



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**OPTIMIZACIÓN OPERATIVA DE UN SISTEMA
DE INCINERACIÓN DE DESECHOS
LÍQUIDOS**

**INFORME DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
I N G E N I E R O Q U Í M I C O
P R E S E N T A
J. JACINTO ARTURO TALANCÓN BLANCAS**



**MÉXICO, D. F. EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA 2004**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente : Dr. Antonio Valiente Barderas

Vocal : I. Q. José Antonio Ortiz Ramírez

Secretario : I. Q. Humberto Rangel Dávalos

1er Suplente : I. Q. Pedro Roquero Tejeda

2do Suplente : I. Q. Ramón Ramírez Martinell

Este trabajo fue realizado en una de las plantas de una compañía química de la que se omite el nombre por cuestiones confidenciales.

Asesor del Tema :


I. Q. José Antonio Ortiz Ramírez

Sustentante :


J. Jacinto Arturo Talancón Blancas

Dedico ese trabajo a mi esposa, Bibiana, con todo mi amor y profundo agradecimiento por su constante motivación sin la cual no hubiera sido posible concretar este reporte

Agradezco a mi padre y especialmente a mi madre por que me inculcaron el sueño de estudiar una carrera y me apoyaron para completarla

A mis hermanos, Jesús, Rubén, Carmen, Antonieta e Isaac les dedico este reporte con cariño como un recuerdo del tiempo que convivimos mientras estudiaba

Agradezco de todo corazón a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria

Mi más sincero agradecimiento a todos mis compañeros de trabajo por el apoyo que recibí durante el desarrollo del proyecto de construcción de las plantas nuevas

Finalmente, mi más grande agradecimiento al Ingeniero Antonio Ortiz por toda su ayuda para completar este trabajo de titulación

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la optimización operativa de un sistema existente de incineración de desechos líquidos generados en procesos operativos de una planta química. El trabajo era de particular interés ya que permitiría disponer en este sistema de desechos adicionales que serían generados por dos plantas que serían construidas.

El alcance de la optimización consistió en recuperar la capacidad de incineración del sistema, la cual se había deteriorado con el paso del tiempo debido a problemas operativos y de diseño, evaluando distintas opciones e implementando la de mayores posibilidades de éxito y con un costo financiero adecuado.

Para desarrollar el alcance de las modificaciones requeridas para solucionar los problemas del sistema de incineración fue necesario hacer entrevistas a los responsables de la operación, realizar pruebas de incineración, pruebas de laboratorio, analizar los desechos, y efectuar los cálculos de ingeniería correspondientes para dimensionar equipo mayor.

La solución encontrada modificó la forma de manejo y disposición de los desechos ya que fue necesario segregar las corrientes, pretratar algunas y enviar sólo un tipo de corrientes a otros sistemas de incineración de vapores.

Las modificaciones mecánicas y administrativas fueron terminadas dentro del plazo comprometido por el grupo del proyecto. Al término del proyecto, pruebas oficiales demostraron que la capacidad fue restablecida hasta alcanzar nuevamente el flujo de alimentación de 13.6 gpm cumpliendo con la norma de emisiones respectiva para fuentes fijas (Norma Oficial Mexicana 085 SEMARNAT – 1994)

I N D I C E

	Página
Resumen	v
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes del Sistema de Incineración de Líquidos.....	2
3. Sistema de Incineración de Líquidos.....	4
3.1. Colección y Almacenamiento de desechos líquidos.....	5
3.2. Alimentación de desechos al incinerador.....	5
3.3. Combustión de los desechos.....	7
3.4. Atemperamiento de los gases de combustión.....	7
3.5. Lavado de gases de combustión.....	8
3.6. Eliminación de Partículas en Suspensión.....	8
3.7. Emisión de gases a la atmósfera.....	9
4. Área de Oportunidad de Mejora del Incinerador de Líquidos.....	10
4.1. Objetivo del Proyecto de Restauración de la capacidad del SIL.....	10
4.2. Plan de Trabajo.....	11
5. Necesidades de Incineración de Desechos Químicos.....	12
5.1. Generación Presente y Futura de Desechos.....	12
5.2. Capacidad Existente de Incineración.....	12
6. Alternativas Preliminares para satisfacer necesidades de Incineración.....	15
6.1. Instalar un sistema de incineración de líquidos nuevo.....	15
6.2. Incrementar la capacidad del incinerador de líquidos hasta 25 gpm....	15
6.3. Restablecer la máxima capacidad del Incinerador de Líquidos.....	16
7. Actividades Desarrolladas.....	18
7.1. Caracterización de los Desechos Líquidos.....	18
7.2. Identificación de la Problemática Operacional del Incinerador de Líquidos.....	18

I N D I C E

	Página
7.3. Clasificación y Segregación de Desechos Líquidos.....	20
7.4. Evaluación de alternativas para restablecer la capacidad del Incinerador de Líquidos.....	24
7.4.1. 1ª Alternativa.....	25
7.4.2. 2ª Alternativa.....	25
7.5. Pruebas de Destrucción de Desechos "Ceniza".....	26
7.5.1 Generación de Partículas Sólidas en el Incinerador de Líquidos..	27
7.5.2. Prelavado de Residuos Pesados 1 y 1A.....	28
7.5.3. 2ª Prueba de Incineración.....	29
7.6. Mejoras al Sistema de Incineración de Líquidos.....	30
7.6.1. Prelavado del Residuo de Pesados 1A.....	31
7.6.2. Alimentación de los Desechos Líquidos.....	31
7.6.3. Combustión de los Desechos Ceniza.....	31
7.6.4. Lavado y Enfriamiento de los Gases de Combustión.....	32
8. Condiciones de Operación Recomendadas para el SIL.....	33
8.1. Alimentación al Sistema de Incineración de Líquidos.....	33
8.2. Bombas de Alimentación.....	33
8.3. Atomización de los Desechos.....	33
8.4. Temperatura de los Gases a la salida de la Columna Lavadora.....	34
9. Resultados.....	35
10. Conclusiones.....	36
11. Bibliografía.....	37
12. Lista de Apéndices.....	38
Apéndice 1.....	39
Apéndice 2.....	41
Apéndice 3.....	42
Apéndice 4.....	43
Apéndice 5.....	44
Apéndice 6.....	46
Apéndice 7.....	48

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS	Página
1. Diagrama de Bloques de la Destrucción de Desechos Líquidos.....	5
2. Diagrama de Bloques del Incinerador de Desechos Líquidos.....	6

TABLAS	
1. Balance Futuro de Desechos Líquidos.....	13
2. Capacidad Existente de Incineración de Líquidos.....	14
3. Balance Futuro de Desechos Líquidos tipo “Limpio” y “Ceniza” después de completar la Fase 2 del Proyecto.....	22
4. Almacenamiento Futuro de Desechos Líquidos.....	23

1. Introducción

Durante la mayor parte de mi vida profesional me he desempeñado como ingeniero de procesos en una importante compañía química. En este campo de trabajo se presentan oportunidades atractivas para aplicar los conocimientos teórico-prácticos de la carrera de Ingeniería Química aprendidos en la Facultad de Química de la UNAM y los adquiridos a lo largo de mi práctica profesional. Esto se debe a que las principales tareas del ingeniero de procesos abarcan desde la concepción de ideas para fabricar un bien hasta la operación eficiente de la planta productora del bien en cuestión.

Un área de trabajo particularmente interesante es la participación en la solución de problemas de operación de plantas existentes. Debido a que se presentan retos para alcanzar los estándares de operación inicialmente concebidos con soluciones que ofrezcan los mayores beneficios al menor costo posible.

El presente trabajo describe mi participación como ingeniero de procesos para restablecer la capacidad operativa de un sistema de incineración existente. El éxito de este proyecto era particularmente importante para la compañía ya que le permitiría completar la puesta en operación de dos plantas productivas nuevas. Las plantas nuevas generarían desechos líquidos adicionales a los actuales, los cuales deberían ser destruidos adecuadamente sin incurrir en una inversión elevada. La oportunidad de mejora consistió en absorber la carga adicional de desechos líquidos en sistemas de incineración existentes mediante la solución de una serie de problemas operativos que afectaban la operación continua del incinerador de líquidos sin incurrir en erogaciones excesivas de capital.

La mejora de la operación del incinerador se pudo lograr gracias a la colaboración entusiasta del personal del departamento de Proyectos Mayores de la compañía que se distinguió por su actitud de completar las tareas lo más rápido posible siguiendo las medidas de seguridad y los procedimientos de trabajo establecidos por la compañía.

2. Antecedentes del Sistema de Incineración de Líquidos

El sistema de incineración de líquidos (SIL) ó incinerador de líquidos fue construido para destruir todas las corrientes líquidas de deshecho generadas por las plantas productivas en uno de los complejos químicos de la compañía para la cual trabajo. Anteriormente, los desechos eran destruidos en dos incineradores de vapores orgánicos con recuperación de calor (Waste Heat Recovery Boilers.)

El incinerador de líquidos fue diseñado para recibir una alimentación de 11.0 galones por minuto (gpm) de una mezcla de desechos orgánicos que serían destruidos completamente para cumplir con la reglamentación ambiental correspondiente. Durante la prueba oficial de emisiones posterior al arranque de este sistema, se demostró que el incinerador cumplía con los límites de emisiones contaminantes a la atmósfera para fuentes fijas operando a una alimentación máxima de 13.6 gpm de una mezcla representativa de los desechos orgánicos.

Después de algunos años de operación del SIL, problemas operativos redujeron su capacidad continua de eliminación de los desechos líquidos a sólo 7.0 gpm en promedio anual. Debido a los problemas operativos y a una generación de desechos orgánicos mayor a la estimada, la capacidad del SIL no fue suficiente para destruir el total generado por las plantas, por lo que una parte de los desechos se tuvo que enviar a los incineradores de vapores orgánicos.

Sin embargo, al destruir los desechos en los incineradores de vapores orgánicos sus economizadores eran ensuciados por la ceniza residual producida por la combustión de los desechos líquidos. El ensuciamiento de los economizadores ocasionaba paros de los incineradores de vapores para limpieza, lo que reducía la capacidad de producción de las plantas. Adicionalmente, los economizadores también se dañaban mecánicamente debido a las limpiezas frecuentes. Para reducir las pérdidas económicas por los paros y detener el deterioro de los economizadores, el responsable de los incineradores de vapor propuso evaluar

alternativas para suspender la incineración de desechos líquidos en estos equipos. La gerencia aceptó en principio la propuesta e implementó una política que estableció que todos los desechos líquidos deberían destruirse en el SIL preferentemente y que sólo se alimentarían a los incineradores de vapores únicamente en casos de emergencia.

En ese tiempo, la compañía empezó a poner en marcha planes aumentar la capacidad de producción de dos productos químicos mediante la construcción de dos plantas productivas nuevas para satisfacer los requerimientos futuros de mercado. Las dos plantas nuevas aumentarían la cantidad de los desechos orgánicos cuando entraran en funcionamiento por lo que también se tendría que incrementar la capacidad de incineración de los sistemas existentes para absorber la carga adicional. Debido a los problemas operacionales del SIL, la gerencia del complejo propuso incluir un sistema de incineración de líquidos nuevo de mayor capacidad en el proyecto de construcción de las dos plantas nuevas para obtener fondos para construir el incinerador nuevo y así asegurar destruir el total de desechos líquidos presente y futuro.

3. Sistema de Incineración de Líquidos

En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques que representa la forma en que eran manejados e incinerados los desechos orgánicos líquidos antes del inicio del proyecto de construcción de las plantas nuevas.

Como se puede observar en la figura 1, los diferentes desechos líquidos generados por las unidades productivas se colectaban y almacenaban en un tanque. Del tanque de almacenamiento, la mezcla de desechos se alimentaba al incinerador de líquidos y a los incineradores de vapores. Los gases de combustión resultantes eran descargados a la atmósfera en ambos sistemas. Adicionalmente, en el incinerador de líquidos se obtenía una corriente acuosa que se enviaba al sistema de tratamiento de efluentes. Los incineradores de vapores orgánicos requieren de la adición continua de gas natural para su operación y recuperan parte del calor de los gases de combustión generando vapor. Mientras que el incinerador de líquidos sólo usa gas natural en el arranque.

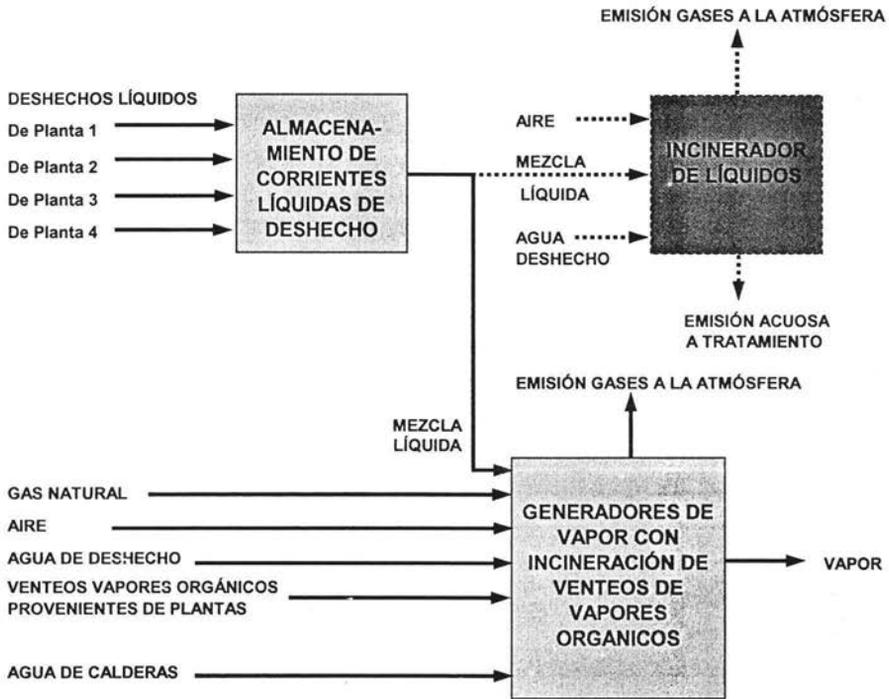
En la Figura 2 se observa un diagrama de bloques del sistema de incineración de líquidos que ilustra sus diferentes secciones que son listadas a continuación:

- Colección y almacenamiento de desechos líquidos
- Alimentación de desechos a los incineradores
- Combustión de los desechos
- Atemperamiento de los gases de combustión
- Lavado de gases de combustión
- Eliminación de Partículas en Suspensión
- Emisión de gases a la atmósfera

A continuación se describe brevemente como fueron conformadas estas secciones antes del presente trabajo:

Figura 1

Diagrama de Bloques de la Destrucción de Desechos Líquidos



3.1. Colección y Almacenamiento de desechos líquidos

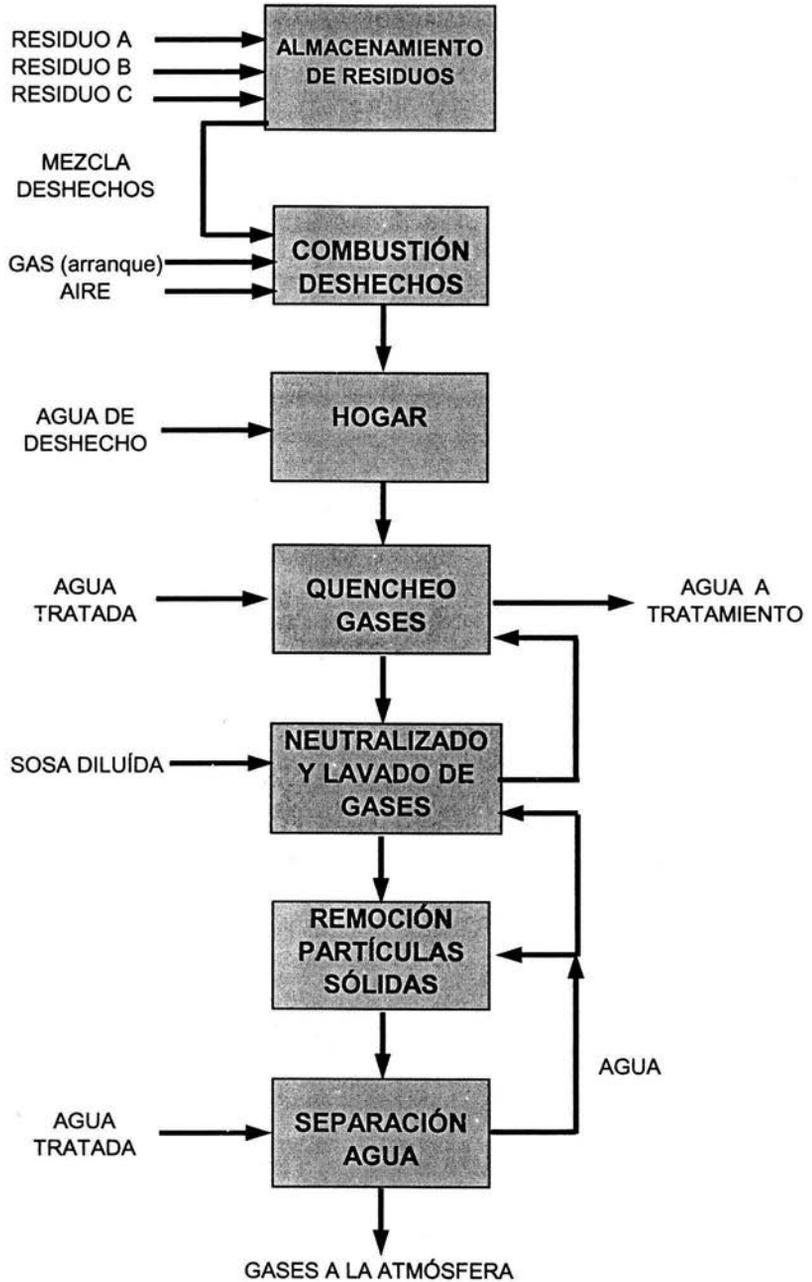
Todas las corrientes de desecho generadas en las plantas eran enviadas a un tanque de almacenamiento antes de ser alimentadas a los incineradores. Se tenían dos tanques, uno estaba en servicio y el otro estaba de reserva o en mantenimiento.

3.2. Alimentación de los Desechos Líquidos

La mezcla almacenada en el tanque era alimentada a todos los incineradores con una bomba centrífuga. Se contaba con dos bombas instaladas con el objeto de tener una en operación y otra de reserva o en mantenimiento.

Figura 2

Diagrama de Bloques del Incinerador de Desechos Líquidos



3.3. Combustión de los Desechos

La zona de combustión de los desechos es un cilindro de acero en posición horizontal recubierto internamente con refractario que se encuentra elevado del piso. En una de las caras del cilindro se encuentra el quemador de gas natural tipo anillo que tiene en el centro el quemador de desechos líquidos del tipo pistola con atomización. Se usa aire comprimido en el quemador de líquidos para atomizar los desechos y facilitar su destrucción. El aire de combustión es suministrado por un ventilador de tiro inducido y como consecuencia el hogar opera con una ligera presión negativa que evita se produzcan emisiones de gases calientes a la atmósfera. Agua de deshecho es inyectada después de la zona de flama para controlar la temperatura de combustión del hogar. Los gases de combustión salen del hogar por la cara opuesta al quemador para entrar a la sección de atemperamiento. Se tiene un controlador de flujo de alimentación de los desechos líquidos que se ajusta manualmente dependiendo del nivel en el tanque de almacenamiento.

3.4. Sección de Atemperamiento de los gases

La sección de atemperamiento es un ducto vertical descendente que tiene un receptor en la base. A la entrada del ducto se tienen dos distribuidores independientes para la inyección de agua desmineralizada y agua recirculada.

Los gases de combustión abandonaban el hogar a una temperatura elevada para garantizar la destrucción completa de los residuos líquidos y pasan al ducto a la salida del hogar donde son enfriados adiabáticamente saturándolos mediante la inyección de agua desmineralizada y de agua recirculada contenida en el receptor de la base. El receptor colecta la mezcla de gases de combustión saturados con agua y el exceso de agua para separarlos y enviar el gas húmedo a la lavadora de gases y el agua sobrante al efluente. La cantidad de agua enviada al efluente es controlada manteniendo un nivel constante en el receptor.

3.5. Lavado de Gases de Combustión

Los gases de combustión saturados con agua que salen del receptor del atemperador pasan a través de una columna empacada donde son enfriados con un riego de agua que es recirculada constantemente de la base de la columna a la parte superior. Antes de recircular de nuevo el agua de riego a la columna, la corriente es enfriada en un cambiador de placas que utiliza agua de enfriamiento suministrada por una torre de enfriamiento dedicada al SIL. Al enfriar los gases, el exceso de agua es condensado y se va al fondo junto con el riego que aumenta su temperatura. La condensación del agua sirve como un mecanismo para aumentar el tamaño de partículas submicrónicas a conglomerados de partículas de mayor tamaño. La columna tenía empaque de plástico tipo sillas para suministrar un área considerable de contacto directo entre los gases y el agua. La temperatura de salida de los gases de combustión es controlada ajustando el riego de recirculación de agua a la columna. El exceso de agua condensada es retornado al receptor del atemperador para ser usado en la saturación de los gases. El flujo de retorno del agua se controla manteniendo constante el nivel en la base de la columna lavadora. Al agua de recirculación se le añade una pequeña cantidad de sosa cáustica para neutralizar el gas ácido SO_2 formado durante la combustión y que es absorbido por el agua de riego. La adición de sosa se controla manteniendo neutro el pH del agua de riego.

3.6. Eliminación de Partículas en Suspensión

Los gases lavados que salen de la columna empacada pasan por un lavador de choque para remover partículas sólidas en suspensión. En el interior del lavador de choque, los gases son divididos en dos corrientes. Cada corriente fluye verticalmente hacia abajo a través de un venturi. En la garganta de los dos venturis, se inyecta agua proveniente del receptor del lavador de choque. A la salida del lavador de choque, las dos corrientes de gases y líquido se mezclan violentamente a altas velocidades para que las partículas en suspensión presentes en la mezcla se golpeen y sean arrastradas a la fase líquida al cambiar súbitamente la dirección del flujo. La mezcla de gas y líquido entran lateralmente al receptor del lavador de choque donde los gases libres de

partículas se separan del agua. El separador cuenta con un eliminador de neblina para evitar que gotas de agua sean arrastradas por el gas limpio. Agua desmineralizada es adicionada constantemente para mantener una concentración baja de sólidos en el agua recirculada a los venturis del lavador de choque. El exceso de agua era purgado a la base de la columna lavadora de gases para mantener constante el nivel del recibidor del lavador de choque.

3.7. Emisión de gases a la atmósfera

Un ventilador de tiro inducido succiona los gases limpios a la salida del recibidor del lavador de choque y los descarga a la atmósfera a un punto elevado por medio de una chimenea. Parte de la descarga del ventilador puede ser recirculada al lavador de choque durante el arranque del incinerador de líquidos o cuando la alimentación de desechos al incinerador es baja para mantener una adecuada caída de presión en el separador de choque.

4. Área de Oportunidad de Mejora del Incinerador de Líquidos

Para satisfacer el crecimiento de mercado de productos elaborados por la compañía, la dirección aprobó un plan de construcción de dos plantas nuevas similares a unas existentes dentro del complejo químico donde se encuentra el incinerador de líquidos. Dado que el monto de inversión era considerable y la rentabilidad de la inversión no cumplía con los parámetros establecidos por la compañía, la dirección solicitó reducir el monto de inversión del proyecto. Para cumplir esta solicitud, el gerente del proyecto nos solicitó evaluar equipos que pudieran ser eliminados o sustituidos sin afectar la operación de las plantas nuevas.

Uno de los equipos que se identificó para ser eliminado fue el incinerador nuevo para los desechos líquidos que se había incluido en el alcance para destruir el total de los desechos que serían generados por las plantas existentes y nuevas con el objeto de suspender el envío de desechos a los incineradores de vapores para cumplir la política de operación recomendada por la gerencia de la planta. Al evaluar la idea de eliminar el incinerador de líquidos nuevo con el staff del complejo, se acordó incluir un monto menor para hacer algunas modificaciones a los sistemas existentes para absorber la carga adicional de desechos líquidos y así poder eliminar la compra de un incinerador nuevo.

Basándose en esta información, se decidió que se evaluaran alternativas para destruir los desechos líquidos actuales y futuros para incluir en el alcance del proyecto de construcción de las plantas nuevas el costo de implementación de la alternativa que ofreciera resolver el problema con un mayor costo beneficio.

4.1. Objetivo del Proyecto de Restauración de la capacidad del SIL

El objetivo fue establecido como definir, evaluar e implementar una alternativa para destruir adecuadamente el volumen total de residuos orgánicos actual y futuro incluyendo el que sería generado por las dos plantas productivas nuevas

cumpliendo con las reglamentaciones ambientales correspondientes. El costo de la alternativa seleccionada debería ser tal que no afectara la rentabilidad del proyecto de inversión de las plantas nuevas hasta niveles que impidieran su aprobación.

4.2. Plan de trabajo

En conjunto con los gerentes del proyecto y de producción se definió un programa de trabajo para determinar a la brevedad la definición de la mejor alternativa para destruir los residuos líquidos. El plan consistió en desarrollar los alcances preliminares de las alternativas en conjunto con el personal de operación y con la ayuda de un consultor externo con experiencia en incineración. Una vez definidas las alternativas, se evaluaría su costo para someterlas a aprobación y proceder a implementar la que ofreciera las mayores ventajas a un costo razonable.

5. Necesidades de Incineración de Desechos Líquidos

5.1. Generación Presente y Futura de Desechos

El responsable de la operación de las plantas productivas y del incinerador de líquidos proporcionó información de la cantidad generada de desechos líquidos en las plantas existentes, la cual fue usada para estimar la generación de desechos de las plantas nuevas. Los volúmenes se muestran en la Tabla 1. En esta tabla se puede observar que la generación de desechos líquidos de las plantas existentes era de 14.5 gpm. La generación de las dos nuevas plantas se estimó en 10.5 gpm al término de la fase 1 del proyecto. Por lo tanto, se generaría un total de 25 gpm de desechos líquidos luego de implementar la fase 1 del proyecto.

Posteriormente, al término de la fase 2 del proyecto, la generación de desechos de las dos plantas nuevas se incrementaría a 12.5 gpm, ya que se recuperaría parcialmente el Corte de Ligeros 1A. Por lo que la generación total de desechos sería de 27 gpm. Usando este balance, se determinó que era necesaria una capacidad total de incineración de por lo menos 30 gpm para disponer de los desechos líquidos actuales y futuros asumiendo que el incinerador operara continuamente el 100% del tiempo.

5.2. Capacidad Existente de Incineración

En la tabla 2, se muestra la capacidad de incineración disponible del complejo antes del inicio del proyecto que también fue proporcionada por el responsable de la operación. En la tabla se puede observar que la máxima capacidad de incineración real disponible era de 18.4 gpm incluyendo los dos incineradores de vapores y el de líquidos dado que los incineradores operaban en promedio solamente un 80% del tiempo. La capacidad combinada de los tres incineradores era suficiente para destruir los desechos líquidos antes del proyecto; pero no para la futura generación de 27 gpm. Por lo que, se determinó que existía un déficit de 8.6 gpm entre la generación futura y la capacidad de incineración total disponible.

T A B L A 1
BALANCE FUTURO DE DESECHOS LÍQUIDOS

CORRIENTE	Flujos Actuales en gpm		
	Generación	Recuperación	Incineración
Residuo de Pesados 1	5.0	2.0	3.0
Corte Ligeros 1	5.0	2.0	3.0
Residuo de Pesados 2	3.5	0.0	3.5
Corte de Ligeros 2	5.0	2.0	3.0
Varios	2.0	0.0	2.0
TOTAL ACTUAL	20.5	6.0	14.5

CORRIENTE	Flujos Futuros Fase 1 en gpm		
	Generación	Recuperación	Incineración
Residuo de Pesados 1	5.0	2.0	3.0
Corte Ligeros 1	5.0	2.0	3.0
Residuo de Pesados 2	3.5	0.0	3.5
Corte de Ligeros 2	5.0	2.0	3.0
Varios	2.0	0.0	2.0
Residuo de Pesados 1A	5.0	2.0	3.0
Corte Ligeros 1A	5.0	0.0	5.0
Corte de Ligeros 2A	2.5	0.0	2.5
TOTAL FASE 1	33.0	8.0	25.0

CORRIENTE	Flujos Futuros Fase 2 en gpm		
	Generación	Recuperación	Incineración
Residuo de Pesados 1	5.0	2.0	3.0
Corte Ligeros 1	5.0	2.0	3.0
Residuo de Pesados 2	3.5	0.0	3.5
Corte de Ligeros 2	5.0	2.0	3.0
Varios	2.0	0.0	2.0
Residuo de Pesados 1A	5.0	2.0	3.0
Corte Ligeros 1A	5.0	1.0	4.0
Corte de Ligeros 2A	4.0	0.0	4.0
Varios A	1.5	0.0	1.5
TOTAL FASE 2	36.0	9.0	27.0

BASES

1. Información proporcionada por el Superintendente de Producción
2. Se consideró que habría recuperación del Corte de Ligeros 1A
3. Los valores mostrados son los generados cuando las plantas operan a su capacidad de diseño

T A B L A 2

CAPACIDAD EXISTENTE DE INCINERACIÓN DE LÍQUIDOS

SISTEMA	Capacidad Máxima Permitida en gpm	Capacidad Real en gpm
Incinerador de Vapores #1	8.0	8.0
Incinerador de Vapores #2	8.0	8.0
Incinerador de Líquidos	13.6	7.0
Subtotal	29.6	23.0
Tiempo de operación actual, %	80.0	
Capacidad Real Disponible, gpm		18.4
Capacidad Requerida, gpm	27.0	27.0
Capacida Faltante, gpm	2.6	8.6

6. Alternativas Preliminares para satisfacer necesidades de Incineración

Para incrementar la capacidad existente de incineración y satisfacer los requerimientos futuros del complejo, se generaron tres alternativas para destruir los desechos líquidos:

6.1. Instalar un sistema de incineración de líquidos nuevo.

De acuerdo con la tabla 1, un incinerador de líquidos nuevo con capacidad de destrucción de 40 gpm sería adecuado para destruir el total de las corrientes existentes y futuras generadas por las plantas después de completar la fase 2 del proyecto suponiendo que por alguna causa no fuera posible la recuperación parcial de las corrientes de deshecho. Los incineradores existentes quedarían de respaldo en caso de que el incinerador nuevo saliera de servicio. El costo de implementación de esta alternativa fue estimado en 25.0 millones de dólares (+/- 30%). Esta alternativa fue descartada cuando se determinó que este monto de inversión originaba que la rentabilidad del proyecto no fuera adecuada para que pudiera ser aprobado.

6. 2. Incrementar la capacidad del incinerador de líquidos hasta 25 gpm

La segunda alternativa evaluada consistió en incrementar la capacidad del incinerador de líquidos existente hasta 25 gpm para destruir los desechos líquidos generados por las plantas existentes más los generados por las plantas nuevas al término de la fase 1 del proyecto. En este escenario, los incineradores de vapores orgánicos quedarían de respaldo para destruir las corrientes líquidas en caso de que el incinerador de líquidos saliera de servicio. En conjunto con el consultor experto en incineración se determinó que sería necesario realizar las siguientes modificaciones mayores para incrementar la capacidad del sistema existente:

- Agrandar el hogar para dar el tiempo de residencia necesario para destruir las corrientes
- Modificar el saturador de gases a la salida del hogar
- Reemplazar la columna lavadora de gases por una más grande
- Modificar el lavador de choque para remoción de sólidos

- Adicionar un precipitador electrostático húmedo para remover partículas
- Incrementar la capacidad del ventilador de tiro inducido

La implementación de estas modificaciones requeriría de espacio no disponible en el lugar donde se encuentra el incinerador de líquidos. Adicionalmente, la inversión para llevar a cabo esta alternativa fue estimada del orden de 15.0 - 17.0 millones de dólares. Finalmente, para implementar esta alternativa se requería reanudar la combustión de los residuos líquidos en los incineradores de vapores orgánicos. Se concluyó que era necesario continuar evaluando esta alternativa con más detalle para ver si era posible reducir las modificaciones al incinerador de líquidos y sobre todo el monto de inversión dado que el proyecto no sería aprobado si se incluía este monto estimado de forma preliminar.

6. 3. Restablecer la máxima capacidad del Incinerador de Líquidos

Basados en la información de la tabla 2, se determinó que existía un potencial en los equipos existentes para incrementar la capacidad total de incineración del complejo mediante la reanudación de la incineración de líquidos en los incineradores de vapores, la restauración de la capacidad del incinerador de líquidos y el aumento de la continuidad de operación de los tres incineradores. En otras palabras, si se lograra restaurar la capacidad del incinerador de líquidos a 13.6 gpm y se lograra que tiempo de operación continua de todos los incineradores fuera de 91.3%, la capacidad total resultante sería:

$$\text{Capacidad disponible @ 91.3\%} = (8 + 8 + 13.6) * 0.913 = 27 \text{ gpm}$$

Por lo que los incineradores existentes estarían en condiciones de destruir la carga adicional de desechos líquidos que se generaría con el proyecto al término de la fase 2.

Por lo tanto, se tuvieron entrevistas con el responsable de la operación del SIL, para identificar los problemas que afectaban la capacidad de operación del incinerador de líquidos entre los cuales mencionó: capacidad limitada de las bombas de alimentación, taponamientos frecuentes en la línea de alimentación

de desechos, problemas con algunos instrumentos críticos y limitaciones operacionales impuestas por el permiso ambiental. En lo que respecta a los incineradores de vapores, estos tenían problemas de ensuciamiento, de fallas de instrumentos y limitaciones operativas debido a su permiso ambiental.

El grupo de proyecto desarrollo un alcance preliminar para recuperar la capacidad de operación del sistema de incineración de líquidos y aumentar el tiempo de operación continua de este sistema basándose en los comentarios del personal de operación. Una lista de equipo mayor nuevo y modificado fue preparada para destruir 13.6 gpm de desechos orgánicos en el incinerador de líquidos (ver Apéndice 1). El costo estimado para esta alternativa resultó del orden de los 9 millones de dólares. Los resultados económicos del proyecto incluyendo este monto de inversión cumplían con los requerimientos establecidos por la compañía, por lo que la dirección decidió implementar esta alternativa como parte del proyecto de construcción de las dos plantas nuevas. Adicionalmente, la gerencia aprobó reanudar la incineración de desechos líquidos en los incineradores de vapores orgánicos.

Se decidió que este proyecto se manejaría independiente del proyecto principal de construcción de las plantas nuevas para no retrasar el arranque de las unidades productivas puesto que no se tenía congelada la ingeniería básica de las modificaciones al SIL. Por lo tanto, si las modificaciones del incinerador de líquidos no se completaban al mismo tiempo que el proyecto principal, el exceso de las corrientes líquidas de deshecho se enviaría a algún sitio externo para su destrucción temporalmente. El programa de construcción de las modificaciones del SIL se muestra en el Apéndice 2.

7. Actividades Desarrolladas

7.1. Caracterización de los Desechos Líquidos

Se determinó que era necesario conocer las características individuales de los desechos líquidos antes de que fueran mezclados y alimentados a los incineradores. Se solicitaron muestras individuales de cada uno de los desechos y se enviaron a un laboratorio externo para su análisis. Los resultados se muestran en forma de tabla en el apéndice 3. Los resultados analíticos de los residuos de pesados 1, 2 y Varios A mostraron que su contenido de ceniza residual era un orden de magnitud más alto que el contenido de las cortes de ligeros. Esto hace sentido, debido a que los cortes de ligeros provienen de domos de columnas de destilación mientras que los cortes de residuos pesados provienen del fondo de columnas de destilación y de evaporadores.

Basados en la baja producción de ceniza de los cortes de ligeros, se decidió efectuar una prueba que consistió en enviar a quemar únicamente estos desechos en los incineradores de vapores ya que se concluyó que el ensuciamiento de los economizadores disminuiría si solamente se destruían los cortes de ligeros en estos equipos. Se habilitaron conexiones temporales y se empezaron a enviar directamente estos desechos líquidos de las plantas productivas a los incineradores de vapores para evitar contaminarlos con residuos pesados en el tanque de alimentación. Adicionalmente, se instruyó al personal de operación para que no enviara residuos pesados a los incineradores de vapores; los residuos pesados serían enviados solamente al incinerador de líquidos junto con otros desechos líquidos que no pudieron ser desviados con conexiones provisionales.

7. 2. Identificación de Problemática Operacional del Incinerador de Líquidos

Al mismo tiempo que se caracterizaban los desechos líquidos, se recabó más información de la operación del SIL. Una revisión de la historia de funcionamiento del sistema de incineración de líquidos realizada en conjunto con el personal de operación arrojó los siguientes resultados:

- a) Se cuenta con dos tanques de almacenamiento para los desechos líquidos. Sólo uno opera ya que el otro debe estar en reserva (vacío y limpio de acuerdo al permiso ambiental). Debido a esta forma de operación, todas las corrientes líquidas de deshecho son enviadas a un tanque para almacenarlas antes de alimentarlas a los incineradores. Se ha comprobado que algunas corrientes no son compatibles entre ellas, por lo que en ocasiones ocurren reacciones exotérmicas de polimerización en el interior del tanque teniendo como resultado un incremento de temperatura de su contenido que no puede ser controlado. Cuando se detecta un incremento de temperatura en el contenido del tanque, inmediatamente se suspende el envío de desechos al tanque y se aísla. Cuando esto ocurre, la viscosidad del residuo resultante es muy alta y este ya no puede ser bombeado; por lo que se saca completamente de operación el tanque para limpieza. La limpieza puede tardar meses en realizarse debido a la dificultad para remover el material, lo que representa solicitar excepciones temporales del permiso ambiental por no tener el tanque vacío y limpio.
- b) Se tienen dos bombas centrífugas de tipo turbina regenerativa en los tanques de almacenamiento para alimentar los desechos líquidos a los tres incineradores. A veces era necesario operar las dos bombas al mismo tiempo para mantener el flujo de alimentación a los incineradores. Taponamientos en la línea de succión provocaban cavitación de las bombas, o taponamientos de la línea de descarga provocaban que las bombas trabajaran debajo de su flujo mínimo de seguridad, lo cual provocaba daños a los sellos mecánicos de las bombas originando fugas y reparaciones constantes.
- c) Cuando las bombas se dañaban, la alimentación a los tres incineradores se detenía, por lo que mantenimientos de emergencia tenían que ser realizados para reanudar su destrucción.
- d) Sólo existía una línea para alimentar al incinerador de líquidos y un quemador para incinerar los residuos. Cuando la línea o el quemador se tapaba, el SIL quedaba fuera de servicio.

- e) El agua de deshecho contenía en ocasiones una concentración de material orgánico más alta a la normal, lo que dificultaba el control de temperatura del hogar produciendo disparos del incinerador por alta temperatura.
- f) A la salida del hogar se tenían dos analizadores de oxígeno que eran constantemente dañados debido a la corrosividad de los gases de combustión. Si uno estaba siendo reparado y el otro fallaba, el incinerador se disparaba por razones del permiso ambiental.
- g) La temperatura de los gases a la salida de la zona de atemperación (“quencheo”) era excedida en ocasiones por falla de las bombas de circulación de agua, lo que provocaba daños al empaque de plástico de la columna lavadora de gases y la alta caída de presión resultante limitaba la capacidad del SIL.
- h) La temperatura de los gases de deshecho a la salida de la columna lavadora era mayor a la de diseño y ocasionalmente excedía a la marcada en el permiso ambiental, lo que originaba que el incinerador se disparara. Adicionalmente, la alta temperatura limitaba la capacidad de incineración del sistema.
- i) El ventilador de tiro inducido que extrae los gases de combustión estaba trabajando al 100% de su capacidad lo que limitaba la capacidad de incineración del sistema.

De esta información se concluyó que el incinerador de líquidos estaba operando en condiciones diferentes a las de diseño y como resultado su operación era errática y con interrupciones frecuentes.

7. 3. Clasificación y Segregación de Desechos Líquidos

Sobre la base de que se requería continuar destruyendo desechos líquidos en los incineradores de vapores y a que se determinó que los Cortes de Ligeros producían un bajo contenido de ceniza residual, se decidió clasificar a los

desechos en dos grupos: el primer grupo se llamó "Limpios" para describir a los desechos provenientes de cortes de compuestos ligeros que casi no generaban cenizas residuales cuando eran incinerados. En este grupo se incluyeron los siguientes desechos: Corte Ligeros 1, Corte de Ligeros 2, Varios, Corte Ligeros 1A y Corte de Ligeros 2A. El segundo grupo se llamó "Ceniza" para indicar que estos residuos generan ceniza cuando se incineran. Los desechos restantes fueron incluidos en esta categoría: Residuo de Pesados 1, Residuo de Pesados 2, Residuo de Pesados 1A y Varios A.

Una vez hecha la clasificación, se estableció una política de operación para la destrucción de los desechos que instruyó al personal a destruir solamente desechos "Limpios" en los incineradores de vapores orgánicos. Con esta política se definió también que el incinerador de líquidos destruiría los desechos "Ceniza" y que en caso de que el SIL saliera de servicio, los residuos "Ceniza" se mandarían a destruir a un sitio externo. La política estableció claramente que no se deberían enviar residuos pesados "Ceniza" a los incineradores de vapores bajo ninguna circunstancia.

Con el objeto de facilitar el cumplimiento de la política de incineración de residuos líquidos y para resolver la incompatibilidad de los residuos al mezclarse, se determinó implementar la siguiente estrategia de almacenamiento de los residuos: todos los desechos "Limpios" se almacenarían en un tanque dedicado. Los desechos "Ceniza" se almacenarían en dos tanques por separado. En un tanque se almacenaría el Residuo de Pesados 1 y el Residuo de Pesados 1A. En otro tanque se almacenaría el Residuo de Pesados 2 y el residuo Varios A. Además, se contaría con un tanque de reserva limpio y vacío que podría almacenar y cualquier tipo de deshecho "Limpio" o "Ceniza"

Esta estrategia de almacenamiento de los desechos en tanques dedicados requería de un total de cuatro tanques y sólo se tenían dos existentes. Por lo que se incluyó en el alcance de las modificaciones del SIL la construcción de dos tanques nuevos similares a los que ya se tenían.

Como resultado de esta estrategia de incineración y almacenamiento, el balance de destrucción en los incineradores y la capacidad de almacenamiento de los desechos líquidos se modificó. Las tablas 3 y 4 presentan los resultados de la modificación.

T A B L A 3

BALANCE FUTURO DE DESECHOS LÍQUIDOS TIPO "LIMPIO" Y "CENIZA" DESPUES DE COMPLETAR LA FASE 2 DEL PROYECTO

DESHECHO "LIMPIO"	Flujos Futuros en gpm		
	Generación	Recuperación	Incineración
Corte Ligeros 1	5.0	2.0	3.0
Corte de Ligeros 2	5.0	2.0	3.0
Varios	2.0	0.0	2.0
Corte Ligeros 1A	5.0	1.0	4.0
Corte de Ligeros 2A	4.0	0.0	4.0
TOTAL FASE 2	21.0	5.0	16.0

Capacidad Incineradores de Vapores, gpm	16.0
% Utilización de Capacidad	100.0

DESHECHO "CENIZA"	Flujos Futuros en gpm		
	Generación	Recuperación	Incineración
Residuo de Pesados 1	5.0	2.0	3.0
Residuo de Pesados 2	3.5	0.0	3.5
Residuo de Pesados 1A	5.0	2.0	3.0
Varios A	1.5	0.0	1.5
TOTAL FASE 2	15.0	4.0	11.0

Capacidad Incinerador de Líquidos, gpm	13.6
% Utilización de Capacidad	80.8

Tabla 4

Almacenamiento Futuro de Desechos Líquidos

Tanque	Servicio	Capacidad, Gal.	Tiempo de almacén, días
R-825	Residuos Pesados 1 y 1A	36,000	3.3
R-826	Residuos Pesados 2 y Varios A	36,000	4.0
R-1385	Residuos "Limpios"	36,000	1.3
R-1386	Reserva	36,000	---

En la tabla 3 se puede observar que se generaría un flujo de 16 gpm de desechos limpios después de completar la fase 2 del proyecto y que la capacidad permitida de los incineradores de vapores es justa para destruir el total de estos desechos. Al presentar este balance a la gerencia se acordó que la planta buscaría recuperar una mayor cantidad de desechos para reducir la cantidad a incinerar y que trataría de incrementar el límite de incineración permitido en los incineradores de vapores para dar mayor flexibilidad a la destrucción de desechos limpios en estos equipos. Por lo que la propuesta fue aceptada.

Mientras que la destrucción del total de los desechos "ceniza" en el incinerador de líquidos podría ser realizada si se restablecía su capacidad original permitida de 13.6 gpm, ya que la generación sería de sólo 11.0 gpm en total. Lo que representaría operarlo al 80.8% de su capacidad. Con este balance se confirmó la necesidad de restablecer la capacidad del incinerador al máximo posible para dar flexibilidad operativa para la destrucción de los residuos líquidos limpios en caso de ser necesario.

En la tabla 4 se puede ver gráficamente la estrategia de almacenamiento de los residuos líquidos. El tiempo de almacén fue calculado usando un nivel de llenado de 80% del volumen del tanque. Los tanques R-825 y R-826 son los tanques existentes; mientras que los tanques R-1385 y R-1386 serían los tanques nuevos. Se designó uno de los tanques nuevos, el tanque R-1385, para

almacenar exclusivamente desechos limpios y para alimentar a los incineradores de vapores orgánicos únicamente; mientras que los dos tanques existentes almacenarían un deshecho de ceniza cada uno. Estos tanques alimentarían al incinerador de líquidos únicamente por lo que se cancelarían la línea que alimentaba a los incineradores de vapores orgánicos. La estrategia estableció que se evitaría mezclar el contenido de los tanques para evitar enviar residuos ceniza a los incineradores de vapores orgánicos y para evitar problemas de compatibilidad. El tanque nuevo R-1386 quedaría en reserva para ser usado cuando cualquiera de los otros tres tanques requiriera mantenimiento o limpieza. En caso de usar el tanque R-1386 para almacenar desechos líquidos limpios para alimentar a los incineradores de vapores orgánicos, el tanque debería estar libre de desechos "ceniza" o de lo contrario no se podrán enviar su contenido a los incineradores de vapores. El tanque R-1386 sería el único que tendría la posibilidad de alimentar al incinerador de líquidos o a los incineradores de vapores orgánicos.

7.4. Evaluación de Alternativas para restablecer la capacidad del Incinerador de Líquidos

Una vez definida la capacidad requerida del incinerador de líquidos para la destrucción de los desechos "ceniza" se procedió a evaluar alternativas para lograr este objetivo las cuales fueron desarrolladas en conjunto con personal del proyecto y un consultor externo.

En principio se buscaba restaurar al máximo la capacidad del sistema de incineración de líquidos teniendo en cuenta dos parámetros ambientales fundamentales para la correcta operación del sistema: la eficiencia de destrucción de los desechos líquidos y la emisión de partículas a la atmósfera. Se debería tener en cuenta que se alimentarían únicamente residuos ceniza a este sistema, lo que representaba cambiar la mezcla original usada para el diseño del SIL. Al final, se formularon dos esquemas para incrementar la capacidad de del SIL destruyendo únicamente residuos tipo ceniza:

7.4.1. 1a Alternativa: incrementar al máximo la capacidad de incineración del sistema usando los equipos mayores existentes con algunas modificaciones. Se estimó en forma preliminar que la capacidad podría ser de hasta 15 gpm. Para ello sería necesario eliminar los cuellos de botella conocidos mediante las siguientes modificaciones:

- Un quemador de orgánico nuevo para destruir los desechos “ceniza”
- Incrementar la capacidad de la columna lavadora de gases
- Mejorar el suministro de agua de enfriamiento al enfriador del riego de la columna lavadora de gases
- Incrementar la capacidad del ventilador de tiro inducido

7.4.2. 2a Alternativa: Incrementar la capacidad de incineración hasta 15 gpm del SIL incluyendo un precipitador electrostático húmedo (Wet ESP) para remover partículas suspendidas. Las modificaciones mayores identificadas preliminarmente fueron:

- Un quemador de orgánico nuevo para destruir los desechos “ceniza”
- Incrementar la capacidad de la columna lavadora de gases
- Remover el equipo de eliminación de partículas existente
- Instalar un Wet ESP en lugar del equipo actual para eliminar partículas

La segunda alternativa resultaba muy atractiva porque parecía que se requerirían menos modificaciones con respecto de la primera y solucionaba un incremento potencial en la emisión de partículas en suspensión por la quema de residuos ceniza. De acuerdo con el consultor, el precipitador electrostático era capaz de remover una mayor cantidad de partículas con una fracción de la caída de presión requerida por el lavador de partículas por choque directo con que contaba el SIL. La menor caída de presión haría innecesario modificar el ventilador de tiro forzado.

Se contactaron fabricantes de precipitadores electrostáticos para solicitarles una cotización. El costo de un equipo especificado para cumplir con los

requerimientos de remoción de partículas fue de \$ 1.80 millones de dólares. Este costo y el tamaño del equipo hicieron que esta alternativa fuera descartada.

7.5. Pruebas de Destrucción de Desechos “Ceniza”

Debido a que la composición de la alimentación al incinerador de líquidos sería de desechos tipo ceniza solamente, se decidió realizar una prueba de campo para determinar el alcance de las modificaciones necesarias para cumplir con la destrucción de este tipo de desechos y para restaurar la capacidad del sistema. Se elaboró un plan detallado para realizar la prueba y se solicitó permiso a las autoridades para llevarla a cabo. El principal objetivo de la prueba fue determinar la carga de partículas sólidas en suspensión y la distribución del tamaño de las partículas en diferentes puntos del sistema para evaluar la operación del lavador de choque mientras se destruía una mezcla de desechos ceniza artificialmente preparada. Adicionalmente, se hicieron balances de energía para determinar el tamaño de equipo de enfriamiento provisional que se requería rentar para poder operar a la máxima capacidad posible el SIL. Se contrataron los servicios de una compañía para efectuar las mediciones de partículas en los diferentes puntos de muestreo.

Durante la prueba se tuvo que controlar un flujo de alimentación de desechos líquidos menor al planeado (8.5 gpm en vez de 12 gpm) debido a variaciones de composición súbitas que provocaban inestabilidad en el incinerador. Además, se determinó que el máximo flujo de alimentación de desechos tipo ceniza suministrado por las bombas existentes fue de 12 gpm por breves períodos. En esta condición de flujo máximo al incinerador, se observó que la concentración de oxígeno en el hogar era alta (5% mol) y que la temperatura de los gases a la salida de la lavadora era relativamente baja (125 oF). Lo que indicó que el ventilador de tiro inducido podría suministrar el aire necesario para la combustión de 12 gpm de desechos ceniza si los gases de combustión eran enfriados hasta 125 oF.

En cuanto a la emisión de partículas sólidas en suspensión, los resultados obtenidos durante la prueba no fueron del todo satisfactorios debido a que la compañía contratada tuvo problemas para recolectar las muestras. Por lo que la precisión de los resultados fue cuestionada. Sin embargo, la carga de partículas fue mucho más alta de lo esperado en todos los puntos seleccionados. Además, el tamaño de las partículas emitidas por la chimenea resultó menor a lo esperado. Los resultados de la chimenea mostraron que el lavador de choque no funcionó como se esperaba al controlar una temperatura de gases menor a la salida de la lavadora. Estos resultados indicaban que podría ser necesario modificar el lavador de choque.

7.5.1 Generación de Partículas Sólidas en el Incinerador de Líquidos

Al principio se pensó que los resultados del muestreo de partículas sólidas eran erróneos puesto que la cantidad de materia sólida medida fue mayor a la estimada usando la composición de los residuos tipo ceniza. Es decir, que al realizar el balance de materia, la ceniza alimentada en los desechos debería ser igual a la emitida con los gases de combustión más la eliminada en el agua purgada al efluente asumiendo que no había acumulación en el sistema. Pero los resultados obtenidos indicaban que había generación de partículas en el sistema, lo cual se pensó que era poco probable.

Sin embargo, platicando con un vendedor de equipo de remoción de partículas sólidas se determinó que era posible generar partículas en suspensión durante el atemperamiento de los gases mediante el fenómeno conocido como "spray drying effect." El fenómeno ocurre cuando un gas a temperatura elevada es puesto en contacto con agua atomizada conteniendo sales inorgánicas. Al entrar en contacto con el gas caliente (800 - 900 oF), las gotas de agua son evaporadas y las sales presentes forman partículas submicrónicas que son arrastradas por el gas. La concentración de las partículas se incrementa al aumentar la concentración de sales en el agua usada para enfriar los gases y al elevarse la temperatura de los gases. Además, el vendedor mencionó que un

lavador de choque no era adecuado para remover partículas submicrónicas porque se requiere de una elevada caída de presión para alcanzar una eficiencia aceptable.

Esta teoría parecía explicar las altas cargas de partículas observadas durante la prueba ya que se determinó que uno de los desechos tipo ceniza contenía azufre que al incinerarse formaba dióxido de azufre (SO₂). El SO₂ gas era absorbido por el agua de riego en la columna lavadora y neutralizado con sosa para formar sulfito de sodio NaH(SO)₃. De ser cierta la teoría, una parte del sulfito de sodio debió haber formado partículas de tamaño pequeño al evaporarse el agua durante el atemperamiento de los gases incrementando la concentración de partículas en los gases. Para comprobar esta teoría se envió una muestra de las partículas capturadas durante la prueba para analizarla. Los resultados mostraron que las partículas contenían una cantidad considerable de sulfito de sodio. Con esto se concluyó que al alimentar solamente desechos ceniza al incinerador, la carga de partículas en los gases sería mayor y que el tamaño pequeño de las partículas haría más difícil su remoción. Por lo que sería necesario hacer ajustes en el sistema de incineración para cumplir con el límite de emisión de partículas fijado por las autoridades.

7.5.2. Prelavado de Residuos Pesados 1 y 1A

En conjunto con el personal del Laboratorio y del grupo de Ingeniería de Procesos de la planta se investigó la posibilidad de remover el compuesto que contenía azufre de los residuos de pesados 1 y 1A antes de incinerarlos para evitar la formación de partículas. El personal del Laboratorio encontró que el compuesto conteniendo azufre era el catalizador de la reacción principal en el proceso de producción y que era soluble en agua y en el residuo orgánico. Mientras que los residuos pesados eran casi insolubles en agua. Por lo que se realizaron pruebas de lavado de los residuos pesados con agua. Los resultados mostraron que el catalizador era extraído del residuo pesado con una eficiencia

cercana al 90%, con lo que la concentración de azufre se reducía considerablemente. Adicionalmente, se determinó que el agua de lavado con el catalizador podía ser enviada de nuevo a la reacción con lo que se reduciría el consumo de catalizador y se reduciría el costo de fabricación del producto. Por lo tanto, el gerente del proyecto decidió incluir en el alcance de las mejoras al SIL dos lavadores de los residuos pesados 1 y 1A, uno para cada corriente, para extraer el catalizador conteniendo azufre y reciclarlo al proceso. El diseño de este sistema sería realizado por el grupo de Ingeniería de la planta con el soporte del personal del Laboratorio.

7.5.3. 2ª Prueba de Incineración

Una segunda prueba de incineración de los residuos tipo ceniza fue cuidadosamente planeada para comprobar el efecto de las sales inorgánicas en la generación de partículas submicrónicas. El plan fue presentado nuevamente a las autoridades que lo aprobaron para su ejecución. Los objetivos de la prueba fueron: corroborar los cuellos de botella del SIL para destruir apropiadamente los residuos ceniza y observar el impacto de la concentración de azufre en la emisión de partículas sólidas suspendidas con el gas de combustión lavado.

En esta ocasión se usarían dos tipos de alimentación al incinerador de líquidos: una con el contenido normal de azufre y otra con el contenido esperado de azufre después de lavar el residuo con agua. Las mezclas se prepararon usando pipas para almacenar las corrientes. Adicionalmente, se rentó nuevamente el equipo de enfriamiento provisional para poder operar a la máxima capacidad posible el SIL. En esta ocasión, se habilitó temporalmente una bomba centrífuga portátil de capacidad suficiente para alimentar al incinerador de líquidos hasta 14 gpm. Finalmente, se contrataron los servicios de una compañía diferente para efectuar las mediciones de partículas en los diferentes puntos de muestreo.

Esta vez, durante la prueba se controló el flujo de alimentación de desechos líquidos en 13 gpm de acuerdo al plan. Lo que confirmó que se requería de bombas de mayor capacidad similares a la usada durante la prueba para alimentar el flujo de 13 gpm al incinerador. Adicionalmente, se comprobó nuevamente que el ventilador de tiro inducido podría suministrar el aire necesario para la combustión de 13 gpm de desechos ceniza si los gases de combustión eran enfriados hasta 125 – 130 oF en la lavadora de gases.

En cuanto a la emisión de partículas sólidas en suspensión, los resultados obtenidos durante la prueba demostraron que la carga de partículas fue mayor cuando se alimentó la mezcla con alto contenido de azufre que cuando se alimentó la de bajo contenido de azufre. Asimismo, se observó que el tamaño promedio de las partículas fue menor con la mezcla de alto azufre. Se observó que en todos los casos la concentración de dióxido de azufre en la chimenea fue menor a 1 ppm; lo que indica que prácticamente todo el SO₂ proveniente de la quema del azufre fue removido en la columna lavadora de gases. Finalmente, se observó que la concentración de partículas suspendidas de los gases emitidos por la chimenea fue menor a la requerida por la norma oficial correspondiente. Con lo que se concluyó que no se requeriría modificar o remplazar el lavador de choque para cumplir con la norma de emisión de partículas si se eliminaba el azufre de los residuos pesados 1 y 1A.

7.6. Mejoras al Sistema de Incineración de Líquidos

Basados en los resultados de las pruebas de incineración de los residuos ceniza, se desarrolló a detalle el alcance de las modificaciones que se le harían al incinerador de líquidos para restaurar su capacidad de destrucción de 13.6 gpm. En el apéndice 4 se presenta el balance de materia del SIL y en el apéndice 5 se presenta una lista del equipo mayor nuevo y modificado que fue instalado como parte de este trabajo. Las principales modificaciones que se realizaron por el grupo de proyectos son descritas a continuación.

7.6.1. Prelavado del Residuo de Pesados 1A

Un sistema para lavar el residuo pesado 1A y extraer el catalizador conteniendo azufre fue instalado. El sistema se integro como parte de una de las plantas productivas nuevas usando el diseño preparado por los ingenieros de la planta. El sistema consistió de un tanque lavador equipado con un agitador, un decantador alimentado por derrame del lavador y bombas para retornar la fase acuosa al proceso y para enviar el residuo de pesados 1A al tanque de almacenamiento respectivo. Un sistema similar fue instalado por el departamento de Ingeniería de la planta en la otra unidad existente. De esta forma se reduciría la formación de partículas sólidas suspendidas durante la destrucción de este residuo ceniza.

7.6.2. Alimentación de los Desechos Líquidos

Se decidió comprar bombas de alimentación nuevas para enviar los desechos ceniza al incinerador. Las bombas fueron especificadas para manejar un residuo viscoso a una presión de descarga más alta que la entregada por las bombas existentes. Adicionalmente, se decidió instalar otra línea de alimentación de desechos de los tanques de almacenamiento al incinerador de líquidos. De esta forma se tendrían dos líneas en servicio continuo, una para cada tanque en servicio. Las líneas se unirían a la entrada del quemador de líquidos con lo que el contacto de residuos incompatible se mantendría al mínimo posible (solamente en el interior del quemador). En caso de que una línea se tapara, la otra seguiría alimentando al incinerador. La quema de los desechos sería suspendida solamente cuando el quemador requiriera limpieza, la cual se podría realizar mientras el incinerador operaba a fuego mínimo quemando gas natural.

7.6.3. Combustión de los Desechos Ceniza

Basados en los resultados de las pruebas, se decidió cambiar la tobera de

atomización del quemador de líquidos por otras más eficiente para mejorar la destrucción de los residuos tipo ceniza. Una caída de presión mayor a través de la tobera sería necesaria para lograr la formación de gotas más pequeñas que aceleraran la evaporación del residuo antes de su combustión. La presión requerida para la atomización se suministraría por medio de las bombas nuevas de alimentación al quemador de líquidos.

7.6.4. Lavado y Enfriamiento de los Gases de Combustión

Durante las pruebas de destrucción de residuos ceniza se observó que el principal cuello de botella del sistema de incineración de líquidos estaba en la sección de lavado de gases. Debido a que el cambiador que enfriaba el riego a la columna empacada estaba corto para el servicio y adicionalmente no recibía suficiente agua de enfriamiento para remover la carga de calor requerida. Como resultado, la temperatura de los gases de combustión a la salida de la columna lavadora era más alta que la de diseño, lo que aumentaba el flujo volumétrico de los gases a través del sistema. Esto ocasionaba caídas de presión más altas en la columna lavadora y en la de choque provocando que el ventilador de tiro inducido alcanzara su capacidad límite de diseño y no fuera capaz de suministrar más aire al sistema para la quema de los desechos.

Se determinó que se rediseñaría la columna lavadora y el enfriador del riego para lograr enfriar los gases de combustión hasta 125 oF. Para ello se instaló un cambiador de placas nuevo de mayor área en lugar del existente al que le se suministro agua de enfriamiento proveniente de una torre de enfriamiento nueva de mayor capacidad. La torre de enfriamiento del incinerador de líquidos fue demolida. Adicionalmente se decidió cambiar el relleno de la columna lavadora por empaque estructurado metálico en lugar de empaque de plástico tipo silleta. Con esto se aumento el área de transferencia para el contacto de los gases de combustión con el agua de riego y se disminuyó la caída de presión a través de la columna.

8. Condiciones de Operación Recomendadas para el SIL

Las condiciones de operación que se controlaron una vez realizadas las modificaciones en el sistema de incineración no variaron grandemente de las que se controlaron durante las pruebas de incineración de desechos ceniza. A su vez las condiciones controladas en las pruebas fueron en su mayoría las que normalmente se controlaban en la operación del incinerador previamente a las modificaciones. Sin embargo, algunas condiciones de operación cambiaron y son discutidas a continuación:

8.1. Alimentación al Sistema de Incineración de Líquidos

La alimentación al incinerador de líquidos consistirá únicamente de residuos tipo ceniza provenientes de dos tanques de almacenamiento. Es necesario que el contenido de azufre en la alimentación se reduzca mediante la operación continua de al menos uno de los sistemas de prelavado de los residuos de pesados 1 y 1A. De preferencia, ambos sistemas de prelavado deben operar continuamente excepto cuando salgan a mantenimiento. Si ambos sistemas de prelavado están fuera de operación, la alimentación de los residuos de pesados 1 y 1A al incinerador de líquidos se deberá reducir al mínimo posible hasta que se restablezca la operación de prelavado nuevamente para evitar una excursión en la emisión de partículas suspendidas.

8.2. Bombas de Alimentación

Se deberá vigilar rutinariamente la operación de las bombas de alimentación dado que su presión de descarga es relativamente alta. Las bombas tienen una recirculación continua al tanque de almacenamiento para protegerlas en caso de que la alimentación al incinerador de líquidos se suspenda súbitamente. Se deberá monitorear que haya flujo de recirculación todo el tiempo para proteger la integridad de las bombas.

8.3. Atomización de los Desechos

La tobera de atomización nueva requiere que la presión del aire se mantenga

constante mientras que la presión de los desechos líquidos varía de acuerdo al flujo de alimentación. En el pasado, la presión del aire siempre era mayor a la presión de los desechos. Con la nueva tobera la presión de los desechos puede ser mayor a la del aire hasta en 15 lb/in². Si la presión de los desechos es mayor en 15 lb/in² que la presión del aire, se deberá suspender la quema de residuos para limpiar el quemador de desechos.

8.4. Temperatura de los Gases a la salida de la Columna Lavadora

La temperatura de los gases de combustión a la salida de la columna lavadora se deberá controlar entre 125 y 130 oF ajustando automáticamente el flujo de riego a la columna para permitir que el ventilador de tiro inducido extraiga los gases especialmente cuando el flujo de alimentación sea alto.

9. Resultados

Las modificaciones se fueron implementando en etapas conforme se fueron definiendo, desarrollando y aprobando. Además, se tenía que esperar el momento adecuado para sacar de operación el SIL de forma que no afectara la capacidad de producción de las plantas.

Lo primero que se instaló fueron los dos tanques de almacenamiento nuevos a finales de 1997 para separar los residuos "limpios" de los tipo "ceniza". A continuación, se implementaron los cambios al sistema de alimentación, las bombas de mayor capacidad y la segunda línea de alimentación. Posteriormente, se instaló el sistema para prelavar la corriente de pesados 1A. Finalmente, se realizaron los cambios en la columna absorbidora y en su equipo periférico. Las modificaciones mecánicas fueron concluidas a principios de 1999; por lo tanto, el proyecto concluyó con dos meses de retraso. Afortunadamente, no se afectó la capacidad de producción de las plantas nuevas ya que arrancaron a baja capacidad.

Una vez terminada la obra, se planeó y se realizó la prueba oficial para comprobar la nueva capacidad del sistema y el cumplimiento de las emisiones en zona críticas fijadas para equipos de combustión con capacidad de 43,000 a 110,000 MJ/h de acuerdo a la norma respectiva que se muestra en el apéndice 6. Durante la prueba, una compañía externa certificada realizó la toma de muestras y las mediciones respectivas.

Los resultados de la prueba mostraron que la capacidad de incineración se restableció a 13.6 gpm de una mezcla de residuos ceniza cumpliendo holgadamente con los parámetros de emisiones fijados por la Norma Oficial Mexicana 085 SEMARNAT – 1994. En el apéndice 7 se muestran los valores de operación de los parámetros más importantes controlados durante las corridas efectuadas y los valores de las emisiones respectivas.

10. Conclusiones

Las modificaciones implementadas al Sistema de Incineración de Líquidos por el grupo de proyectos han permitido a la planta destruir adecuadamente el total de los desechos líquidos generados por las unidades existentes y nuevas. La destrucción se logró aplicando la estrategia de segregación de las corrientes para enviar los residuos limpios a los incineradores de vapores orgánicos y los residuos ceniza únicamente al incinerador de líquidos para evitar ensuciamientos y daños a los incineradores de vapores orgánicos. Los tanques de almacenamiento adicionales han permitido llevar a cabo la segregación de los desechos de acuerdo a la estrategia planteada.

La capacidad permitida de incineración de desechos limpios es justa para destruir la generada por las unidades operando a plena capacidad, pero no ha sido utilizada al 100%. De cualquier forma, la planta buscará incrementar el límite de incineración permitido para tener mayor flexibilidad de operación. Mientras tanto hasta 2 gpm de desechos limpios se pueden enviar al incinerador de líquidos en caso de ser requerido.

La capacidad del incinerador de líquidos ha sido suficiente para destruir el flujo de desechos ceniza que han generado todas las plantas a plena capacidad. La capacidad práctica de destrucción del incinerador es de 13.6 gpm de desechos tipo ceniza. Esta capacidad se consiguió mediante la instalación de: sistemas de prelavado para las corrientes de pesados 1 y 1A, bombas de alimentación de mayor capacidad, empaque estructurado en la columna lavadora de gases, un enfriador de mayor capacidad del riego a la columna y el suministro de una mayor cantidad de agua de enfriamiento al sistema.

En conclusión el objetivo establecido fue alcanzado exitosamente al adecuar los sistemas de incineración existentes para ser capaces de destruir los desechos líquidos generados por las unidades existentes y nuevas con modificaciones de bajo costo que ayudaron a completar el proyecto principal de construcción de

dos unidades productivas nuevas dentro de los lineamientos económicos fijados por la dirección.

11. BIBLIOGRAFÍA

Brunner, Calvin R. 1993. Hazardous Waste Incineration. McGraw-Hill, Inc. USA

Reed, Richard J. (editor). 1978. North American Combustion Handbook. North American Manufacturing Company. Cleveland, Ohio. USA

Schmelkes, Corina. 2002. Manual para la Presentación de Anteproyectos e Informes de Investigación (Tesis) Oxford University Press México, S. A. de C. V. D. F. México

Strigle, Ralph F. Jr. 1987. Random Packings and Packed Towers. Norton Chemical Process Products. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. USA

Kern, Donald Q. 1950. Process Heat Transfer. McGraw-Hill Book Company. New York. USA

Reed, Robert D. 1981. Furnace Operations. Third Edition. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. USA

Normas Oficiales Mexicanas contaminación atmosférica emisiones de fuentes fijas (ecol). Archivo comprimido tipo ZIP con un archivo de Word (nom085eco1994.zip). 2003
http://148.233.168.204/marco_juridico/cont_atmosferica2.shtml

12. LISTA DE APENDICES

1. Lista Preliminar de Equipo Mayor Nuevo
2. Programa de Restauración de la Capacidad del SIL
3. Resultados Analíticos de los Desechos Líquidos alimentados a los Incineradores
4. Balance de Materia del SIL
5. Lista Mayor de Equipo Nuevo
6. Norma Oficial Mexicana 085 SEMARNAT – 1994
7. Resultados Principales de la Prueba Oficial de Incineración

APENDICE 1

PROYECTO DE RESTAURACION DE LA CAPACIDAD DE OPERACION DEL INCINERADOR DE LIQUIDOS

LISTA PRELIMINAR DE EQUIPO MAYOR NUEVO

1. TANQUES

Tag	SERVICIO	Capacidad Galones	Presión in H2O	Material	Comentarios
R-1X	Tanque de Almacenamiento	36,000	4	Ac. Inox. 316	Con eductor para mezclado
R-2X	Tanque de Almacenamiento	36,000	4	Ac. Inox. 316	Con eductor para mezclado

2. BOMBAS

Tag	SERVICIO	Flujo gpm	Cabeza ft	Potencia HP	Presión psig	Material
B-1X	Alimentación de Residuos	100	250	25	110	Ac. Inox. 316
B-1X	Alimentación de Residuos	100	250	25	110	Ac. Inox. 316

3. CAMBIADORES DE CALOR

Tag	SERVICIO	Tipo	Área ft2	Presión psig	Material
C-1X	Enfriador Columna Lavadora	Placas	6,357	75	Ac. Inox. 316
C-2X	Enfriador Columna Lavadora	Placas	6,357	75	Ac. Inox. 316

4. FILTROS

Tag	SERVICIO	Flujo gpm	Presión psig	Tamaño Partícula	Material
F-1X	Filtro Columna lavadora	175	170	50 micras	Ac. Inox. 316

APENDICE 1 (Continuación)

PROYECTO DE RESTAURACION DE LA CAPACIDAD DE OPERACION DEL INCINERADOR DE LIQUIDOS

LISTA PRELIMINAR DE EQUIPO MAYOR NUEVO

5. COLUMNAS

Tag	SERVICIO	Diámetro ft	Altura Empacada, ft	Presión psig	Material
T-1X	Columna Lavadora	12	20	25/Vacío	Ac. Inox. 316

6. VARIOS

Tag	SERVICIO	Diámetro ft	Altura ft	Presión psig	Material
MC-1X	Ventilador tiro inducido	30,000 cfm @ 40 in H2O. 500 HP en Ac. Inox. 316			
TE-1X	Torre de Enfriamiento de 50 MM BTU/hr				

APENDICE 2

PROGRAMA DE RESTAURACION DE LA CAPACIDAD DEL SIL

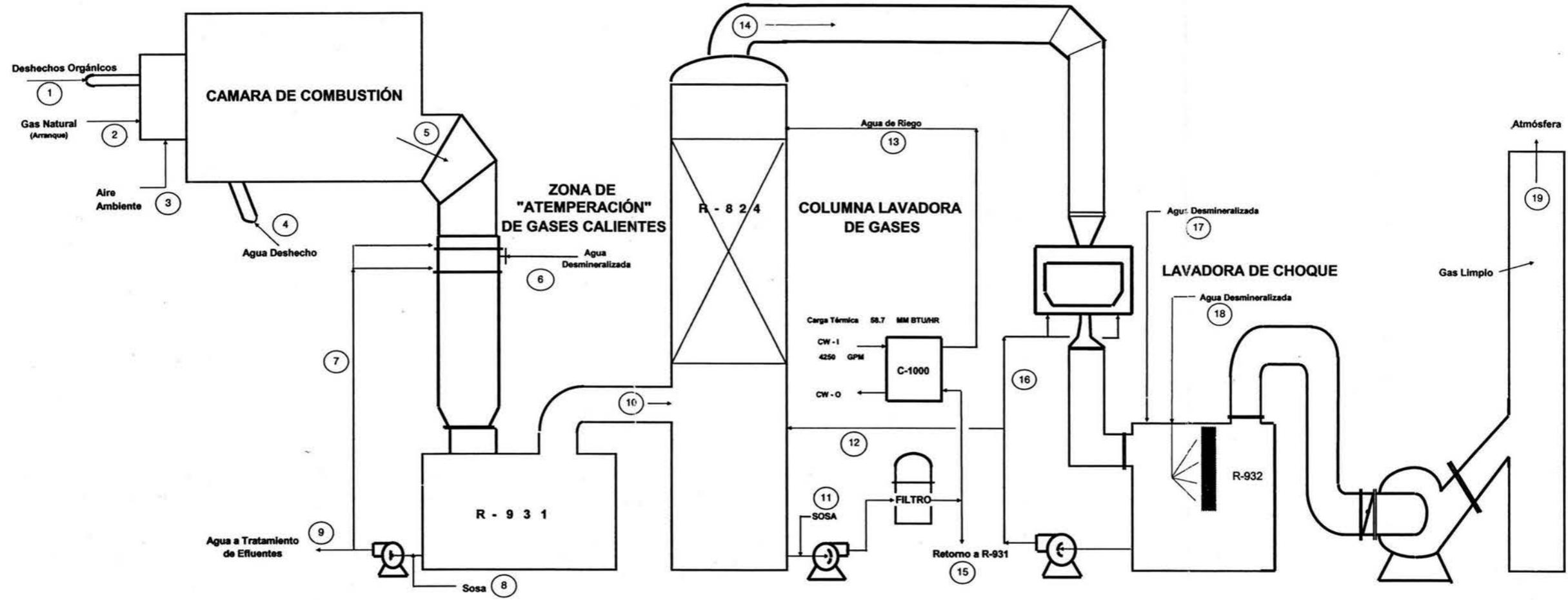
		1997				1998				1999				2000	
		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q
Congelar Alcance Modificaciones al SIL		■													
Desarrollar Ingeniería de Detalle de los Cambios			■												
Tramitar y Obtener Permisos Construcción				■											
Colocar pedidos del equipo y entrega				■											
Preparación SIL y Construcción							■								
Pruebas y Arranque									■						
		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Posible envío de algunos desechos a un sitio externo </div>													
						Fase 1 Proyecto ↑				Proyecto SIL ↑				Fase 2 Proyecto ↑	
Generación Desechos en gpm	Existente	15													
	Proyecto														
	Total	15													
Capacidad Incineración en gpm	Existente	18													
	Futura														
	Total	18													

A P E N D I C E 3

Resultados Analíticos de los Deshechos Líquidos Alimentados a los Incineradores

	1	2	3	4	5	6
Análisis Elemental	Residuos Pesados 1	Corte Ligeros 1	Residuos Pesados 2	Corte Ligeros 2	VARIOS	Varios A
Carbón	45.40%	40.51%	55.30%	60.36%	49.49%	40.70%
Hidrógeno	6.40%	6.76%	7.34%	11.48%	5.81%	6.76%
Nitrógeno	0.50%	0.50%	0.40%	0.50%	0.50%	0.50%
Azufre	0.05%	0.05%	3.50%	0.05%	0.05%	0.05%
Oxígeno	47.20%	52.16%	33.28%	27.58%	44.13%	51.79%
Cenizas	0.46%	0.02%	0.18%	0.03%	0.02%	0.20%
TOTAL	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Temp., oF	140	120	200	120	100	140
Flujo, GPM	3.00	3.00	3.50	3.00	2.00	1.50
Densidad, lb/cu. ft.	71.26	65.30	69.92	53.86	65.52	65.28
Viscosidad, C. P.	5.60	1.50	135.00	1.50	5.00	20.00
Poder Calorífico, Btu/lb	7226	6308	10653	13332	8104	6404
Cromo, ppm	7.0	2.3	41.0	1.6	2.3	7.0
Halogenos, ppm	19.0	26.0	40.0	25.0	26.0	20.0

SISTEMA DE INCINERACIÓN DE LÍQUIDOS



BALANCE DE MATERIA EN LB/HR PARA UNA ALIMENTACIÓN DE DESECHOS LÍQUIDOS DE 13.6 GPM

Corriente Núm.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Deshecho Orgánico	Gas Natural	Aire Comb.	Agua Deshecho	Gases Combustión	Agua Demín.	Agua Recirc.	Sosa a R-931	Agua al Efluente	Gas Saturado	Sosa a R-824	Recirc a R-824	Agua de Riego a R-824	Gases Enfriados	Retorno a R-931	Agua a Contactor	Agua Demín.	Agua Demín.	Agua Limpios	
H2O			870	8377	14097	12500	203697	19	22423	64997	128	2177	874340	6498	60804	152773	2000	175	6498	
Orgánico	7525	0		445	1					1				1					1	
CO2					15112					15112				15112						15112
O2			15532		3468					3468				3468						3468
N2			51365		51365					51365				51365						51365
SO2					49					41				1						1
NOx					22					22				22						22
Sólidos	23			1.8	25		981	5	108	33	32	16	1484	16	103	1105			2	
TOTAL	7548	0	67767	8824	84139	12500	204677	24	22531	135039	160	2193	875824	76484	60908	153878	2000	175	76469	
Temp., °F	130.0	80.0	84.0	90.0	1860.0	85.0	170.0	85.0	170.0	187.0	85.0	100.0	108.0	125.0	175.0	100.0	85.0	85.0	159.0	
Presión, in H2O					-5.3					-15.0				-22.00						0.20
Flujo Gases, ACFM		0	14744		97093					48181				19931						19937
Flujo, GPM	13.6			17.7		25.0	398.1	0	46.4		0.26	4.4	1765.3		125.3	310.4	4.0	0.4		
PM promedio		17.0	29.0		27.4					22.9				28.9			18.0	18.0		28.9
Humidad, lb/lb Gas					0.201					0.927				0.095						0.095
Densidad, lb/ft3	70.00	0.0448	0.0766	62.30	0.0144	62.3	64.10	76.09	60.61	0.0467	76.09	61.81	61.9	0.0640	60.61	61.81	62.30	62.30	0.0639	
Partículas, mg/m3					456.1					593.0				296.6						30.9
Sólidos, wt%	0.30%			0.02%			0.48%		0.48%			0.72%	0.17%		0.17%	0.72%				

A P E N D I C E 5

PROYECTO DE RESTAURACION DE LA CAPACIDAD DE OPERACION DEL INCINERADOR DE LIQUIDOS

LISTA DE EQUIPO MAYOR NUEVO

1. TANQUES

Tag	SERVICIO	Capacidad Galones	Diám. ft	Altura ft	Presión in H2O	Material	Comentarios
R-1385	Tanque de Residuos Ligeros	36,000	16	26	4	Ac. Inox. 316	Con eductores
R-1386	Tanque de Residuos Pesados	36,000	16	26	4	Ac. Inox. 316	Con eductores

2. BOMBAS

Tag	SERVICIO	Flujo gpm	Cabeza ft	Potencia HP	Temp. oF	Presión psig	Material
B-2324	Alimentación de Residuos	100	300	25	170	150	Ac. Inox. 316
B-2325	Relevo de B-2324	100	300	25	170	150	Ac. Inox. 316
B-2326	Alimentación de Residuos	100	300	25	170	150	Ac. Inox. 316
B-2327	Relevo de B-23246	100	300	25	170	150	Ac. Inox. 316
B-2344	Alimentación Agua de Reacción	175	357	40	150	155	Ac. Inox. 316
B-2345	Relevo de B-2344	175	357	40	150	155	Ac. Inox. 316
B-2508	Recirc. Columna Lavadora	2,200	171	200	180	74	Ac. Inox. 316
B-2509	Relevo B-2508	2,200	171	200	180	74	Ac. Inox. 316
B-2510	Alimentación SIL	20	586	40	170	290	CD4M
B-2511	Alimentación SIL	20	586	40	170	290	CD4M
B-2512	Relevo de B-2510 y B-2511	20	586	40	170	290	CD4M
B-2522	Alimentación SIL	20	586	40	170	290	CD4M
B-2534	Relevo de B-2522	20	586	40	170	290	CD4M
B-2513	Circulación de R-826	250	125	50	170	55	CD4M
B-2514	Circulación de R-825	250	125	50	170	55	CD4M

A P E N D I C E 5 (Continuación)

PROYECTO DE RESTAURACION DE LA CAPACIDAD DE OPERACION DEL INCINERADOR DE LIQUIDOS

LISTA DE EQUIPO MAYOR NUEVO

3. CAMBIADORES DE CALOR

Tag	SERVICIO	Tipo	Área ft ²	Temp. oF	Presión psig	Material
H-1000	Enfriador Columna Lavadora	Placas	6,357	200	75	Ac. Inox. 316
H-1660	Enfriador Columna Lavadora	Placas	6,357	200	75	Ac. Inox. 316

4. FILTROS

Tag	SERVICIO	Flujo gpm	Presión psig	Temp. oF	Tamaño Partícula	Tipo	Material
MF-906	Filtro Agua de Reacción	175	170	150	50 micras	Canasta	Ac. Inox. 316
MF-907	Filtro Agua de Reacción	175	170	150	50 micras	Canasta	Ac. Inox. 316
MF-1012	Filtro Recirc. Lavadora	75	180	100	50 micras	Canasta	Ac. Inox. 316
MF-1013	Filtro Recirc. Lavadora	75	180	100	50 micras	Canasta	Ac. Inox. 316

4. VARIOS

Tag	SERVICIO	Flujo gpm	Presión psig	Temp. oF	Material
MJ-171/174	Mezcladores	60	40	160	Hastelloy 4 Eductores
MJ-175/178	Mezcladores	60	40	160	Hastelloy 4 Eductores
MN-538	Arrestador de Flama internos de Ac. Inox. 316	13,000	SCFH @ 120	oF. PM = 29.	Presión Op. 2" H2O. Mat. Aluminio con

A P E N D I C E 6

Norma Oficial Mexicana 085 SEMARNAT – 1994

Niveles de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos provenientes de fuentes fijas que utilizan Combustibles fósiles

TABLA 6
1° ENERO DE 1998 EN ADELANTE

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTION MJ/h	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	DENSIDAD DE HUMO	PARTICULAS (PST) mg/m ³ (kg/10 ³ kcal) (1) (2)			BIOXIDO DE AZUFRE ppm V (kg/10 ³ kcal) (1) (2)			OXIDOS DE NITROGENO ppm V (kg/10 ³ kcal) (1)			EXCESO DE AIRE DE COMBUSTION % volumen (5)
			Número de mancha u opacidad	ZMCM	ZC (3)	RP	ZMCM	ZC (3)	RP	ZMCM	ZC (4)	
Hasta 5.250	Combustible gaseoso	3	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	50
	Otros líquidos	2	NA	NA	NA	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	NA	NA	NA	
	Gaseosos	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 5,250 a 43,000	Líquidos	NA	75 (0.106)	350 (0.497)	450 (0.639)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	190 (0.507)	190 (0.507)	375 (1.0)	40
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	190	190	375	
De 43,000 a 110,000	Líquidos	NA	60 (0.085)	300 (0.426)	400 (0.568)	550 (2.04)	1,100 (4.08)	2,200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	30
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	
Mayor de 110,000	Sólidos	NA	60 (0.090)	250 (0.375)	350 (0.525)	550 (2.16)	1100 (4.31)	2200 (8.16)	110 (0.309)	110 (0.309)	375 (1.052)	25
	Líquidos	NA	60 (0.085)	250 (0.355)	350 (0.497)	550 (2.04)	1100 (4.08)	2200 (8.16)	110 (0.294)	110 (0.294)	375 (1.0)	
	Gaseosos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (0.281)	110 (0.281)	375 (0.959)	

Notas y significados de siglas en Anexo 2.

A P E N D I C E 6 (Continuación)

NOTAS:

- (1) Concentraciones referidas a 25°C, 760 mm Hg, 5% de oxígeno en volumen y base seca. Entre paréntesis se expresa el equivalente de la concentración en unidades de kg/106 kcal.

El factor para corregir el O₂ a la base del 5 % de oxígeno, se calcula de acuerdo a la ecuación

$$E_r = \frac{21 - O_r}{21 - O_m} * E_m$$

Donde:

Er = Emisión calculada al valor de referencia del O₂

Em = Emisión medida (NO_x ó CO)

Om = Valor medido para el O₂

Or = Nivel de referencia para el O₂

- (2) Los valores de emisión de Partículas, Bióxido de Azufre y Óxidos de Nitrógeno podrán ser determinados con promedios ponderados de fuente fija, al hacer uso del procedimiento descrito en el punto 5.2 de esta Norma.
- (3) Zonas críticas (especificadas en el punto 4.22 de esta norma).
- (4) Se refiere únicamente a la Zonas metropolitanas de las ciudades de Monterrey y Guadalajara y las ciudades de Tijuana, Baja California y Cd. Juárez, Chihuahua.
- (5) Determinado con la siguiente ecuación y medido antes del precalentador de aire o de cualquier infiltración que diluya los gases de combustión:
 $EA = (O_2 - 0.5 CO) 100 / (0.264 N_2 - O_2 + 0.5 CO)$;

donde O₂, CO y N₂, corresponden al por ciento en volumen de oxígeno, monóxido de carbono y nitrógeno respectivamente contenidos en los gases de combustión en base seca.

SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS:

ZC	Zonas Críticas
NA	No Aplica.
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México.
RP	Resto del país

A P É N D I C E 7

Principales Resultados de Operación del Incinerador de Líquidos durante la Prueba Oficial de Destrucción de los Desechos "Ceniza"

Residuos Pesados 1	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Temperatura	oF	150	151	150
Presión descarga bombas	psig	169	171	171
Contenido de Ceniza	% peso	0.41	0.39	0.43
Flujo de Alimentación	gpm	7.5	7.4	7.2

Residuos Pesados 2	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Temperatura	oF	120	120	120
Presión descarga bombas	psig	160	162	161
Contenido de Ceniza	% peso	0.21	0.22	0.23
Flujo de Alimentación	gpm	5.7	6.0	6.4

Combustión y Hogar	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Flujo Aire de Combustión	MSCFH	860.41	818.48	855.53
Temperatura del Aire	oF	70.63	58.04	80.43
Flujo Gas Natural	MSCFH	0.90	0.92	0.93
Flujo Agua de Deshecho	GPM	21.45	22.67	25.50
Flujo Total Desechos	GPM	13.32	13.40	13.60
Presión Salida Hogar	in H2O	-9.42	-8.41	-8.76
Temperatura del Hogar	oF	1841.7	1839.5	1835.1
Concentración Oxígeno	% mol	3.78	3.41	2.80

Atemperamiento de Gases de Combustión	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Flujo Agua Desmineraliz.	GPM	36.38	34.23	34.51
Flujo Agua Recirculada	GPM	289.00	285.69	285.37
Flujo de Agua al Efluente	GPM	49.39	54.24	56.49
Temp. Gases Atemperados	oF	186.71	187.14	187.93
Flujo de Columna Lavadora	GPM	116.25	123.39	120.52
PH		7.58	6.58	6.99
Nivel Separador R-931	%	34.58	35.10	33.81
Temp. Separador R-931	oF	169.66	166.00	172.83
Presión R-931	in H2O	-13.64	-12.71	-13.15

A P É N D I C E 7 (Continuación)

Principales Resultados de Operación del Incinerador de Líquidos durante la Prueba Oficial de Destrucción de los Desechos "Ceniza"

Columna Lavadora de Gases	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Caída de Presión R-824	in H2O	1.18	1.25	1.53
Temp. Gases de Salida R-824	OF	125.07	126.03	126.28
Flujo de Riego a R-824	GPM	1762.13	1781.42	1830.11
Temp. Riego antes C-1000	OF	173.91	174.00	174.80
Temp. Riego después C-1000	OF	103.15	103.40	103.97
Flujo de NaOH	GPH	10.42	50.05	50.40
PH		7.50	7.29	7.30
Nivel de R-824	%	56.08	52.86	52.89
Temp. Suministro Agua de Enfto.	OF	107.96	105.28	110.92
Temp. Retorno Agua de Enfto.	OF	132.30	133.20	137.67
Caída de Presión C-1000 (agua enfto)	Psig	24.84	24.75	24.00

Lavadora de Gases de Choque	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Caída de Presión Lavador	in H2O	42.74	43.52	43.95
Flujo Agua de Choque	GPM	298.91	301.49	296.39
Temperatura Agua de Choque	OF	112.62	114.15	120.00
Purga a R-824	GPM	3.60	3.62	3.71
Flujo Agua Desmineralizada	GPM	3.64	3.96	4.05
Nivel R-932	%	45.87	40.77	45.84

Ventilador Tiro Inducido y Chimenea	Unidades	1ª Corrida	2ª Corrida	3ª Corrida
Presión Succión	in H2O	-61.43	-61.69	-62.56
Velocidad del Ventilador	RPM	1681.13	1677.40	1689.04
Temperature Gases de Chimenea	OF	148.00	145.48	145.62
Conc. CO en la Chimenea	ppm vol.	3.71	4.05	4.11
Conc. Oxígeno en la Chimenea	% mol	4.67	4.45	4.15
Conc. Partículas en Chimenea	mg/m3	34.1	44.0	47.1
Conc. SO2 en la Chimenea	ppm vol.	0.10	0.08	0.09
Conc. NOx en la Chimenea	ppm vol.	90.09	94.40	97.11