



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

***TESIS***

**PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN, INSPECCIÓN Y REPARACIÓN DE  
CAMBIADORES DE CALOR ENFRIADOS POR AIRE.**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**CHRISTIAN LAVANA HERNÁNDEZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.**

**2016**



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:**                   **Profesor: Juan Mario Morales Cabrera**

**VOCAL:**                           **Profesor: Carlos Álvarez Maciel**

**SECRETARIO:**               **Profesor: Bernardo Carreón Calderón**

**1er. SUPLENTE:**               **Profesora: Ileana Rodríguez Castañeda**

**2° SUPLENTE:**               **Profesor: Alejandra Mendoza Campos**

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**FACULTAD DE QUÍMICA Y EN REFINERÍA “FRANCISCO I. MADERO” PLANTA CATALÍTICA II.**

### **ASESOR DEL TEMA:**

I.Q. Carlos Álvarez Maciel

### **SUPERVISOR TÉCNICO:**

Ing. Héctor Manuel Juárez Martínez

### **SUSTENTANTE (S):**

Christian Lavana Hernández

## ÍNDICE

<b>1. Resumen</b> .....	5
<b>2. Objetivos.</b> .....	7
<b>3. Introducción.</b> .....	8
<b>3.1 Ventajas del tiro forzado</b> .....	9
<b>3.2 Ventajas del tiro inducido</b> .....	10
<b>4. Marco teórico</b> .....	12
<b>4.1 Instalaciones Catalítica II</b> .....	12
<b>4.2 Descripción General Planta Catalítica II</b> .....	13
<b>4.3 Reactor.</b> .....	13
<b>4.4 Separador</b> .....	14
<b>4.5 Fraccionadora</b> .....	15
<b>4.6 Intercambiador de calor por Aire</b> .....	16
<b>4.7 Tipos de tubos con aletas</b> .....	16
<b>4.7.1 Haz de tubos</b> .....	16
<b>4.7.3 Construcción de tubos con aletas</b> .....	17
<b>4.8 Plenos, ángulo de dispersión y cobertura del ventilador</b> .....	19
<b>4.9 Métodos de control</b> .....	20
<b>4.9.1 Lado del proceso</b> .....	20
<b>4.9.2 Lado del aire</b> .....	20
<b>4.10 Velocidad variable</b> .....	20
<b>4.11 Principales factores que llevan a la Corrosión en cambiadores de calor enfriados por aire</b> .....	21
<b>4.11.1 La temperatura como un factor de corrosión</b> .....	21
<b>4.11.2 El aire como factor corrosivo</b> .....	21
<b>4.11.3 El Ruido un factor de desgaste en los intercambiadores.</b> .....	22
<b>4.12 Requisitos de espacio y área de terreno</b> .....	22
<b>4.13 Limpieza del lado del proceso</b> .....	22
<b>4.14 Presión de diseño del lado del proceso</b> .....	22
<b>4.15 Resistencia a la adherencia</b> .....	23
<b>4.16 Temperatura de aproximación</b> .....	23
<b>4.17 Administración de Riesgos</b> .....	23
<b>4.18 Administración de procedimientos</b> .....	24
<b>4.19 Consideraciones mecánicas</b> .....	24

4.20 Superficie vs. Potencia .....	25
4.21 Recirculación del aire caliente.....	25
4.22 Elevación .....	26
<b>5. Metodología.....</b>	<b>27</b>
5.1 Resultados en Bunker 2.....	27
5.2 Resultados en área de Planta Catalítica II. ....	27
5.3 Hoja de trabajo Bunker 2 .....	30
5.4 Hoja de trabajo en área .....	31
5.5 Revisión y pruebas de funcionamiento .....	32
5.6 Mantenimiento y control .....	33
<b>6. Análisis de resultados.....</b>	<b>37</b>
6.1 Tablas de resultados .....	40
6.2 Gráficas de vibración vs tiempo Enfriador 100-EA-207. ....	41
6.3 Resultados de las fechas 23, 24 y 25 de mayo de 2015. ....	42
6.4 Gráficas de vibración vs tiempo del Enfriador 100-EA-207. ....	44
<b>7. Conclusión .....</b>	<b>46</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>47</b>

## 1. Resumen

Se llevó a cabo este proyecto con el objetivo de encontrar mejoras y dar nuevas ideas de mejoramiento, inspección y reparación de cambiadores de calor enfriados por aire.

Por consiguiente tenemos que hacernos la siguiente pregunta ¿Qué es un cambiador de calor enfriado por aire?

Un cambiador de calor enfriado por aire consiste de un haz de tubos, por dentro del cual se hace pasar el fluido que se desea enfriar o condensar. Por fuera de dicho banco se hace pasar una corriente de aire por medio de un ventilador, reduciendo la temperatura del fluido de proceso hasta un punto cercano a la temperatura de bulbo seco del aire.

El haz de tubos está constituido por camas o hileras de tubos aletados en arreglo triangular o cuadrado, en posición horizontal, inclinada o vertical; el haz de tubos cuenta con: cabezales, estructuras laterales y soportes de tubos.

Los enfriadores por aire pueden ser de tiro forzado o tiro inducido, dependiendo de la manera de hacer circular el aire a través del haz de tubos. En los equipos de tiro forzado los ventiladores se colocan por debajo del haz, de tal manera que soplen o empujen el aire hacia los tubos forzándolo a pasar por ellos, mientras que en los de tiro inducido el ventilador está colocado arriba del haz de tubos para succionar o inducir el aire a pasar por este.

Por ello implemento ciertos objetivos para cumplir con mis propósitos y llegar a resultados óptimos:

Establecer los lineamientos generales para la evaluación, inspección y reparación de los enfriadores por aire a fin de detectar y corregir las anomalías o deterioro que pudiera ser causa de una falla.

Realizar auditorías a empresas (contratistas) que laboran dentro de la Refinería Francisco I. Madero con el objetivo de la seguridad tanto de empresa como de trabajadores y así mismo realizar un reporte a las autoridades competentes.

Realizar visita para conocer planta Catalítica II en la que estaré realizando el proyecto y hacer una inspección de condiciones que se encuentran los cambiadores de calor por aire (solo aires), al mismo tiempo conocer el proceso que se lleva a cabo en dicha planta para la producción de gasolinas.

Después de haber realizados pruebas, visitas y buscado información llego a la conclusión de lo siguiente:

Existen diversas aéreas de oportunidad tanto en los soloaires como en la planta Catalítica II ya que presentan deterioros los cuales son de actuar inmediatamente y otros aún se pueden corregir o prevenir.

El mayor problema es el deterioro por corrosión este es muy común por esta zona debido al estado climatológico que presenta en la zona, las sales en el medio ambiente permiten que los materiales se desgaten hasta un límite que no tenga solución y tengan que cambiarse por completo.

## **2. Objetivos.**

- Identificar y conocer un intercambiador de calor enfriado por aire y así mismo las áreas de oportunidad que presentan.
- Establecer los lineamientos generales para la evaluación, inspección y reparación de los enfriadores por aire a fin de detectar y corregir las anomalías o deterioro que pudiera ser causa de una falla.
- Realizar una inspección de las condiciones en que se encuentran los cambiadores de calor por aire, al mismo tiempo conocer el proceso que se lleva a cabo en dicha planta para la producción de gasolinas.
- Aplicar la teoría adquirida a lo largo de la preparación de la carrera de Ingeniería Química en el área laboral para mostrar a futuros ingenieros como se lleva a cabo el proceso.
- Determinar qué factores intervienen para un deterioro y mal empleo de trabajo en unidades operables de intercambiadores de calor enfriados por aire.



### 3. Introducción.

Un cambiador de calor enfriado por aire consiste de un haz de tubos, dentro de los cuales se hace pasar el fluido que se desea enfriar o condensar. Por fuera de dicho banco se pasa una corriente de aire por medio de un ventilador, reduciendo la temperatura del fluido de proceso hasta un punto cercano a la temperatura de bulbo seco del aire.

El haz de tubos está constituido por camas o hileras de tubos aletados en arreglo triangular o cuadrado, en posición horizontal, inclinada o vertical; el haz de tubos cuenta con: cabezales, estructuras laterales y soportes de tubos.

Los enfriadores por aire pueden ser de tiro forzado o tiro inducido, dependiendo de la manera de hacer circular el aire a través del haz de tubos.

- **Intercambiadores de tiro forzado:** Son los intercambiadores en los cuales los ventiladores se encuentran colocados antes del paso de aire por los tubos.

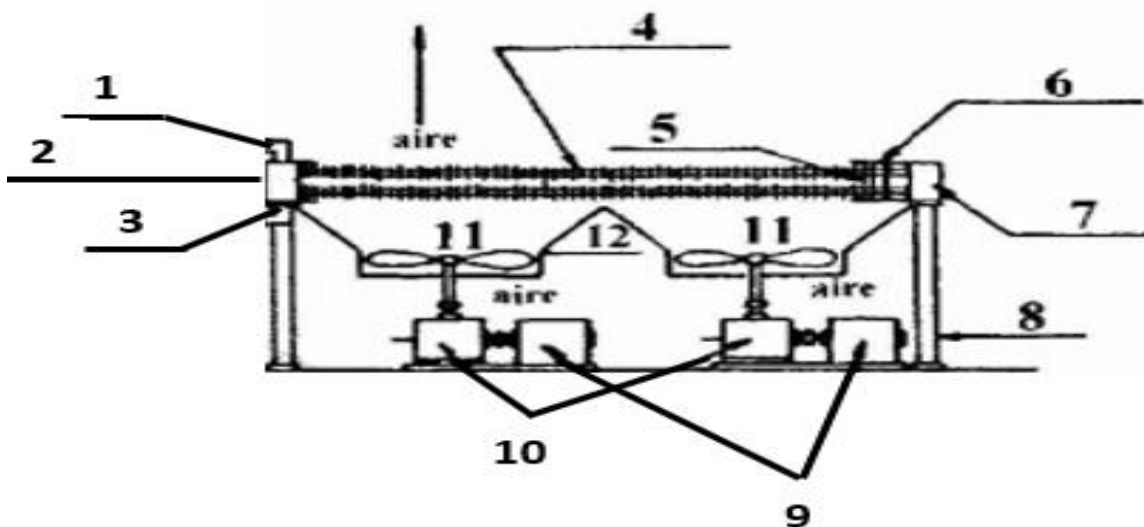


Figura 1 Cambiador de calor enfriado por aire de tiro forzado

- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Entrada de fluido caliente | 7. Cabezal flotante       |
| 2. Cabezal fijo               | 8. Soporte                |
| 3. Salida de fluido caliente  | 9. Motor                  |
| 4. Tubos aletados             | 10. Reductor de velocidad |
| 5. Soporte de Tubos           | 11. Ventilador            |
| 6. Soporte de canales         | 12. Tiro                  |

Son aquellos en los que los ventiladores se encuentran colocados después del paso de aire por los tubos. La ventaja de estos equipos es que se pueden usar en los lugares en los que el agua escasea o su tratamiento químico es muy costoso.

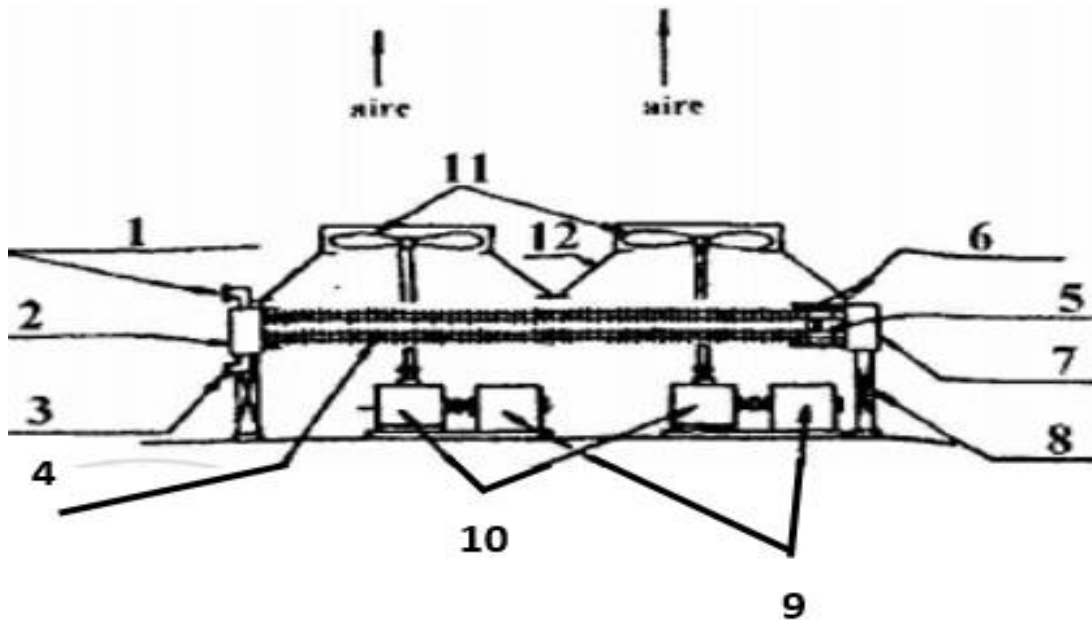


Figura 2 Cambiador de calor enfriado por aire de tiro inducido

- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Entrada de fluido caliente | 7. Cabezal flotante       |
| 2. Cabezal fijo               | 8. Soporte                |
| 3. Salida de fluido caliente  | 9. Motor                  |
| 4. Tubos aletados             | 10. Reductor de velocidad |
| 5. Soporte de tubos           | 11. Ventilador            |
| 6. Soporte de canales         | 12. Tiro                  |

### 3.1 Ventajas del tiro forzado

1. Generalmente requiere menos caballos de fuerza para una elevación de temperatura en el aire mayor que 28°C (50°F).
2. Adaptables para invierno, esquema de recirculación para el punto de fluidez o congelación.
3. Los equipos mecánicos están más accesibles para el mantenimiento.
4. Requiere menos soporte estructural.

5. Ningún equipo mecánico está expuesto al aire caliente de escape. El tiro inducido limita la temperatura el aire de salida aproximadamente 120°C (250°F).

### **3.2 Ventajas del tiro inducido**

1. Generalmente requiere menos caballos de fuerza para una elevación de temperatura en el aire menor que 28°C (50°F).
2. Menos recirculación de aire caliente y la velocidad del aire de escape es aproximadamente 2.5 veces la del tiro forzado.
3. Ofrece protección para el haz contra la intemperie (lluvia, nieve, granizo, etc.). también se protege el haz del calor solar y el enfriamiento repentino por lluvia.
4. Más apropiados para casos con pequeñas temperaturas de acercamiento; entre el aire de entrada y el fluido de salida.
5. Transfiere más el calor por convección natural con los ventiladores apagados debido al efecto de superposición.

En la selección del tipo de ventilador a usarse deben considerarse las siguientes recomendaciones:

- Las unidades de tiro inducido deben ser usadas siempre que la recirculación de aire caliente sea un problema potencial.
- Las unidades de tiro forzado deben ser usadas siempre que el diseño requiera protección por fluidos o congelación, o acondicionamiento para el invierno (este último requerimiento no es aplicable en esta Refinería dadas las condiciones climáticas del estado). Sin embargo, de ser tomada en cuenta la posible recirculación en el verano en el dimensionamiento de los ventiladores para minimizar el efecto de congelación.

Los tamaños usuales de ventiladores van de un rango de 1.2 a 5.5 m (4 a 18 pie) de diámetro, a pesar de que el diámetro mayor disponible es de 9 m (30 pie). Esto da un margen de libertad bastante aceptable en el arreglo de los haces. El tamaño máximo del diámetro del espaciado de ventiladores es de 4.2 m (14 pie) y el mínimo es de 1.8 m (6 pie). La única restricción en los tamaños

permitidos de ventiladores está dado por el requerimiento de que cada enfriador de aire sea servicio por dos o más ventiladores alineados en la dirección de la longitud de los tubos. Esto es para asegurar enfriamiento temporal adecuado en caso de que un ventilador se dañe.

## 4. Marco teórico

### 4.1 Instalaciones Catalítica II

En esta planta se localizan los cambiadores de calor enfriados por aire donde se trabajará la evaluación, inspección y reparación. Por lo tanto, se debe tener conocimiento de los equipos y el proceso en general.

Se realizaron recorridos frecuentes a la zona de enfriadores por aire donde se hacía el llenado de hoja de trabajo, que involucraba la temperatura y vibración.



Figura 3. Planta Catalítica II donde se encuentran los cambiadores de calor enfriados por aire y principales equipos que hacen funcionar a la planta.

## 4.2 Descripción General Planta Catalítica II

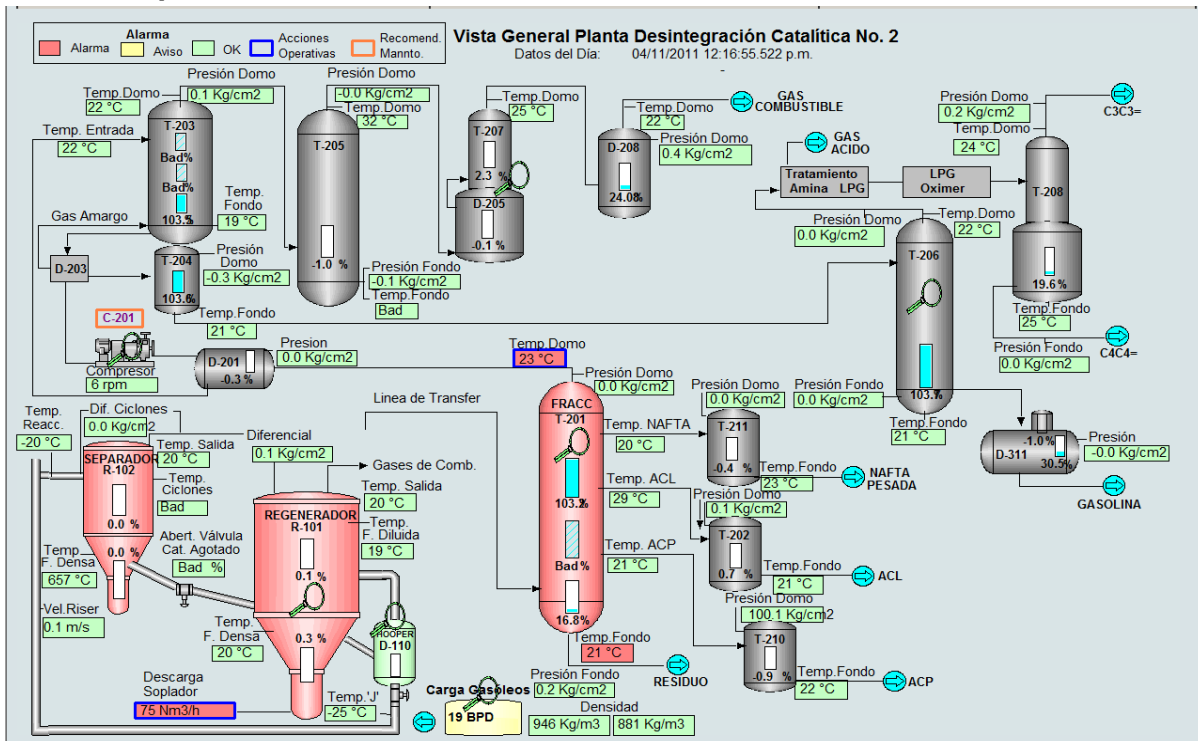


Figura 4. Descripción general planta Catalítica II.

El proceso inicia con la entrada del producto que proviene de las plantas primarias de la Refinería, el cual es gasóleo que posteriormente pasarán por todo el proceso para obtener hidrocarburos los cuales formarán las gasolinas y gas natural. Los principales equipos de la planta Catalítica son un reactor, separador, la fraccionadora, en este caso, los cambiadores de calor enfriados por aire.

Podemos encontrar en la Figura 4 los cuatros equipos mencionados por los cuales estará circulando el gasóleo, que formará las gasolinas y el gas natural.

Los intercambiadores enfriados por aire dan servicio a los siguientes equipos:

### 4.3 Reactor.

En este equipo, la transferencia de calor entre las dos corrientes se da por el paso alternado de fluidos calientes y fríos a través de un lecho de sólidos.

El fluido caliente proporciona calor a los sólidos que se calientan de forma gradual; pero antes de llegar al equilibrio los flujos son cambiados y entonces el fluido frío

remueve el calor del lecho. En este tipo de reactor se utilizan dos lechos idénticos, como en un sistema absorbedor-desorbedor.

#### 4.4 Separador

En general, un separador se utiliza para realizar las funciones de retirar todo el líquido del gas y todo el gas del líquido, pero además posee una serie de dispositivos en cada una de sus secciones que ayudan a un funcionamiento más efectivo del separador.

Este tipo de separador se usa principalmente cuando hay una producción alta, y además a presión alta de gas. La figura 5 muestra un esquema de un separador esférico.

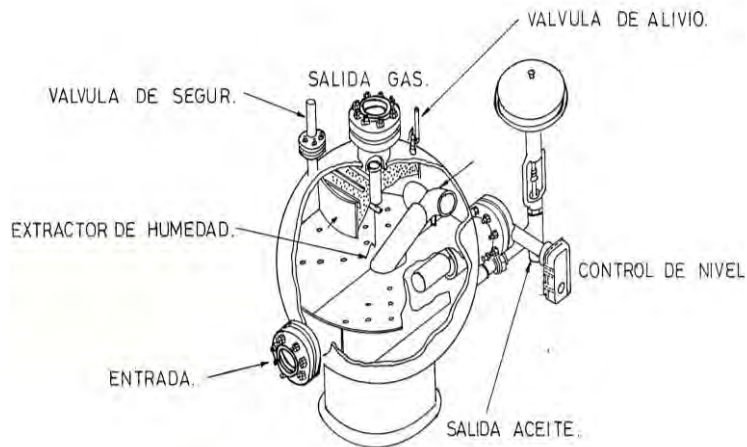


Figura 5. Separador Esférico

La mezcla entra por un costado y es llevado hacia el extremo opuesto en donde se divide en dos flujos que hacen un ángulo de  $180^\circ$ . Con este método se busca distribuir la corriente a través de toda la circunferencia del separador para mejorar la separación de fases; así ocurre la separación inicial de líquido y de gas, el líquido se va al fondo y el gas se va hacia arriba.

En la parte superior del separador hay una sección extractora de humedad por la cual tiene que pasar el gas antes de buscar la línea de salida. En este separador el volumen ocupado por la sección de acumulación de líquidos debe ser pequeño

comparada con el volumen del separador, a fin de que pueda manejar una cantidad alta de gas y éste pueda salir seco. El bafle horizontal con orificios se usa para separar las zonas de gas y de líquido.

#### **4.5 Fraccionadora**

Es un condensador del efluente sobrecalentado del reactor. El enfriamiento es por contacto directo con líquidos en varias etapas. Ha sido diseñada con cuatro rebombes o extracciones de calor más el condensador. Las cargas térmicas correspondientes son:

- Rebombeo de Nafta pesada
- Rebombeo de ACL (Aceite Cíclico Ligero)
- Rebombeo de ACP (Aceite Cíclico Pesado)
- Rebombeo de FFP (Fondos de la Fraccionadora Principal)

La forma en que este calor se usa en diversos servicios de la unidad así como para precalentar el agua para caldera y para generar vapor se muestra en los siguientes lineamientos, para los casos de alimentación caliente (187°C) y alimentación fría (66°C).

El balance térmico de la columna permite el control de flujos internos de líquido y vapor, y con ello el factor de inundación de los platos y empaques de las diferentes secciones de la columna y la calidad de separación de los productos.

Cada Rebombeo se controla por el flujo de recirculación y las temperaturas de extracción y retorno junto con la operación apropiada de los cambiadores de calor de otras secciones de la unidad que recibe el calor del Rebombeo. Para asegurar una temperatura de regreso constante y una operación estable, tiene enfriadores de ajuste en cada uno de los rebombes. En los de ACP y FFP, estos son generadores de vapor de media presión, y en los de ACL y Nafta pesada son enfriadores por aire. El flujo total de recirculación se regula por un controlador de flujo.

Los equipos mencionados con anterioridad son contemplados por formar parte de la planta, donde los intercambiadores de calor enfriados por aire trabajan para



conseguir una temperatura óptima por ello se da un breve descripción de equipo para saber cómo funcionan y como van vinculados con los intercambiadores

#### **4.6 Intercambiador de calor por Aire**

En primer lugar, casi todos los enfriadores de aire se construyen por el Código ASME sección VIII, ya que son recipientes a presión.

Para los servicios de refinería y petroquímica, la mayoría de los clientes incluyen API 661 en sus especificaciones. Esta especificación API es muy buena ya que incluye toda la información necesaria para especificar correctamente un intercambiador de calor enfriado por aire proporcionando un alto nivel de calidad en el diseño y fabricación.

El usuario puede decidir exactamente qué tipo de construcción necesita y qué opciones son importantes, estos incluyen galvanización contra pintura, tipos de cabeceras, pasarelas y plataformas de mantenimiento, controles y cargas externas en el enfriador.

La principal actividad con este equipo fue tomar vibraciones y temperaturas de entrada y salida del compuesto que estuviese enfriando. De la misma manera identificar las zonas de seguridad, corrosión y desgaste general del equipo.

#### **4.7 Tipos de tubos con aletas**

Los tubos en los enfriadores de aire pueden contener aletas hasta de 16 mm (5/8 pulg) de altura o sin aletas, dependiendo del servicio. El espacio entre aletas, de dos materiales (las aletas de diferente material que el tubo) dependiendo del servicio.

Las aletas pueden ser forzadas sobre el tubo, incrustadas, revestidas en cortes canalizados de espirales o solamente revestidas alrededor del tubo. Las aletas pueden ser dentadas o planas.

##### **4.7.1 Haz de tubos**

Las partes principales de los haces de tubos son los tubos con aletas y el cabezal. El cabezal en forma de tapón es el que se emplea con mayor frecuencia y consiste

en una caja soldada, como se muestra en la Figura 6 ahí se identifican los componentes de un haz de tubos.

El segundo cabezal en orden de importancia, de acuerdo con su empleo, es un cabezal de cubre placa. La cubre placa se sujeta en la parte superior, inferior y placas extremas del cabezal mediante pernos. Al quitar la cubierta se tiene acceso a los tubos sin necesidad de quitar los tapones roscados individuales.

#### 4.7.2 Tubería

Los tubos que se utilizan con mayor frecuencia son los de 25.4 mm de diámetro externo. La altura de las aletas varía entre 12.7 y 15.9 mm; el espaciamiento entre aletas varía entre 3.6 y 2.3 mm y el espaciamiento triangular de tubos entre 50.8 y 63.5 mm. La relación de la superficie extendida respecto a la superficie externa lisa del tubo varía entre 7 y 20. Se han utilizado tubos de 38 mm para gases de combustión y servicio de aceites viscosos. El tamaño de los tubos, la altura de las aletas y el espaciamiento de las mismas puede ser muy variado.

#### 4.7.3 Construcción de tubos con aletas

Las descripciones siguientes son las que se utilizan con mayor frecuencia en la construcción de tubos con aletas. (Figura 7)

- **Empotrada:** una aleta de aluminio, cuya sección transversal es rectangular, es arrollada mediante tensión e incrustada mecánicamente en una ranura de 0.25 a 0.05 mm de profundidad que ha sido cortada en forma de espiral en la superficie exterior del tubo.
- **Integral:** un tubo exterior contiene las aletas que han sido formadas por extrusión y se une mecánicamente al tubo interno.
- **Traslapadas recorridas:** las aletas de aluminio en forma de L se colocan bajo tensión en forma traslapada sobre la superficie externa del tubo, cubriéndolo por completo con los pies de las aletas, traslapadas de tal manera que el pie de una aleta encaja directamente abajo del pie de la aleta que le precede.

- **Recorridas:** las aletas de aluminio en forma de L son arrolladas bajo tensión sobre la superficie externa de un tubo, cubriéndolo por completo con el pie de cada aleta.
- **Unidas:** se trata de tubos con aletas, unidos a la superficie externa del mismo mediante galvanizado por inmersión en caliente o soldado.

Las temperaturas usuales de diseño para estas tuberías con aletas son 399°C para las aletas empotradas, 288°C para las integrales, 232°C para las traslapadas recorridas y 177°C para las recorridas.

Los extremos de los tubos se dejan desnudos para que permitan su inserción en orificios adecuados en los cabezales o espejos. Los extremos de los tubos rolados se expanden por lo general en esos orificios.

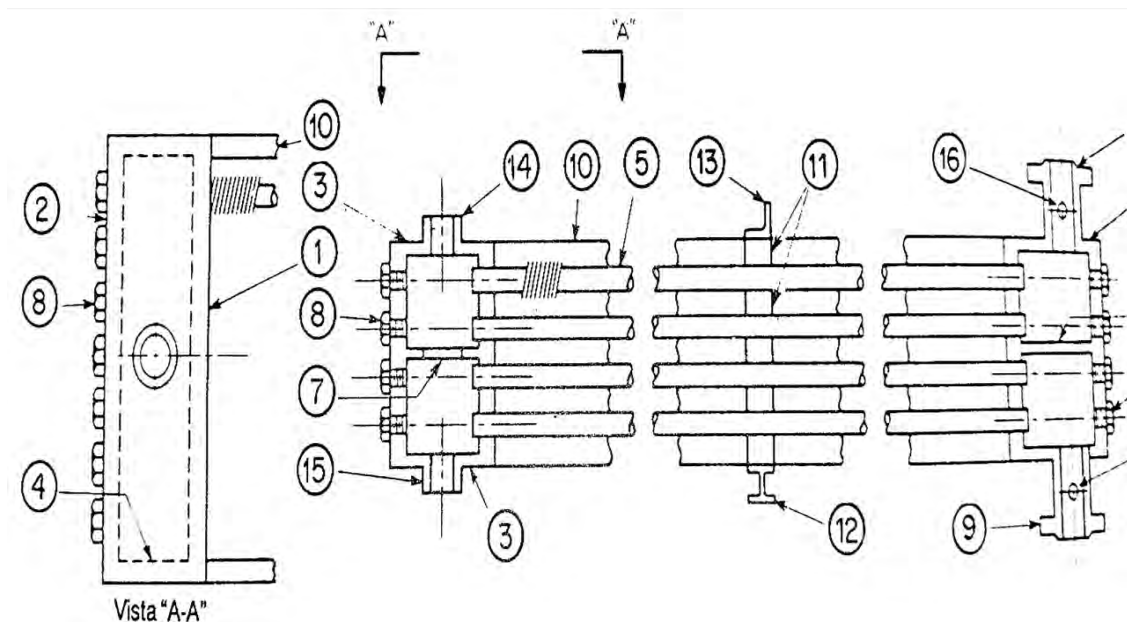


Figura 6. Construcción usual de tubos con cabezales en forma de tapón.

- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Espejo                     | 11. Espaciador de tubo       |
| 2. Placa de tapón             | 12. Soporte transversal      |
| 3. Placas superior e inferior | 13. Abrazadera de tubos      |
| 4. Placa extrema              | 14. Venteo                   |
| 5. Tubo                       | 15. Drenaje                  |
| 6. Partición de paso          | 16. Conexión de instrumentos |
| 7. Refuerzo                   |                              |
| 8. Tapón                      |                              |
| 9. Tobera                     |                              |
| 10. Armazón lateral           |                              |

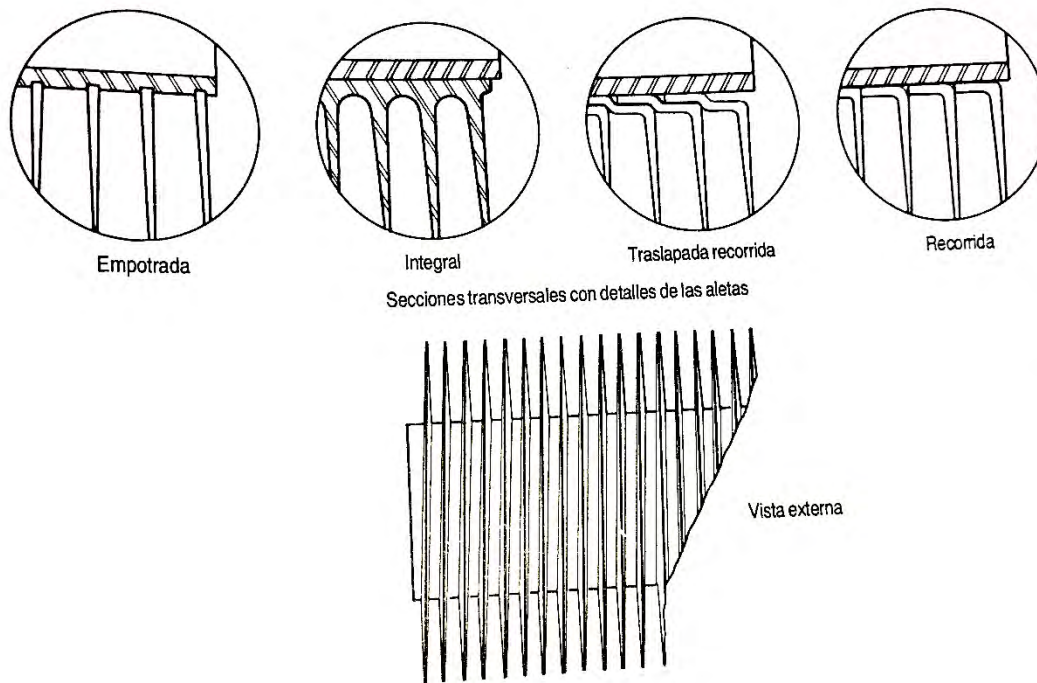


Figura 7. Configuración de tubos con aletas.

#### 4.8 Plenos, ángulo de dispersión y cobertura del ventilador.

- La especificación API incluye varios párrafos sobre la cobertura del ventilador y el ángulo de dispersión. Esto es por una muy buena razón.
- El flujo real de aire procedente de un ventilador no se distribuye equitativamente al principio.
- El flujo de aire se concentra más alrededor de la zona de la punta del ventilador.
- Si se mide el flujo de aire a través de la cara de un haz de tubos, a menudo es muy diferente alrededor de la punta de la pala del ventilador en comparación con el centro del ventilador o de la esquina.
- Como la cámara de sobrepresión se hace más profunda, este efecto localizado disminuye a medida que el aire se distribuye más uniformemente. Todos los programas computacionales de simulación de transferencia de calor suponen que el aire se distribuye uniformemente.
- La cobertura del ventilador es la relación entre el área del ventilador a la zona de la cara. Cuanto mayor sea esta relación, mejor es la cobertura del ventilador.

- El mínimo de cobertura según el API es 40% con un ángulo de dispersión máxima de 45 grados desde el anillo de ventilador a la mitad del haz de tubos.

## 4.9 Métodos de control

El control puede ser logrado en el lado del proceso o en el lado del aire, o en los dos. Los métodos disponibles son:

### 4.9.1 Lado del proceso

1. El control usando arreglos de haces en paralelo donde los haces se pueden sacar fuera de servicio.
2. Desvío del fluido de proceso (automático o manual).

### 4.9.2 Lado del aire

1. **Ventiladores múltiples:** En una instalación de ventiladores múltiples los ventiladores pueden ser arreglados de tal manera que se puedan prender y apagar individualmente. Cuando se requiera menos enfriamiento, algunos de los ventiladores pueden ser apagados manual o automáticamente. Este es el control típico usado en enfriadores. Tiene la ventaja de tener respuesta rápida y a su vez ahorra el costo de potencia cuando los motores se apagan. La desventaja se presenta en que éste provee sólo control por pasos y, por consiguiente, no se puede obtener el control cerrado.

## 4.10 Velocidad variable

El flujo de aire puede ser incrementado o disminuido variando la velocidad de los ventiladores. Esto se puede lograr por:

- a) Una turbina de vapor de agua con control de variación de velocidad, donde el vapor de agua de bajo costo está disponible y la unidad está ubicada en un área contra explosión. División I.
- b) Impulsor de fluido con un motor de velocidad fija.
- c) Impulsor hidráulico donde los motores hidráulicos operan de una fuente central de fluido hidráulico.

- d) Impulsores banda en V de velocidad ajustable
- e) Motores de dos velocidades, que proveen un mejor control que los ventiladores múltiples, control ON–OFF, pero éste sigue siendo una operación “por pasos”. Todos los impulsores con velocidad variable proveen buen control continuo. Sin embargo, éstos tienen la desventaja de ser costosos. En el caso de un impulsor hidráulico, existe equipo adicional que necesita mantenimiento (sellos, etc.).

#### **4.11 Principales factores que llevan a la Corrosión en cambiadores de calor enfriados por aire**

Los cambiadores de calor enfriados por aire también presentan diversos factores que afectan su estructura y su eficacia entre los más sobresalientes son los siguientes:

##### **4.11.1 La temperatura como un factor de corrosión.**

La temperatura del aire ocasiona efectos de corrosión ya que acelera las velocidades de los diversos procesos físicos y químicos involucrados en la corrosión metálica: reacciones químicas, electroquímicas y procesos de difusión.

##### **4.11.2 El aire como factor corrosivo.**

Se deben tomar en cuenta los vientos dominantes, las ubicaciones y elevación de los edificios, el equipo, los calentadores por combustión. Los intercambiadores enfriados por aire deben colocarse bastante separados, con objeto de minimizar la circulación de aire.

Los intercambiadores de calor enfriados por aire no se deben situar en lugares en los cuales pasen humos y vapores corrosivos procedentes de ventilas.

Debido a que la recirculación del aire caliente puede reducir el rendimiento de los enfriadores de aire, se debe tener cuidado en la selección de la ubicación y orientación de los enfriadores de aire deben, éstos deben estar paralelamente alineados con la dirección predominante del viento. En el caso de un banco único,

esto retarda la recirculación de aire caliente sobre un lado. Para bancos múltiples se retarda el arrastre de aire caliente en las unidades ubicadas vientos abajo. Para minimizar la cantidad de aire caliente arrastrado dentro de las unidades ubicadas vientos abajo, éstas deben ser colocadas a elevaciones iguales o a una elevación decreciente. También, aquellas unidades con el requisito más frío en la temperatura de salida deban colocarse vientos arriba. Estas usualmente son las más susceptibles a ser afectadas por la recirculación de aire caliente y usualmente emiten temperaturas de salida de aire más frías.

#### **4.11.3 El Ruido un factor de desgaste en los intercambiadores.**

Dos ventiladores idénticos tienen un nivel de ruido 3 dBa (decibeles auditivos) mayor que uno solo, mientras que ocho ventiladores idénticos tienen un nivel de ruido de 9 dBa mayor a un ventilador solo. El nivel de ruido en el sitio de ubicación del equipo se ve afectado por la posición del intercambiador, las superficies reflectivas cercanas al ventilador, la dureza de esas superficies y el ruido proveniente de equipos adyacentes.

#### **4.12 Requisitos de espacio y área de terreno**

Las necesidades generales de espacio para las plantas que utilizan enfriamiento por aire contra aquellas que utilizan enfriamiento por agua no son comparables. Algunas unidades enfriadas por aire se instalan sobre otros equipos, grupos de tuberías, intercambiadores de coraza y tubos, etc.

#### **4.13 Limpieza del lado del proceso**

Se puede realizar con facilidad la limpieza química o mecánica del interior de los tubos.

#### **4.14 Presión de diseño del lado del proceso**

El fluido del proceso a alta presión se encuentra siempre en los tubos. Los cabezales del lado de los tubos son relativamente pequeños en comparación con

las unidades enfriadas por agua cuando la alta presión está concentrada en el lado de la coraza.

El cabezal tipo tapón se utiliza normalmente para presiones manométricas de diseño hasta de 13 790 kPa (2000 lbf/in<sup>2</sup>), pero ha sido empleado con 62000kPa (9000lbf/in<sup>2</sup>).

Los cabezales de tapa retirable se limitan por lo general a presiones manométricas de 2068 kPa (300 lbf/in<sup>2</sup>).

#### **4.15 Resistencia a la adherencia.**

La vibración y el ciclo térmico afectan en forma diferente la resistencia a la adherencia de varios tipos de tubos y, por lo mismo, influyen en la cantidad de transferencia de calor por los tubos de aletas.

#### **4.16 Temperatura de aproximación.**

Esta temperatura conocida como “approach” y que es la diferencia entre la temperatura de salida del fluido de proceso y la temperatura de diseño de bulbo seco del aire, tiene un valor practico mínimo de 8 a 14°C. Cuando se requiere una menor temperatura de salida de fluido de proceso, se puede contar con una cámara de humidificación de aire, a fin de reducir la temperatura del aire de entrada y hacer que se aproxime a la temperatura de bulbo húmedo.

#### **4.17 Administración de Riesgos**

Las fugas de las unidades enfriadas por aire van directamente a la atmósfera y pueden provocar riesgos de incendios o humos tóxicos; sin embargo, el flujo elevado de aire a través de un intercambiador enfriado por aire reduce considerablemente cualquier concentración de fluidos tóxicos.

Conforme al documento PDVSA–MID–EC–201–PR, con información adicional en el estándar API 661: “Air Cooled Heat Exchangers For General Refinery Services”. Se recomienda que los enfriadores de aletas de aire no se pongan sobre bombas,



compresores, transmisiones eléctricas, casetas de control y, en general se minimiza la cantidad de equipos, como tambores e intercambiadores de coraza y tubo, que se sitúan bajo ellos.

Los intercambiadores de calor enfriados por aire montados en un conjunto de tuberías donde circulan fluidos inflamables suelen tener plataformas de concreto que aíslan los intercambiadores de la tubería para disminuir la posibilidad de sobrepresión o de auto inflamación.

#### **4.18 Administración de procedimientos**

Los equipos fijos contra incendio existentes en cada uno de los centros de trabajo, deberán programarse para su revisión y prueba de forma periódica. Durante el año, para lo cual se calendarizará por sector o por áreas en las que se dividan las instalaciones.

La frecuencia con la cual se efectúa la revisión y prueba, estará determinada por el número total del equipo fijo a verificar, procurando que estas actividades se realicen como mínimo una vez por turno, semana, mes o año, según sea el equipo fijo de que se trate.

El responsable de la programación y ejecución de esta actividad, será el ingeniero de Inspección Técnica y Seguridad Industrial encargado del sector o área de trabajo, quien deberá coordinarse con el técnico de mantenimiento, o jefe de contraincendios.

#### **4.19 Consideraciones mecánicas**

La configuración actual de enfriadores de aire para un servicio dado está basado en un número de consideraciones. Las más importantes de éstas son:

1. La superficie vs los caballos de fuerza requeridos por el ventilador.
2. Consideraciones de proceso, tales como  $\Delta P$  permitida, características del fluido (punto de congelamiento, viscosidad, etc.) y condiciones climatológicas (por ejemplo, la corrosividad del medio ambiente).

3. Tipos de ventiladores, tamaños y limitaciones de presión estática (profundidad máxima del haz para un requerimiento dado del aire).
4. Área de construcción disponible.
5. Consideraciones mecánicas, tales como expansión térmica y soportes estructurales.
6. Estandarización de tubos, partes de repuesto, etc.

#### **4.20 Superficie vs. Potencia**

La superficie vs la potencia del ventilador es una relación simple. Las variables significativas en este respecto son: el nivel de enfriamiento y el flujo total de transferencia de calor.

Estas variables determinan la cantidad relativa de aire requerido, para una carga de calor dada. Si la cantidad de aire por unidad de carga de calor es comparativamente baja, la superficie puede ser superpuesta y el aire bombeado es relativamente alto por unidad de carga de calor, la superficie debe ser provista con menos profundidad y extendida en bombear una pequeña cantidad de aire en contra de una alta presión estática; mientras que en el último caso, una gran cantidad de aire es bombeado en contra una menor presión estática.

La caída máxima de presión estática suplida por los ventiladores para los enfriadores de aire es 0.175 kPa (0.7 pulg H<sub>2</sub>O). Sin embargo, la mayoría de los ventiladores operan cerca de una presión estática de 0.125 kPa (5 pulg H<sub>2</sub>O).

#### **4.21 Recirculación del aire caliente**

La recirculación de aire caliente es el fenómeno donde el aire caliente que sale es recirculado con la corriente de aire fresco entrando, al mezclarse se eleva la temperatura de entrada del aire. Esto puede ocurrir alrededor de una sola unidad o entre las corrientes de aire adyacentes a las unidades.

Los problemas asociados con la recirculación de aire caliente son el efecto directo de un pobre diseño de enfriador y ubicación.

Estos, sin embargo, están basados en los requisitos de seguridad y deben ser incrementados si la recirculación posee un problema potencial.

#### **4.22 Elevación**

Las consideraciones de proceso también pueden fijar la elevación de enfriadores de aire. Frecuentemente, la ubicación del tambor de destilación de una columna fraccionadora fija la elevación del condensador de tope. Si las consideraciones de proceso es lo que rige, la elevación debe ser suficiente para proveer un área periférica alrededor de la base de la unidad, por lo menos igual a 1.5 veces el área de la cara de la misma.

## **5. Metodología**

Se realizaron visitas cotidianas a instalaciones de planta Catalítica II y Bunker 2 para tomar mediciones de temperaturas y vibraciones correspondientes a intercambiadores de calor enfriados por aire.

En Bunker 2 las mediciones fueron tomadas mediante computadoras con programas establecidos para dicha planta, los cuales registran cada hora temperaturas de salida y de entrada, siendo guardadas en una carpeta con todas las mediciones tomadas a lo largo de una jornada laboral, para que el ingeniero del siguiente turno sepa en qué condiciones está encontrando la planta con sus respectivos equipos.

### **5.1 Resultados en Bunker 2**

- ❖ Las mediciones de vibración, temperaturas y presiones son tomadas con equipos digitalizados y controlados en el centro de control (bunker).
- ❖ Toman un control de las vibraciones por cada hora pero siempre hay variaciones, estas pueden ser por fallas en equipos, pero no son consideradas de riesgo debido a que su variación es mínima.
- ❖ Siempre mantienen comunicación con personal en el área como en el bunker por cualquier anomalía que se presente y actúan de manera inmediata.

### **5.2 Resultados en área de Planta Catalítica II.**

- Estos enfriadores condensan las gasolinas por medio de enfriamiento, esto se efectúa reduciendo hasta la mitad de la temperatura con la que llega el producto ( $180^{\circ}\text{C} \rightarrow 67^{\circ}\text{C}$ ).
- Cambio de bandas de plástico semanalmente, debido al deterioro que presentan por movimiento del ventilador.
- Presenta corrosión casi al cien por ciento en motor y aspas de ventiladores debido al medio ambiente.
- Hay constante vibración debido al desgaste de ventiladores.

- No manejan la inclinación de los cambiadores de calor enfriados por aire establecida por instructivo.
- Los ventiladores manejan dos tipos de bandas una con dientes y la otra con un canal, esta última es una nueva propuesta para la duración de vida de dicha banda, debido al desgaste que llevan por tiempo de uso y forma de los ventiladores.



Figura 8. Imagen física de cambiadores de calor enfriados por aire en operación.




Figura 9. Imagen de un soloaire desmontado.

### 5.3 Hoja de trabajo Bunker 2

 <b>UNAM</b> <b>F.Q</b> 	<b>ENTRADA          SEGURA A          ESPACIOS          CONFINADOS</b>			<b>N° de Documento</b>
				<b>PXR-PC-01-2015</b>
<b>PROCEDIMIENTO</b>				<b>REVISIÓN</b>
<b>FECHA DE EMISIÓN: MARZO 2015</b>				<b>HOJA 1</b>
<b>CONTROL DE REVISIONES</b>				
<b>CAMBIADORES DE CALOR ENFRIADOS POR AIRE 100-EA-207</b>				<b>COMENTARIOS</b>
<b>FECHA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>VIBRACIÓN (mm/s)</b>	
10-03-15	100-EA-207	0.45	1.745	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	1.45	1.817	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	2.45	2.067	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	3.45	1.805	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	4.45	2.402	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	5.45	1.74	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	6.45	1.967	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	7.45	2.09	Sin problemas
10-03-15	100-EA-207	8.45	1.995	Sin problemas
<b>ELAB. POR</b>	<b>Christian Lavana Hernández</b>			
<b>APR. POR</b>	<b>Ing. Héctor M. Juárez Martínez.</b>			

## 5.4 Hoja de trabajo en área

 <b>UNAM</b> <b>F.Q</b> 	<b>ENTRADA SEGURA A ESPACIOS CONFINADOS</b>			N° de Documento
				PXR-PC-01-2015
PROCEDIMIENTO				REVISIÓN
FECHA DE EMISIÓN: MARZO 2015				HOJA 1
<b>CONTROL DE REVISIONES</b>				
<b>CAMBIADORES DE CALOR ENFRIADOS POR AIRE 100- EA-207</b>				<b>COMENTARIOS</b>
<b>FECHA</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>VIBRACIÓN (mm/s)</b>	
10-03-15	100-EA-207			Vibraciones constantes
10-03-15	100-EA-207			Desgaste por corrosión
10-03-15	100-EA-207			Ruido excesivo
10-03-15	100-EA-207			Vibraciones constantes
10-03-15	100-EA-207			Vibraciones constantes
10-03-15	100-EA-207			Deja de funciones por unos cuantos segundos
10-03-15	100-EA-207			Vibraciones constantes
10-03-15	100-EA-207			Vibraciones constantes
10-03-15	100-EA-207			Vibraciones constantes
<b>ELAB. POR</b>	<b>Christian Lavana Hernández</b>			
<b>APR. POR</b>	<b>Ing. Héctor M. Juárez Martínez.</b>			



## 5.5 Revisión y pruebas de funcionamiento

Para que todo el trabajo se llevara a cabo de una forma segura y de manera concisa se debe hacer visitas esporádicas a planta catalítica II y a bunker 2 donde se encuentran los enfriadores por aire, revisando todos los puntos de seguridad y tomando nota de toda anomalía encontrada durante el recorrido.

Se toma en cuenta sistemas de contraincendios, se revisaron qué las condiciones se encontraran trabajando adecuadamente en tiempo y forma o si tuviesen un problema reportarlo.

Por ello se deben considerar las siguientes conjeturas:

- Sistemas de anillos de enfriamiento a base de espreas o con orificio y placa de choque.
- Al menos semanalmente se deben efectuar inspecciones a estos sistemas para localizar defectos obvios, tales como: roturas, daños mecánicos, partes faltantes, fugas o cualquier otro defecto.
- Los anillos con espreas o con orificios se revisarán para asegurarse que estén limpios, libres de corrosión y sin obstrucción, en intervalos no mayores de un año. Las condiciones locales pueden requerir que tales revisiones y limpieza se hagan con mayor frecuencia, así como realizar una inspección interna de las espreas.
- Después de cada operación, las espreas que hayan fallado deberán quitarse de su posición para darles mantenimiento y limpieza.
- Los filtros y mallas se deberán inspeccionar y limpiar después de cada prueba de operación. Esto se deberá hacer al menos mensualmente.
- Las válvulas de control del sistema de aspersion deberán inspeccionarse semanalmente (presión del aire en el sistema, bloqueos, purgas, etc.),

además se comprobará que las lecturas en los manómetros que indican la presión del agua se mantienen dentro de los rangos normales de operación.

- Cada cuatro meses, hacer prueba de flujo de agua, a través de la válvula principal.
- Operar semanalmente los interruptores de prueba de los dispositivos eléctricos para el agua.
- Asegurarse que está en su posición normal la válvula que controla el suministro de agua a los dispositivos de alarma.
- Cuando sea necesario revisar o efectuar trabajos de mantenimiento de los sistemas de aspersión y en especial en los que se cuente con estaciones centrales de alarma, se debe avisar siempre al personal de operación o encargado de las instalaciones, antes de operar cualquier válvula o alarma de dicho sistema.

## **5.6 Mantenimiento y control**

Si durante las inspecciones al equipo fijo contra incendio, se detectó la necesidad de efectuar trabajos de mantenimiento, se procederá a elaborar los permisos de trabajo correspondientes.

Las copias de los permisos de trabajo que se hayan generado, se deberán agregar en el expediente de control de esta actividad, junto con el reporte correspondiente.

El ingeniero de Inspección y Seguridad Industrial encargado del sector o área llevará el seguimiento de los trabajos derivados de las inspecciones y pruebas, hasta su total ejecución.

## **Reglamento de Seguridad e Higiene de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios 2012:**

Conforme al Reglamento de Seguridad e Higiene de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios 2012 aplicándolo a medidas de seguridad para la Planta Catalítica II en el área especificada para enfriadores con aire nos hace mención de lo siguiente:

ARTÍCULO 21. Los sistemas de aspersores, se deben revisar y probar al menos una vez por mes verificando el estado físico de sus componentes, que no estén obstruidos para la operación eficiente del sistema.

ARTÍCULO 22. En las áreas de proceso, casas de bombas, áreas de tanques de almacenamiento, etc., protegidas con aspersores, se deben efectuar pruebas de acuerdo al programa y procedimiento establecido por cada centro de trabajo, con el propósito de verificar el funcionamiento eficiente del sistema.

ARTÍCULO 23. Después de haber controlado o apagado un incendio con el sistema de aspersores, se deben realizar todas las maniobras necesarias para dejar nuevamente dicho sistema en condiciones de operación inmediata.

ARTÍCULO 11. Todas las áreas de almacenamiento de recipientes portátiles que contengan productos químicos, petroquímicos o petrolíferos deben contar con sistemas de aspersores automáticos o manuales de contraincendio.

En las figuras 10, 11 y 12 se muestran modelos de aspersores contraincendios adecuados para cualquier problema que se presentara en los cambiadores de calor enfriados por aire, la principal función de estos es actuar de manera inmediata esparciendo chorros de agua para contrarrestar el incendio o sobrecalentamiento, ya que tiene un sensor de temperaturas que constantemente se activa si percibe una anomalía.

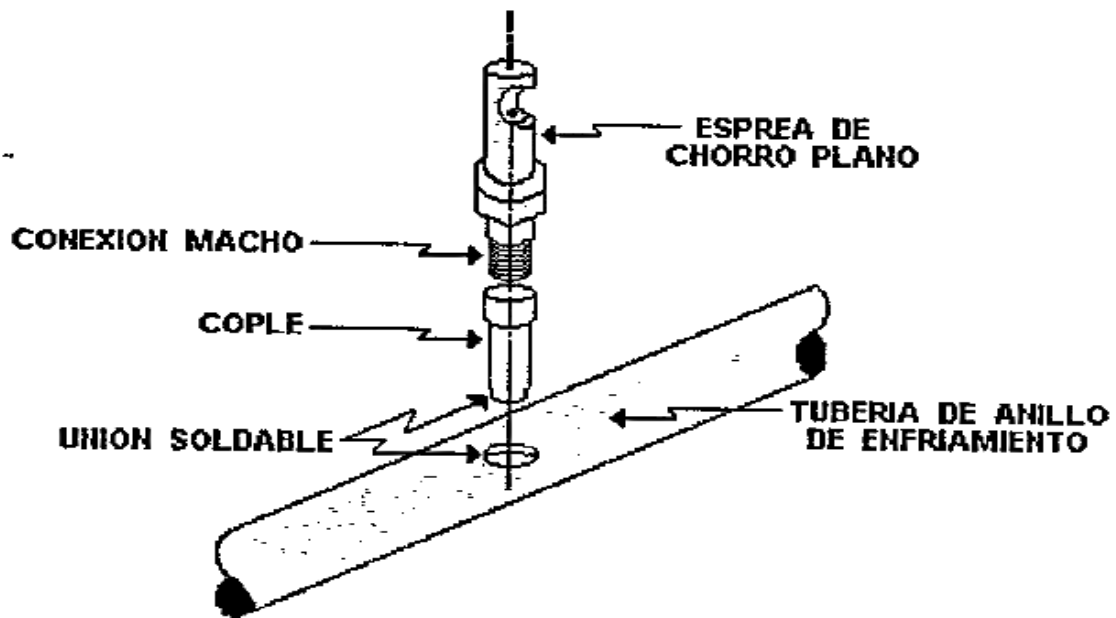


Figura.10 Aspersores de chorro plano colocadas en la parte superior de la tubería para evitar un taponamiento.

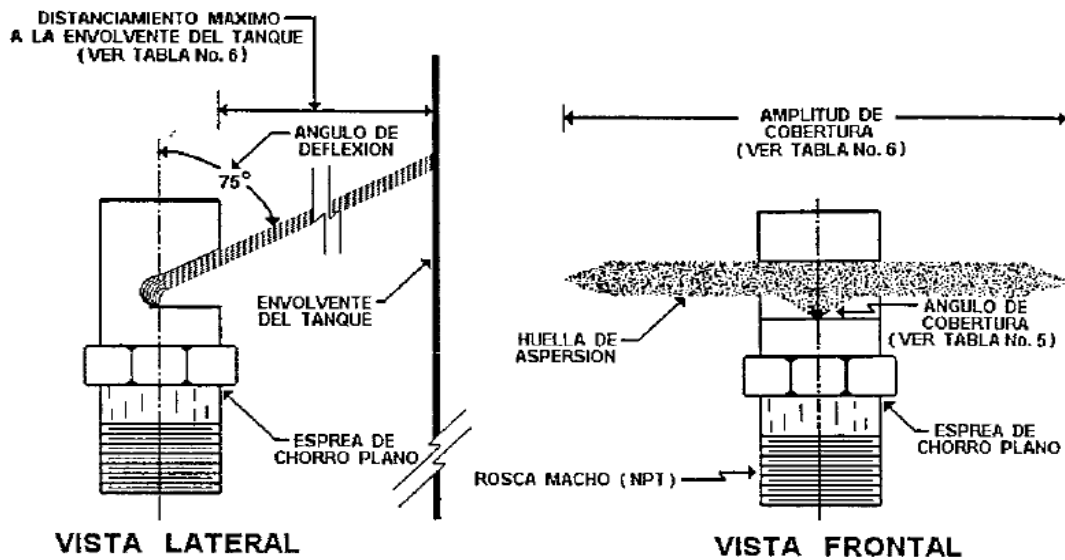


Figura. 11. Vista general de espreas y boquillas aspersoras.

En la Figura. 11 se observan espreas o boquillas aspersoras de chorro plano que deben ser de bronce, de ángulo de presión amplio [ $121^\circ @ 4.21 \text{ kgf/cm}^2$  ( $60 \text{ lbf/pulg}^2$ ) como mínimo], con patrón de rociado del tipo rectangular y de impacto medio.

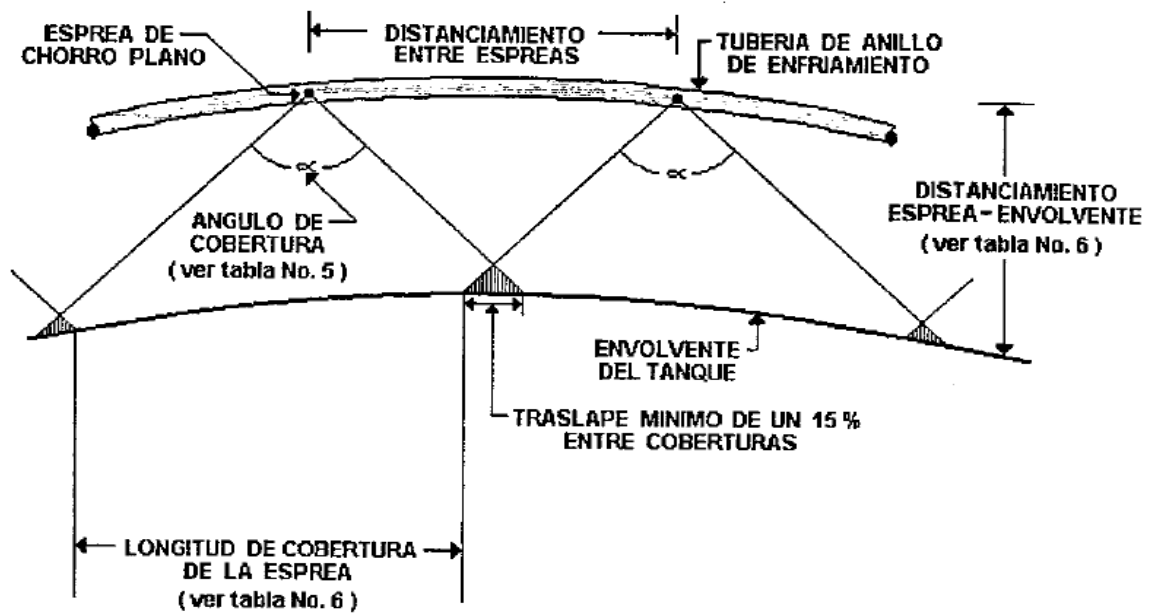


Figura. 12 Esquema general de aspersoras

En la Figura. 12 el número de espreas o boquillas aspersoras, se determina dividiendo el perímetro del enfriador por aire entre la longitud de cobertura que proporciona la esprea, considerando un 15% de traslape a cada lado, a una distancia específica entre la descarga de la boquilla y la superficie del envoltente.

## 6. Análisis de resultados

Después de haber realizado los recorridos en área (Catalítica II y Bunker 2) donde se tomaron valores de temperatura de entrada, temperaturas de salida y vibraciones de los enfriadores, así como puntos y medidas de seguridad, las condiciones en las que se encuentran los equipos, y áreas de oportunidad.

Los valores del cambiador de calor por aire 100-EA-207 del Bunker 2, de los días 8, 9 y 10 de marzo de 2015 registrados en las tablas 1, 2 y 3 nos indican que los resultados son distintos a lo esperado, revelando el riesgo de que dejen de funcionar uno o varios cambiadores de calor, lo cual llevaría a una elevación de temperatura o, si se diese el caso, un paro de planta.

Hago mención de unas propuestas de mejoramiento para los enfriadores por aire, que involucran una estabilidad, mejora en materiales, prevención de corrosión y una mayor eficiencia:

1. Los anillos redondeados ofrecen dos ventajas en comparación con los anillos de ventiladores convencionales.
  - En primer lugar, mejoran la distribución del aire.
  - En segundo lugar, reducen la caída de presión de aire a través del anillo del ventilador.
2. Estas modificaciones implican generalmente algún tipo de arrugas o cortes en las aletas para mejorar la turbulencia del aire.
3. Se debe tener una tendencia hacia estructuras más galvanizadas porque prácticamente no requieren mantenimiento.
4. Las estructuras pintadas requieren retoques después de la instalación ya que a menudo se oxidan, por lo cual debe tenerse en cuenta su desgaste, quizá se invierta más pero a largo plazo se ven reflejados en los gastos mínimos.
5. Con las propuestas generadas se espera que estas vibraciones disminuyan o en dado caso se mantenga en un rango menor a 1 para poder decir que los cambiadores de calor enfriados por aire trabajan en condiciones óptimas.

## 6. Tubos aletados de aluminio Tipo KLM Aluminio.

Proceso de fabricación:

- Las aletas están compuestas por una tira de aluminio o cobre enrollada fuertemente alrededor del tubo.
- La base de las aletas forma un sello perfecto, ofreciendo de esta forma protección total al tubo.
- El tubo y la base de las aletas se acoplan simultáneamente, lo que garantiza un ajuste perfecto entre la aleta y el tubo para proporcionar una transferencia óptima de calor.

Ventajas del sistema de aletas KLM

- Tubo protegido contra la corrosión
- Resistente a las vibraciones
- Pueden ser utilizados a temperaturas hasta de 320°C (608°F)
- Combinación única de alto rendimiento térmico y resistencia al esfuerzo con protección contra la corrosión atmosférica
- Los tubos KLM pueden reemplazar cualquier tipo de tubos aletados.

Otras recomendaciones para combatir la recirculación de aire caliente son:

- Usando ventiladores de tiro forzado, los cuales fuerzan el aire hacia fuera del haz.
- Deflectores y/o una chimenea arriba del haz en una unidad de tiro forzado (o ventilador sobre una unidad tiro inducido) también direcciona el aire lejos del haz.
- Secciones de humidificación o lavadores de aire: Si la ubicación geográfica es tal que la humedad relativa es baja la mayor parte del año, una sección de humidificación puede ser instalada debajo de la unidad. Esto, en efecto, humedece el aire de entrada por debajo de su temperatura de bulbo húmedo, la cual puede ser de 6 a 12 °C (10 a 20 °F) más fría que la del ambiente. Sin

embargo, se debe tener cuidado para asegurarse que el aire entrando en el haz de tubo esté seco.

Por otro lado al tener en cuenta todos los resultados se puede decir que el rocío de agua no es recomendable para aliviar problemas existentes de recirculación de aire caliente excepto como una solución temporal.

Si el haz es rociado directamente, problemas con la conexión tubo–aleta, los problemas de ensuciamiento y de corrosión pueden ser severos. La severidad dependerá de las condiciones de operación, la cantidad de tiempo que se rocíe y la calidad del agua usada.

En la industria han mencionado que sí el rocío de agua es usado continuamente por períodos mayores de una semana, es posible que el enfriador de aire se descomponga en cuestión de meses. El efecto del agua en el equipo y las estructuras ubicadas debajo y cerca del enfriador de aire también debe ser considerado.



## 6.1 Tablas de resultados

Tabla 1. Fecha 8 de marzo de 2015. (Ver gráfica 1)

tiempo	vibración
8.45	1.952
9.45	2.372
10.45	1.95
11.45	1.93
12.45	1.835
13.45	1.86
14.45	2.207
15.45	1.982
16.45	1.62
17.45	1.892
18.45	1.862
19.45	1.642
20.45	1.695
21.45	1.655
22.45	2.055
23.45	1.577

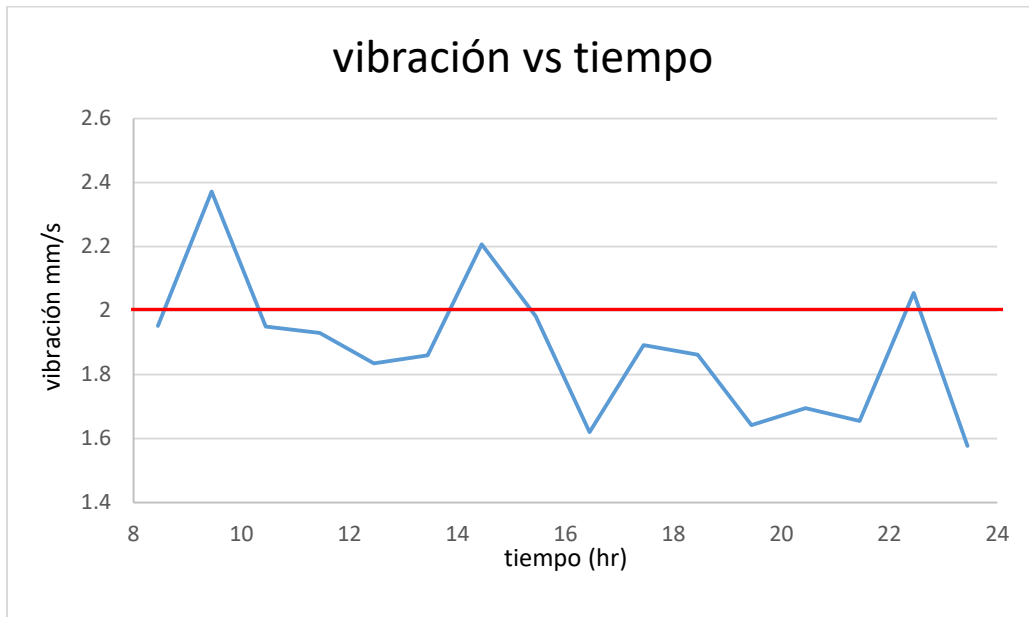
Tabla 2. Fecha 9 de marzo de 2015. (Ver gráfica 1.2)

tiempo	vibración
0.45	1.752
1.45	1.652
2.45	1.507
3.45	1.702
4.45	1.745
5.45	1.562
6.45	2.045
7.45	1.677
8.45	1.732
9.45	1.5
10.45	1.795
11.45	1.592
12.45	1.742
13.45	1.767
14.45	1.817
15.45	2.052
16.45	1.98
17.45	1.505
18.45	1.855
19.45	1.975
20.45	1.742
21.45	1.312
22.45	2.11
23.45	1.72

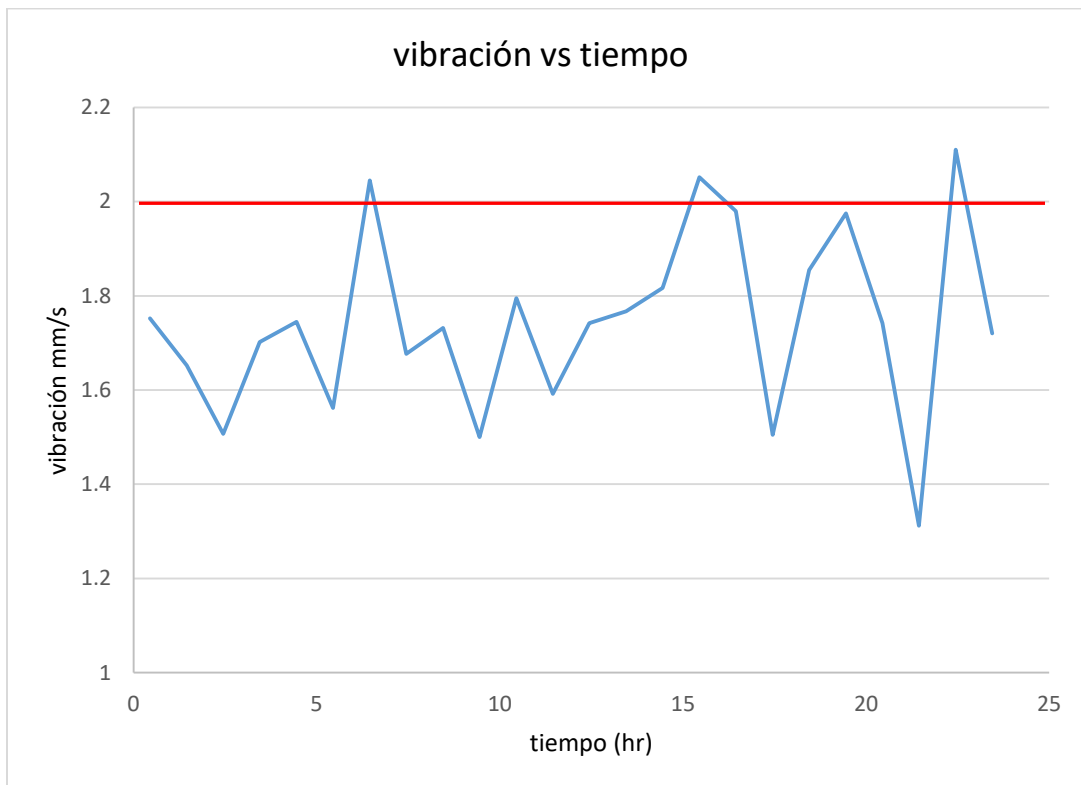
Tabla 3. Fecha 10 de marzo de 2015. (Ver gráfica 1.3)

tiempo	vibración
0.45	1.745
1.45	1.817
2.45	2.067
3.45	1.805
4.45	2.402
5.45	1.74
6.45	1.967
7.45	2.09
8.45	1.995

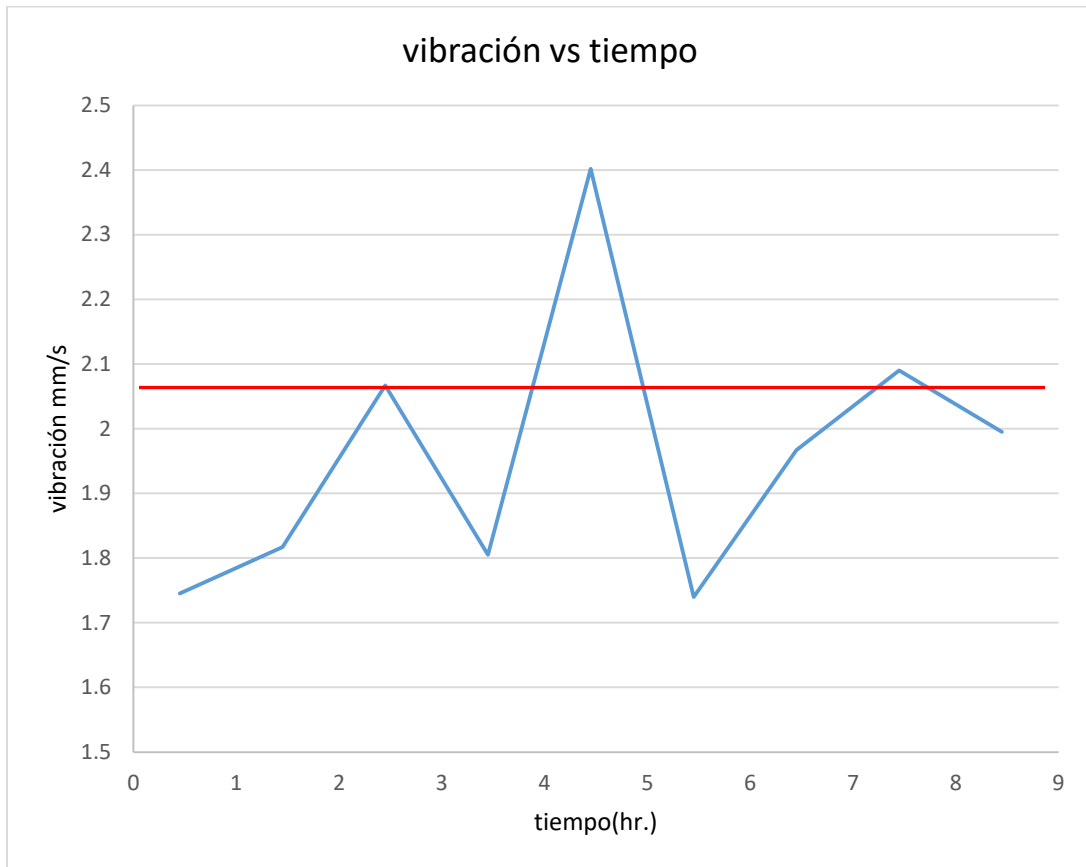
## 6.2 Gráficas de vibración vs tiempo Enfriador 100-EA-207.



Gráfica 1. Fecha 8 de marzo de 2015



Gráfica 1.2 Fecha 9 de marzo de 2015



Gráfica 1.3 Fecha 10 de marzo de 2015

Teniendo en cuenta el comportamiento de la vibración que presentan los cambiadores de calor enfriados por aire a lo largo de tres días, se corrobora que es muy inestable. Sin embargo no se considera que haya problemas para seguir en funcionamiento, pero queda mencionar que deben tenerse en cuenta estas condiciones.

### 6.3 Resultados de las fechas 23, 24 y 25 de mayo de 2015.

Valores tomados del Bunker 2, de los días 23, 24 y 25 de mayo de 2015 con un intervalo de una hora del cambiador de calor por aire 100-EA-207.

Se hace la correspondiente comparación para corroborar la vibración que producen en uno de los cambiadores de calor enfriados por aire 100-EA-207.

El objetivo de analizar las tablas anteriores con las actualizadas es con el fin de ver si mantiene un comportamiento similar o sigue habiendo variaciones las cuales

provoquen deterioro del equipo llegando un desgaste severo y tenga que dejar de funcionar, por ello es mejor estar monitoreando dicho comportamiento y evitar estas situaciones que sólo lleven a un atraso y probablemente un gasto económico mayor.

Tabla 4. . Fecha 23 de marzo de 2015. (Ver gráfica 2)

tiempo	vibración
8	1.522
9	2.187
10	2.007
11	2
12	1.785
13	2.085
14	2.61
15	2.127
16	1.945
17	1.912
18	1.815
19	1.667
20	1.645
21	1.507
22	1.452
23	1.632

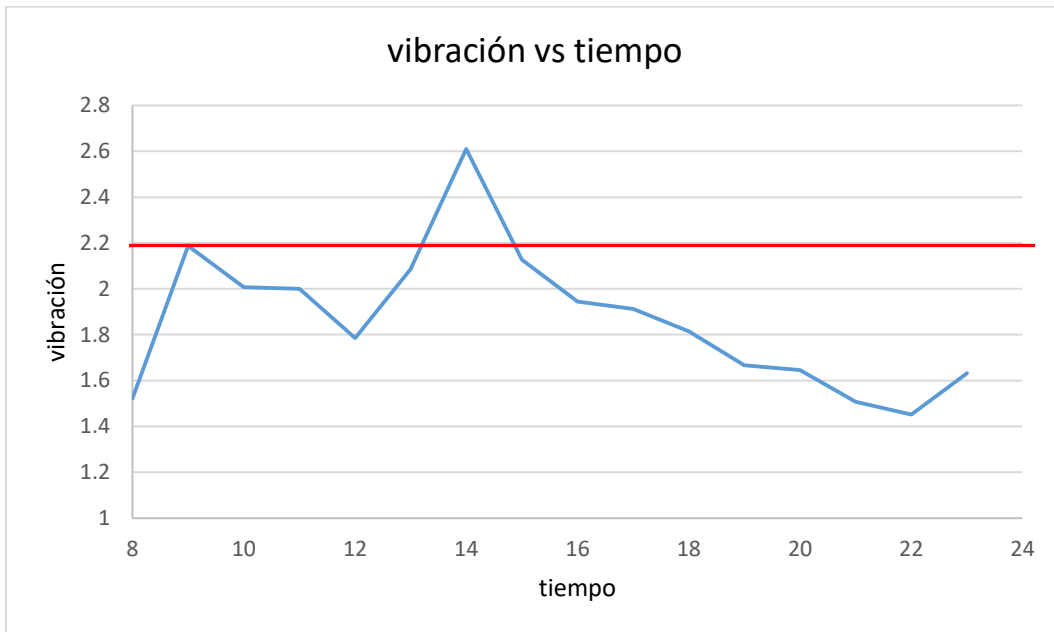
Tabla 5. . Fecha 24 de marzo de 2015. (Ver gráfica 2.1)

tiempo	vibración
8	1.245
9	1.197
10	1.127
11	1.572
12	1.237
13	1.345
14	1.345
15	1.305
16	1.24
17	1.107
18	1.222
19	1.222
20	1.3
21	1.325
22	1.422
23	1.285

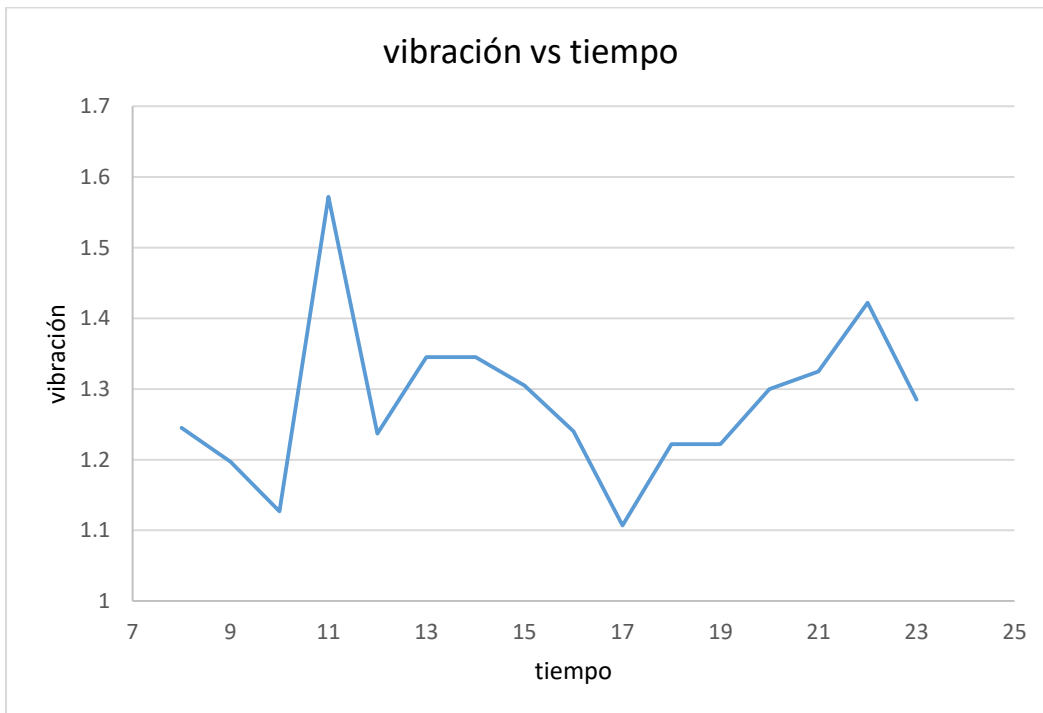
Tabla 6. . Fecha 25 de marzo de 2015. (Ver gráfica 2.2)

tiempo	vibración
8	1.632
9	1.662
10	1.087
11	3.047
12	1.846
13	2.002
14	3.246
15	2.09
16	1.426

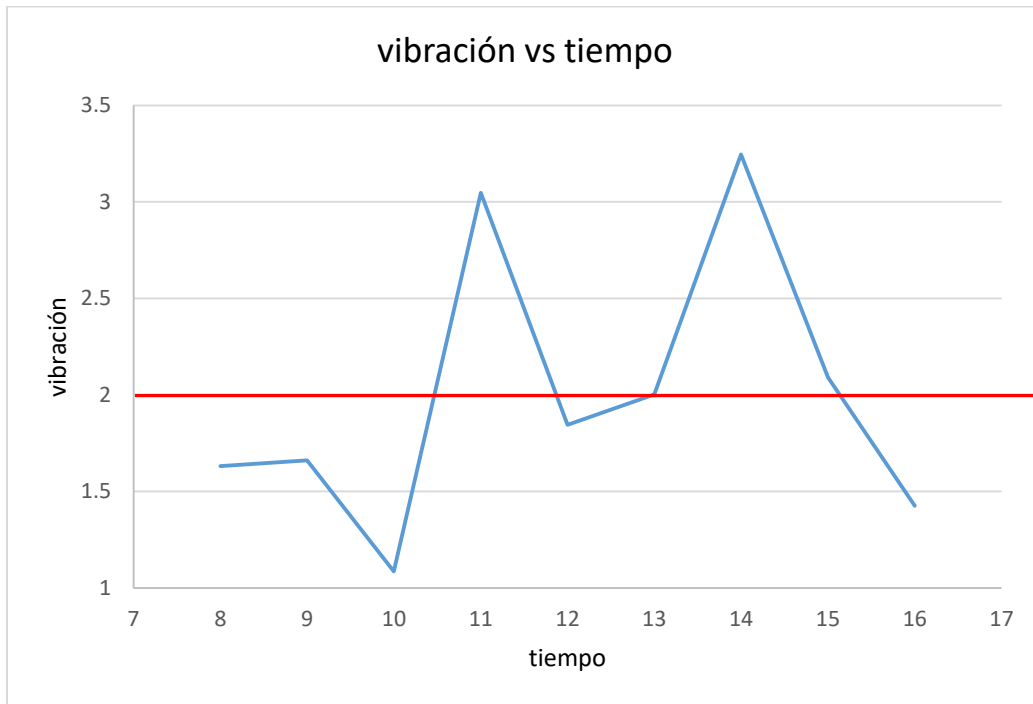
#### 6.4 Gráficas de vibración vs tiempo del Enfriador 100-EA-207.



Gráfica 2 Fecha 23 de mayo de 2015



Gráfica 2.1 Fecha 24 de mayo de 2015



Gráfica 2.2 Fecha 24 de mayo de 2015

Se siguen presentando variaciones de vibración lo cual indica que sigue siendo inestable, sin embargo los equipos siguen trabajando normalmente y bajo las condiciones seguras para que no haya ningún percance en área de trabajo, cumpliendo con sus funciones iniciales.

## **7. Conclusión**

Existen diversas áreas de oportunidad tanto en los enfriadores por aire como en la planta Catalítica II, ya que presentan deterioros, los cuales algunos son de actuar inmediato y otros aún se pueden corregir o prevenir.

Se cumplió con el propósito de disminuir la temperatura funcionando los intercambiadores de manera óptima.

La vibración se vio reflejada durante el tiempo de estudio de los intercambiadores de calor enfriados por aire con lo cual es un gran problema como riesgo para equipo y personal.

El mayor problema que se encontró es el deterioro por corrosión, es muy común por esta zona debido al estado climatológico que presenta, además las condiciones en el medio ambiente permiten que los materiales se desgaten hasta un límite que no haya solución y tengan que cambiarse por completo.

Sin embargo no todo es malo, en medidas de seguridad puedo decir que cumplen con un excelente programa y a su vez magníficos operarios y personal capacitado tanto en área como en bunker.

Con mi experiencia laboral durante este lapso de tiempo puedo decir que adquirí un amplio conocimiento en manejo de equipos, en tener personal a mí cargo y sobre todo que fue tener responsabilidades de un alto nivel.

## 8. Bibliografía

- PERRY, R. Manual del ingeniero químico. Volumen I. Madrid: McGraw-Hill, 2001.
- McCABE, W.L., SMITH, J.C. HARRIOT, P. Operaciones unitarias en ingeniería química. México: McGraw-Hill, 2002.
- Yevgen Pysmennyy. Manual para el cálculo de intercambiadores de calor y bancos de tubos aletados., Reverte, 2007, págs. 197.
- J. Costa López, Octave Levenspiel. Flujo de fluidos e intercambio de calor, Reverte, 1993 págs. 373.
- J. M. Coulson, J. F. Richardson, J.R. Backhurst. Ingeniería química: unidades SI. Flujo de fluidos, transmisión del calor y transferencia de materia, Reverte, 1979, págs. 664.
- C. O. Bennet, J. E. Myers. Transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia, Volumen 2. Reverté, 1979. págs. 928.
- C. Judson King. Procesos de separación, Reverte, 1980. págs. 914
- Reglamento de Seguridad e Higiene de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios 2012
- <http://www.api.org/>.