



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Gestión de la Falla Crítica por Rotura de Cadena: Intervención Técnica y Estratégica para la Sostenibilidad del Sistema de Trituración y Despacho de Coque de la Refinería de Cartagena

Donald Martin Noriega Gonzalez
Refinería de Cartagena - Ecopetrol

E.mail: donald.noriega@ecopetrol.com.co – donald.noriega22@gmail.com
Cartagena de indias – Colombia

Resumen

La gestión de fallas críticas en instalaciones industriales es esencial para la sostenibilidad operativa y la confiabilidad de los activos. En la Refinería de Cartagena se identificó como modo de falla crítico la rotura recurrente de la cadena de alimentación del sistema de trituración y despacho de coque, clasificada como Riesgo H. Se aplicó la metodología de Eliminación de Defectos bajo lineamientos de Ecopetrol S.A., complementada con la norma ISO 14224, analizando datos históricos del CMMS, indicadores de desempeño y costos asociados.

Objetivo

Presentar la experiencia técnica y estratégica desarrollada en la gestión de la falla crítica por rotura de cadena en el sistema de trituración y despacho de coque de la Refinería de Cartagena, destacando el proceso de diagnóstico, análisis de mecanismos de falla, intervención y resultados obtenidos, con el propósito de compartir lecciones aprendidas, buenas prácticas en la gestión de activos físicos orientadas a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y sostenibilidad operativa en sistemas industriales de alta criticidad.

Contexto operacional

En la refinería de Cartagena y como parte del proceso de refinado de fondos se encuentra la unidad de manejo de coque U-113. Luego de su producción, el coque debe ser transportado por lotes desde un patio a una tolva para ejecutar el proceso de triturado y luego ser llevado por medio de bandas transportadoras hasta el sistema de

cargue de camiones, donde finalmente es despachado.

El Feeder Breaker se encuentra debajo de la compuerta hidráulica y su función es la de reducir el tamaño de los pedazos de coque que excede las 4 pulgadas (100mm). Adicionalmente, regula el flujo de coque que se suministra a la banda transportadora 113-SHC-CNVR-001 disminuyendo los derrames y asegurando un llenado adecuado del sistema de transporte.

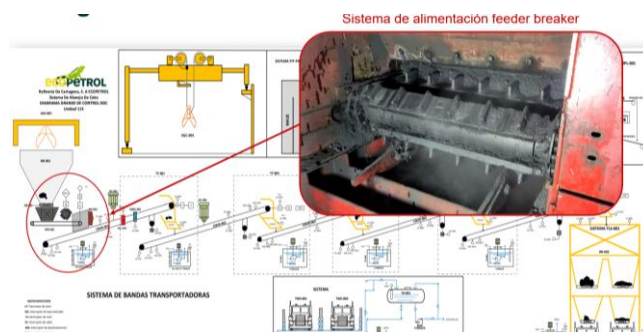


Fig 1, Sistema alimentación-trituración feeder breaker

Metodología y fundamentos teóricos

Se aplicó la metodología de Eliminación de Defectos de acuerdo a los lineamientos internos de ECOPETROL Investigación de los ¿5 POR QUE? e ISO 14224 para clasificar los modos de falla.

La norma ISO 14224 estandariza la recopilación y análisis de datos de fallas y mantenimiento.

Combinadas, permiten establecer indicadores MTBF y MTTR con precisión y comparabilidad técnica.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



El proceso de Eliminación de Defectos tiene por objeto analizar e investigar los eventos causantes de falla individual o eventos repetitivos, emitiendo recomendaciones de solución y los correspondientes planes de acción para contribuir al mejoramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los activos bajo criterios de eficacia y eficiencia asegurando la integridad de las personas, medio ambiente, la infraestructura y la armonía con el entorno.

Comprende las actividades necesarias para determinar la propuesta de solución de un incidente o una falla con el fin de eliminar la causa raíz y evitar su repetición o mitigar sus consecuencias. Está compuesto por 4 etapas las cuales son: analizar el problema, identificar analizar la causa raíz, definir solución a la causa raíz y soportar técnicamente actividades de optimización de activos industriales, como se muestra en la figura 2. (GAC-G-002).

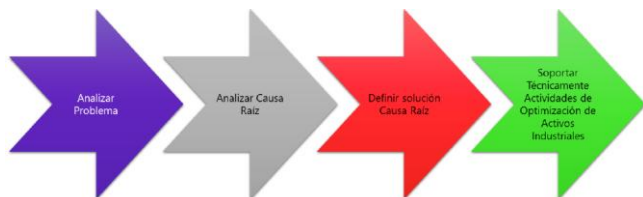


Fig 2, Descripción genera del proceso de eliminación de defectos (PED)

En el PED siempre se evaluarán consecuencias reales (y/o eventos cuyo potencial represente un riesgo potencial H-VH que correspondan a una amenaza a los activos y la producción).

El Tiempo Medio Entre Fallos, en español, (Definido como Tiempo medio transcurrido entre fallas, en la ISO 14224, 2016, 3.60) es uno de los indicadores más importantes de todo el sector de mantenimiento. Con él podemos medir la media de horas (u otra unidad de tiempo) del buen funcionamiento de un equipo reparable (Ítem reparable), entre uno y otro fallo, excluyendo los tiempos de inactividad ya programados, por lo que se entiende como “tiempo operativo entre fallas, o

expectación de la duración del tiempo operativo entre fallas”

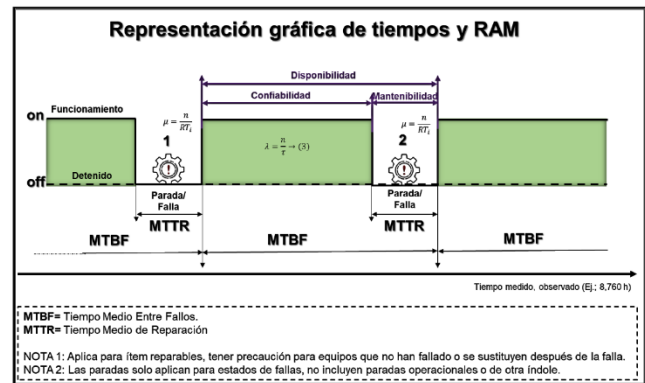


Fig 3, Representación gráfica de tiempos y RAM

El MTBF (Mean Time Between Failures) se puede expresar matemáticamente como Ecuación (1) (ISO 14224, 2016)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (1)$$

Resultados de eliminación de defectos

A continuación, se presentan los diferentes modos de falla registrados en el CMMS de mantenimiento, los cuales permiten establecer patrones de comportamiento y calcular indicadores de confiabilidad como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF).

Alta concentración en 2020: Se documentaron múltiples rupturas de cadena en un corto intervalo, reflejando un periodo de elevada inestabilidad operacional. Este comportamiento recurrente incrementó los costos asociados a mantenimiento correctivo y afectó la disponibilidad del sistema.

Eventos críticos en 2024: Los incidentes ocurridos durante este año tuvieron un mayor impacto tanto en la continuidad operacional como en los costos financieros, debido a la necesidad de intervenciones correctivas y ajustes estructurales. Estos eventos constituyen un punto de referencia clave para evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación implementadas.



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Estabilidad en 2025: Se destacan 487 días sin registro de fallas, lo que contrasta con la dinámica anterior y sugiere una consolidación del sistema. Este periodo prolongado de operación continua refleja una mejora significativa en la confiabilidad y genera un impacto económico positivo al reducir costos de mantenimiento y pérdidas por indisponibilidad.



Fig 4, Cronología de eventos cadena de alimentación-triturador

Para las fallas del 2024 en la cadena se identificaron mecanismos de falla tales como: desgaste, socavaciones y grietas en los eslabones hembras, machos barredores y machos pin intermedio como se evidencian a continuación:



Fig 5, Mecanismos de falla en cadena

Para el 2024 se clasificó como mal actor el triturador-alimentador de coque 111-SHC-FDR-002 el cual causó un importante costo, producto de 3 fallas asociadas a: 2 fracturas en cadena y 1 fractura de eje de cola. Los cuales representan costos totales de mantenimiento superiores a \$10.000 USD.

DPTO	Sistema	Cant. de Avisos	Costos total (COP)	10K USD
PFO	Feeder Breaker	3	\$ 254.482.352,00	\$ 61.158,21
Total		3	\$ 254.482.352,00	

Tabla I. costos de mantenimiento mayor a USD 10.000 en U113

Los modos de falla identificados corresponden a dos roturas y una asociada a una deficiencia estructural. Los mecanismos de falla están relacionados con fallas en los materiales.

Afectando principalmente a los siguientes componentes:

Triturador-alimentador, en el cual se presentaron dos fallas por rotura de cadena.

Triturador-alimentador eje de cola, registró una falla asociada a deficiencia estructural.

Sistema/parte en falla

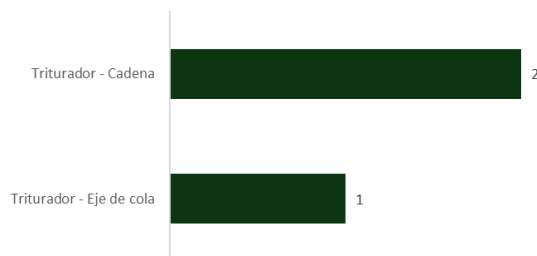


Fig 6, En la gráfica se detalla la distribución de partes en falla del total de equipos reportados

Con base en la información previamente recopilada, se llevó a cabo un análisis de fallas utilizando la metodología de Eliminación de Defectos, con el objetivo de identificar las causas raíz asociadas a los principales eventos de desviación registrados en el triturador de coque 111-SHC-FDR-002 de la U111.

El análisis se estructuró conforme a los lineamientos de la norma ISO 14224, la cual proporciona una clasificación estandarizada para la recopilación y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento. Como resultado, se identificaron los modos y causas de falla de los denominados malos actores (activos con alta frecuencia o



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



severidad de fallas), los cuales se detallan en la Tabla II.

EQUIPO/SISTEMA	SISTEMA/PARTE EN FALLA	MODO DE FALLA	CAUSAS INMEDIATAS
113-SHC-FDR-002	Triturador – Cadena	BRD - Rotura	CI01. Fallas Mecánicas
113-SHC-FDR-002	Triturador - Eje de cola	STD - Deficiencia estructural	CI01. Fallas Mecánicas

Tabla II. Modos y efectos de falla

Resultados de indicadores de confiabilidad

Tasa de falla

La tasa de falla del rompedor se análisis desde el cambio de cadena realizado en febrero del 2020 hasta el reemplazo en septiembre del 2024, donde se presentaron 5 fallas asociadas al sistema de alimentación del feeder breaker

$$\lambda = \frac{\# \text{ DE FALLAS}}{\text{TIEMPO DE OPERACIONES}} = \frac{5}{1703 \text{ DIAS}} = 0.0002935$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.0002935} = 340$$

(1)

Plan de acción de resultados

De acuerdo con la frecuencia de fallas del 2024 se establece un plan con acciones de corto, mediano y largo plazo, esto para mantener la función de trituración y garantizar la disponibilidad del despacho de coque al cliente final:

Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo
- Implementar inspección metalmeccánica diaria con protocolo de clasificación de condición - Corregir desviaciones identificadas según hallazgos de inspección - Fabricar eslabones en taller interno (ECP) - Aplicar ingeniería reversa - Instalar cadena nacional	- Ajustar la estrategia de mantenimiento: hoja de ruta - Establecer reemplazo por frecuencia, basado en tiempo medio entre fallas (MTBF) - Garantizar disponibilidad de material con parámetros de reposición definidos	- Gestión de compra cadena original - Instalación de cadena original

Fig 7, Plan de trabajo corto, mediano y largo plazo

Diseño de protocolo de inspección feeder breaker

Como medio de seguimiento en los preventivos del feede braker se genera protocolo para identificación de desviaciones oportunamente y

garantizar la integridad del activo, para ello se contemplan los siguientes ítems mas relevantes:

- Inspección metalmeccánica de la cadena
- Paralelismo entre ejes del triturador
- Porcentaje de elongación en cadena
- Tensión de cadena
- Inspección condición sprocket
- Fugas de aceite “HPU”

Fig 8, Protocolo de inspección triturador-alimentador

Análisis de condición – Mapa de calor

Producto de la inspección se genera mapa de calor identificando condición mecánica de cada elemento de la cadena para después clasificar el grado prioritario de atención y recuperar el componente afectado.

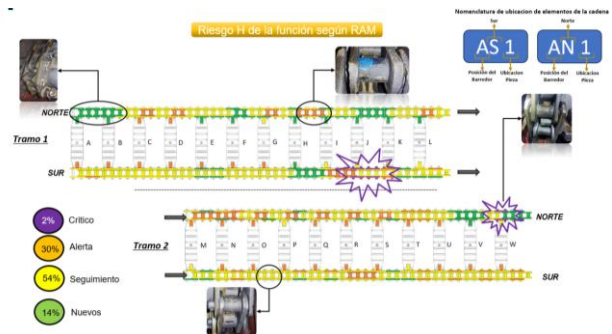


Fig 9, Condición inicio de fallas en cadena alimentador-triturador



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Fabricación eslabones en taller Ecopetrol

Los eslabones machos presentaban condición de falla recurrente atribuidas principalmente a desgaste abrasivo y corrosión, factores que reducen la vida útil del componente. Esta combinación de mecanismos de deterioro disminuye la capacidad de transmisión de carga provocando rupturas en los componentes.

Para mitigar esta condición se implementa mecanizado de pasadores utilizando espárragos B7 x Ø 2", esto permite recuperar los eslabones machos en las zonas afectadas.



Fig 10, Diseño, modelamiento, fabricación de cadena de alimentación

Ingeniería en reversa

Dado los tiempos largos de entrega por la no disponibilidad del repuesto original importando, se realiza ingeniería reversa de los elementos de la cadena para fabricación nacional, durante el ejercicio se tienen presentes condiciones metalmecánicas como dureza, grado de material y dimensionamiento 3D, con dicha información se procede a realizar diseño y modelamiento de esfuerzos mecánicos contemplando las cargas dinámicas-estáticas del triturador para fabricación.

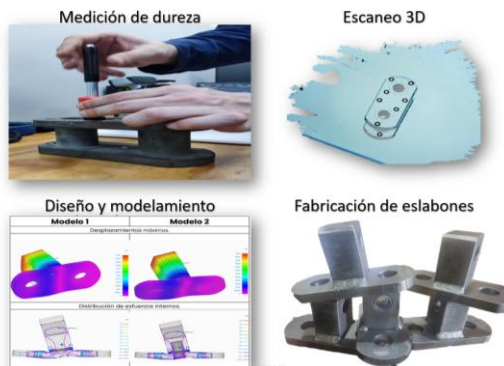


Fig 11, Diseño, modelamiento, fabricación de cadena de alimentación

Mapa de calor etapa final

Con la fabricación de elementos individuales y cadena completamente nueva nacional se realiza el cambio de los componentes logrando un mapa de calor que garantiza la confiabilidad, disponibilidad y operación segura del sistema de trituración y despacho de la planta de sólidos U113 de la Refinería de Cartagena la cual continua en seguimiento.



Fig 12, Condición final en eslabones de cadena

La recuperación en seis meses confirma que las medidas implementadas fortalecieron la confiabilidad del triturador-alimentador y generaron beneficios económicos tangibles, consolidando un escenario más eficiente y sostenible.

Conclusiones

- La información recopilada en el CMMS permitió calcular métricas como el **Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)**, fundamentales para analizar el desempeño del triturador-alimentador y orientar las estrategias de mantenimiento; implementación de protocolos de inspección detallada con ajustes de frecuencias y hojas de rutas, cambios por condición y por cumplimiento de ciclo de vida.
- El periodo analizado muestra una transición desde un escenario de alta inestabilidad hacia una etapa de consolidación confiable, este resultado se traduce en beneficios económicos tangibles, al disminuir costos de



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



mantenimiento y pérdidas por
indisponibilidad.

Bibliografía

[1] RFN-I-7711, INSTRUCTIVO PARA EL REGISTRO Y GESTIÓN DE UN EVENTO EN EL PROCESO DE ELIMINACIÓN DE DEFECTOS EN LA GRC. 24-04-2023 Ver I.

[2] ISO 14224:2016, Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment

[3] Normas APA

Donald Martin Noriega González

Ingeniero Integral de Mantenimiento y Confiabilidad – Ecopetrol S.A.
Refinería de Cartagena, Bolívar, Colombia

Ingeniero con experiencia en gestión de mantenimiento y confiabilidad de activos industriales. Especialista en análisis de fallas, estrategias RCM, optimización de planes de mantenimiento bajo la norma ISO 14224, implementación e interpretación de pruebas predictivas. Enfoque principal en la mejora continua, mitigación de malos actores y aumento de la disponibilidad operativa de equipos críticos. Liderando actualmente iniciativas técnicas orientadas al fortalecimiento de la confiabilidad en la unidad de Refinación de fondos “PFO”.

Autor:

Donald Martin Noriega Gonzalez
Residencia, Cartagena de Indias
Oficina, Refinería de Cartagena
Celular, 317 5763877
E. mail, donald.noriega@ecopetrol.com.co
País, Colombia