta: kilogramos por tonelada de pasta.

4.3.4 Fundición de metales

Tabla 9. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para fundición de metales

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES ^[1] |
|----------------------|---|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales | Cubilotes: de 1 a 5 t/h mayor a 5 t/h | 600 | 250 | mg/Nm ³ |
| | | 300 | 150 | mg/Nm ³ |
| | Arco eléctrico: menor 5 t mayor 5 t | 350 | 250 | mg/Nm ³ |
| | | 150 | 120 | mg/Nm ³ |

Notas:

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 7% de oxígeno.

4.3.5 Elaboración de azúcar: equipos de combustión que utilizan bagazo como combustible

Tabla 10. Límites máximos permisibles de emisiones al aire desde combustión de bagazo en equipos de instalaciones de elaboración de azúcar

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|----------------------------------|
| Partículas Totales | -- | 300 | 150 | mg/m ³ ^[1] |

Notas:

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 12% de O₂, en base seca.

4.3.6 Motores de Combustión Interna

Tabla 11. Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna

| CONTAMINANTE EMITIDO | OBSERVACIONES | FUENTES EXISTENTES | FUENTES NUEVAS | UNIDADES ^[1] |
|----------------------|---------------|--------------------|----------------|-------------------------|
| Partículas Totales | -- | 350 | 150 | mg/m ³ |
| Óxidos de Nitrógeno | -- | 2 300 | 2 000 | mg/m ³ |
| Dióxido de Azufre | -- | 1 500 | 1 500 | mg/m ³ |

Notas:

^[1] mg/m³: miligramos por metro cúbico de gas a condiciones normales de de 1 013 milibares de presión y temperatura de 0 °C, corregidos a 15% de O₂, en base seca.

ANEXO

Figura 1. Requisitos para ejecución de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas

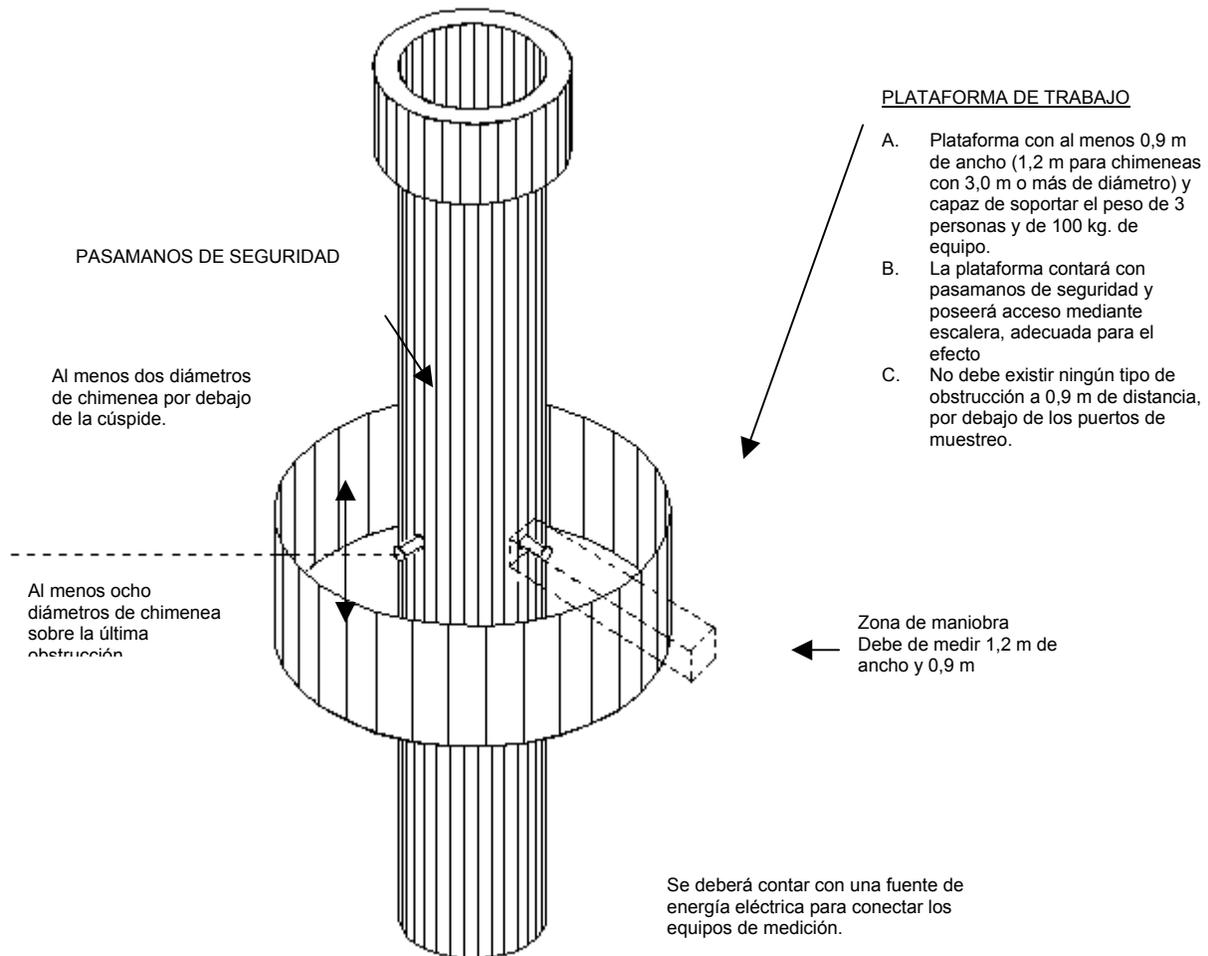


Figura 2. Número de puntos de medición de emisiones al aire desde fuentes fijas

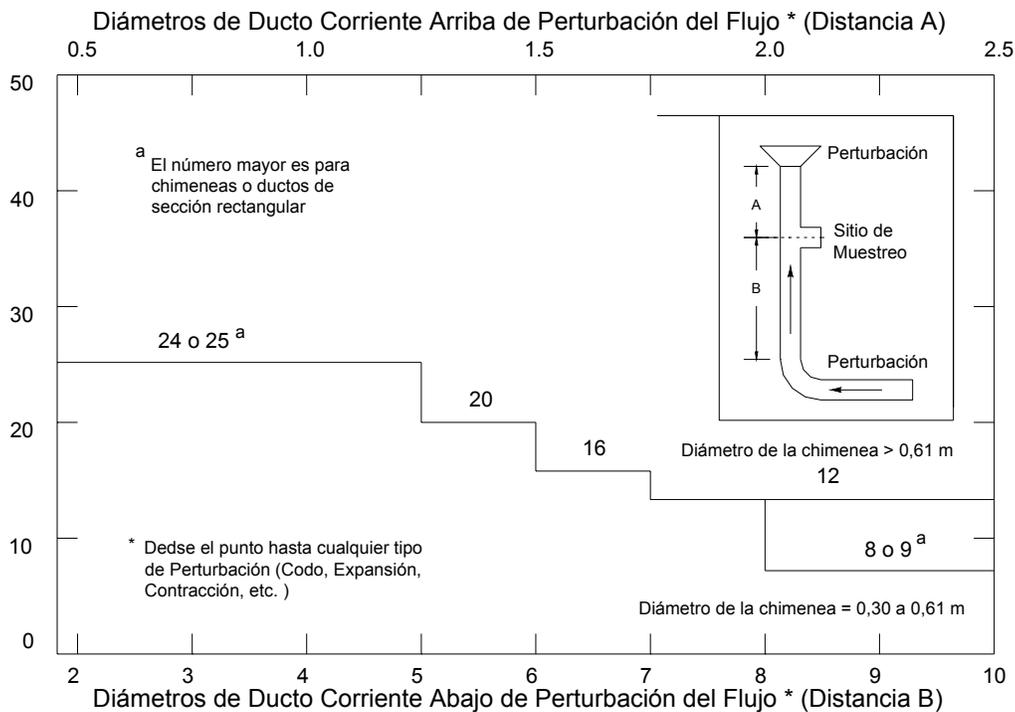
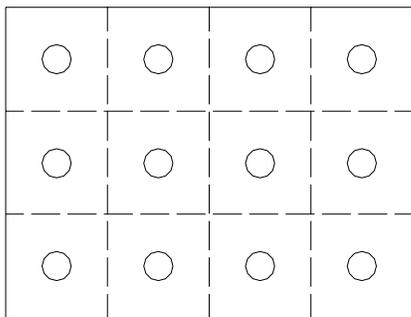


Figura 3. Ejemplo de puntos de medición de emisiones al aire en conducto de sección rectangular (12 áreas iguales con punto de medición en centroide de cada área)



ANEXO 2

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CENIZA PROVENIENTE DE COMBUSTION DE BAGAZO EN CALDERAS DEL INGENIO SAN CARLOS

| Cantero | Muestra | Repeticion | P Hum | P Seco | Hum % | Elemento en base a materia seca | | | | | | Fecha | |
|---------|-------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|---------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| | | | | | | % C | Mo % | N % | P % | K % | Ca % | | Mg % |
| 050204 | ceniza fab. | 1 | 1357,5 | 784,2 | 42,23 | 11,34 | 4,40 | 0,034 | 0,217 | 1,067 | 0,944 | 0,778 | 07/11/2008 |
| 050204 | ceniza fab. | 2 | 1357,5 | 784,2 | 42,23 | 9,89 | 3,29 | 0,040 | 0,215 | 1,067 | 0,880 | 0,744 | 07/11/2008 |
| | | Promedio | 1357,5 | 784,2 | 42,23 | 10,62 | 3,84 | 0,037 | 0,216 | 1,067 | 0,912 | 0,761 | |
| 022103 | ceniza fab. | 1 | 612,8 | 366,6 | 40,17 | 7,14 | 3,13 | 0,035 | 0,188 | 0,868 | 0,904 | 0,719 | 07/11/2008 |
| 022103 | ceniza fab. | 2 | 612,8 | 366,6 | 40,17 | 8,11 | 2,47 | 0,048 | 0,185 | 0,868 | 0,864 | 0,734 | 07/11/2008 |
| | | Promedio | 612,8 | 366,6 | 40,17 | 7,63 | 2,80 | 0,042 | 0,187 | 0,868 | 0,884 | 0,727 | |
| 022303 | ceniza fab. | 1 | 839,3 | 443,1 | 47,20 | 9,39 | 2,70 | 0,071 | 0,183 | 0,868 | 1,032 | 0,646 | 07/11/2008 |
| 022303 | ceniza fab. | 2 | 839,3 | 443,1 | 47,20 | 8,81 | 2,17 | 0,058 | 0,183 | 0,868 | 1,088 | 0,642 | 07/11/2008 |
| | | Promedio | 839,3 | 443,1 | 47,20 | 9,10 | 2,44 | 0,064 | 0,183 | 0,868 | 1,060 | 0,644 | |

ANEXO 3



CIK ESPOI

ANEXO 4

Cronograma Clarificación de Ceniza Construcción y Montaje 1era Etapa

| | Marzo -2010 | | | | | | | | | | | Abril - 2010 | | | | | | | | | | | Mayo -2010 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|--------------|----|---|---|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|
| | V | S | D | L | M | MI | J | V | S | D | L | M | MI | J | V | S | D | L | M | MI | J | V | S | D | L | M | MI | J | V | S | D | L | M | MI | | | | | | |
| | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Nombre de tarea | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.- Construcción y montaje de Estructura y de 2 Celdas de Decantación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| a Suministro de Materiales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| b Fabricación de estructura, pasamanos, plataformas y Escaleras | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| c Montaje de estructura, pasamanos, plataformas y Escaleras | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| d Fabricación de 2 Tanques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| e Montaje de 2 Tanques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f Fabricación de Celdas de Decantación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| g Montaje de Celdas de Decantación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| h Preparación de superficies y estructura | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| i Instalación de D.S.M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

nota: El día Viernes 2 Abril no se labora

Contratista: Freddy Baquerizo C.

ANEXO 5



CIF

| Id | % ROGRAMAD | % REAL EJECUTADC | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | '10 sep | '10 oct | '10 dic | '11 feb | '11 mar | '11 ma | '11 jul | | | | | | | |
|----|------------|------------------|--|-----------|--------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | M | X | J | V | S | D | L | M | X | J | V | S | D | L |
| 1 | 44% | 42% | CLARIFICACION DE AGUA DE LAVADO DE GASES | 35.3 sem. | lun 10-10-04 | mar 11-06-07 | 42% | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 83% | 83% | INGENIERIA | 19.2 sem. | lun 10-10-04 | lun 11-02-14 | 83% | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 100% | 100% | INGENIERA DE PROCESO | 0 sem. | lun 10-10-04 | lun 10-10-04 | ◆ 10-04 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 83% | 83% | INGENIERIA DE DETALLE | 11.6 sem. | jue 10-11-25 | lun 11-02-14 | 83% | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 100% | 100% | TUBERIA DE 12" DE AGUA SUCIA | 1 sem | jue 10-11-25 | mié 10-12-01 | ■ 100% | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0% | 0% | SOPORTE ESTRUCTURAL DE TAMIZ ROT. | 0.2 sem. | lun 11-02-14 | lun 11-02-14 | ■ 0% | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 80% | 56% | COMPRA DE EQUIPOS | 31.8 sem. | lun 10-10-04 | jue 11-05-12 | 56% | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 87% | 82% | EQUIPOS DEL EXTERIOR | 24.2 sem. | lun 10-10-04 | lun 11-03-21 | 82% | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 100% | 100% | PRENSA HIDRAULICA PEDIDO 201070225 | 90 días | lun 10-10-04 | vie 11-02-04 | ■ 100% | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 100% | 100% | TAMIZ ROTATIVO 201069997 | 90 días | mié 10-10-06 | mar 11-02-08 | ■ 100% | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 100% | 35% | BOMBAS DE RECOLECCION DE DRENOS I | 50 días | mar 11-01-11 | lun 11-03-21 | ■ 35% | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 100% | 57% | BOMBAS DE LODOS 20113424 | 50 días | lun 10-12-27 | vie 11-03-04 | ■ 57% | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 100% | 100% | INSTRUMENTOS Y CONTROL 201101135 | 14 días | lun 10-12-27 | jue 11-01-13 | ■ 100% | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 50% | 40% | MATERIALES LOCALES Y EQUIPOS | 20 sem. | lun 10-10-18 | vie 11-03-04 | 40% | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 100% | 100% | TUBERIAS DE 12" Y VALVULAS 201072380 | 2 sem. | lun 10-10-18 | vie 10-10-29 | ■ 100% | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 60% | 30% | TUBERIAS Y VALVULAS PEDIDO 201003428 | 10 días | vie 11-01-28 | jue 11-02-10 | ■ 30% | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 100% | 70% | ESTRUCTURAS Y PLANCHAS 2010090563 | 10 días | lun 10-12-13 | vie 10-12-24 | ■ 70% | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 0% | 0% | CABLES ELECTRICOS | 10 días | lun 11-02-21 | vie 11-03-04 | ■ 0% | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 0% | 0% | VARIADORES DE VELOCIDAD | 10 días | lun 11-02-14 | vie 11-02-25 | ■ 0% | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 23% | 19% | LLEGADA DE EQUIPOS | 27.8 sem. | lun 10-11-01 | jue 11-05-12 | 19% | | | | | | | | | | | | | |

Proyecto: CLARIFICACION DE CE
Fecha: lun 11-11-28

| | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------------------------|--|-----------------------|--|----------------------|--|
| Tareas críticas | | División | | Hito de línea de base | | Resumen del proyecto | |
| División crítica | | Progreso de tarea | | Hito | | Tareas externas | |
| Progreso de tarea crítica | | Línea de base | | Progreso del resumen | | Hito externo | |
| Tarea | | División de la línea de base | | Resumen | | Fecha límite | |

| Id | % ROGRAMAD | % REAL EJECUTADC | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | '10 sep | '10 oct | '10 dic | '11 feb | '11 mar | '11 ma | '11 jul |
|----|------------|------------------|--|-----------|--------------|--------------|---------|---------|------------|---------|---------|--------|---------|
| | | | | | | | M X | J V S | D L | M X | J V S | D L | M X |
| 21 | 0% | 0% | LLEGADA DE EQUIPOS EXTERIOR | 11.5 sem. | lun 11-02-14 | mié 11-05-04 | | | | | | | 0% |
| 22 | 0% | 0% | PRESA HIDRAULICA | 0.5 sem. | lun 11-02-14 | mié 11-02-16 | | | | 0% | | | |
| 23 | 0% | 0% | TAMIZ ROTATIVO | 0.5 sem. | lun 11-03-21 | mié 11-03-23 | | | | 0% | | | |
| 24 | 0% | 0% | BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA DE | 0.5 sem. | lun 11-05-02 | mié 11-05-04 | | | | | | | 0% |
| 25 | 0% | 0% | BOMBAS CENTRIFUGA PARA LODO | 0.5 sem. | lun 11-05-02 | mié 11-05-04 | | | | | | | 0% |
| 26 | 0% | 0% | EQUIPOS DE CONTROL E INSTRUMEN | 0.5 sem. | lun 11-04-04 | mié 11-04-06 | | | | | | | 0% |
| 27 | 0% | 0% | MCC Y VARIADORES DE VELOCIDAD | 0.2 sem. | jue 11-04-28 | jue 11-04-28 | | | | | | | 0% |
| 28 | 24% | 21% | LLEGADA DE MATERIALES Y EQUIPOS LC | 27.8 sem. | lun 10-11-01 | jue 11-05-12 | | | | | | | 21% |
| 29 | 100% | 100% | TUBERIAS DE 12" Y VALVULAS 201072 | 2 sem. | lun 10-11-01 | vie 10-11-12 | 100% | | | | | | |
| 30 | 30% | 5% | TUBERIAS Y VALVULAS PEDIDO 201003428 | 10 días | vie 11-01-28 | jue 11-02-10 | | | 5% | | | | |
| 31 | 10% | 19% | ESTRUCTURAS Y PLANCHAS PEDIDOS 2010090563/ | 11 sem. | lun 11-01-17 | vie 11-04-01 | | | 952000000% | | | | |
| 41 | 0% | 0% | CABLES ELECTRICOS Y BANDEJAS | 10 días | lun 11-03-07 | vie 11-03-18 | | | | 0% | | | |
| 42 | 0% | 0% | VARIADORES DE VELOCIDAD POTENC | 10 días | vie 11-04-29 | jue 11-05-12 | | | | | | | 0% |
| 43 | 0% | 0% | CONSTRUCCIONES CIVILES | 2.4 sem. | lun 11-04-18 | mar 11-05-03 | | | | | | | 0% |
| 44 | 0% | 0% | ADECUACION DE CANALES | 1 sem | lun 11-04-18 | vie 11-04-22 | | | | | | | 0% |
| 45 | 0% | 0% | CONTRAPISO PARA INGRESO DE VOLQUETAS | 1 sem | mié 11-04-27 | mar 11-05-03 | | | | | | | 0% |
| 46 | 0% | 0% | CONSTRUCCIONES METALMECANICAS Y DE EQUIPOS CONTRATISTA LEMA | 6 sem. | lun 11-02-07 | vie 11-03-18 | | | | | | | 0% |
| 47 | 0% | 0% | ESTRUCTURA SOPORTE | 2.5 sem. | lun 11-02-07 | mié 11-02-23 | | | | 0% | | | |
| 48 | 0% | 0% | PLATAFORMAS DE PASILLOS | 1 sem | mié 11-02-23 | mié 11-03-02 | | | | 0% | | | |

Proyecto: CLARIFICACION DE CE
Fecha: lun 11-11-28

| | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------------------------|--|-----------------------|--|----------------------|--|
| Tareas críticas | | División | | Hito de línea de base | | Resumen del proyecto | |
| División crítica | | Progreso de tarea | | Hito | | Tareas externas | |
| Progreso de tarea crítica | | Línea de base | | Progreso del resumen | | Hito externo | |
| Tarea | | División de la línea de base | | Resumen | | Fecha límite | |

| Id | % ROGRAMAD | % REAL EJECUTADC | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | '10 sep | '10 oct | '10 dic | '11 feb | '11 mar | '11 ma | '11 jul |
|----|------------|------------------|---|------------------|---------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------|
| | | | | | | | M X J V S D L | M X J V S D L | M X J V S D L | M X J V S D L | M X J V S D L | | |
| 49 | 0% | 0% | TOLVA DE CENIZA | 3 sem. | mié 11-02-09 | mié 11-03-02 | | | | 0% | | | |
| 50 | 0% | 0% | TANQUE DE RECOLECCION DE DRENOS | 2 sem. | lun 11-02-14 | vie 11-02-25 | | | | 0% | | | |
| 51 | 0% | 0% | FABRICACION DE REJILLAS | 3 sem. | mié 11-02-16 | mié 11-03-09 | | | | 0% | | | |
| 52 | 0% | 0% | DUCTO DE INTERCONEXION ENTRE TAMIZ Y | 3 sem. | lun 11-02-28 | vie 11-03-18 | | | | 0% | | | |
| 53 | 15% | 15% | INSTALACION Y MONTAJE | 15.5 sem. | vie 11-02-11 | mar 11-05-31 | | | | | | | 15% |
| 54 | 0% | 0% | MONTAJE DE ESTRUCTURAS Y PLATAFORMA | 2.6 sem. | mié 11-03-02 | lun 11-03-21 | | | | 0% | | | |
| 55 | 0% | 0% | MONTAJE DE TOLVA DE CENIZA | 2 sem. | mié 11-03-02 | mié 11-03-16 | | | | 0% | | | |
| 56 | 0% | 0% | MONTAJE DE TANQUE DE DRENOS | 1 sem | lun 11-02-28 | vie 11-03-04 | | | | 0% | | | |
| 57 | 0% | 0% | MONTAJE DE TAMIZ ROTATIVO A CARGO DE ISC | 1 sem | mié 11-03-23 | mié 11-03-30 | | | | 0% | | | |
| 58 | 0% | 0% | MONTAJE DE PRENSA HIDRAULICA A CARGO DE ISC | 2 sem. | mié 11-02-16 | mié 11-03-02 | | | | 0% | | | |
| 59 | 0% | 0% | MONTAJE DE DUCTO INTERCONEXION | 1 sem | lun 11-03-21 | vie 11-03-25 | | | | 0% | | | |
| 60 | 33% | 33% | MONTAJE DE TUBERIAS | 9.7 sem. | vie 11-02-11 | mié 11-04-20 | | | | | | | 33% |
| 61 | 100% | 100% | MONTAJE DE TUBERIA DE 12" | 4 sem. | vie 11-02-11 | jue 11-03-10 | | | | 100% | | | |
| 62 | 0% | 0% | TUBERIAS DE LODO AL TAMIZ ROTATIVO | 3 sem. | mié 11-03-30 | mié 11-04-20 | | | | 0% | | | |
| 63 | 0% | 0% | TUBERIAS DE BOMBEO DE DRENOS | 3 sem. | mié 11-03-30 | mié 11-04-20 | | | | 0% | | | |
| 64 | 0% | 0% | TUBERIAS DE AGUA LIMPIA | 2 sem. | mié 11-03-30 | mié 11-04-13 | | | | 0% | | | |
| 65 | 0% | 0% | INSTALACIONES ELECTRICAS | 2.5 sem. | vie 11-05-13 | mar 11-05-31 | | | | | | | 0% |
| 66 | 0% | 0% | INSTRUMENTACION Y CONTROL | 3 sem. | mar 11-05-10 | mar 11-05-31 | | | | | | | 0% |
| 67 | 0% | 0% | PRUEBAS | 1 sem | mar 11-05-31 | mar 11-06-07 | | | | | | | 0% |

Proyecto: CLARIFICACION DE CE
 Fecha: lun 11-11-28

| | | | | | | | |
|---------------------------|--|------------------------------|--|-----------------------|--|----------------------|--|
| Tareas críticas | | División | | Hito de línea de base | | Resumen del proyecto | |
| División crítica | | Progreso de tarea | | Hito | | Tareas externas | |
| Progreso de tarea crítica | | Línea de base | | Progreso del resumen | | Hito externo | |
| Tarea | | División de la línea de base | | Resumen | | Fecha límite | |

ANEXO 6

AVANCE DE MONTAJE Y FABRICACIÓN - PROYECTO PIF-10-11 " SISTEMA LAVADOR DE CENIZAS CALDERAS"

| Plano | Titulo | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | Cantidad | Total Peso | 5/3/2010 | 5/3/2010 | OBSERVACIONES |
|---|--------------------------------|---|--------|----------|------------|---------------|-----------|---------------------------|
| | | | | | | Cantidad real | Peso real | |
| EM-37-6693 | Estructura tamiz | ANGULO L2X2X1/4PG-3,19LB/PIE ASTM A36 (50X50X6MM)* | mt | 42.29 | 201.28 | 18.08 | 86.03 | |
| | | PERFIL IPN 160 ASTM A-36 | mt | 1.25 | 23.09 | 0.00 | 0.00 | |
| | | PERFIL UPN 100X50X6MM ASTM A-36 | mt | 127.95 | 1,023.61 | 32.49 | 259.90 | |
| | | PERFIL W 10x26 A-36 | mt | 17.85 | 690.36 | 17.85 | 690.36 | |
| | | PERFIL W 14x30 A-36 | mt | 51.28 | 2,288.20 | 51.28 | 2,288.20 | |
| | | PLANCHA 3/8PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 7.70 | 576.41 | 0.31 | 23.34 | |
| | | PLANCHA 5/8PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 1.50 | 187.09 | 1.69 | 210.79 | Mayor peso del programado |
| | | PLANCHA-MALLA EXPANDIDA DE 6MM ESP. OJO 40X100 | m2 | 58.39 | 522.59 | 0.00 | 0.00 | |
| EM-37-6705 | Pasillos y pasamanos de celdas | TUBO 300X300X12MM (2C300X150X12MM) A-36 | mt | 38.93 | 4,241.59 | 38.93 | 4,241.59 | |
| | | ANGULO L2X2X1/4PG-3,19LB/PIE ASTM A36 (50X50X6MM)* | mt | 55.00 | 261.80 | 46.75 | 222.53 | |
| | | PERFIL IPN 100 ASTM A-36 | mt | 45.00 | 513.00 | 32.76 | 373.46 | |
| | | PERFIL UPN 100X50X6MM ASTM A-36 | mt | 130.00 | 1,040.00 | 120.00 | 960.00 | |
| | | PERFIL UPN 150 ASTM A-36 | mt | 90.00 | 1,098.00 | 63.00 | 768.60 | |
| | | PLANCHA 1/2PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 0.50 | 49.91 | 0.50 | 49.91 | |
| | | PLANCHA 3/16PGX4X8PS ASTM A36 ANTIDESL.(ASME SA-36 | m2 | 15.00 | 562.50 | 6.20 | 232.50 | |
| | | PLANCHA 3/8PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 0.30 | 16.82 | 0.00 | 0.00 | |
| MC-16-6694 | Tanques de floculante | PLANCHA-MALLA EXPANDIDA DE 6MM ESP. OJO 40X100 | m2 | 60.00 | 537.00 | 29.92 | 267.78 | |
| | | ANGULO L2X2X3/16PG-2,44LB/PIE ASTM A36(50X50X4MM)* | mt | 10.80 | 39.20 | 10.80 | 39.20 | |
| | | ANGULO L3X3X3/8PG-7,20LB/PIE ASTM A36(75X75X10MM)* | mt | 5.60 | 60.02 | 5.60 | 60.02 | |
| | | BARRA REDONDA Diam. 3/8PG SAE-1020 | mt | 2.20 | 1.22 | 0.00 | 0.00 | |
| | | BARRA REDONDA Diam. 5/8PG SAE-1020 | mt | 0.80 | 1.24 | 0.00 | 0.00 | |
| | | BRIDA ACERO-CARBONO 2.1/2PGX150LB P/SOLDAR T/DESIZANT | und. | 2.00 | 6.40 | 0.00 | 0.00 | |
| | | BRIDA ACERO-CARBONO 2PGX150LB P/SOLDAR T/DESIZANT | und. | 2.00 | 4.60 | 0.00 | 0.00 | |
| | | CODO ACERO-CARBONO 2.1/2PGX90° P/SOLD.A-234 CED-40 | und. | 4.00 | 4.16 | 0.00 | 0.00 | |
| MC-16-6699 | Tanque de lodo | ESPARRAGO ACERO 3/4X3.1/4PG CON DOS TUERCAS R/CORRIENTE | und. | 40.00 | 7.16 | 0.00 | 0.00 | |
| | | JUNTA #1/6" Diam. 20" PAP. HIDR | m2 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | PERFIL UPN 100X50X6MM ASTM A-36 | mt | 6.80 | 54.40 | 6.80 | 54.40 | |
| | | PLANCHA 1/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 0.98 | 48.92 | 0.98 | 48.92 | |
| | | PLANCHA 3/16PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 39.97 | 1,492.56 | 39.97 | 1,492.56 | |
| | | PLANCHA 5/16PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 0.98 | 61.14 | 0.98 | 61.14 | |
| | | TORNILLO MAQ. Diam. 1/2"x30mm | und. | 8.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | TUBO 12PG Sch.20 ACERO A-106 | mt | 0.80 | 93.60 | 0.80 | 93.60 | |
| | | TUBO ACERO-CARBONO 2.1/2PG S/COSTURA CED-40 STAND | mt | 0.80 | 6.90 | 0.00 | 0.00 | |
| | | TUBO ACERO-CARBONO 2PG S/COSTURA CED-40 STAND | mt | 0.40 | 2.16 | 0.00 | 0.00 | |
| | | TUERCA HEX. Diam. 1/2" | und. | 8.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | | UNION ACERO-CARBONO 1.1/2PGX3000PSI C/ROSCA (COPL) | und. | 2.00 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | |
| | | UNION ACERO-CARBONO 1/2PGX3000PSI C/ROSCA (COPL) | und. | 4.00 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | |
| | | ANGULO L3X3X1/4PG-4,90LB/PIE ASTM A36 (75X75X6MM)* | mt | 7.88 | 48.06 | 0.00 | 0.00 | |
| | | ANGULO L4X4X1/4PG-6,60LB/PIE ASTM A36 (100X100X6MM | mt | 7.07 | 69.30 | 0.00 | 0.00 | |
| | | BRIDA ACERO-CARBONO 2PGX150LB P/SOLDAR T/DESIZANT | und. | 1.00 | 2.30 | 0.00 | 0.00 | |
| BRIDA ACERO-CARBONO 6PGX150LB P/SOLDAR T/DESIZANT | und. | 3.00 | 25.80 | 0.00 | 0.00 | | | |
| PLANCHA 1/2PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 0.09 | 8.78 | 0.00 | 0.00 | | | |
| PLANCHA 3/16PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 15.12 | 564.64 | 0.00 | 0.00 | | | |
| TUBO 10PG Sch.40 ACERO A-106 | mt | 0.30 | 18.24 | 0.00 | 0.00 | | | |
| TUBO 6PG Sch.40 ACERO A-106 | mt | 0.60 | 16.92 | 0.00 | 0.00 | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------------|---|------|------------------|----------|--|-----------|----------|---------------------------|
| | | TUBO ACERO-CARBONO 2PG S/COSTURA CED-40 STAND | mt | 0.20 | 1.08 | | 0.00 | 0.00 | |
| | | UNION ACERO-CARBONO 1.1/2PGX3000PSI C/ROSCA (COPLA) | und. | 1.00 | 0.53 | | 0.00 | 0.00 | |
| | | | | 1.00 | 0.70 | | 0.00 | 0.00 | |
| EM-37-6687 | Estructura celda | PERFIL UPN 100X50X6MM ASTM A-36 | mt | 73.41 | 587.26 | | 73.41 | 587.26 | |
| | | PERFIL W 14x61 A-36 | mt | 63.56 | 5,767.43 | | 63.56 | 5,767.43 | |
| | | PLANCHA 1/2PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 0.86 | 85.45 | | 0.86 | 85.45 | |
| | | PLANCHA 1/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 2.34 | 116.61 | | 2.34 | 116.61 | |
| | | PLANCHA 3/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 2.00 | 299.46 | | 3.38 | 506.09 | Mayor peso del programado |
| | | PLANCHA 3/8PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 21.31 | 1,594.56 | | 6.00 | 448.92 | Solo se requiere 6m2 |
| | | TUBO 300X300X12MM (2C300X150X12MM) A-36 | mt | 56.31 | 6,135.76 | | 56.31 | 6,135.76 | |
| | | VIGA "C" UPN 300MM ASTM A-36 | mt | 18.80 | 868.56 | | 18.80 | 868.56 | |
| MC-16-6682 | Celda, piezas para fabricación | PLANCHA 1/2PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 3.34 | 333.00 | | 3.34 | 333.00 | |
| | | PLANCHA 1/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 185.97 | 9,283.38 | | 185.97 | 9,283.38 | |
| MC-16-6683 | Celda - salida de fondo | PLANCHA 1/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 4.20 | 209.67 | | 4.20 | 209.67 | |
| MC-16-6685 | Celda - caja de entrada | PLANCHA 1/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 13.14 | 656.17 | | 13.14 | 656.17 | |
| MC-16-6688 | Celda - corte de perfiles | ANGULO L2.1/2X2.1/2X1/4PG-4,10LB/PIE ASTM A36* | mt | 7.79 | 47.53 | | 7.79 | 47.53 | |
| | | ANGULO L3X3X3/8PG-7,20LB/PIE ASTM A36(75X75X10MM)* | mt | 143.92 | 1,542.87 | | 143.92 | 1,542.87 | |
| | | PERFIL UPN 150X50X9MM ASTM A36 LAMINAD.E/CALIENTE | mt | 24.00 | 464.48 | | 24.00 | 464.48 | |
| | | TUBO ACERO-CARBONO 3PG S/COSTURA CED-40 P/SOLDAR | mt | 15.54 | 175.34 | | 15.54 | 175.34 | |
| | | VIGA "C" UPN 300MM ASTM A-36 | mt | 18.80 | 868.56 | | 18.80 | 868.56 | |
| MC-16-6690 | Celda - vertedero | PLANCHA 1/4PGX4X8PS ASTM A36(SAE-1010)(ASME SA-36* | m2 | 1.56 | 77.88 | | 1.56 | 77.88 | |
| S/N | Detalle pasamanos | MALLA ELECTRO SOLDADA 80X80X4 | m2 | 180.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | |
| | | TUBO ACERO-CARBONO 1.1/4PG CED-10 2MM ESPES.PARED* | mt | 400.00 | 660.00 | | 0.00 | 0.00 | |
| | | | | Total programado | | | 46,249.95 | Avance | 40,699.80 |

| | | | | |
|-----------------------|------|-----------|------|-----------|
| Montaje y fabricación | 90% | 41,624.96 | 90% | 36,629.82 |
| Soldaduras | 6% | 2,775.00 | 6% | 2,441.99 |
| Pintura | 4% | 1,850.00 | 4% | 1,627.99 |
| | 100% | 46,249.95 | 100% | 40,699.80 |

| | |
|--|------------------|
| PORCENTAJE DE AVANCE DE FABRICACIÓN Y MONTAJE | 79.20% |
| PORCENTAJE DE AVANCE DE SOLDADURA | 3% |
| PORCENTAJE DE AVANCE DE PINTURA | 1% |
| TOTAL AVANCE HASTA EL 03 DE MAYO DEL 2010 | 83.20% |
| AVANCE EN Kg HASTA EL 03 DE MAYO DEL 2010 | 38,479.82 |

ANEXO 7

OBSERVACIONES:

Atte. Ing. Julio Viqueza
Joduce San Carlos

GUÍA DE REMISIÓN N° 004-001-

0026559

GUÍA DE DESPACHO

GUÍA DE REMISIÓN N° 004-001-

0026559

GUÍA DE DESPACHO

SELLO DE SEGURIDAD

5720

AUTORIZACIÓN SRI N°

1107483964



HORMIGONES HERCULES S.A.

PLANTA DURÁN:

Fincas Agrícolas Vacacionales, Av. Tercera 19-20-21 y Av. Tanasa
Vía Durán - Tambo • Telf.: (593-4) 280-1103 • Durán - Ecuador

OFICINA-VENTAS: Av. Francisco de Orellana 2205 y Linderos
Edif. As-1 - 1º Piso - Ofic. 101, Cdla IETEL, Mz. 32
Telf.: (593-4) 223-9111 - Fax: (593-4) 223-1953

e-mail: ventas@hohesa.com.ec

www.hohesa.com.ec

Guayaquil - Ecuador

RUC 0990339392001

Fecha:

Contribuyente Especial
Resolución N° 6925 del 04/julio/1995

Mixer N°

Motivo de Traslado: Otros (Suministros en proceso de ejecución y aceptación)

CLIENTE:

SOC. AGRIC. E INDUS. SAN CARLOS

RUC o C.I.:

0990026440001

OBRA:

SOC. AGRICOLA IND. SAN CARLOS

DIRECCIÓN LLEGADA:

CANTÓN MARDELINO MARIDUENA, (SAN CARLOS)

F. D. 2

TRANSPORTADO POR:

(040) LEON JUAN

(01363-002)B-17 Z-2 F-01 H2S1----- 1.67R1

CARACTERÍSTICAS

*1 MPa = 10.2 kg/cm²

Resistencia Especificada

F'c 280

28.0

MP a*

Aditivos

RI

Otros

STANDARD-28

Revenimiento

100

mm

Agua en Planta

PIEDRA : 3

l

Sobreacarreo

Peaje

Agua en Obra

Reven. Modificado

mm

Autorizado por:

Firma

EL PRODUCTO EN PROCESO transportado con esta Guía de Remisión, será sujeto de facturación luego de su aceptación y recepción en obra.
FAVOR LEER CONDICIONES DE SUMINISTRO AL REVERSO.

Vto. Bno. recibido en obra
Conformidad resistencia solicitada.

Total Pedido:

15.00

Esta Entrega

7.50

Por Entregar

7.50

CONTROL DE TIEMPO

Salida de Planta

10:00

Llegada a Obra

09:54

Inicio Vaciado

10:10

Término Vaciado

11:00 AM

Salida de Obra

10:25

Llegada a Planta

12:33

DISTANCIA

Emilio Medina (Y.B.)
Despachado por

CONTABILIDAD CONTROL

Forma 023-C

Impreso por POLIGRAFICA C.A. Telf.: (02) 2504184, Quito - (04) 2566733, Guaji. • RUC 0990159436001 • Jul.11.22 • 4P. • 2.000 U. • 0252601 - 027200 - 06102009 • Valido hasta Octubre 2010

HOJA DE CONTROL CLARIFICADOR DE CENIZA - AGUA ALIMENTACIÓN CALDERAS

FECHA: 26 de Noviembre 2011

TURNO: SEGUNDO

RESPONSABLE: Tcnlgo Lucin Javier

| CELDA DE CENIZA | CELDA A | | CELDA B | |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 1 | Muestra 2 |
| Hora toma de muestra | 16:00 | 21:00 | 16:00 | 21:00 |
| Concentración entrada ppm | 5620 | 6390 | 3490 | 3670 |
| Concentración salida ppm | 0 | 0 | 0 | 5 |
| Ph | 8.13 | 8.17 | 8.2 | 8.07 |
| Remoción % | 100 | 100 | 100 | 99.9 |
| Apert. válvula entrada agua % | 100 | | 100 | |
| Altura de saturación cm | 80 | | | |
| Hora salida de celda | 21:30 | | | |
| Hora entrada celda | 22:35 | | | |
| Ciclo de celdas seg | 98 | | 98 | |
| Tiemp. apert. válvula purga(seg) | 10 | | 13 | |
| Válvula de purga con pase | no | si | no | si |

| PRENSA HIDRÁULICA | Prensa | |
|-------------------------------|--------|------|
| Tiempo de llenado seg. | 40 | |
| Tiempo de Prensado seg. | 30 | |
| Presión de prensado Kg | | |
| Nivel de aceite | ok | bajo |
| Lubricación de rieles | ok | |
| Holgura rieles-cilindro móvil | | |
| Sellado soporte pistón | ok | |
| Agua recuperada -Tanque 5 | si | no |
| Prensa - By paseada | si | no |

| FLOCULANTE | Tanque 1 | | Tanque 2 | |
|------------------------------|----------|----|----------|------|
| Hora preparación | | | | |
| Dosificación Kg | | | | |
| Hora de entrada | | | 16:40 | |
| Agitador-mec. Operando | no | si | no | si |
| Agitador-aire operando | no * | si | no | si |
| Bomba 1 Operando | no | si | no * | si |
| Bomba 2 Operando | no | si | no | si * |
| Limpieza tanque-hora | | | | |
| Concentración del floculante | | | 0.14% | |

| SIST. DE LODO | Bomba 1 | Bomba 2 |
|------------------|---------|---------|
| Velocidad RPM. | | 1420 |
| Nivel Tanque 4 | | 60% |
| Set-point Tanque | 70% | |

| OBSERVACIONES |
|--|
| * Se hizo limpieza de la celda "A" se lubrico la prensa hidráulica |
| * El floculante queda con una concentración de 0.14 % con una dosificación de 7.2 Kg. |

| AGUA LIMPIA | Bomba 1 | Bomba 2 |
|-------------------|---------|---------|
| Presión psi. | 48 | |
| Set-point Presión | 54 | 50 |
| Set-point Nivel | 65 | 60 |

| DESARENADOR | Operando | |
|-------------|----------|-----|
| Bomba 1 | si * | no |
| Bomba 2 | si | no* |
| Desarenador | si * | no |

| Agua recuperada -T5 | Bomba 1 | Bomba 2 |
|---------------------|---------|---------|
| Velocidad RPM. | 1580 | |
| Nivel Tanque 5 | 56% | |
| Set-point Tanque 5 | 65 | |

| LAVADOR DE GASES | A | B | C | D | E | F | Temp. °F |
|---------------------------|----|----|----|----|----|---|----------|
| Lavador de gases # 2 psi. | 34 | 34 | | | | | |
| Lavador de gases # 7 psi. | 25 | 25 | 25 | 3 | 3 | | 213 |
| Lavador de gases # 8 psi. | 34 | 34 | 32 | 20 | 20 | | 220 |

| Make-up Agua Caldera | Operando | |
|---------------------------------|----------|---|
| Planta desmineralizadora | 1 | 2 |
| Regenerando planta desminerali. | 1 | 2 |
| Ablandadores de agua | 1 | 2 |
| Regenerando Ablandadores | 1 | 2 |

| Niveles | Ft. |
|----------|-----|
| Tanque 1 | 13 |
| Tanque 2 | 14 |
| Tanque 3 | 20 |
| Tanque 4 | 21 |

| DIAGNOSTICO GENERAL DE AGUA | Tanque | | OBSERVACIONES | | |
|-----------------------------|--------|------|---------------|--------|-------------|
| CONDENSADA | Conta | Ph | Fe | Prueba | Serv. Gener |
| Cuadro 1 | | 6.24 | 3.42 | | * |
| Cuadro 2 | | | | | * |
| Cuadro 3 | | 3.98 | 4.22 | | * |
| Cuadro 4 | | | | | * |
| Cuadro 5 | | 3.95 | 3.81 | | * |
| Tanque 1 | | 7.12 | 1.04 | | * |
| Tanque 2 | | 7.86 | 0.79 | | TACHOS |
| Tachos 1-2-3-4-7 | | 8.3 | 0.5 | | * |
| Tachos 5-6-9 | | 8.35 | 0.56 | | * |
| Tacho continuo | | | | | |

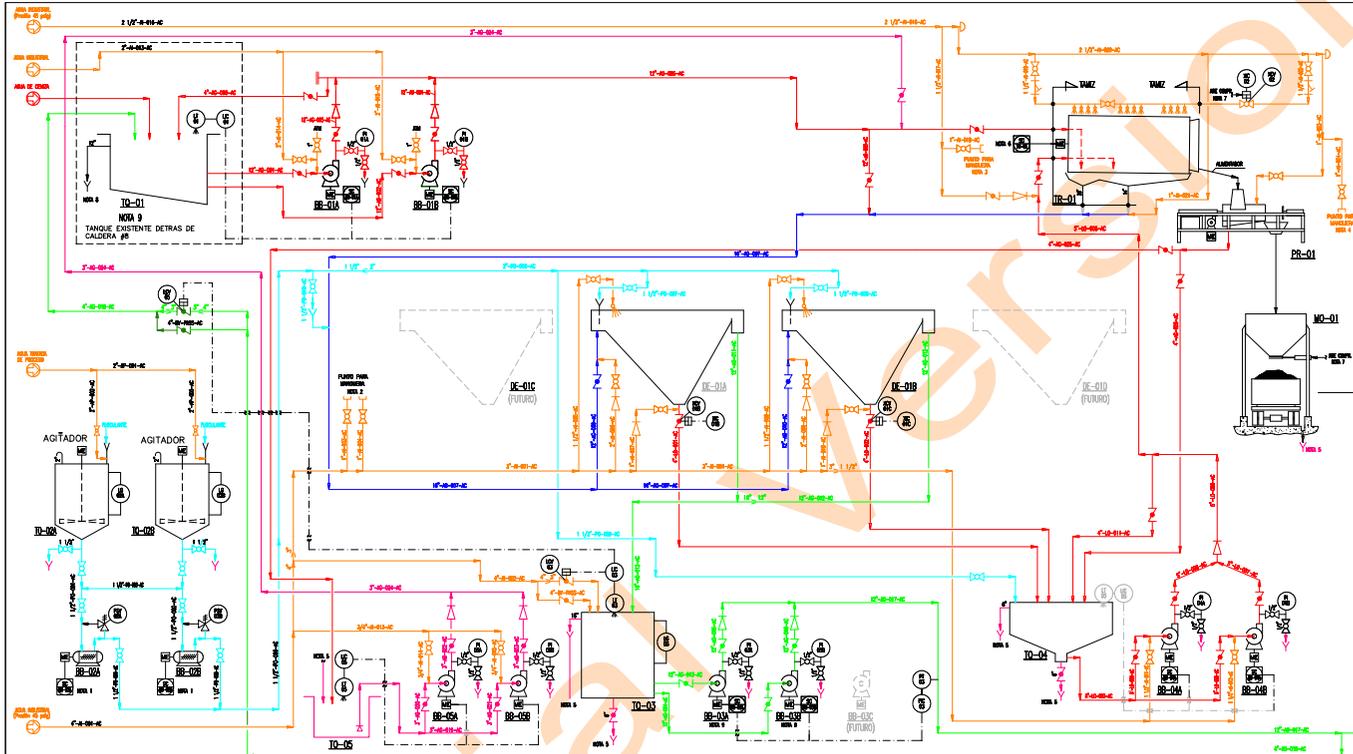
*** Se entrego la guardia con los tanques y el desaireador sin sacarosa ni dureza**

DESAIREADOR:

15:00 PH =7.59 Fe =0.48

19:00 PH =8.75 Fe =0.36

22:45 PH =9.26 Fe =0.03



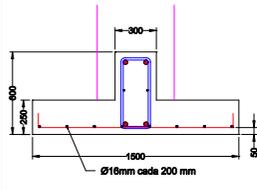
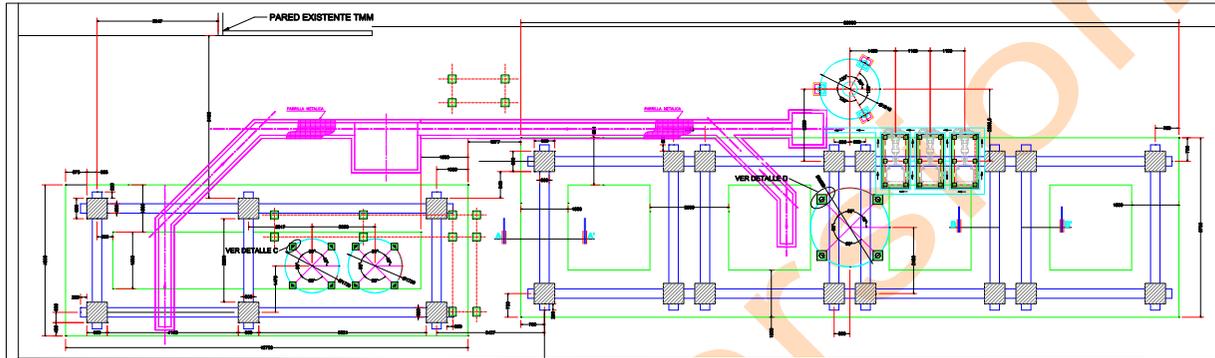
NOTAS

- 1 - AJUSTE MANUAL DE FLUJO A TRAVÉS DE INVERSOR DE FRECUENCIA.
- 2 - PUNTO DE MUESTRA PARA LONDO, SENDO FONDO LOCALIZADO EN EL PISO INTERIOR Y FONDO LOCALIZADO EN EL PISO SUPERIOR DE SEPARACIÓN.
- 3 - PUNTO DE MUESTRA PARA LIMPIEZA DEL TANQUE RECIBO BI-01.
- 4 - PUNTO DE MUESTRA PARA LIMPIEZA DE LA PRESA PR-01.
- 5 - CORRENTES DE ENLACE DEBEN SER DIRECCIONADAS PARA TO-05.
- 6 - AJUSTE MANUAL DE SELECCIÓN DE BI-01 ATRAVÉS DE INVERSOR DE FRECUENCIA.
- 7 - AJUSTE CONTROLADO Y SELECCIÓN PARA ACCIONAMIENTO DE CONTROL.
- 8 - PARA DETENTE DEL SISTEMA.
- 9 - EQUIPOS EXISTENTES Y QUE SERÁN APROVECHADOS.

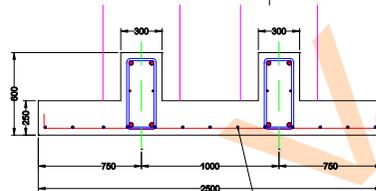
SIMBOLOGÍA

- VÁLVULA INVERTIDA
 - VÁLVULA DE CONTROL
 - ABIERTO
 - VÁLVULA DE BOLA ABIERTA
 - VÁLVULA DE RETENCIÓN
 - TANQUE DE FLOCCULANTE
-
- █ AGUA CON CENIZA
 - █ AGUA CON CENIZA TAMIZADA
 - █ FLOCCULANTE
 - █ AGUA TRATADA PARA CALDERAS
 - █ AGUA DE DRENAJE (CON CENIZA)
 - █ AGUA INDUSTRIAL O DE PROCESO
 - INSTALACIÓN FUTURA

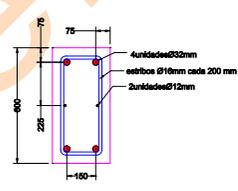
| | | |
|---|---|--|
| FIMCP - ESPOL | | FECHA: 06/05/2012 |
| PROYECTO: NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA | | PLANO No: 1 |
| | ESCALA: N/A | DETALLE: DIAGRAMA DE PROCESO |
| HOJA: 1/1 | TESISTA: JULIO ALEXANDER VIZUETA MÉNDEZ | |
| | | REVISIÓN: 0 |



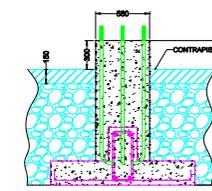
SECCION A-A' (BASE DE H.A.)
ESC 1:36



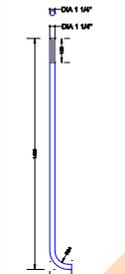
SECCION B-B' (BASE DE H.A.)
ESC 1:36



DETALLE DE RIORSTRA
ESC 1:25



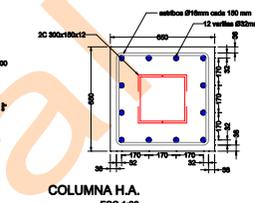
DETALLE DE COLUMNA
ESC 1:50



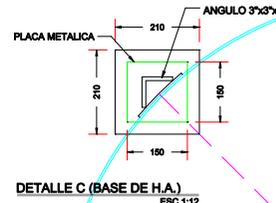
PLACA METALICA
ESC 1:30



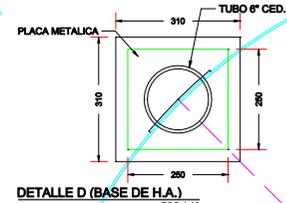
PLANTA PERNO
ESC 1:30



COLUMNA H.A.
ESC 1:30



DETALLE C (BASE DE H.A.)
ESC 1:12

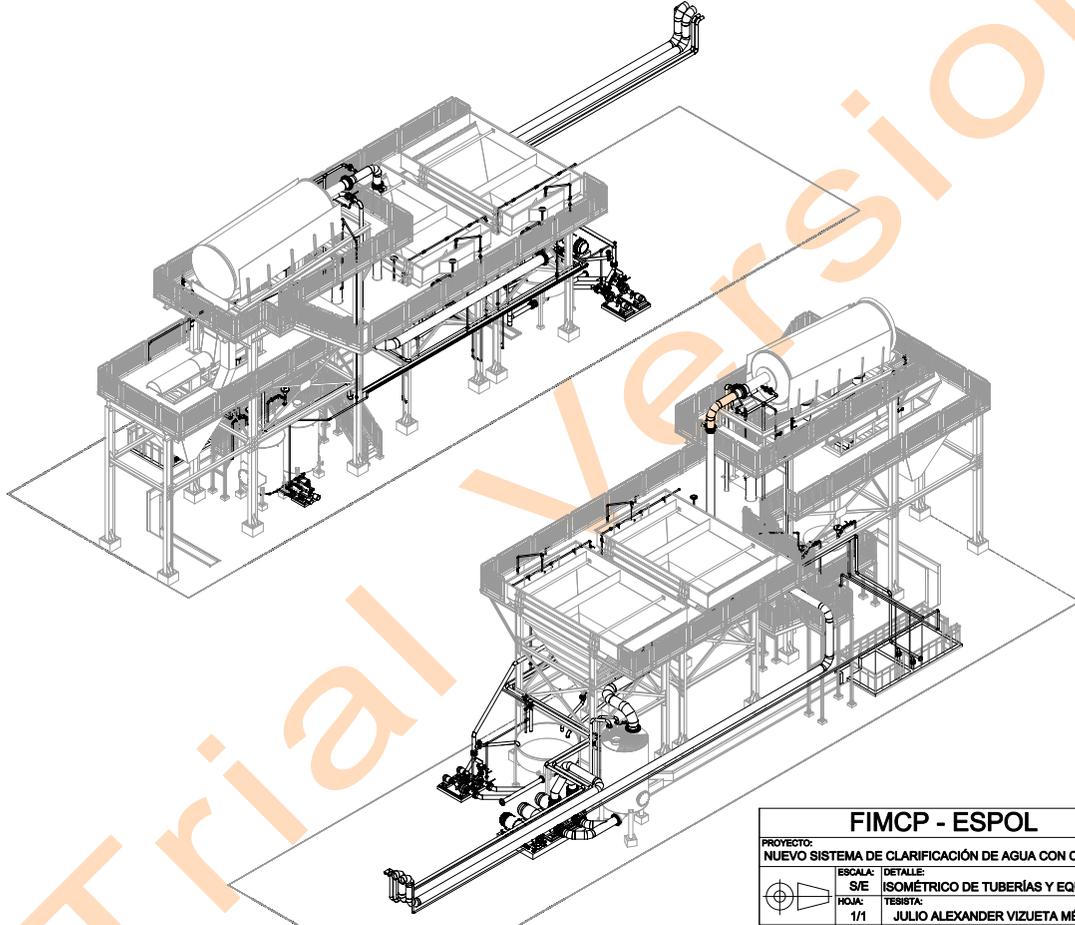


DETALLE D (BASE DE H.A.)
ESC 1:12

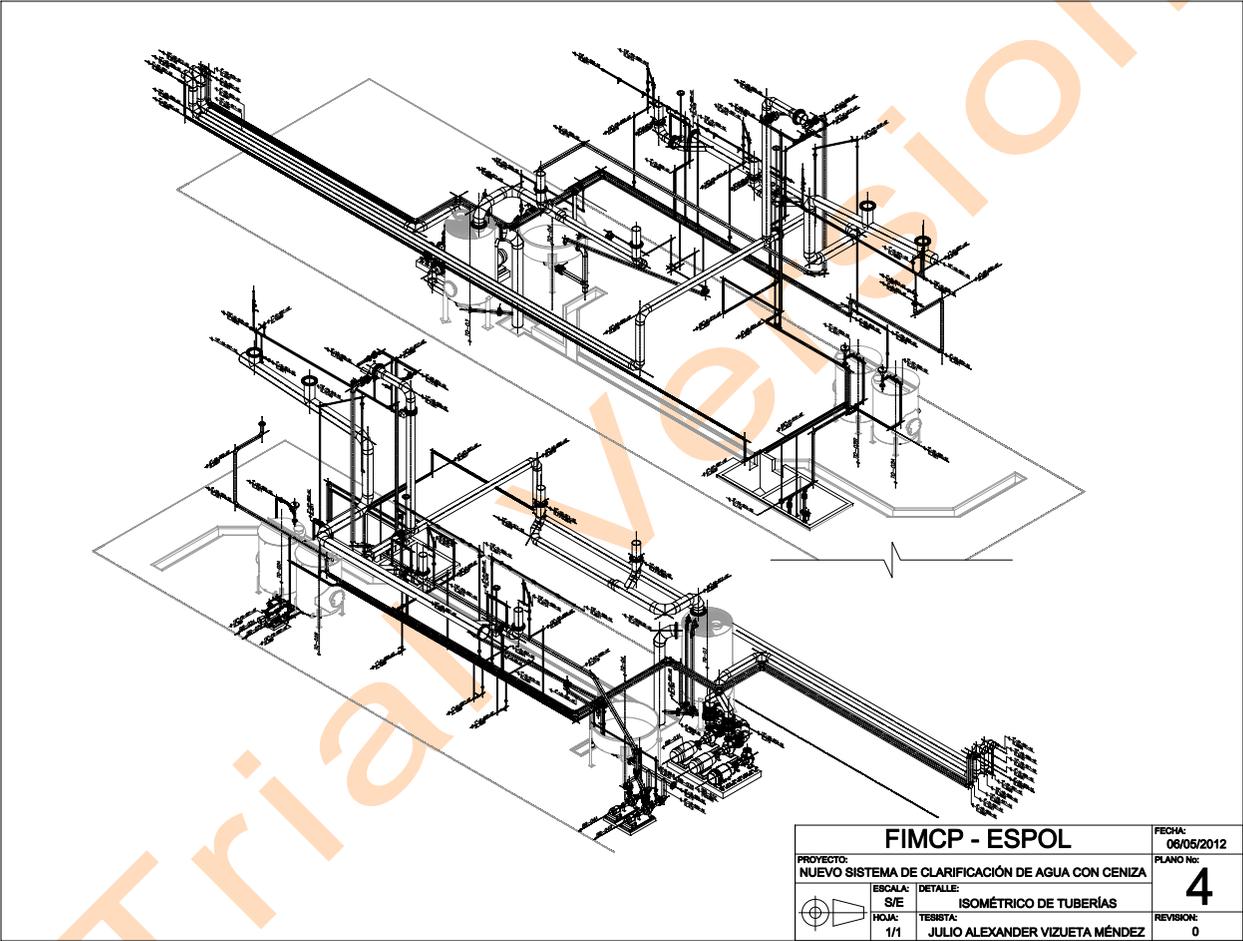
| ESPECIFICACIONES TECNICAS |
|--|
| ACERO REFORZANTE: A-60, 6-2000 kg/m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: A-60, 6-2000 kg/m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: 6-2000 kg/m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: 6-2000 kg/m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: 6-2000 kg/m ³ |

| VOLUMENES DE FORMACION |
|---|
| CONCRETO: 1.00 m ³ |
| ACERO REFORZANTE: 1.00 m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: 1.00 m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: 1.00 m ³ |
| ACERO DE REFORZADO: 1.00 m ³ |

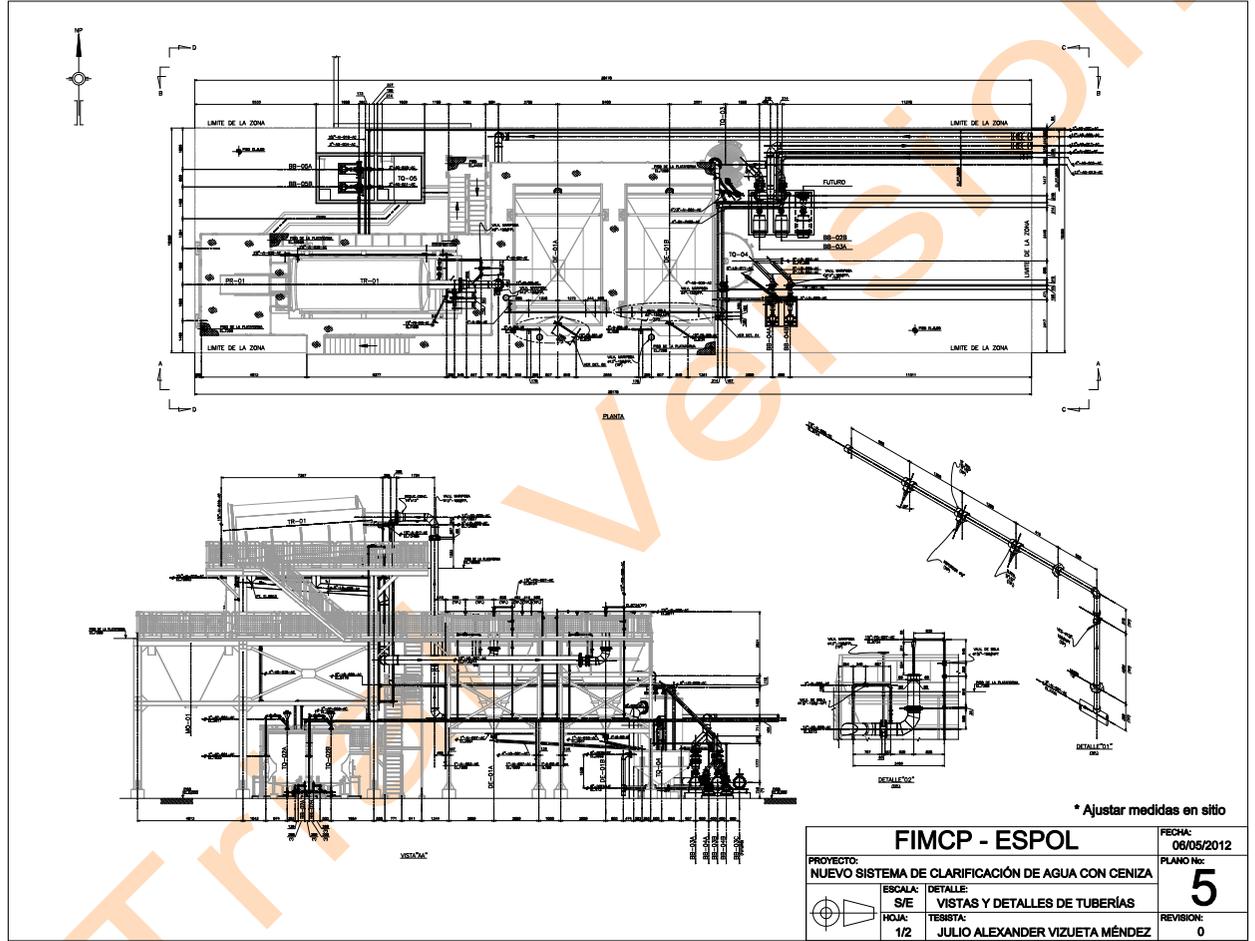
| | | |
|--|------------------------------|-----------------------|
| FIMCP - ESPOL | | FECHA: 06/05/2012 |
| PROYECTO: NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA | ESCALA: DETALLE: INDICADA | PLANO No: 2 |
| HOLIA: 1/1 | TITULO: OBRA CIVIL | REVISION: 0 |
| AUTOR: JULIO ALEXANDER VIZUETA MÉNDEZ | | |



| | | |
|--|---|-----------------------|
| FIMCP - ESPOL | | FECHA: 07/05/2012 |
| PROYECTO: NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA | | PLANO No: 3 |
| ESCALA: S/E HOJA: 1/1 | DETALLE | REVISIÓN: 0 |
| | ISOMÉTRICO DE TUBERÍAS Y EQUIPOS | |
| | TECIBETA: JULIO ALEXANDER VIZUETA MÉNDEZ | |

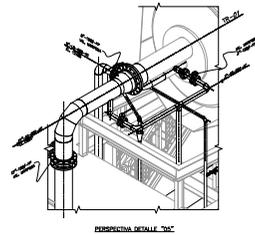
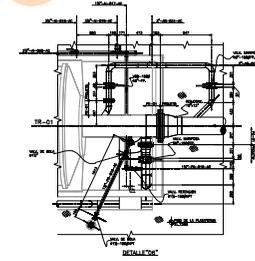
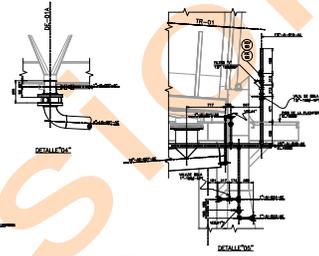
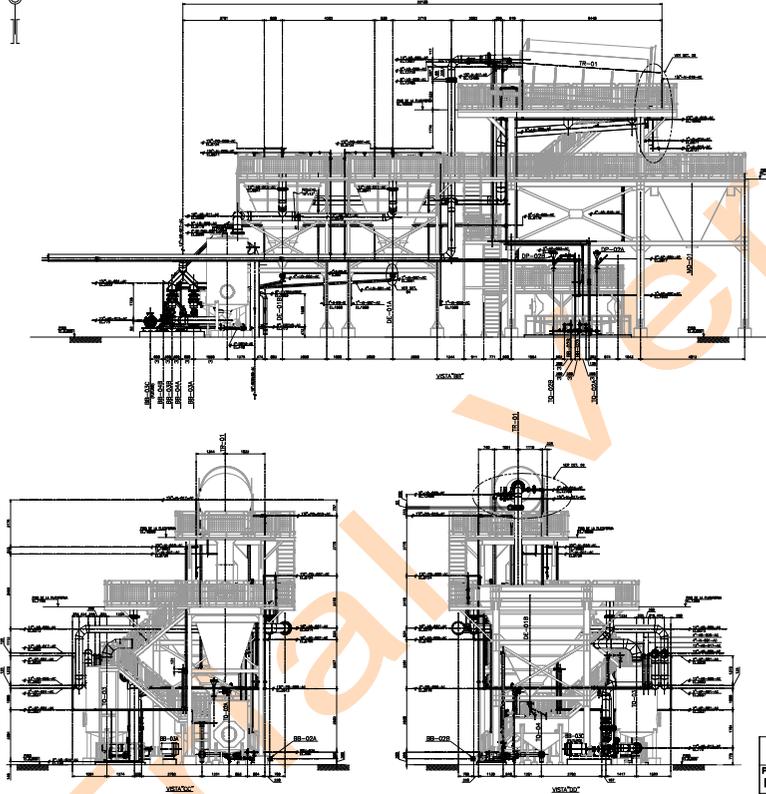


| | | |
|--|---|-----------------------|
| FIMCP - ESPOL | | FECHA: 08/05/2012 |
| PROYECTO: NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA | | PLANO No: 4 |
| ESCALA: S/E | DETALLE: ISOMÉTRICO DE TUBERÍAS | REVISOR: 0 |
| HOJA: 1/1 | TERRISTA: JULIO ALEXANDER VIZUETA MÉNDEZ | |



* Ajustar medidas en sitio

| | | |
|--|----------------|---|
| FIMCP - ESPOL PROYECTO: NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA | | FECHA: 08/05/2012 |
| | | PLANO No: 5 |
|  | ESCALA: S/E | DETALLE: VISTAS Y DETALLES DE TUBERÍAS |
| | HOJA: 1/2 | |
| | | REVISIÓN: 0 |



| | | |
|--|---|-----------------------|
| FIMCP - ESPOL | | FECHA: 08/05/2012 |
| PROYECTO: NUEVO SISTEMA DE CLARIFICACIÓN DE AGUA CON CENIZA | | PLANO No: 5 |
| ESCALA: S/E | DETALLE: VISTAS Y DETALLES DE TUBERÍAS | REVISIÓN: 0 |
| HOJA: 2/2 | TECNICISTA: JULIO ALEXANDER VIZUETA MÉNDEZ | |