

Estrategia de inspección, evaluación por integridad y mantenimiento de chimeneas de hornos, calderas y precipitadores electrostáticos en la GRB

Carlos Hernando Patiño / Carlos Humberto Loza Arenas / Julio A. Moncada

Refinería de Barrancabermeja, ECP

mails: carlos.patino@ecopetrol.com.co / carlos.loza@ecopetrol.com.co / Julioan.moncada@ecopetrol.com.co
Barrancabermeja. – Colombia

Resumen

En la refinería de Barrancabermeja, se desarrolló una estrategia innovadora para la inspección y/o mantenimiento de 68 chimeneas asociadas a hornos, calderas y precipitadores electrostáticos. Esta estrategia incluyó la caracterización y monitoreo de condición de las chimeneas mediante inspecciones visuales con drones, evaluaciones de integridad mediante perfil termográfico y estudios topográficos, verificación de verticalidad ante posibles debilidades estructurales y/o asentamientos de la base, evaluación del diseño mecánico con énfasis en el análisis de resistencia, rigidez, durabilidad y estabilidad de la estructura mediante la aplicación de criterios de diseño según código ASME STS-1. Por último, se recopilaron y analizaron los datos con el fin de construir e implementar un plan de acción.

1. Introducción

Las chimeneas industriales son componentes esenciales en muchas instalaciones, como refinerías, plantas de energía y fábricas, ya que permiten la expulsión controlada de gases y partículas resultantes de procesos de combustión. La gestión adecuada de estos activos es crucial para garantizar la seguridad operativa, la eficiencia energética y el cumplimiento de normativas ambientales. Una estrategia de inspección y mantenimiento bien estructurada no solo prolonga la vida útil de las chimeneas, sino que también previene fallos catastróficos que podrían tener graves consecuencias económicas y ambientales. En este contexto, la implementación de tecnologías avanzadas, como drones para inspecciones visuales y termografía para evaluar el estado del material, junto con la aplicación de estándares de diseño reconocidos, asegura que las chimeneas operen de manera óptima y segura. La gestión efectiva de estos activos es, por tanto, fundamental para la sostenibilidad y el rendimiento continuo de las operaciones industriales.

2. Metodología

La refinería de Barrancabermeja implementó una estrategia integral para asegurar la confiabilidad de sus 68 chimeneas asociadas a hornos, calderas y precipitadores electrostáticos. La metodología desarrollada consta de las siguientes etapas:

- Definición, Inventario y caracterización de la población objetivo
- Definición, planeación e implementación de un programa de monitoreo de condición
- revisión del diseño mecánico según estándares aplicables
- Plan de acción

3. Desarrollo de metodología

3.1 Definición, Inventario y categorización de la población objetivo.

En esta etapa se definieron criterios para identificar y cuantificar las chimeneas de la GRB. Aquellos ductos verticales, sujetos a cargas de viento y/o sismo que operan con gases de combustión caliente (>250°F) con o sin refractario

interno conformaron la población objetivo. Basado en ello, 68 chimeneas cumplieron los criterios preestablecidos.

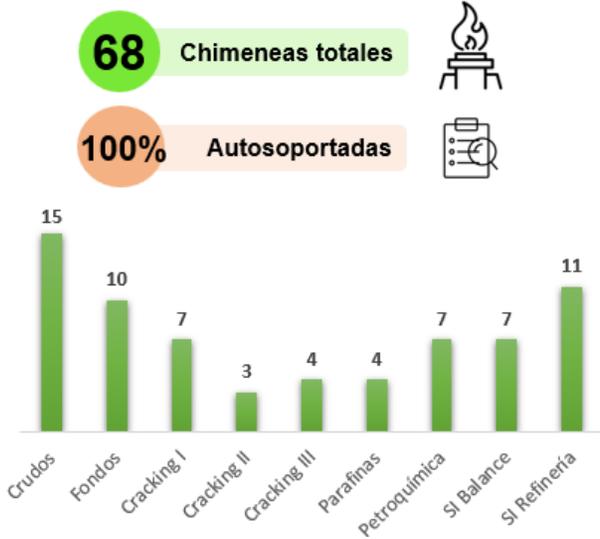


Fig. 1 Número de chimeneas por departamento operativo GRB

Se categorizaron las 68 chimeneas como columnas largas o cortas teniendo en cuenta la teoría de pandeo lineal y el concepto de relación de esbeltez. En este punto se calcularon las relaciones de esbeltez de cada una de las 68 chimeneas y se compararon con un valor de referencia (esbeltez crítica) propia de cada material.

- Ecuación para calcular la relación de esbeltez.

$$\lambda = \frac{L_e}{r_g} \quad (1)$$

- Ecuación para calcular el radio de giro

$$r_g = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2)$$

λ : Relación de esbeltez

L_e : Altura efectiva

r_g : Radio de giro

I : Inercia o segundo momento de área
 A : área de la sección transversal

- Ecuación para calcular la relación de esbeltez crítica.

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\delta_y}} \quad (3)$$

λ_c : Relación esbeltez crítica

E : módulo de elasticidad

δ_y : esfuerzo de fluencia

Ahora:

Si $\frac{\lambda}{\lambda_c} \leq 1$ columna corta

Si $\frac{\lambda}{\lambda_c} > 1$ columna larga

Basado en la relación $\frac{\lambda}{\lambda_c}$ se categorizaron 5 chimeneas como columnas cortas y 63 chimeneas como columnas largas.

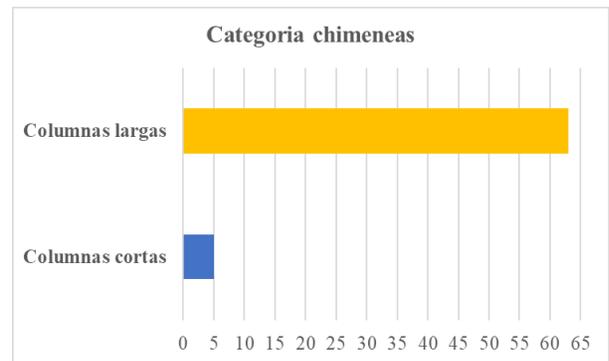


Fig. 2 Categorización de chimeneas por esbeltez

Esta categorización es importante debido a que permite visualizar cuales chimeneas presentan menor rigidez o mayor flexibilidad. Este parámetro está relacionado con el nivel de deflexión estática y/o dinámica ante cargas externas y la susceptibilidad a fenómenos de vibración inducida por viento. Además, las columnas largas tendrán mayor nivel de

importancia a la hora de priorizar acciones en relación con el nivel de riesgo producto de los hallazgos encontrados en la etapa de inspección y/o diseño, ya que su falla estará más relacionada con Inestabilidades y/o bifurcaciones que por resistencia.

3.2 Definición, planeación e implementación de un programa de monitoreo de condición

Se definió el plan de inspección de forma generalizada basado en 3 requerimientos

- a. Evaluación de la condición de los elementos estructurales con el equipo en servicio. Para ello, se eligió la inspección visual externa mediante el uso de Aero naves No tripuladas (Dron) y la elaboración de 68 reportes de condición
- b. Evaluación de condición del refractario interno y/o casing de chimeneas. Para evaluar el estado del refractario interno (para chimeneas “lined”) y/o el estado del casing (para chimeneas “Unlined”) se eligió el monitoreo por termografía de exteriores con el fin de identificar puntos y/o zonas calientes para las cuales su principio físico se relaciona con el espesor de material (refractario o material base, conductividad térmica, área de disipación de calor, gradiente térmico, etc.) el cual permite inferir zonas con refractario caído o pérdidas de material base local y/o generalizada, perforaciones en lámina, etc.
- c. Evaluación de verticalidad. Se planteo la medición de verticalidad mediante equipos de topografía con el fin de establecer puntos de control repetibles en cada una de las chimeneas y compararlos con la deflexión máxima permitida en la fase de montaje referenciada en ASME STS-1. Adicionalmente, se incluye en la hoja de

ruta de mantenimiento la medición periódica de verticalidad a intervalos de 5 años como máximo y 6 meses como mínimo teniendo en cuenta los hallazgos de inspección y el criterio de ingeniería del ing. de mantenimiento y/o confiabilidad del área.

Una vez definido el plan de monitoreo se construyó cronograma de actividades y tiempos detallados para ejecutar la inspección visual por dron, inspección termográfica y la toma de registro de verticalidad de cada una de las chimeneas. De igual manera se designó un líder de Ensayos, quien se encargó del seguimiento y control de cada una de las actividades, garantizando el cumplimiento oportuno de las acciones acordadas en el cronograma, la generación de los reportes de inspección asociada a cada ensayo, la construcción y disponibilidad del repositorio de inspección para cada chimenea y la comunicación de hallazgos relevantes a los ingenieros de soporte de área y al jefe de departamento de la disciplina de equipo estático.

Una vez finalizado el plan de inspección se encontraron los siguientes hallazgos.



Fig. 3 Compilado total de hallazgos de inspección encontrados en 21 de las 68 chimeneas.

Del resultado del modelamiento se obtuvieron 3 chimeneas con oportunidades en el diseño, una de ellas relacionada con inestabilidad local que implicó rigidizar la zona con requerimiento de refuerzo y dos relacionadas con fatiga mecánica inducida por vortex shedding y falla por resistencia en los top plate y gusset's de la base de la chimenea, lo cual implicó la adaptación de un elemento antivortex (helical strake) y el reforzamiento de la base de las chimeneas.

3.4 Plan de acción

Una vez ejecutadas las etapas previas y consolidado los hallazgos de inspección y diseño, se procedió a realizar proceso de control de cambio en los casos en los cuales fue necesario ajustar el diseño (elaboración de recomendación técnica, análisis de riesgo de No ejecutar la acción y documento de factibilidad) y gestionar la implementación de acciones de mantenimiento en los casos donde se encontraron desviaciones por integridad que ameritan su restauración en el corto o mediano plazo.

Bibliografía

1. ASME, "Steel Stacks," ASME STS-1-2021, American Society of Mechanical Engineers, 2022
2. CICIND, "Model Code for Steel Chimneys," CICIND Guideline, Revision 2, September 2010
3. ASME, "Boiler and Pressure Vessel Code, Section II: Materials, Part D: Properties," ASME BPVC-II-D-2021, American Society of Mechanical Engineers, 2021.
4. ASCE, "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures," ASCE/SEI 7-16, American Society of Civil Engineers, 2016

5. J.E. Shigley, C.R. Mischke, R.G. Budynas, "Mechanical Engineering Design," 9th ed., McGraw-Hill, pp. 410-415, 2011.

Carlos Hernando Patiño Ing. Mecánico, Magister en ing. Industrial, con más de 20 años de experiencia en el sector Oil & gas liderando procesos de gestión y análisis de condición de activos, incorporación y desincorporación de equipos, Análisis de falla, procesos de eliminación de defectos, Investigaciones de falla, etc. Cuenta con las siguientes certificaciones internacionales API 570, API510, API 653, API 580 y API 936. Actualmente vinculado a la Gerencia Refinería Barrancabermeja como jefe de departamento de la especialidad de Inspección e integridad de equipo estático

Carlos Humberto Loza Ing. mecánico, magíster en Gestión de Proyectos, con 16.5 años de experiencia en confiabilidad de equipos estáticos, desarrollando y liderando equipos de ejecución de planes de inspección y mantenimiento de corto, mediano y largo plazo, realizando estrategias de control de la corrosión, evaluación y mitigación de riesgos, soportando procesos de operación y mantenimiento rutinario y T/A. Cuenta con las siguientes certificaciones internacionales API 570, API510, API 653, API 580 y API 936. Actualmente vinculado al departamento de inspección e integridad de equipo estacionario de la Gerencia Refinería Barrancabermeja como Ing. de Confiabilidad e Integridad.

Julio Andres Moncada Garcia ingeniero mecánico, especialista en mantenimiento industrial y magister en ingeniería de confiabilidad y gestión de activos. Se desempeña como analista de esfuerzos de sistemas de tubería y analista de diseño mecánico de equipo estacionario bajo código Asme Section VIII div 1 en la refinería de Barrancabermeja, Ecopetrol. Cuenta con las siguientes certificaciones Internacionales, Analista de vibraciones mecánicas ISO 18436-2 Cat 3, inspector API 570 e inspector API 510.

Actualmente vinculado al departamento de inspección e integridad de equipo estacionario de la GRB como ing. de mantenimiento y confiabilidad B en el área de incorporación de equipo estático.

❖ Carlos Hernando Patiño Villamizar

Cel: 3004942879

Dirección:

Mail: carlos.patino@ecopetrol.com.co

Ciudad: Barrancabermeja/ Santander

País: Colombia

❖ Carlos Humberto Loza Arenas

Cel: 3003264653

Dirección:

Mail: carlos.loza@ecopetrol.com.co

Ciudad: Barrancabermeja/ Santander

País: Colombia

❖ Julio Andres Moncada Garcia

Cel: 3004899796

Dirección: Cra 32 #73-86 Barrio floresta

Mail: Julioan.moncada@ecopetrol.com.co

Ciudad: Barrancabermeja/ Santander

País: Colombia