

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ DE
FALLA A EQUIPOS COMPRESORES DE GAS**

ING. OLGA CONSTANZA RODRIGUEZ RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2010

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ DE
FALLA A EQUIPOS COMPRESORES DE GAS**

ING. OLGA CONSTANZA RODRIGUEZ RODRIGUEZ

**MONOGRAFÍA PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA
EN INGENIERIA DEL GAS**

ING. EDUARDO RODRIGUEZ

DIRECTOR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2010

TABLA DE CONTENIDO

1 GENERALIDADES DE LA METODOLOGIA ANALISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS.

1.1	Introducción.....	13
1.2	Definición de RCA.....	14
1.3	Beneficios de aplicar RCA.....	16
1.4	¿Cuándo aplicar un RCA?.....	17
1.5	Metodología RCA, descripción del proceso.....	17

2 MODELAMIENTO DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLA.

2.1	Procedimiento para la aplicación del análisis causa raíz de falla.....	26
2.1.1	Objetivos.....	27
2.1.2	Definiciones y abreviaturas.....	28
2.1.3	Responsabilidades.....	31
2.1.4	Herramientas y equipo.....	31
2.1.5	Precauciones de Salud y seguridad.....	32
2.1.6	Aspectos ambientales.....	32
2.1.7	Descripción de actividades.....	32
2.1.8	Criterios de aceptación.....	49
2.1.9	Documentos de referencia.....	49
2.1.10	Anexos.....	50
2.1.11	Registro de aprobación.....	50
2.2	Matriz de decisión análisis causa raíz de falla (RCFA)....	50
2.3	Flujo grama del proceso RCA para la empresa CONFIPETROL S.A.....	51

2.4	Formatos a aplicar en el desarrollo de la metodología de análisis causa raíz de falla para la empresa CONFIPETROL S.A.	51
2.5	Matriz priorización de actividades o recomendaciones.	57
2.6	ITEMS mantenibles de compresores a gas acorde con la norma ISO 14224.....	58
2.7	Base de paradas de equipos compresores acorde con La norma ISO 14224.....	61
2.8	Análisis técnico de la aplicación de la metodología al caso práctico.....	63
2.9	Análisis de resultados y beneficios.....	83
3	CONCLUSIONES.....	85
	BIBLIOGRAFIA.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol Lógico de Fallas.....	23
Figura 2. Matriz de Decisión de RCA.....	33
Figura 3. Análisis Pareto y clasificación de fallas.....	35
Figura 4. Árbol Lógico de Falla RCA.....	40
Figura 5 Matriz de Decisión RCA.....	50
Figura 6 Flujo proceso de RCA.....	51
Figura 7 Formato Término de Referencia.....	53
Figura 8. Hoja 1 del Formato de reporte de falla.....	55
Figura 9. Hoja 2 del Formato de reporte de falla.....	55
Figura 10. Hoja 3 del Formato de reporte de falla.....	56
Figura 11. Formato Lecciones Aprendidas.....	57
Figura 12. Matriz de Priorización de Recomendaciones RCA.....	58
Figura 13. Matriz de Decisión de RCA para la Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM).....	64
Figura. 14. Plano del control de nivel del separador de succión de 1era etapa del compresor K1 en el momento de la falla.....	72
Figura 15. Árbol lógico de falla del caso práctico.....	74
Figura 16. Fotos del Evento para el Caso Practico.....	77
Figura 17 Plano de propuesta y recomendación.....	78
Figura 18. Diagrama Eléctrico.....	79
Figura 19 Costo de la Solución vs. Costo de falla. Caso optimista.....	82
Figura 20. Costo Beneficio caso Pesimista.....	82
Figura 21. Matriz de Priorización de Recomendaciones RCA. Para la Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM).....	83
Figura 22. MTTF y MTBF del 2008.....	84
Figura 23. MTTF y MTBF del 2009.....	84

LISTA DE CUADROS

Tabla N° 1. Acciones y Recomendaciones.....	48
Tabla 2. Registro de Aprobación del Procedimiento de RCFA.....	50
Tabla 3. Ítems Mantenibles de Compresores.....	58
Tabla 4. Base de paradas de Compresores.....	61
Tabla 5. Característica del compresor EPPRCRUCG1.....	65
Tabla 6. Acciones de verificación caso Práctico.....	75
Tabla 7. Recomendaciones Para el caso Práctico.....	76

RESUMEN

TITULO:

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ DE FALLA A EQUIPOS COMPRESORES DE GAS

AUTOR:

Olga Constanza Rodríguez Rodríguez

PALABRAS CLAVES:

RCA, Árbol lógico, Falla, Crónica, Esporádica, Criticidad, Causa raíz.

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía consiste en la elaboración de una investigación, modelamiento de la metodología de análisis causa raíz de falla y la aplicación de la metodología en un caso práctico en equipos compresores de gas, la presente monografía contribuye con las empresas especializadas en la prestación de servicios de Operación y Mantenimiento dirigido a los sectores industriales, Gas, Petroquímico, Petrolero, Energético y Minero, que día a día están en la búsqueda de mejoras y solución de problemas en todo lo relacionado en operación y Mantenimiento de las plantas y campos a su cargo, en lo concerniente al análisis causa raíz de falla y sus herramientas como lo son el árbol lógico de falla y las 5P, son lo esencial para la obtención de beneficios como: reducir el número de fallas producido en los sistemas y equipos compresores por diferentes motivos, minimizar los impactos producidos por los incidentes o realzar el valor del desempeño y disponibilidad de los equipos o los procesos libres de defectos.

Está provista de un capítulo de teoría, uno de modelamiento y el de la aplicación al caso práctico con sus debidas conclusiones y demostraciones de los beneficios de utilizar la metodología.

Con esta monografía se genera una nueva alternativa metodológica que permite al lector la visualización de los conceptos, principios, y herramientas relacionadas con el análisis de causa raíz, mediante imágenes, tablas y formatos, permitiendo de tal forma que sea flexible, de fácil entendimiento por parte del lector, y que contribuye a tener una visión integral de toda la metodología.

*Monografía especialización Ing. Del Gas

**Facultad de Ingenierías Físico Químicas. Escuela de Ingeniería Petróleos. Ing. Eduardo

SUMMARY

TITLE:

APPLICATION OF THE METHODOLOGY OF ROOT CAUSE ANALYSIS OF FAULT TO COMPRESSING GAS EQUIPMENT

AUTHORS:

Olga Constanza Rodríguez Rodríguez

KEY WORDS:

RCA, logical Tree, Fault, Chronicle, Sporadic, Criticality, Root cause.

DESCRIPTION:

This monograph is the development of research, modeling methodology root cause failure analysis and application of the methodology in a case study in gas compressor equipment, this monograph helps companies specialized in providing services Operation and maintenance led to the industrial sectors, Gas, Petrochemical, Oil, Energy and Mining, who every day are searching for improvement and problem solving in everything related to operation and maintenance of plants and fields his position, regarding the root cause failure analysis and tools such as fault tree logical and 5P are essential for obtaining benefits such as: reducing the number of failures occurred in the compressor systems and equipment for different reasons, minimize the impact caused by incidents or enhance the value of the performance and availability of equipment or defect-free processes.

It features a chapter on theory, modeling and an application to a case study with appropriate conclusions and demonstrations of the benefits of using the methodology.

This paper generates a new alternative method that allows the reader to visualize the concepts, principles, and tools related to the root cause analysis, through images, tables and forms, allowing such a way that is flexible, easy to understand by the reader, and it helps to have a holistic view of the entire methodology.

* Monograph specialization Ing. Of the Gas

* * Faculty of Chemical Engineerings Physical. School of Engineering Petroleums. Ing.

INTRODUCCIÓN

Esta Monografía nos presenta la metodología de Análisis Causa Raíz de Falla aplicada a equipos y sistemas de plantas compresoras de Gas en un caso Práctico, Definiendo los procedimientos y formatos a aplicar.

Las empresas especializadas en la prestación de servicios de Operación y Mantenimiento con la aplicación de técnicas de Confiabilidad y predictivas de diagnostico dirigido a los sectores industriales, Gas, Petroquímico, Petrolero, Energético y Minero, día a día están en la búsqueda de mejoras y solución de problemas en todo lo relacionado en operación y Mantenimiento de las plantas y campos a su cargo.

Durante esta búsqueda de mejoras y solución de problemas, CONFIPETROL S.A., ha implementado la aplicación de la metodología Análisis Causa Raíz RCA siendo la más exitosa en la solución de problemas y minimización de impactos producidos por fallas, no solo por sus excelentes resultados si no por su facilidad de aplicación y aprendizaje.

En el desarrollo del modelamiento y aplicación de la metodología en el caso práctico se creó un grupo investigativo conformado por los integrantes de nuestro departamento de confiabilidad, especialista en instrumentación y control, especialista en vibraciones, un mecánico especialista en maquinas reciprocantes (compresores) y un operador.

El primer paso en la aplicación de la metodología en el caso práctico fue conocer el problema. Se procedió a realizar visitas a la planta donde se encuentra la maquina compresora con el fin de encontrar evidencias, las cuales validaran el estudio de la causa raíz.

La aplicación de la metodología finaliza con la validación o rechazo de las ideas generadas durante la fase de la búsqueda de la causa raíz con la ayuda del árbol lógico de fallas que es la herramienta usada que permite avanzar y llegar a la causa o causas generadoras de los incidentes y poder solucionar de raíz el problema.

1 GENERALIDADES DE LA METODOLOGIA ANALISIS CAUSA RAÍZ DE FALLAS.

1.1 INTRODUCCIÓN

Las fallas en sistemas de compresión de gas, de manera repetida generan altos costos de operación y mantenimiento, éstas fallas se perciben a través de ciertas manifestaciones o síntomas (altas temperatura, vibraciones, bajas presiones de aceite), no así la causa de falla. Esto lleva en muchas oportunidades actuar sobre las consecuencias y no sobre la causa raíz del problema, de modo que la falla vuelve a repetirse una y otra vez; por esta razón a través de los años se han introducido diversos programas de mejoramiento con el objetivo principal ya sea de reducir el número de fallas producido, minimizar los impactos producidos por los incidentes o de realzar el valor del desempeño y disponibilidad de los equipos o los procesos libres de defectos.

El análisis causa raíz puede ser una herramienta poderosa para ayudar a determinar obstáculos actuales al mejoramiento, así como para identificar esas áreas particulares en las que los mejoramientos de la operación o el proceso podrían producir el mayor beneficio e identificar causas de falla, de manera de evitar sus consecuencias.

El análisis causa raíz (RCA, por sus siglas en ingles), Por su estructura es un proceso que consume tiempo y recursos para lo cual se debe establecer desde un principio si el incidente o problema requiere realizar o no un estudio RCA.

La resolución efectiva de problemas es una destreza de nivel superior, que abarca conocimiento y habilidad (experiencia). Va mas allá de la aplicación de herramientas y técnicas, en la cuales la capacitación y la práctica normalmente brindan cierta competencia. La aplicación de

metodologías a la solución efectiva de problemas requiere de grupos multidisciplinarios expertos con el conocimiento y la habilidad necesaria. La metodología Análisis Causa Raíz, es una respuesta adecuada a las pérdidas de producción, a los altos costos de operación y mantenimiento y a la indisponibilidad de equipos y sistemas.

Para el caso práctico de esta monografía se mostrará cómo llegar a la causa raíz de la parada de una maquina compresora de la planta de proceso de gas natural y como realizando cambios pequeños pero significativos eliminara de raíz el problema, encontrando otras oportunidades de mejora para el proceso describiendo el costo beneficio de realizar o no las recomendaciones.

1.2 DEFINICIÓN DE RCA

“**RCA:** Análisis Causa Raíz (Root Cause Analysis), es una metodología disciplinada que permite identificar las causas físicas, humanas y latentes de cualquier tipo de falla o incidente que ocurre una o varias veces permitiendo adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejora la seguridad y la confiabilidad del negocio”¹.

Eliminar la causa raíz evita que el problema vuelva a presentarse, mejorando la satisfacción del cliente y reduciendo el precio del incumplimiento.

El RCA es un riguroso método de solución de problemas, para cualquier tipo de falla, este método utiliza herramientas como la lógica sistemática y el árbol de causa raíz de fallas, usando la deducción y pruebas de los hechos que conducen a las causas reales. Esta técnica de análisis permite aprender de las fallas y eliminar las causas, en lugar de corregir los síntomas.

Por su estructura es un proceso que consume tiempo y recursos para lo cual se debe establecer desde un principio si el incidente o problema requiere

¹ Artículo cedido por www.reliability.com Luis A. Sojo B. es el Consultor Principal de Reliability Center Inc. Proceso Análisis Causa Raíz PROAC

realizar o no un estudio RCA.

“El RCA es una de las actividades de mayor importancia en la ingeniería de Confiabilidad. Las fallas nunca se planean y sorprenden a la gente de mantenimiento y producción, porque casi siempre originan pérdidas de producción. Por esta razón su principal objetivo es determinar el origen de una falla, la frecuencia con la que aparece y el impacto que genera, por medio de un estudio profundo de los factores, condiciones, elementos y afines que podrían originarla, con la finalidad de mitigarla o eliminarla por completo una vez tomadas las acciones correctivas que sugiere el análisis”.²

Existen tres tipos de causas que deben ser identificadas durante el desarrollo de la aplicación RCA:

- a) **Causa raíz física:** es la causa tangible de porqué está ocurriendo una falla. Siempre proviene de una raíz humana o latente. Son las más fáciles de tratar y siempre requieren verificación.

- b) **Causa raíz humana:** es producto de errores humanos motivados por sus inapropiadas intervenciones. Nacen por la ausencia de decisiones acertadas, que pueden ser por convicción u omisión. Nunca utiliza nombres individuales o grupales cuando se especifica la causa.

- c) **Causa raíz latente:** son producto de la deficiencia de los sistemas de información. Proviene de errores humanos. En ciertas ocasiones afectan más que el problema que se está estudiando, ya que pueden generar circunstancias que ocasionan nuevas fallas.

² HUERTA, Rosendo. (2004) “Confiabilidad Operacional: Técnicas y Herramientas de Aplicación”. Seminario Customer Care, Datastream. Bogotá. Colombia.

1.3 BENEFICIOS DE APLICAR RCA

Los mayores beneficios que se obtienen al aplicar la metodología RCA parten del hecho probado que los problemas que mas atacan la industria son las llamadas fallas crónicas, es decir aquellas fallas que suceden más de una vez por la misma razón. La suma de todas las falla crónicas y otros eventos que se experimenten en un tiempo determinado, hacen que el 20% de estos incidentes representan el 80% de las perdidas. Es aquí cuando se piensa en los beneficios y ventajas de realizar un análisis causa raíz, ya que en pocas palabras significa que al investigar el 20% de las fallas se estaría previniendo el 80% de las pérdidas totales y se verían los beneficios en corto tiempo.

Estos beneficios son:

- a) Proporciona la capacidad de reconocer un patrón de fallas y evita la repetición de las mismas
- b) Aumenta la confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad de los equipos
- c) Mejora las condiciones de seguridad industrial y evita tiempos improductivos innecesarios.
- d) Disminuye el número de incidentes, reduce los impactos ambientales y los accidentes.
- e) Reduce las frustraciones del personal de mantenimiento y operaciones
- f) Minimiza perdidas de producción y costos de mantenimiento.

Teniendo en cuenta los beneficios anteriores y las razones económicas, se

debe evaluar un RCA en base a sus consecuencias:

- a) La Integridad de las personas
- b) El medio ambiente
- c) Costos de mantenimiento y reparación
- d) Perdidas de producción.
- e) Infraestructura
- f) Inversión

O la combinación de varias o de todas las consecuencias y establecer la probabilidad que el evento ocurra de nuevo.

1.4 ¿CUANDO APLICAR UN RCA?

“El RCA se aplica generalmente en problemas puntuales para **equipos críticos** dentro de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas, por lo tanto se recomienda cuando:

- a) Se requiera el análisis de fallas crónicas (repetitivas) que se presenten continuamente, tales como fallas de equipos comunes.
- b) Se presentan fallas esporádicas (una vez), en procesos críticos, tales como paradas de emergencias, incendios, explosiones, muertes, lesiones importantes o fallas graves poco frecuentes en los equipos.
- c) Es necesario un análisis del proceso de diseño de nuevos equipos, de aplicación de procedimientos operativos y

- supervisión de actividades de mantenimiento.
- d) Son comunes aspectos operativos tales como el congestionamiento, interrupción de las operaciones, aumento del consumo de energía, corridas más largas, defectos de calidad e incidentes ambientales.
 - e) Es necesario identificar las deficiencias en los programas de entrenamiento y procedimientos operativos.
 - f) Se tiene la necesidad de analizar diferencias organizacionales y programáticas”.³

1.5 METODOLOGIA RCA, DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Antes de aplicar la metodología RCA se debe tener en cuenta:

- a) Una definición clara del sistema, para comprender la interrelación existente entre los diversos niveles de un proceso, lo que nos permite a la hora de realizar un estudio, considerar todos los factores, aspectos y condiciones que están presentes en un entorno, ya que cualquiera de ellos puede generar una falla.
- b) Contar con un grupo de investigación conformado por personas bien informadas y con conocimiento a tratarse, si es necesario un especialista específico del tema, una persona involucrada en la falla o testigo, operadores y técnicos con el fin de investigar a fondo el evento de falla, usando evidencias para explicar cualquier avería encontrada, un facilitador de la metodología con el fin de encaminar la investigación a la causa raíz final latente. supervisores y coordinadores continúan la investigación si se requiere, gerentes y directores revisan los resultados y aseguran

³ LATINO, Robert J. (2001) ROOT CAUSE ANALYSIS: Improving Performance for Bottom Line Results. Reliability Center, Inc. (Latino & Latino, 2001/www.crcpress.com)

su efectividad.

- c) Se deben involucrar desde el inicio a los supervisores y coordinadores con el fin que continúan la investigación si se requiere, gerentes y directores con el fin de que revisen los resultados y aseguran su efectividad.

Los pasos a seguir en la metodología RCA varían según los diferentes autores, para este caso se definió la metodología utilizada por: SOJO B., Luis A.

“La metodología RCA está definida por un procedimiento de trabajo de 6 pasos. Este proceso inicia preparando la investigación y termina con un reporte de hallazgos, los pasos a seguir son los siguientes:

Paso 1: Identificar los eventos más significativos.

En este paso se recolecta la información, se definen las fallas y se calculan las pérdidas debido a las fallas ocurridas. Se trata de responder a un incidente.

“El objetivo es determinar cuáles son los eventos y fallas más importantes. Esta información se utiliza para analizar los costos de las fallas en una Instalación y clasificar los problemas encontrados en orden de importancia económica”.⁴

“Lo primero que se debe hacer es identificar los problemas específicos que dan el mejor retorno a la inversión hay dos tipos de problemas básicos: esporádicos y crónicos, los problemas o eventos **esporádicos** son aquellos que causan una cantidad considerable de caos cuando aparecen, tienen ciertas características que son importantes y por la naturaleza del problema capturan la atención de todos; individualmente son los más

⁴ MURILLO, William M.(2003). Modelo de Confiabilidad basado en el análisis de fallas. V Congreso internacional de mantenimiento. ACIEM 12 y 13 de junio de 2003. Bogotá. Colombia.

costosos. Los problemas o eventos **crónicos** por otro lado, ocurren una y otra vez, y por las mismas razones aparentes. A diferencia de los eventuales, los problemas crónicos tienen alta frecuencia de ocurrencia y no llevan mucho tiempo para corregirse. Cuando se consideran individualmente cada evento tiene un costo relativamente bajo. Sin embargo cuando la frecuencia del evento se multiplica por los costos se encuentra que la pérdida total es significativa. Los problemas crónicos ocurren dentro de las situaciones normales y presentan una gran oportunidad de mejoramiento”.⁵

La herramienta apropiada es el análisis pareto, que afirma que el 80% de los costos de las fallas son causados por el 20% de las fallas totales. Estas se designan como “las pocas fallas críticas” y son identificadas para los análisis de RCFA.

Paso 2: Preservar las evidencias de las fallas:

Es la parte en la que se comienza a analizar un problema específico. La recolección de datos es una parte integral del Análisis Causa Raíz. Sin la información de la falla, es virtualmente imposible descubrir las causas raíces.

“Para recolectar los diferentes tipos de datos se ha desarrollado la metodología de las 5 P’s, la cual es una sigla para: Partes, Posición, Personas, Papel y Paradigmas”.⁶

- a) **Partes:** equipo o componente que fallo. Ej. Rodamientos, tuberías, sellos, instrumentos, cables, motores, bombas.

⁵ SOJO B., Luis A. (2004). El proceso de Análisis Causa Raíz PROACT: “Metodología & Software”. Publicado por WWW.Klaron.net WWW.reliability.com.

⁶ RMS S.A.: soporte técnico y consulta. www.rms.com.co

Herramientas, etc.

- b) Posiciones:** ubicación física del equipo o componente en falla. Posición física de las maquinas, de los equipos, de los instrumentos, nivel de presión, personal en la hora de la ocurrencia, información ambiental, etc.

- c) Personal:** entrevistas al personal involucrado en la falla. Entrevista al personal de mantenimiento, operaciones, administración, manejo, calidad etc.

- d) Papel:** todos los reportes escritos relacionados con la falla. Reportes de mantenimiento, políticas, planos, cuarto de control, procedimientos, especificaciones, entrenamientos, documentación del fabricante, históricos, etc.

- e) Paradigmas:** frases comunes que el personal de operaciones usa para evitar investigaciones o desarrollar alguna actividad de mejora. Ej. “No tenemos tiempo para un RCA”, “Hemos tratado de resolverlo desde hace mucho años”, “Es un equipo viejo y por supuesto falla”, “Siempre ha funcionado así”, “Esto es imposible de resolver”, “Siempre lo hemos hecho así”, etc.

Paso 3: Ordenar el Análisis

Es la organización del equipo de trabajo y el procedimiento. La forma convencional de formar un equipo de análisis es mediante la asignación de un grupo de personas, que deben ser expertos y tener conocimientos relacionados directamente con los problemas a analizar. El RCFA (Análisis Causa Raíz de Falla), debe ser dirigido por un facilitador, quien tenga entrenamiento específico en la metodología RCFA. El resto del equipo lo conforma un grupo multifuncional que varía entre un problema y otro.

El equipo RCFA, por lo regular, debe incluir:

- a) Un facilitador que dirige el proceso.
- b) Un operador familiarizado con el proceso operativo.
- c) Un técnico de mantenimiento (en equipos mecánicos, eléctricos, o de instrumentación).
- d) Un supervisor de primera línea
- e) Un ingeniero (mecánico, eléctrico, químico, o de otra especialidad).

“El facilitador NO debe estar familiarizado con el evento que esta analizando. Lo único en lo que el analista principal debe ser un experto es en facilitar el análisis. Además, los facilitadores exitosos son siempre aquellos que facilitan el RCFA, sin ser dominantes y sin permitir parar el proceso”

En ocasiones el equipo debe incluir especialistas tales como inspectores, especialistas de proceso, especialista de equipos rotativos, o proveedores. A menudo es necesario involucrar a los niveles altos y medios de la administración. Los expertos, vendedores y contratistas son generalmente irremplazables para generar las hipótesis. Por lo menos debe haber una persona que ignore los eventos de falla y sirva como crítico constructivo.

Paso 4: Construir el árbol lógico de fallas

El análisis debe continuar con la construcción estructurada del árbol lógico de fallas con niveles de causa y efecto. El árbol lógico trata estrictamente con datos reales y utiliza la lógica deductiva para trabajar sistemáticamente a través del problema, para llegar a la causa raíz real.

Los pasos para construir un árbol lógico de fallas en la aplicación de un proceso RCFA, que se muestran en la figura 1, son:

- a) Describir el evento de falla
- b) Describir los modos de falla
- c) Hacer una lista de causas potenciales de falla y verificarlas
- d) Determinar y verificar las causas raíces físicas
- e) Determinar y verificar las causas raíces humanas
- f) Determinar y verificar las causas raíces del sistema (latentes).

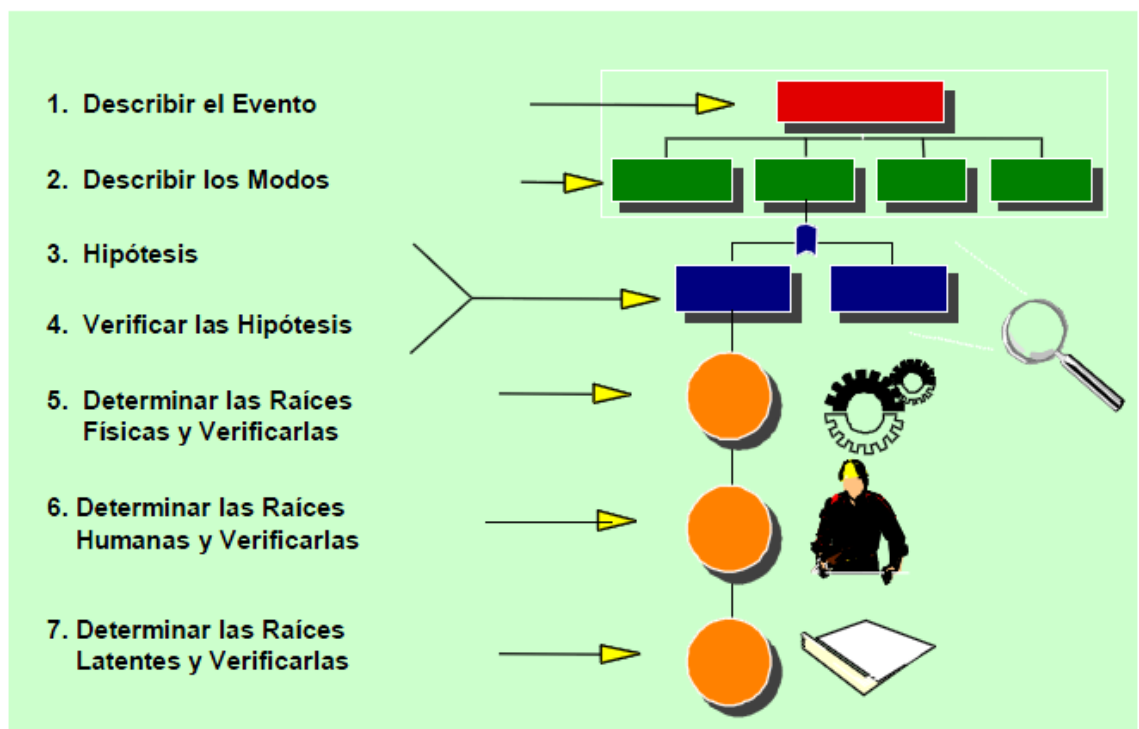


Figura 1. Árbol Lógico de Fallas⁷

Los dos primeros niveles del árbol Lógico consideran todos los “hechos conocidos” del problema a analizar. Estos dos niveles conforman la caja superior y representan la definición de la falla. El primer nivel es la declaración del evento, la razón por la que se está analizando el problema. El segundo nivel representa los modos del problema. Se pueden analizar los modos de falla como las causas aparentes del evento. En el tercer nivel se procede a hipotetizar “como” pudo haber ocurrido. La clave es ser amplio e incluir todo lo posible en las hipótesis. La idea es agrupar las razones (o causas) en categorías generales. En esencia, el árbol lógico debe ir de lo general a lo específico, aplicar la lógica deductiva.⁸

El siguiente paso es el más crítico, es la verificación de las hipótesis. Se debe verificar cada hipótesis para ver cual es verdadera y cuáles no lo son. La verificación de las hipótesis da la confianza necesaria para llegar a las causas raíces correctas. Este proceso de lógica deductiva y verificación se reitera una y otra vez hasta que todas las raíces se determinan acertadamente.

Paso 5: Comunicar los resultados y las recomendaciones

El análisis de fallas y la verificación de las causas raíces, determinan las causas raíces físicas, humanas y del sistema, para cualquier tipo de falla. Comunicar los resultados es el paso esencial para documentar los hallazgos en las investigaciones de RCFA y las recomendaciones asociadas. Estos hallazgos se deben analizar con el personal apropiado y pueden requerir de reuniones con la alta gerencia.

⁷ SOJO B., Luis A. (2004). El proceso de Análisis Causa Raíz PROACT: “Metodología & Software”. Publicado por WWW.Klaron.net WWW.reliability.com.

⁸ SOJO B., Luis A. (2004). El proceso de Análisis Causa Raíz PROACT: “Metodología & Software”. Publicado por WWW.Klaron.net WWW.reliability.com.

En estas reuniones se debe realizar el proceso de seleccionar la mejor solución, para lo cual se debe especificar el ideal, lo que se quiere alcanzar, especificar los mínimos a los que se quiere llegar, evaluar y comparar los resultados y entender los riesgos y beneficios asociados con cada solución.

Para que el analista tenga éxito comunicando sus resultados y haciendo recomendaciones a la administración sobre causas identificadas, primero debe darse cuenta de la posición de la administración con respecto al resultado del análisis. La administración debe ser cociente de la responsabilidad financiera de la empresa.

Un informe formal por lo general ayuda a obtener el compromiso de la gerencia para resolver las fallas centrándose en las causas raíces determinadas en la investigación. El costo de implementar los resultados se debe comparar con el costo de las fallas. Se debe tener en cuenta que las causas raíces identificadas no son negociables.

Sin embargo las recomendaciones pueden ser diseñadas para cumplir los criterios de aceptación preestablecidos.⁸

Se debe tener en cuenta que una de las principales metas de la confiabilidad operacional es incorporar el RCFA como parte de la cultura organizacional. Esto facilitaría el análisis y la deducción lógica del porqué de los problemas. Para lograr el apoyo masivo de la organización en el proceso, se requiere que participe tanta gente como sea posible y que sean reconocidas ampliamente sus contribuciones.

⁸ SOJO B., Luis A. (2004). El proceso de Análisis Causa Raíz PROACT: "Metodología & Software".
Publicado por WWW.Klaron.net WWW.reliability.com

Paso 6: Hacer seguimiento a los resultados.

Parte de la responsabilidad que asume el facilitador del sistema, es analizar la implantación de las recomendaciones y realizar el seguimiento de su ejecución. Los resultados pueden ser comparados y medidos mediante la reducción en los costos de mantenimiento, el mejoramiento en las tasas de producción la reducción de las tasas de falla, etc.

El RCFA sería una actividad sin valor agregado si no se actúa sobre las recomendaciones y las soluciones no son implementadas en el tiempo establecido. Después de todo, es demasiado frustrante dar recomendaciones para la solución de problemas, asignar responsabilidades para la implementación, y establecer un plan de actividades para su realización, y aun así no ver el fruto de los esfuerzos. Por lo tanto, es primordial que se tome el control de las operaciones en vez de permitir que las operaciones tomen el control de la organización. Para poder obtener los recursos necesarios para dedicar el trabajo futuro, sea

Trabajo de mejora, corrección, o rediseño, se debe analizar los problemas hasta las causas raíces y actuar de acuerdo con sus resultados.⁸

2 MODELAMIENTO DE LA METODOLOGIA DE ANALISIS CAUSA RAZ DE FALLA.

2.1 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DEL ANALISIS CAUSA RAZ DE FALLA EN LA EMPRESA CONFIPETROL S.A

⁸ SOJO B., Luis A. (2004). El proceso de Análisis Causa Raíz PROACT: "Metodología & Software". Publicado por WWW.Klaron.net WWW.reliability.com.

2.1.1 OBJETIVOS

- Determinar los eventos de falla que serán analizados mediante la técnica RCA (Análisis de Causas Raíz), teniendo en cuenta su impacto en seguridad, daños a equipos o instalaciones, costos de reparación, medio ambiente y/o producción.
- Definir los Términos de Referencia especificando los objetivos y el alcance de un RCA. Seleccionar los integrantes del Equipo RCA, teniendo en cuenta las implicaciones particulares del evento de falla que va a ser analizado usando la técnica RCA.
- Identificar la(s) causa(s) raíz de una falla mediante el empleo de la metodología del Análisis de Causa Raíz.
- Determinar recomendaciones tendientes a eliminar la ocurrencia de una falla y/o minimizar los efectos de la misma.
- Dar a conocer las conclusiones y recomendaciones del RCA a la Gerencia y obtener su compromiso para la implementación de las acciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla. Asignar los responsables de la implementación de recomendaciones de RCA y acordar con ellos la fecha objetivo de culminación de cada acción.
- Realizar el seguimiento a la implementación de acciones de todas las acciones recomendadas en el Reporte Final de un RCA o un Reporte de Falla, con el fin eliminar las causas raíz de un evento de falla o minimizar sus consecuencias.

2.1.1.1 ALCANCE

Este procedimiento aplica para el análisis de los eventos de falla presentados en los equipos críticos. Se realiza ante una solicitud

formalmente establecida por el cliente y/o cada vez que se produzca una falla crónica y/o esporádica de impacto significativo. Comprende la totalidad del flujo del proceso RCA desde la selección de la técnica del Análisis de Causa Raíz dependiendo del incidente de falla (Matriz de definición tipo RCA), la definición de los Términos de Referencia (TOR), la determinación de los integrantes del Equipo RCA, la identificación de sus causas raíz (físicas, humanas y latentes o del sistema), hasta la determinación y asignación de responsables de la implementación de acciones y recomendaciones tendientes a eliminar la falla.

El reporte Final del RCA realizado será documentado, entregado y divulgado oportunamente por parte del líder del Equipo RCA para su validación por parte de la Coordinación, Gerencia de Mantenimiento y /o similares. Del mismo modo se realizará el seguimiento a cada de las acciones y recomendaciones mejorativas implementadas para evitar la recurrencia de la falla.

2.1.2 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

2.1.2.1 Análisis de Falla

Procedimiento de Ingeniería de Mantenimiento y Confiabilidad encargado de detectar y corregir las causas raíz de falla de componentes de unidades productivas, antes de su periodo de envejecimiento natural, en un orden de prioridades gobernado por su impacto para el cumplimiento de los objetivos del negocio.

2.1.2.2 Análisis Pareto

Técnica para clasificar las fallas crónicas o recurrentes de acuerdo a su impacto y/o costo relativo. El Análisis Pareto nos permite evaluar las fallas a las que es necesario o recomendable realizarles un RCA logrando un retorno más rápido del tiempo y dinero invertido.

2.1.2.3 Árbol lógico

Representación gráfica de la lógica y los 6 pasos o niveles usados para

derivar las causas raíz. Estos seis niveles son: Evento de Falla, Modo de Falla, Causas Potenciales, Causa Raíz Física, Causa Raíz Humana y Causa Latente del Sistema.

2.1.2.4 Causa Raíz

Es la causa primaria que origina la ocurrencia de una falla.

2.1.2.5 Champion

Persona con autoridad que promueve el proceso de RCA dentro de la organización.

2.1.2.6 Compromiso

Es una corta explicación detallando cual es el objetivo del equipo para un análisis RCA específico. Simplemente definir que se quiere establecer como resultado de analizar cada problema en particular.

2.1.2.7 Consecuencia de falla

Efectos relacionados con la ocurrencia de una falla. Pueden ser operacionales, de seguridad, ambientales y económicas.

2.1.2.8 Criticidad

Es una medida de las consecuencias de un modo de falla particular de un equipo y su frecuencia de ocurrencia.

2.1.2.9 Falla

Inhabilidad o incapacidad de un componente para desarrollar la función para la cual fue diseñado de manera confiable, económica y segura. Desde el punto de vista de mantenimiento cuando un equipo, sistema o componente se detiene o debe detenerse por una condición técnica no prevista.

2.1.2.10 Fallas crónicas

Una falla crónica es la falla típica repetitiva que puede afectar las operaciones en el corto plazo o las actividades de mantenimiento pero que, por lo general, no resulta dramática.

2.1.2.11 Falla esporádica

Es, por lo regular, una falla repentina, dramática e inesperada que algunas veces lleva todo el proceso a detenerse y, con frecuencia, es altamente visible dentro de la Unidad de Negocios o de la compañía.

2.1.2.12 Equipo RCA

Grupo de trabajo multidisciplinario encargado de la Ejecución de un análisis de Causa Raíz.

2.1.2.13 Grupo Implementador

Grupo de personas encargadas de llevar a cabo o liderar la implementación de alguna de las acciones recomendadas por el grupo investigador

2.1.2.14 Los pocos significativos (Few Significant)

Corresponden al 20% de los eventos de falla que equivalen al 80% de las pérdidas de producción. Los Few Significant pueden ser fallas esporádicas o crónicas.

2.1.2.15 Líder Equipo RCA

Es la persona responsable de liderar y completar un análisis RCA. Véase también Analista Principal.

2.1.2.16 Prioridad

Importancia relativa de un trabajo asignada de acuerdo a la criticidad del equipo y de las consecuencias de la falla o evento de mantenimiento a ejecutar.

2.1.2.17 TOR

Términos de Referencia. Documento donde se definen los objetivos y el alcance de una investigación.

2.1.2.18 Recomendaciones de Análisis de Causa Raíz

Acciones para la corrección y prevención de fallas, derivadas de un RCA.

2.1.2.19 Reporte de Falla

Técnica de análisis y solución de problemas mediante el análisis de eventos de falla de mediano impacto o de fallas crónicas que no son consideradas como significativas "Few Significant", luego de realizar un análisis Pareto.

2.1.2.20 RCA

El RCA (Root Cause Analysis por sus siglas en inglés) o Análisis de Causa Raíz es un riguroso método o técnica de análisis y solución de problemas mediante el análisis de eventos, bajando hasta sus causas raíz latentes, es

decir, las deficiencias en los sistemas administrativos y normas culturales que permiten que un evento ocurra. Permite eliminar las causas en lugar de corregir los síntomas.

2.1.3 RESPONSABILIDADES

2.1.3.1 Supervisores

- Responder a un incidente de Falla y conservar la evidencia.
- Suministrar información acerca de las fallas crónicas o esporádicas que se presenten en campo.
- Identificar y evaluar eventos de falla de los equipos críticos, utilizando la Matriz de Definición de Tipo de Análisis de Causa Raíz
- Realizar reportes de falla
- Implementar las recomendaciones asignadas a su cargo.

2.1.3.2 Líder de confiabilidad

- Responder a un incidente de Falla y conservar la evidencia.
- Suministrar información acerca de las fallas crónicas o esporádicas que se presenten en campo.
- Identificar y evaluar eventos de falla de los equipos críticos, utilizando la Matriz de Definición de Tipo de Análisis de Causa Raíz
- Realizar Análisis Pareto emitiendo un informe comunicando los resultados.
- Preparar los Términos de Referencia (TOR) del Análisis de Causa Raíz
- Seguimiento a acciones y recomendaciones

2.1.4 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

- Computador con sistema operacional y programas de lectura, escritura. Gráficos y hojas de cálculo (Microsoft office, Lotus, etc)
- Matriz de definición de tipo de Análisis de Causa Raíz
- Análisis Pareto.
- Formato de Términos de Referencia

- Metodología RCA, árbol lógico de falla.
- Formato de Reporte de falla
- Órdenes de Trabajo, Proyectos de Ingeniería y Mantenimiento, Procedimientos, etc.
- CMMS. (Base de datos de mantenimiento)

2.1.5 PRECAUCIONES DE SALUD Y SEGURIDAD

Los aspectos de salud y seguridad significativos asociados con la tarea y la utilización de los elementos de protección personal, son identificados en el permiso de trabajo y el análisis de seguridad (si es solicitado) que se incluye para la ejecución de la tarea.

El permiso de trabajo debe ser leído y entendido por los ejecutantes antes de empezar la labor, con el fin de saber cuáles son los aspectos de salud y seguridad involucrados en la tarea, conocer los controles y evitar incidentes.

Los aspectos de salud y seguridad valorados en el permiso de trabajo son de obligatorio conocimiento y aplicación por el ejecutante de la tarea antes de iniciar la actividad, así como de las evaluaciones de riesgos que puedan surgir en el análisis del permiso de trabajo.

2.1.6 ASPECTOS AMBIENTALES

Los residuos generados en la realización de las actividades del proceso de confiabilidad deben ser depositados en las respectivas canecas identificadas por colores y nombres de acuerdo con las normas ambientales.

El reciclaje, manejo y desecho del papel, carpetas y objetos de almacenamiento magnético utilizado en el desarrollo de las actividades del proceso seguirán el procedimiento de residuos sólidos establecido en la compañía.

2.1.7 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

2.1.7.1 Los eventos de falla que serán evaluados empleando la técnica de Análisis de Causa Raíz serán obtenidos de las siguientes fuentes:

- Reportes diarios de Proceso
- Base de datos de disponibilidad y control de paradas
- Reportes del Sistema de Información de Mantenimiento
- Solicitudes formales de incidentes de fallas por parte del cliente.
- Eventos de Falla Reportados en CMMS.

2.1.7.2 Análisis de Fallas Esporádicas

A partir de los reportes diarios de proceso y de la información consignada en la base de datos de disponibilidad y control de paradas, el Supervisor de Disciplina y el Ingeniero de Confiabilidad deberán identificar y evaluar eventos de falla de los equipos críticos, utilizando la Matriz de Definición de Tipo de Análisis de Causa Raíz (Figura 2). Dependiendo de la frecuencia de falla y las consecuencias del evento analizado, las fallas clasificadas en la región roja serán analizadas mediante RCA formales y las clasificadas en la región amarilla mediante un Reporte de Falla. Las fallas de impacto bajo, es decir, clasificadas en la región verde, serán únicamente reportadas en el CMMS del cliente.

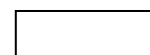


Figura 2. Matriz de Decisión de RCA.⁸

⁸ CONFIPETROL S.A.: Empresa en donde Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

2.1.7.3 Análisis de Fallas Crónicas (recurrentes) – Análisis Pareto

El Análisis Pareto afirma que el 80% de los costos de las fallas en las instalaciones son causados por el 20% de las fallas totales. Estas se designan como las “Pocas Significativas (Few Significant)” y son identificadas para analizarlas mediante un RCA formal. Algunas fallas del 80% restantes que forman parte de “las muchas fallas no críticas” y que

Corresponden al 20% de los costos totales de las fallas siguen siendo relevantes y vale la pena hacerles seguimiento y análisis, pero con un enfoque mucho más bajo y menos disciplinado. Para estos casos se podría realizar entonces un Reporte de Falla. A partir de la base de datos de disponibilidad y control de paradas se deberán obtener las estadísticas de fallas y mantenimientos correctivos por tipo de equipo y componente, incluyendo MTTF (tiempo medio hasta falla), MTTR (tiempo medio de reparación), número de fallas, tiempo improductivo (downtime), lucro cesante y pérdidas de producción asociadas.

- Evaluar los costos de los diferentes mantenimientos correctivos realizados tomando los datos de costo mano de obra, materiales y si es posible gastos operativos como consumo de energía, químicos, etc.
- Todos los datos obtenidos deberán ser colocados en una hoja de cálculo, donde se relacionen todos los factores de cada una de las fallas y se totalicen los costos evaluados en los pasos anteriores.
- Realizar el análisis Pareto 80-20 para determinar las “Pocas Significativas (Few Significant)”. Las pocas fallas significativas determinadas mediante este análisis serán las fallas a las cuales se les debe realizar un RCA formal. Ver Figura 3.

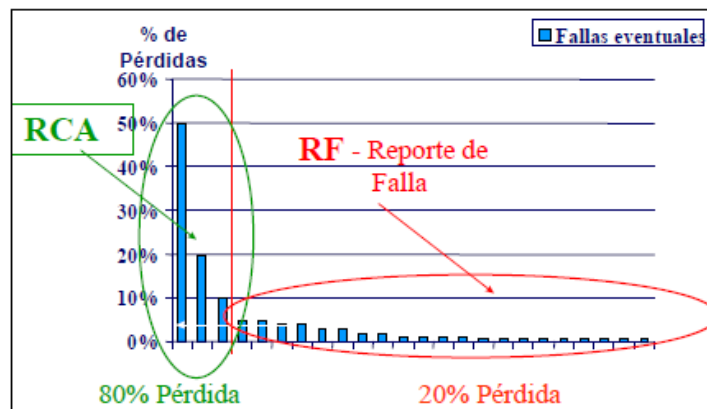


Figura 3. Análisis Pareto y clasificación de fallas.⁹

Cada vez que el Supervisor de Disciplina y el Ingeniero de Confiabilidad realicen un Análisis Pareto se debe emitir un informe comunicando los resultados. Las “pocas fallas significativas” serán analizadas por medio de un RCA formal.

2.1.7.4 Términos de Referencia (TOR)

El Supervisor de Disciplina y el Ingeniero de Confiabilidad deberán preparar los Términos de Referencia (TOR) del Análisis de Causa Raíz. El TOR deberá incluir los objetivos principales de la investigación, los hechos que enmarcan el evento de falla, el alcance del RCA, la metodología, el personal propuesto, el cronograma de trabajo del Equipo RCA, consideraciones especiales del análisis y las herramientas a utilizar.

Estos Términos de Referencia serán revisados con el Líder de Mantenimiento, quien será el encargado de validar y garantizar la disponibilidad del personal seleccionado para conformar el Equipo RCA. Dependiendo de la naturaleza y tipo de evento de falla, el Líder de Mantenimiento seleccionará al Líder o Analista Principal de cada RCA, teniendo en cuenta su experiencia específica en el área y su capacidad para liderar y facilitar grupos de investigación de incidentes y análisis de falla.

⁹ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplicó y Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

Los siguientes aspectos deberán ser considerados para la selección del equipo:

- El grupo debe ser multidisciplinario.
- Debe involucrar personal directamente afectado por el problema o evento.
- Debe involucrar personal que pueda estar vinculado con la implementación de la solución.
- El personal que interviene en el RCA debe ser excusado de sus asignaciones normales de trabajo, total o parcialmente, mientras se encuentre trabajando en el análisis.
- La conformación del equipo depende de la falla que se vaya a analizar. Un equipo puede constar de tres a ocho personas y contar con recursos externos adicionales si es necesario.
- El Líder del equipo RCA deberá ser una persona con amplio conocimiento en el equipo o proceso donde se presentó la falla. Igualmente, deberá conocer los principios de la técnica RCA.
- Entre los miembros regulares de un equipo se pueden incluir personal de operaciones, técnicos, coordinadores, ingenieros, inspectores, diversos especialistas (CBM, equipo recíprocante, etc.), proveedores, etc. En cada análisis estará presente el Supervisor de Disciplina o el Ingeniero de Confiabilidad, quien hará las veces de Facilitador y Documentador.
- Al menos una persona del equipo debe ignorar los eventos de la falla y actuar como crítico constructivo con respecto a las teorías y posibilidades que surjan de la tormenta de ideas.
- Se debe promover el pensamiento “no encasillado” (lateral). El equipo debe determinar su misión y lo que desean lograr.
- El equipo se estará reuniendo con frecuencia, asignando responsabilidades para investigación o verificación adicional y regresando para otras reuniones hasta la conclusión de la investigación y de los informes.

2.1.7.5 Equipo RCA

Cada análisis de falla se llevará a cabo en un salón para uso exclusivo del Equipo RCA, donde podrán recopilar y evaluar las evidencias, dotado de mesa de conferencia, tableros y espacio en la pared para colocar los árboles de lógica de causa raíz. También dispondrá de un computador con el software adecuado para la elaboración del árbol lógico de fallas, donde quedarán registrados todos los aspectos involucrados en el análisis.

- Al inicio de la sesión de análisis RCA, el Líder la investigación leerá los Términos de Referencia con el fin de aclararle al Equipo RCA el alcance (límites) y objetivos del análisis e identificar los beneficios económicos y/o de seguridad esperados al resolver el problema.
- El Compromiso y los Factores Críticos de Éxito (CSF) del análisis deberán ser definidos de tal manera que cada miembro del equipo conozca el propósito del análisis.
- El equipo definirá de manera precisa el evento. Sin una definición clara de la falla, una serie totalmente equivocada de modos de falla podría arrojar un buen número de causas raíces, pero es posible que las soluciones no arreglen el verdadero problema.
- El equipo RCA necesita desarrollar una estrategia para la recolección de las 5 P's (partes, posiciones, personas, papel, paradigmas). La obtención de evidencia es crucial en los casos de fallas esporádicas, puesto que el equipo solamente tiene una oportunidad para obtenerlas.

2.1.7.6 Recopilación de Evidencias

Dependiendo de la magnitud y características de la falla, puede ser mejor despejar el área hasta que se haya recogido toda la evidencia y si es necesario no se deben iniciar las reparaciones hasta que se haya terminado la investigación. La recolección de las pruebas de fallas crónicas se puede realizar simultáneamente con la realización de las reparaciones, pero se debe organizar apropiadamente.

- **Partes**

Para fallas esporádicas, se debe acordonar el área según lo necesario, de manera que la evidencia no se manipule, mueva, “pierda”, etc. Se congela el área hasta que se haya recogido toda la información conocida.

Para fallas crónicas (y fallas en las que las partes puedan ser ocultadas, tal como sucede en el caso de una turbina), la evidencia se debe recoger cuidadosamente puesto que ya se han iniciado las reparaciones. Un miembro del equipo investigador debe ser testigo del momento en que se descubre la evidencia siempre que sea posible.

- **Posiciones**

Las posiciones de todas las partes y otras evidencias se deben fotografiar o filmar en video, siempre que sea posible. Se deben hacer diagramas mostrando lo que se encontró y donde, con orientación y distancias desde un punto fijo de referencia.

La ubicación de las válvulas, interruptores, indicadores, personas, equipo, se deben anotar. Las condiciones del tiempo y ambientales (incluyendo iluminación, niveles de ruido y clima) también se deben anotar.

- **Personas**

Las entrevistas se deben realizar individualmente preferiblemente en el sitio de trabajo, poco después de que haya ocurrido un evento y antes de que los testigos conversen entre ellos, siempre que sea posible. Los testigos oculares que estuvieron involucrados antes o durante el evento de falla algunas veces constituyen la evidencia más frágil.

Las entrevistas pueden incluir al personal de operaciones, mecánicos, supervisores, bomberos, etc. Se debe tener en cuenta que la idea no es la de asignar culpas, sino la de determinar los hechos para el posterior análisis de la causa raíz.

- **Papel**

También se deben recopilar datos tales como las tendencias de las condiciones del proceso (temperatura, presión, flujo, nivel) y tendencias de vibración. Otros pueden consistir en impresiones de alarmas, libros de registro, cuadros, procedimientos operativos, instrucciones operativas, hojas de instrucción diaria, notas de trabajo, planos del sitio, P&ID o diagramas de flujo del proceso, dibujos y procedimientos de montaje de equipo, registros de mantenimiento, resultados de pruebas de laboratorio, registros de inspección, etc.

- **Paradigmas**

También se debe recopilar frases comunes que el personal de operaciones y mantenimiento usan como: “tenemos muchos años de hacerlo así”, “no tenemos tiempo para un RCA”, “Es un equipo viejo y por eso falla”, etc.

2.1.7.7 Elaboración del Árbol Lógico de Fallas

Usando la información recolectada se debe desarrollar el árbol lógico, el cual no se considera completo a menos que las raíces latentes o del sistema sean identificadas. El árbol lógico de falla se muestra en la Figura 4.

Mediante una tormenta de ideas se determinan los modos de falla que ayudan a definir más a fondo un evento, describiendo los síntomas que se observaron como resultado de la falla. Solamente interesan los modos de falla que hayan ocurrido o pudiesen haber ocurrido y ser la causa del problema, no aquellos que no tienen nada que ver con éste. Se debe analizar más a fondo el cómo y el por qué de las causas que se presentaron.

NOTA: No se deben descartar las ideas extrañas, siempre y cuando tengan algo de credibilidad.

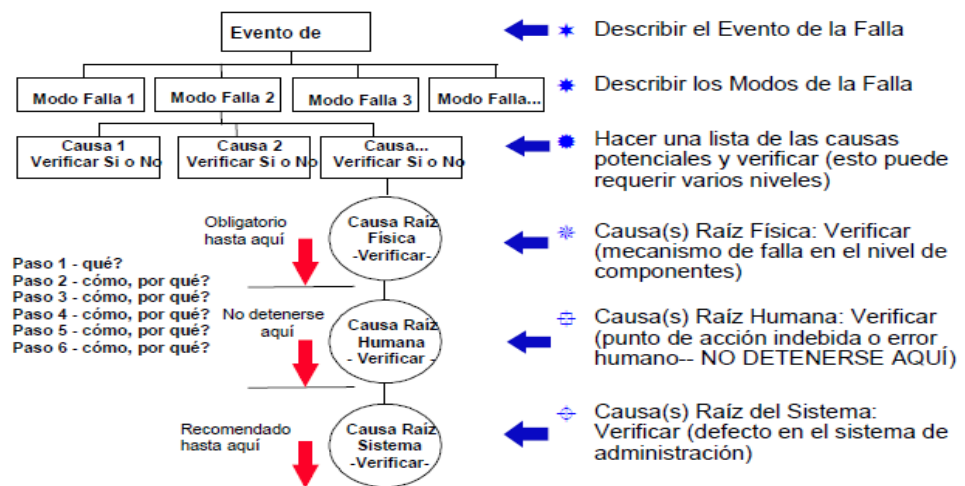


Figura 4. Árbol Lógico de Falla RCA¹⁰

Los bloques de causa de fallas se utilizan para determinar cómo y por qué el anterior bloque de modos de falla pudo haberse presentado. Se deben considerar todas las posibilidades e incluirlas en su totalidad. Para determinar las causas de la falla es útil preguntarse:

- ¿Cuándo ocurre?, ¿A qué hora?
- ¿Qué efectos tiene?, ¿Por qué ocurre?
- ¿Qué condiciones especiales se presentaron o existían y que modificaciones se han hecho?, ¿Cómo ocurre?

Más adelante se eliminan las causas poco realistas. Se debe ir más allá de lo obvio, evitar soluciones rápidas y analizar situaciones similares en otros lugares. Es necesario preguntarse nuevamente cómo y por qué pudo haber ocurrido esto. Se continúa en este paso con el pensamiento “no encasillado” analizando todas las posibles causas creíbles que pudieron presentarse para resultar en el modo de falla anotado. Cada bloque de hipótesis del árbol lógico necesita ser verificado (demostrado o refutado). Sin la verificación, los hallazgos y recomendaciones del RCA no tienen

¹⁰ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplicó y Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

sentido.

Es necesario buscar evidencia con hechos que soporten, verifiquen o desaprueben cada causa potencial. De lo contrario, se debe incluir “sin evidencia” o “no se puede probar” y asignarle una probabilidad de que ésta sea la causa.

Los métodos de verificación pueden incluir:

- **Observación Visual:** Fotografía de alta velocidad, cámaras de video, luces estroboscópicas, observación humana.
- **Evaluación No-Destructiva:** Técnicas de inspección con ultrasonido, rayos X, infrarrojos u otro tipo de inspección, ferrografía (análisis de aceite), metalografía in-situ (remoción y análisis de metal), microscopía electrónica de scanner, análisis de esfuerzo, vibración, muestreo en laboratorio de fluido o gas, etc.
- **Análisis de Datos:** Regresión (tendencias), análisis de vibración, modelación, análisis de elementos finitos, análisis del espectro, etc.

Cuando el equipo ha realizado el último grupo de causas potenciales y ha verificado la evidencia al nivel de componente, han llegado a la Causa Raíz Física de la falla.

El análisis siempre debe continuar a través del Paso 4 del Árbol Lógico RCA a fin de determinar la Causa Raíz Física. Sin embargo, es altamente recomendable continuar con el proceso a través de la(s) causa(s) raíz latente(s), puesto que la determinación de dichas causas puede eliminar una serie de fallas similares que se consideraban no relacionadas.

En ningún caso se debe detener el Paso 5 (causa raíz humana), puesto que el uso indebido de este paso puede afectar la disciplina del empleado y socavar los futuros esfuerzos de RCA.

2.1.7.8 Informe Preliminar

El Equipo RCA deberá elaborar un reporte preliminar, en el que se incluya el listado de Conclusiones y Recomendaciones que garanticen la eliminación total del evento de falla analizado, así como un plan de

implementación detallado incluyendo las acciones, los responsables, las fechas de cumplimiento o marco de tiempo para la implementación y el costo aproximado.

El reporte final debe incluir las siguientes secciones:

2.1.7.8.1 Resumen Ejecutivo

- Descripción del evento
- Descripción del mecanismo
- Hallazgos
- Métodos de verificación de hipótesis
- Causas raíz identificadas
- Recomendaciones
- Asignación de responsabilidades y fechas de ejecución

2.1.7.8.2 Informe Detallado

- Compromisos y Factores Críticos de Éxito
- Fotografías, diagramas y dibujos para demostrar claramente el elemento que falló.
- Recomendaciones o elementos de acción para cada una de las causas raíces físicas, humanas y latentes (y según sea necesario, de cualquier causa intermedia).
- Plan de implementación detallado, incluyendo costos, responsables y las fechas objetivo o marcos de tiempo para su completamiento.
- Firmas de cada uno de los miembros del equipo RCA.

2.1.7.8.3 Apéndices

- Participantes del equipo
- Formatos de adquisición de información (5 P's)
- Formatos de verificación
- Árbol lógico

El Líder del equipo RCA coordinará una reunión con el personal

mencionado en el alcance de este procedimiento cuando el reporte preliminar del RCA esté listo. Esta validación deberá realizarse antes de proceder con la publicación y presentación formal del Reporte RCA a la Gerencia.

El grupo verificará que el reporte contenga:

- fotografías, diagramas y dibujos para demostrar claramente el elemento que falló.
- las recomendaciones o elementos de acción para cada una de las causas raíz física, humana y latente (y según sea necesario, de cualquier causa intermedia).
- un plan de implementación detallado, incluyendo quién está asignado a qué tareas y las fechas objetivo o marcos de tiempo para su completamiento.

El grupo verificará que la implementación de las recomendaciones conduzca a la eliminación o reducción de las consecuencias del evento de falla y que estas sean técnica y económicamente viables.

Una vez realizada la validación del reporte, el grupo hará las sugerencias del caso y se realizarán los ajustes y correcciones al reporte preliminar para ser presentado a la Gerencia.

La presentación formal del Reporte Final por lo general ayuda a obtener el compromiso de la Gerencia para resolver las fallas, concentrándose en las causas raíz determinadas en la investigación.

Se puede realizar un análisis de resultados y recomendaciones con la Gerencia, en el cual también se puede incluir a personal de Ingeniería, Proyectos y otros para permitir así el compromiso de la gerencia con la implementación.

La reunión se debe ser corta, clara y concisa. Su duración no debe ser mayor a una hora, con un período final de preguntas y repuestas. Para presentar una imagen clara de las causas raíz del problema, así como de

las recomendaciones y lograr un mejor entendimiento se deben emplear fotografías, diagramas, etc., según sea necesario.

También se deben preparar para esta reunión las acciones recomendadas y el plan de implementación con la asignación de tareas, las fechas estimadas de completamiento y de ser posible y/o necesario los costos asociados.

A esta reunión deberían asistir, además del líder del Equipo RCA, el Jefe de Departamento relacionado con la falla, el Coordinador el Facilitador y algunos miembros del equipo RCA como soporte, ya que los miembros del equipo son los que conocen todos los detalles y pueden responder con mayor facilidad las preguntas de la Gerencia y dar soporte al líder.

El Líder de Mantenimiento del área responsable por la ejecución del análisis RCA deberá notificar y comprometer a los responsables de la implementación de recomendaciones de RCA, definidos en el reporte final del RCA. Esta actividad la puede realizar mediante la notificación a los responsables mediante reuniones de concertación o comunicación vía e-mail.

2.1.7.9 Seguimiento a Acciones y Recomendaciones

Basado en el alcance de la acción y la disponibilidad de recursos y tiempo, el Líder de Mantenimiento conciliará con el ejecutor la fecha objetivo de implementación de la acción.

- A partir de las recomendaciones del Análisis de Causa Raíz y la asignación de sus responsables, se crearán las correspondientes Órdenes de Trabajo, se desarrollarán proyectos, se prepararán procedimientos y en general se desarrollarán actividades tendientes a implementar las recomendaciones según corresponda.
- Cada una de las personas responsables de las diferentes acciones pendientes deben reportar quincenalmente su porcentaje de avance y comentarios. Al completar la implementación de una acción determinada

se debe reportar el costo de esta.

- Las recomendaciones se deben implementar de manera que resulte efectivo el mejoramiento continuo. Esto implica proactividad en lugar de reacción ante la próxima falla.

El Jefe de Departamento respectivo será el encargado de asegurar que se retiren los obstáculos del camino con miras al éxito del Proceso de Análisis de Causa Raíz.

El ingeniero de Confiabilidad con tara con una base de datos para el seguimiento de acciones del proceso RCA, con el fin realizar el seguimiento de las diferentes acciones y recomendaciones de cada análisis de causa raíz y a llevar un registro histórico.

El Ingeniero de Confiabilidad deberá asegurar que el registro del análisis sea incluido den la base de datos e lualmente debe garantizar que todas las recomendaciones producto del análisis sean cargadas a esta base de datos en el registro correspondiente.

2.1.7.10 Elaboración de Reporte de Falla

Cuando el Supervisor de Disciplina o el Ingeniero de Confiabilidad determinen que un evento requiere la ejecución de un Reporte de Falla deberán notificar al Responsable de Frente Ejecutor, quien será el responsable de preparar el Reporte de Falla Preliminar. Para ello podrán seleccionar una o dos personas que tengan suficiente experiencia con el equipo en cuestión, con quienes pueda desarrollar el reporte de falla. La dedicación de este personal será generalmente parcial.

2.1.7.10.1 Reporte de Falla Preliminar

Basado en el formato de Reporte de Falla el Responsable de Frente Ejecutor deberá registrar la siguiente información:

1. Nombre del evento: Asignar un título breve que describa el evento.
2. Equipo: Describir el TAG del equipo principal que genera las eventuales pérdidas (p.e. compresor, generador, bomba, etc.).
3. Fecha del Evento
4. Área que reporta: Mecánica, Eléctrica o Instrumentación
5. Pérdidas: Producción – barriles, Quemados – BTU, Reparación – dólares
6. Clasificación según la matriz de definición de tipo de RCA
7. Número OT
8. Hora de Parada

9. Hora de Arranque: En caso de arranques múltiples registrar las diferentes horas.
10. Horómetro del equipo (si aplica)
11. Componente o Elemento(s) del equipo que falló: Describir el componente del equipo, causa primaria de la falla.
12. Trazabilidad del componente que falló: Horas de servicio y comentarios sobre el componente afectado al momento de la falla.
13. Hechos: Acontecimientos previos a la falla.
14. Secuencia de eventos de falla: Registrar clara y cronológicamente todos los eventos que tengan relación directa con la falla, incluyendo la secuencia de arranque.
15. Listado de alarmas: Registros de alarmas del cuarto de control, panel local, etc.

El líder del Reporte de Falla (Responsable de Frente Ejecutor) deberá preparar el Reporte de Falla preliminar, el cual deberá validar con el Supervisor de Disciplina y luego ser enviado al Ingeniero de Confiabilidad y Líder de Mantenimiento dentro de las primeras 24 horas posteriores al

evento de falla. En este reporte preliminar se deberán identificar las causas de falla primarias que ocasionaron el evento.

2.1.7.10.2 Análisis de Falla

Posteriormente el grupo encargado del Reporte de Falla, liderado por el Supervisor de la disciplina correspondiente, deberá realizar un análisis más detallado del evento de falla. El objetivo es complementar el Reporte de Falla preliminar con el árbol lógico de falla, podrán ser utilizadas las opciones de dibujo de MS Excel, Visio o MS Word para completar el árbol lógico de falla. En estos programas se deberán documentar los mecanismos empleados para validar las hipótesis propuestas. Toda hipótesis identificada como

“Causa Raíz” deberá estar adecuadamente soportada con evidencia y marcada como tal en el árbol lógico de falla.

Para desarrollar el Reporte de Falla final se deberán considerar los siguientes aspectos:

- Describir de manera precisa el evento de falla. Esto incluirá la descripción detallada de la secuencia de eventos ocurridos. Sin una definición clara de la falla, una serie totalmente equivocada de modos de falla podría arrojar un buen número de causas raíces, pero es posible que las soluciones no arreglen el verdadero problema.
- Usando la información recolectada se debe desarrollar un árbol lógico de manera similar a como se hace con el análisis RCA formal.

2.1.7.10.3 Acciones y Recomendaciones:

El reporte de falla deberá incluir listado de Conclusiones y Recomendaciones que garanticen la eliminación de la recurrencia del evento de falla analizado,

así como un plan de implementación detallado incluyendo las acciones, los responsables, las fechas de cumplimiento o marco de tiempo para la implementación y número de la OT con la que se ejecuta la acción. Esta información se debe diligenciar en la siguiente tabla:

Tabla N° 1. Acciones y Recomendaciones

Causa Raíz	Recomendaciones	Responsable	Fecha Objetivo de Ejecución	Prioridad	OT

Si se requiere algún tipo de soporte durante el desarrollo del Reporte de Falla se podrá pedir ayuda al Grupo de Confiabilidad.

Las causas raíz identificadas y las recomendaciones para eliminar la recurrencia del evento deberán quedar consignadas en el Reporte de Falla.

Una vez finalizado el Reporte de Falla se deberá entregar copia magnética al Grupo de Confiabilidad para que sea validado en cuanto a forma y fondo, es decir, que cumpla con todos los requisitos del Reporte de Falla considerando los siguientes aspectos:

- Que el evento y los modos de falla se encuentren correctamente descritos y definidos.
- Que las hipótesis hayan sido verificadas correctamente y se encuentren soportadas mediante las evidencias recolectadas (listado de alarmas, registros y señales).
- Que las causas raíz hayan sido adecuadamente identificadas
- Que el plan de implementación incluya quién está asignado a qué tareas, las fechas objetivo o marcos de tiempo para su completamiento.
- Que la implementación de las recomendaciones conduzca a la eliminación de la recurrencia de la falla o la reducción de las

consecuencias del evento de falla y que estas sean técnica y económicamente viables.

Una vez validado el Reporte de Falla Final deberá ser distribuido a todos los Jefes y Coordinadores involucrados para obtener su compromiso durante la implementación de las recomendaciones del Reporte de Falla. El Grupo de Confiabilidad se encargará de incluir toda la información del Reporte de Falla en la base de datos de seguimiento de acciones y recomendaciones, para realizar el seguimiento constante a todas las recomendaciones propuestas y asegurar su cumplimiento.

2.1.8 CRITERIOS DE ACEPTACION

- Los Términos de Referencia serán revisados con el Líder de Mantenimiento, quien será el encargado de validar y garantizar la disponibilidad del personal seleccionado para conformar el Equipo RCA.
- El líder del Reporte de Falla (Responsable de Frente Ejecutor) deberá preparar el Reporte de Falla preliminar, el cual deberá validar con el Supervisor de Disciplina y luego ser enviado al Ingeniero de Confiabilidad y Líder de Mantenimiento dentro de las primeras 24 horas posteriores al evento de falla
- El reporte Final del RCA realizado será documentado, entregado y divulgado oportunamente por parte del líder del Equipo RCA para su validación por parte de la Coordinación ó Gerencia de Mantenimiento.
- El Líder de Mantenimiento conciliará con el ejecutor la fecha objetivo de implementación de la acción.

2.1.9 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Instructivo ECP-ICP-GCM-M-001: Manual para Aplicación de la Metodología de Análisis de Causa Raíz para la Solución de Problemas.

2.1.10 ANEXOS

N/A

2.1.11 REGISTRO DE APROBACIÓN

Tabla 2. Registro de Aprobación del Procedimiento de RCFA

Elaboró	Fecha elaboración	Revisó	Fecha de revisión	Aprobó	Fecha de aprobación	Custodio

2.2 MATRIZ DE DECISIÓN DE ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLA (RCFA)

La matriz de decisión RCA define dependiendo de la frecuencia del evento de falla y las consecuencias del evento que tipo de análisis o acción tomar, evaluando su impacto en la seguridad, daños a equipos o instalaciones, costos de reparación, medio ambiente y/o producción.

La matriz de decisión RCA debe ser única para cada planta o campo, ya que debe ir acorde con la producción del mismo y con los costos de mantenimiento de cada uno



Figura 5 Matriz de Decisión RCA¹¹

¹¹ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplicó y Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

2.3 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE RCA PARA LA EMPRESA CONFIPETROL S.A.

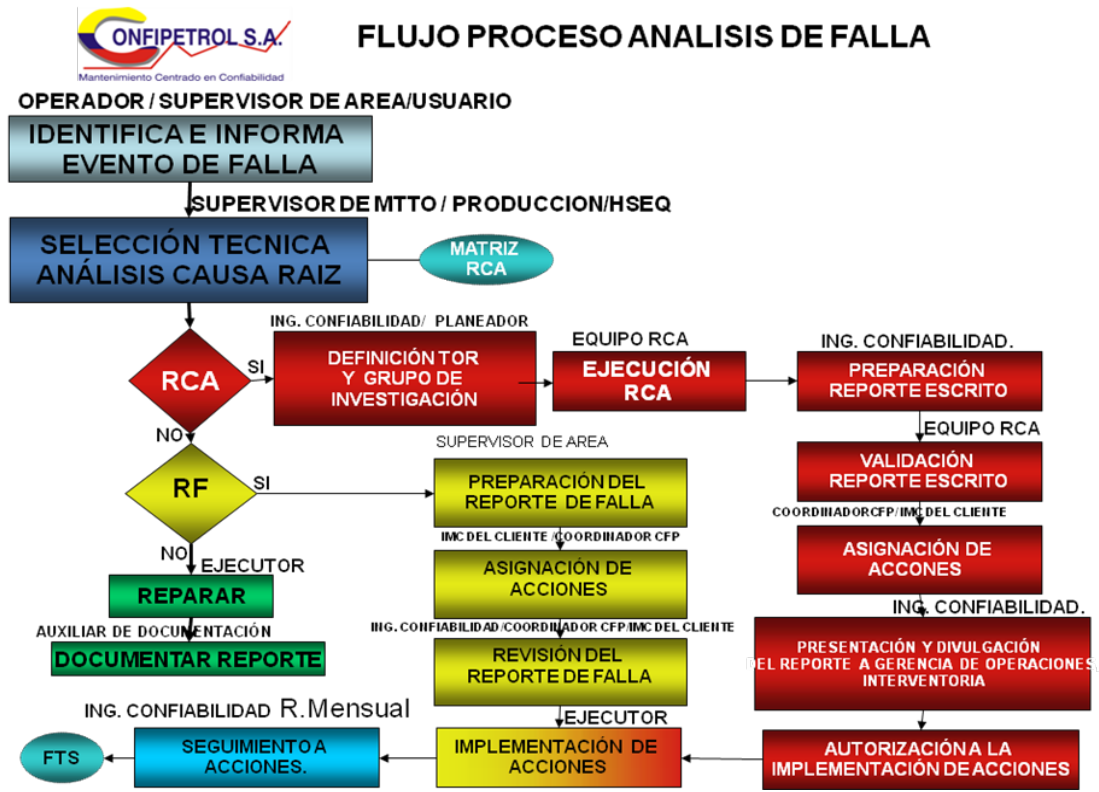


Figura 6 Flujo proceso de RCA¹²

2.4 FORMATOS A APLICAR EN EL DESARROLLO DE LA METODOLOGIA ANALISIS CAUSA RAIZ DE FALLA PARA LA EMPRESA CONFIPETROL S.A.

a) FORMATO DE TERMINOS DE REFERENCIA (TOR)

El formato de los términos de referencia consta de los siguientes ítems:

¹² CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplicó y validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

1. Objetivos Principales

[Definición de cada uno de los objetivos del RCA]

2. Hechos

[Breve descripción de los acontecimientos que han precedido a la Falla]

3. Alcance del RCA

[Hace referencia al nivel de cobertura en cuanto recolección de evidencias, verificación de evidencias Ejecución del análisis de falla y verificación de las causas raíz de falla, Clasificación de las causas y definición de las recomendaciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla, Preparación de un reporte de falla gerencial del RCA, Presentación de los resultados y recomendaciones del análisis, Realizar seguimiento al cumplimiento de las acciones recomendadas y demás acciones relacionadas con el análisis de Falla]

4. Metodología

[Se aplican los conceptos y procedimientos definidos por la técnica RCA (Análisis de causa Raíz).]

5. Personal involucrado

[Se definen las responsabilidades asignadas para la realización del RCA]

6. Tiempo establecido – Cronograma

[Se establecen fechas y horarios esperados para la realización del RCA]

7. Consideraciones del Análisis

[Preguntas que se deberán responder en el análisis]

8. Herramientas

[Se definen herramientas necesarias para realizar adecuadamente el RCA]

9. Fecha de Emisión: _____

10. Autorizado por (quien autoriza del cliente)

11. Aprobado por: (quien aprueba RCA del cliente)

12. Validado por: (IMC del cliente)

	TOR-RCA	
	O&M-IMC1-F-4	

- 1. Objetivos Principales**
[Definición de cada uno de los objetivos del RCA]
- 2. Hechos**
[Breve descripción de los acontecimientos que han precedido a la Falla]
- 3. Alcance del RCA**
[Hace referencia al nivel de cobertura en cuanto recolección de evidencias, verificación de evidencias, Ejecución del análisis de falla y verificación de las causas raíz de falla, Clasificación de las causas y definición de las recomendaciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla, Preparación de un reporte de falla gerencial del RCA, Presentación de los resultados y recomendaciones del análisis, Realizar seguimiento al cumplimiento de las acciones recomendadas y demás acciones relacionadas con el análisis de Falla]
- 4. Metodología**
[Se aplican los conceptos y procedimientos definidos por la técnica RCA (Análisis de causa Raíz).]
- 5. Personal Involucrado**
[Se definen las responsabilidades asignadas para la realización del RCA]
- 6. Tiempo establecido – Cronograma**
[Se establecen fechas y horarios esperados para la realización del RCA]
- 7. Consideraciones del Análisis**
[Preguntas que se deberán responder en el análisis]
- 8. Herramientas**
[Se definen herramientas necesarias para realizar adecuadamente el RCA]

Fecha de Emisión: _____

Autorizado por: nombre y cargo de persona del cliente que autoriza la realización del RCA

Aprobado por: Nombre y cargo de persona del cliente que aprueba RCA

Validado por: Nombre y cargo de Ingeniero IMC del Cliente que valida la Realización del RCA.

Figura 7 Formato Término de Referencia¹³

b) FORMATO DE REPORTE DE FALLA PARA EL ANALISIS CAUSA RAÍZ DE FALLA (RCFA).

Este formato permite reportar los hechos, hallazgos, descripción del evento, fotos, diagramas, causa raíz identificada, recomendaciones, asignación de responsabilidades y fechas de ejecución con el fin de ser divulgado para su validación de manera sencilla y Este formato consta de los siguientes ítems:

1. Información general

¹³ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplico y Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

(Reporte, tipo de reporte de falla, Nombre del evento, Tag del equipo, Fecha del evento, Fecha de arranque, Perdidas de producción, perdidas de inyección, Hora de parada, Hora de arranque, Horómetro del equipo, Horómetro del componente que fallo, disciplina, clasificación de la matriz RCA)

2. Hechos

(Antecedentes)

3. Secuencia de eventos de falla

(Listar la secuencia cronológica desde el inicio identificado de la falla hasta la normalización)

4. Listado de alarmas

(Anexar si se tiene información de alarmas registradas relevantes)

5. Análisis de la causa raíz de falla

(Anexar el árbol lógico de falla).

6. Acciones de verificación de hipótesis

(Documente las acciones realizadas para verificar las hipótesis de falla)

7. Recomendaciones

(Documente las recomendaciones para eliminar la recurrencia del evento de falla)

8. Anexos.

(Documentos de análisis, tomografías, pruebas de aceite, vibraciones, reportes, planos, etc.)

Como se pueden observar en las figuras 8, 9 y 10.

REPORTE DE FALLA		
O&M-IMC1-F-3		

1. INFORMACIÓN GENERAL:

Reporte: Preliminar Final
Tipo de Reporte de Falla: Reactivo Proactivo

Nombre del Evento: OT CMMS:
Preparado por: Disciplina:
Equipo (TAG): Componente o ítem que falló:
Fecha del Evento: Hora Parada: Horómetro equipo:
Fecha de Arranque: Hora Arranque: Horómetro componente:
Pérdidas de producción (bp): Pérdidas (\$) : Ambiente (EIs):
Pérdidas de inyección (bw): Seguridad: Clasificación Matriz:

2. HECHOS:
(Antecedentes)

3. SECUENCIA DE EVENTOS DE LA FALLA:
(Listar la secuencia cronológica desde el inicio identificado de la falla hasta la normalización)

Fecha de Revisión: 03-05-08 Pág. 1 de 5 Revisión 0

Figura 8. Hoja 1 del Formato de reporte de falla¹⁴

REPORTE DE FALLA		
O&M-IMC1-F-3		

4. LISTADO DE ALARMAS:
(Anexar si se tiene información de alarmas registradas relevantes)

5. ANALISIS DE CAUSA RAIZ DE LA FALLA
(Anexar el árbol lógico de falla)
Puede aumentar el tamaño del árbol. Para modificar el árbol haga doble clic en la figura.
Si no es posible abrir este Asistente, usar el MS Organization Chart de PowerPoint.

```

graph TD
    A[Evento de falla] --> B[Modo de falla 1]
    A --> C[Modo de falla 2]
    A --> D[Modo de falla ...]
    B --> B1[Hipótesis 1 - a1e11]
    B --> B2[Hipótesis 1 - a1e12]
    C --> C1[Hipótesis 2 - a1e11]
    C --> C2[Hipótesis 2 - a1e12]
    D --> D1[Hipótesis ... a1e12]
    C1 --> C1a[Causa (a) PaE F1ka(a)]
    C1a --> C1b[Causa (a) PaE H1ka(a)]
    C1b --> C1c[Causa (a) PaE L1ka(a)]
    
```

Fecha de Revisión: 03-05-08 Pág. 2 de 5 Revisión 0

Figura 9. Hoja 2 del Formato de reporte de falla

¹⁴ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplicó y validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

	REPORTE DE FALLA O&M-IMC1-F-3	
--	---	--

6. ACCIONES DE VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS
(Documente las acciones realizadas para verificar las hipótesis de falla)

	MODO DE FALLA	HIPÓTESIS DE FALLA	ACCIÓN DE VERIFICACIÓN	RESPONSABLE	FECHA DE CUMPLIMIENTO	OT
1						
2						
3						

7. RECOMENDACIONES
(Documente las recomendaciones para eliminar la recurrencia del evento de falla)

	CAUSA RAIZ	RECOMENDACIONES	PRIORIDAD	RESPONSABLE	FECHA DE CUMPLIMIENTO	OT
1						
2						
3						
4						

8. Anexos

Fecha de Revisión: 03-03-08
Pág. 3 de 3
Revisión 0

Figura 10. Hoja 3 del Formato de reporte de falla

c) FORMATO PARA LECCIONES APRENDIDAS.

Este formato se diseñó con el fin de divulgar las lecciones aprendidas y no caer en los mismos errores. Este formato consta de los siguientes ítems:(ver figura 11)

1. ¿Qué sucedió?
[Una descripción corta del evento]
2. Foto del evento
[Una foto o imagen del incidente]
3. ¿Por qué pudo pasar?
[Una pequeña descripción de Las causas latentes]
4. ¿Qué aprendimos?
[Una pequeña descripción de las lecciones aprendidas]

LECCIONES APRENDIDAS EN MANTENIMIENTO	
¿Qué sucedió...?	
FOTO DE LEVANTO	
¿Por qué pudo pasar...?	
¿Qué aprendimos...?	

Figura 11. Formato Lecciones Aprendidas.¹⁵

2.5 MATRIZ DE PRIORIZACION DE ACTIVIDADES O RECOMENDACIONES.

Esta matriz es la que evalúa la importancia y la viabilidad de realizar las recomendaciones o actividades de trabajo dadas en el RCA de acuerdo a la criticidad del equipo y de las consecuencias de la falla o evento de mantenimiento a ejecutar.

Cada planta o campo debe definir su matriz acorde con la producción del mismo.

¹⁵ ¹⁵ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplicó y validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN RECOMENDACIONES RCA

CONSECUENCIAS ANUALES DE FALLA				COSTO IMPLEMENTACIÓN RECOMENDACION (M\$)				
Costos Reparación Manpower + Spares (M\$)	Pérdidas (MFCPD)	Pérdidas (bls)	Rata de falla (A) Impacto en Plan de Trabajo	< 1	1 - 5	5 - 10	10 - 20	> 20
			4 o más fallas por año	Red	Red	Yellow	Yellow	Green
			1 falla por año	Red	Red	Yellow	Green	Blue
			1 falla cada 2 años	Yellow	Yellow	Green	Blue	Blue
			1 falla cada 3 años	Yellow	Green	Blue	Blue	Blue
			1 falla cada 5 años o más	Green	Blue	Blue	Blue	Blue

■ Prioridad Alta ■ Prioridad Baja
■ Prioridad Media ■ No es Viable

Figura 12. Matriz de Priorización de Recomendaciones RCA.

2.6 ITEMS MANTENIBLES DE COMPRESORES A GAS ACORDE CON LA NORMA ISO 14224

Tabla 3. Ítems Mantenibles de Compresores.

COMPRESORES DE GAS	
AIRG	Regulador de aire - Air regulator
AIRV	Válvula de aire - Air valve
EAVR	Regulador de voltaje
ECCE	Tablero de Control
ECUC	Cubículo control B. Prelubricación
EEXT	Excitación – Excitation
EFAM	Ventilador - Fan and motor
EIMV	Disyuntor de vacío
EIPS	Fuente de potencia - Internal power supply
ENAP	No aplica (Stand by)
ERTR	Rotor – Rotor
ESTR	Estator – Stator
ETBT	Tablero baja tensión
FLAJ	Unión de tubería - Flange joints
ILPR	Protecciones de nivel
IMON	Monitoreo – Monitoring
IMRG	Regulador de aire arranque - Start energy battery, air

IPIR	Pirómetro – Pirometer
IPPR	Protecciones de presión
ISCV	Válvula aire arranque - Start control valve
ISVV	Válvula solenoide - Solenoid valve
TFLJ	Juntas de tubería - Flange joints
ITPR	Protecciones de temperature
IVCV	Válvula de control – Valves
IVPR	Protecciones de vibración
IVSV	Válvula de seguridad - Pressure switch valve
IVTX	Transmisor de vibración - Vibration Transmitter
IXPR	Otras protecciones
IZPR	Protecciones de posición
MAAF	Filtro de aire
MBAR	Barra de tiro
MBAX	Bomba auxiliary
MBCE	Bomba de agua – Pump
MBDI	Bomba de aceite - Pump with motor
MBES	Bomba electro sumergible
MBIE	Bielas
MBLU	Bomba lubricación - Pump w/motor
MBPL	Bomba Pre lubricación - Pump w/motor
MBRG	Balinera – Bearing
MCAC	Actuador de bolsillo de válvula
MCCE	Compresor centrifugo (Turbina)
MCDN	Acople a la bomba - Coupling to driven unit
TKIA	Intercambiador - Heat exchanger
MCDR	Acople al motor - Coupling to driver unit
MCHD	Cross head-cruceta
MCHF	Cigüeñal - Crank Shaft
MCKV	Valvula cheque - Check valves
MCLL	Cylinder liner
MCOL	Enfriador – Cooler
MCRE	Compresor de piston
MCSC	Cuerpo – Casing
MCSP	Cuerpo – Casing
MCYL	Cilindros – Cylinders
MDPH	Diafragma – Diaphragm
MEXH	Exosto – Exhaust
MFAM	Ventilador - Fan and motor
MFIL	Filtro aceite – Filter
MFUF	Filtros de combustible - Fuel filters
MFUP	Bombas de combustible - Fuel pumps
TKIC	Radiador
MINP	Tuberías internas - Internal piping
MIRV	Regulador de velocidad - Actuating device
MISS	Sello inter etapas - Interstage seals

MLSH	Eje de levas - Levy shaft
MLUB	Bomba de lubricación
MMCU	Culata - Cylinder Head
MMEM	Embrague
MMIY	Inyectores – Injectors
MMMAG	Magneto generador de corriente
MMNE	Motor de arranque - Starting unit
MMOV	Válvula motorizada
MMSL	Lubricador Mansel
MMTC	Turbocargador – Turbocharger
MMTE	Eje turbocargador - Turbocharger Shaft
MOIL	Aceite – Oil
MPIP	Tuberías – Piping
MPIS	Pistones - Pistons
MPKG	Empaquetadura – Packing
MPUB	Estructura
MPUC	Botella
MRAB	Rodamiento radial motor - Radial bearing
MRAC	Rodamiento radial compresor - Radial bearing
TKCO	Radiador – Cooler
MRAP	Rodamiento radial compresor - Radial bearing
MRES	Carter – Reservoir
MRGN	Anillos – Ring
MSHF	Eje – Shaft
MSHS	Sellos del eje - Shaft seals
MSIL	Silenciadores
MSLP	Sellos – Seals
MSUP	Soporte – Support
MTEC	Control de temperatura - Temperature control
MTHC	Cojinete Chumacera compresor - Thrust bearing
MTHM	Cojinete Chumacera motor - Thrust bearing
MTHP	Cojinete Chumacera bomba - Thrust bearing
MVAE	Valves admision/escape
MVAL	Válvulas – Valves
MVD1	Válvula descarga primera etapa
MVD2	Válvula descarga segunda etapa
MVD3	Válvula descarga tercera etapa
MVS1	Válvula succión primera etapa
MVS2	Válvula succión segunda etapa
MVS3	Válvula succión tercera etapa
MVSD	Válvulas succión descarga - Valves
PUDM	Amortiguador - Pulsation damper
PURA	Purge air
PURD	Biela - Push Rod
SCRU	Scrubber
SEGA	Sellos de Gas - Seal gas
SEOI	Sellos de Aceite - Seal oil
SRT	Termocupla

2.7 BASE DE PARADAS DE EQUIPOS COMPRESORES ACORDE CON LA NORMA ISO 14224

Tabla 4. Base de paradas de Compresores.

FECHA CALENDARIO	ESTACION	EQUIPO	H TOT	H OPER	STB	Hrs. PROGRAM	Hrs. NO PROG.	Paradas correctivas	DISPON (%)	CONF (%)	DESCRIPCION MODO DE FALLA	ITEM MANTENIBLE	CODIGO
11-Jan-08	COMPELC	COMP 1 ELC	24	13,0	0,0	0,0	11,0	1	54,17 %	54,17%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA ALTA PRESION EN 2DA ETAPA, SE REVISO Y SE ENCONTRO SIN ANILLOS NI BANDA CENTRANTE(RIDER RING). QUEDÓ EN LINEA A LAS 12:40 AM.	ANILLOS	MRGN
12-Jan-08	COMPLLA	COMP 1 LLAN	24	22,0	0,0	0,0	2,0	1	91,67 %	91,67%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL (CAUSA NO BORRA SEÑAL DEL TABLERO, TESTIGO 40)	PANEL CONTROL	ECCE
13-Jan-08	COMPLLA	COMP 2 LLAN	24	22,0	0,0	0,0	2,0	1	91,67 %	91,67%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA BAJA PRESION DE LA BOMBA DEL AGUA.	SISTEMA ENFRIAMIENTO	MCOL
14-Jan-08	COMPLLA	COMP 2 LLAN	24	22,0	0,0	0,0	2,0	1	91,67 %	91,67%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA CAMBIO DE FILTROS DEL PURIFICADOR Y REVISION DEL PIROMETRO)	PIROMETRO	IPIR
17-Jan-08	COMPELC	COMP 1 ELC	24	17,0	0,0	0,0	7,0	1	70,83 %	70,83%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA PRESENTO ALTA TEMPERATURA EN CC #4 SE REVISAN VALVULAS)	VALVULA COMPRESORA	MVD1
21-Jan-08	COMPELC	COMP 1 ELC	24	22,5	0,0	0,0	1,5	1	93,75 %	93,75%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA PARADA POR ALTA PRESION DE DESCARGA DE SEGUNDA ETAPA)	ALTA PRESION DESCARGA 2DA ETAPA	MVD2
21-Jan-08	COMPLIS	COMP 6 LIS	24	20,0	0,0	0,0	4,0	1	83,33 %	83,33%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA PRESENTO OXILACIONES VALVULA CONTROL DE CARGA)	VALVULA CONTROL	IVCV
25-Jan-08	COMPLLA	COMP 2 LLAN	24	17,5	0,0	0,0	6,5	1	72,92 %	72,92%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMAL(CAUSA REGULADOR DE LA VALVULA DE CONTROL EN MAL ESTADO.	VALVULA CONTROL	IVCV
28-Jan-08	COMPLLA	COMP 2 LLAN	24	22,0	0,0	0,0	2,0	1	91,67 %	91,67%	EQUIPO EN OPERACIÓN NORMALCAUSA LINEA DE ENFRIAMIENTO ROTA)	SISTEMA ENFRIAMIENTO	MCOL
30-Jan-08	COMPELC	COMP 1 ELC	24	0,0	0,0	0,0	24,0	1	0,00%	0,00%	EQUIPO FUERA DE SERVICIO(CAUSA SE FRACTURO PISTON COMPRESOR #5 SEGUNDA ETAPA SE PROSEDE A RETIRARLO SE CONTINUAN CON LOS TRABAJOS)	PISTON	MPIS

30-Jan-08	COMP LIS	COMP 4 LIS	24	13,0	0,0	0,0	11,0	1	54,17 %	54,17%	EQUIPO FUERA DE SERVICIO(CAUSA PRESENTABA BAJA PRESION DE ACEITE EL COMPRESOR, SE AJUSTO LA VALVULA DE ALIVIO)	SISTEMA LUBRICACION	IVSV
30-Jan-08	COMP LLA	COMP 1 LLAN	24	21,0	0,0	0,0	3,0	1	87,50 %	87,50%	EQUIPO EN OPERACION NORMAL(CAUSA INSTRUMENTISTAS REVISANDO TERMOCUPLA CILINDRO DE FUERZA #1)	TERMOCUPLA	SRT
31-Jan-08	COMP ELC	COMP 1 ELC	24	1,5	0,0	0,0	22,5	1	6,25%	6,25%	EQUIPO FUERA DE SERVICIO(CAUSA SE COLOCÓ EN SERVICIO Y TRABAJO 1,5 HORAS PARANDOSE POR ALTA TEMPERATURA CC No 4. SE HICIERON VARIOS INTENTOS PERO SE PARÓ POR LA MISMA CAUSA	PISTON	MPIS
31-Jan-08	COMP LIS	COMP 3 LIS	24	22,0	0,0	0,0	2,0	1	91,67 %	91,67%	EQUIPO EN OPERACION NORMAL(CAUSA VALVULA DE CONTROL DE SEGUNDO CORTE PRESENTO PROBLEMAS. INSTRUMENTOS REVISARON LA VALVULA	VALVULA CONTROL	IVCV
31-Jan-08	COMP LIS	COMP 4 LIS	24	14,0	0,0	0,0	10,0	1	58,33 %	58,33%	EQUIPO EN OPERACION NORMAL(CAUSA ALTA TEMPERATURA CC No 1 DE 3RA ETAPA.	CILINDRO COMPRESOR	MCYL
31-Jan-08	COMP LIS	COMP 6 LIS	24	22,0	0,0	0,0	2,0	1	91,67 %	91,67%	EQUIPO EN OPERACION NORMAL(CAUSA VALVULA DE CONTROL DE SEGUNDO CORTE PRESENTO PROBLEMAS. INSTRUMENTOS REVISARON LA VALVULA	VALVULA CONTROL	IVCV
1-Feb-08	COMP ELC	COMP 1 ELC	24	4,0	0,0	0,0	20,0	1	16,67 %	16,67%	Equipo en Operación Normal (Causa: En el tablero mostraba alta presión de Carburación, se cambiaron los dos motores de arranque, cambio filtro de gas combustible. EN LINEA 2:30 2/02/08	PANEL CONTROL	ECCE
1-Feb-08	COMP LIS	COMP 4 LIS	24	23,0	0,0	0,0	1,0	1	95,83 %	95,83%	Equipo en Operación Normal (Causa: Calibrando Válvula de Primer y Segundo Corte)	VALVULA COMPRESORA	MVD1
1-Feb-08	COMP LLA	COMP 2 LLAN	24	18,0	0,0	0,0	6,0	1	75,00 %	75,00%	Equipo en Operación Normal (Causa: Revisión de Válvulas en 3ra. Etapa)	VALVULA COMPRESORA	MVD1

APLICACIÓN CASO PRÁCTICO

2.8 ANALISIS TECNICO DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA AL CASO PRACTICO: “EQUIPO COMPRESOR DE GAS”

2.8.1 IDENTIFICACIÓN DEL EVENTO: Parada de la Maquina compresora de una planta de proceso de compresión de gas.

El día 10 de agosto del 2007, siendo las 4:00 P.m. se arranco la maquina compresora de la planta de proceso de compresión, llevando media hora de trabajo salió de servicio la máquina mostrando una alarma por alto nivel de descarga de etapa 2, el operador inspecciono visualmente los alrededores de la maquina y sus sistemas encontrando manchas de crudo en el suelo y las botellas de nivel de primera y segunda etapa llenas de crudo.

El supervisor y los mecánicos procedieron a inspeccionar el compresor, encontrando que todos los cilindros estaban llenos de crudo, al igual que los separadores de primera y segunda etapa. Para lo cual procedieron a drenar cada una de estas partes y así evacuar el crudo hacia la trampa API, también retiraron las válvulas de primera, segunda y tercera etapas para realizar limpieza en su interior , se llamo al carro chupa manchas con el fin de retirar el crudo de la trampa API, este retiro 450 barriles de crudo.

La maquina duro dos días parada, lo cual atribuye a una pérdida de 7,6 mmfcs de gas, ya que por día comprime 3,8 mmfcs.

2.8.2 Definición de la técnica a utilizar:

De acuerdo a la matriz de decisión para la planta en la que se está aplicando la metodología, La técnica a utilizar es Análisis Causa Raíz de Falla (RCFA), ya que nos da una clasificación de A1 por tener pérdidas de producción de 450 barriles de crudo y 7,6 mmfcs de gas, ya que duro dos días sin servicio.

		MATRIZ DEFINICIÓN TIPO RCA							
		O&M-IMC1-F-1							
CONSECUENCIAS					FRECUENCIA			S E V E R I D A D	
Seguridad	Medio Ambiente bis	Producción (BO)	Producción (KPCD)	Costos Reparación (M\$)	1 vez cada 3 años o más	1 vez cada 2 años	1 vez o más por año		
Día Ausente del Trabajo / Fatalidad	> 100	> 300	> 10	> 75					A
Caso de Trabajo Restringido	10-100	200-300	6-10	50-75					B
Tratamiento Médico	1-10	100-200	4-6	25-50					C
Primeros Auxilios	0,1-1	50-100	2-4	10-25					D
No lesión	<0,1	<50	<2	<10				E	
					1	2	3		

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> RCA </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> REPARAR Y DOCUMENTAR EN ELLIPSE </div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: yellow; margin-right: 5px;"></div> REPORTE DE FALLA </div> </div>
---	--

Figura 13. Matriz de Decisión de RCA aplicada al campo del equipo compresor en falla.¹⁶

¹⁶ CONFIPETROL S.A.: Empresa donde se aplico y Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información. www.confipetrol.com

2.8.3 TERMINOS DE REFERENCIA.

1. Objetivos Principales

Detectar mediante la aplicación de la metodología RCA las causas físicas, humanas y latentes que conllevan a la falla del compresor de la planta de proceso de compresión de gas donde se aplico la técnica. Las siguientes especificaciones y características del compresor son las siguientes:

Tabla 5. Característica del compresor en el que se aplico la técnica.

CARACTERISITICAS	
UBICACIÓN	Planta de proceso de compresión de gas donde se aplico la técnica.
TIPO	Motocompresor de 3 etapas
MARCA	WORTHINGTON
MODELO	OF6XH6
NÚMERO DE ETAPAS	3 etapas
RPM	823
TEMPERATURA DE SALIDA DEL ACEITE	172°F
TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA	176°F
TIPO DE FLUIDO	GAS NATURAL

PRESIONES DEL COMPRESOR	SUCCIÓN 1ERA: 8 psi DESCARGA 1ERA: 44 psi DESCARGA 2DA: 200 psi DESCARGA 3ERA: 525 psi
TEMPERATURA DE DESCARGA DE LOS CILINDROS DEL COMPRESOR	1: 269°F, 2: 315°F, 3: 322°F, 4: 308°F, 5: 317°F, 6: 316°F
CAPACIDAD	4,20 mmscfd

Establecer recomendaciones y acciones mejorativas para evitar que esta falla se repita, manteniendo disponibilidad del equipo con la participación activa del grupo RCA, definir los responsables de la implementación de cada una de ellas y establecer un plan de actividades para su realización con el fin de realizar seguimiento de su ejecución y poder comparar y medir los resultados mediante la reducción de costos en mantenimiento, la reducción de tasas de falla etc.

2. Hechos

El día 10 de agosto del 2007, siendo las 4:00 pm. se dio arranque a la máquina de la planta de proceso de compresión de gas, llevando media hora de trabajo se paró la máquina mostrando una alarma por alto nivel de descarga de etapa 2, el operador inspecciono visualmente los alrededores de la maquina y sus sistemas encontrando manchas de crudo en el suelo y las botellas de nivel de primera y segunda etapa llenas de crudo.

El supervisor y los mecánicos procedieron a inspeccionar el compresor, encontrando que todos los cilindros estaban llenos de crudo, al igual que los separadores de primera y segunda etapa. Para lo cual procedieron a drenar cada una de estas partes y así evacuar el crudo hacia la trampa API, también retiraron las válvulas de primera, segunda y tercera etapas para realizar limpieza en su interior, se llamo al carro chupa manchas con el fin de retirar el crudo de la trampa API, este retiro 450 barriles de crudo.

La maquina duro dos días parada, lo cual atribuye a una pérdida de 7,6 mmfcs de gas, ya que por día comprime 3,8 mmfcs.

3. Alcance del RCA

- A. Recolectar la información y evidencias en base a entrevistas al personal involucrado.

- B. Recolectar información en base a los reportes de mantenimiento día a día

- C. Recolectar la información de la base de datos CMMS de las actividades más relevantes realizadas en la maquina compresora K1.

- D. Conformar el grupo RCA para el análisis de la falla

- E. Ejecutar el análisis de la causa raíz de falla y verificar las causas raíces.

- F. Clasificar las causas y definir las recomendaciones tendientes a eliminar la recurrencia de la falla.

- G. Preparar el reporte de falla

- H. Presentar los resultados y recomendaciones del análisis.
- I. Generar la planeación de las acciones para su ejecución.

4. Metodología

- A. Procedimiento de aplicación de la metodología RCA para la eliminación de malos actores, documento O&M-IMC1-P-17

- B. Procedimiento de confiabilidad, documento O&M-IMC1-P1

5. Personal involucrado

Especialista en instrumentación y control.
Especialista en maquinas Reciprocantes.
Especialista en vibración de maquinas reciprocantes y rotativas.
Ing. Confiabilidad y facilitador.
Especialista en confiabilidad
Supervisor Mecánico
Operador de planta compresora

6. Tiempo establecido – Cronograma

Fecha: 03-septiembre-2007

Hora: 8:00 am

Lugar: sala de reuniones oficina CONFIPETROL, El Centro.

Cronograma:

3/septiembre/2007

08:00 a 10:00 Introducción RCA (TOR).

10:00 a 11:00 Presentación de evidencias y hallazgos.

del Árbol Lógico de falla preliminar a verificar grupo RCA

11:00 a 12:00 Presentación de entrevistas.

12:00 a 01:00 Almuerzo.

01:00 a 02:00 Realización del árbol lógico de falla para el caso.

02:00 a 03:00 verificación del árbol lógico de falla

03:00 a 04:00 Definición de acciones y compromisos

4/septiembre/2007

08:00 a 08:30 Validación RCA.

08:30 a 12:00 Realización del informe para su divulgación

7. Consideraciones del Análisis

¿Cómo evidencio la falla?

¿Cuándo paso?

¿Por qué pudo pasar?

8. Herramientas

- Manuales y procedimientos
- Entrevistas
- Información del CMMS
- Evidencias y hallazgos.

9. **Fecha de Emisión:** _30- agosto-2007___

10. **Autorizado por:** coordinador O&M del cliente

11. **Aprobado por:** Supervisor de la planta del cliente.

12. **Validado por:** IMC del Cliente.

2.8.4 REPORTE DE FALLA

2. **HECHOS:**

(Antecedentes)

A continuación las actividades más relevantes realizadas en el equipo documentadas en el CMMS:

- **19/06/07:** se retiro el soporte del cc#3, se desmonto la culata , se hizo limpieza, se fabrico el empaque con lamina de 1/32", se instalo el anillo suplemente de 0,031" a la camisa, luego se monto con sus respectivas válvulas de succión y de descarga y se instalo el soporte de la culata, también se le reviso la válvula al cilindro #5 por presentar alta temperatura y se le cambiaron dos válvulas, se encontró tubería averiada y toco esperar que la repararan y luego se procedió a darle arranque a la maquina.
- **19/06/07:** se cambio línea de agua de 1" a la maquina compresora para enfriamiento, pues esta línea estaba obstruida. platinada descargada de 3 etapa, mantenimiento a válvula de retención, mantenimiento filtro gas combustible y cambio del elemento filtrante, se desmonta el cabezal de control de nivel de tercera etapa se revisa y se vuelve a montar y desplatinada descarga de tercera etapa. y se arranca la maquina, se revisa el control de nivel de tercera etapa. también se reviso el control de nivel de la maquina compresora en el taller, este no presento falla alguna, se monta y se espero al personal de servicios industriales, para solucionar problemas en el control de la maquina, se coloca en marcha se revisa el funcionamiento y presenta vibraciones.
- **20/06/07:** se cambia el tramo de tubería pvc de 1" de la línea de tanque auxiliar del compresor, se recomienda cambiar toda la tubería por que el tramo que no se cambio quedo en mal estado.

- **24/06/07:** se reviso el control de nivel del separador de tercera etapa, se dreno botella del separador, se revisaron conexiones y sensibilidad del control, se encontró que no responde, se desarmo cabeza, se revisaron componentes y se encontró la platina en mal estado, se cambio de posición, se armo el control, se calibro disparo y sensibilidad, quedo trabajando ok.
- **02/07/06:** se reparo y se midió la termocoupla del cilindro 5 encontrándose en buen estado pero con el cable pelado. Se calibro el control de nivel del separador de tercera etapa.
- **06/08/07:** se realizo revisión a la cabeza de control y se desarmo el rele para verificar diafragmas y se encontró ok, también se realizaron ajustes del brazo de platina y brazo de la boquilla y estas pruebas fueron satisfactorias, quedo pendiente el mantenimiento al control.
- **09/08/07:** en múltiples ocasiones se reviso el control de nivel, sensibilidad, cabeza de control, se encontraron ok, se recomienda de nuevo el mantenimiento de control de nivel para corregir las fallas, se deja operando por by-pass. en una ocasión no arranca la maquina, el panel de alarmas no muestra fallas pero se encuentra la bomba de prelubricación del compresor pegada, mecánicos revisan y queda operando, se revisan solenoides, aire de arranque y prelubricación, también se revisaron switch de no flujo y todo se encontró ok.

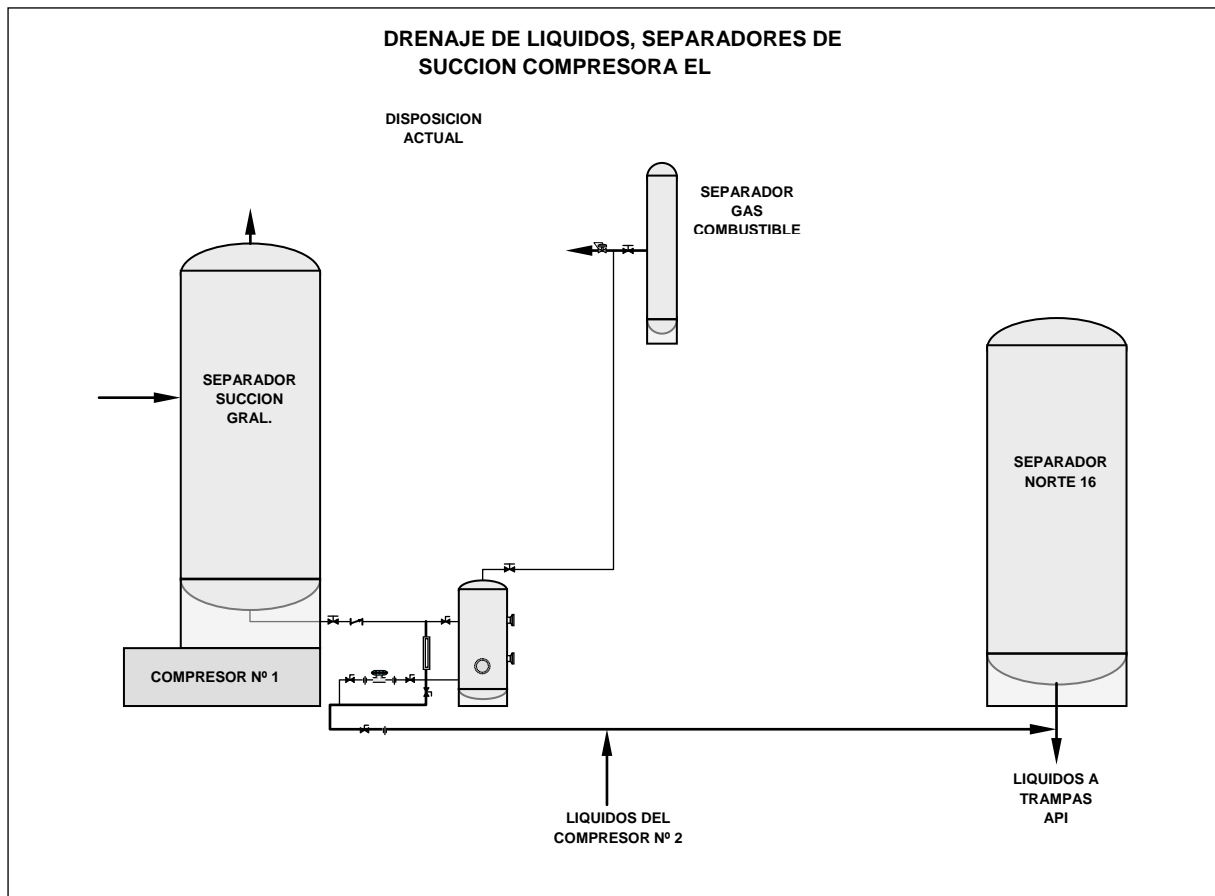


Figura. 14. Plano del control de nivel del separador de succión de 1era etapa del compresor en el momento de la falla.

3. SECUENCIA DE EVENTOS DE LA FALLA:

(Listar la secuencia cronológica desde el inicio identificado de la falla hasta la normalización)

El día 10 de agosto del 2007, siendo las 4:00 p.m. se dio arranque a la maquina compresora de la planta de proceso de compresión en donde se valido la metodología y llevando media hora de trabajo se paró la máquina mostrando una alarma por alto nivel en el separador de descarga de etapa 2, el operador inspecciono visualmente los alrededores de la maquina y sus

sistemas encontrando manchas de crudo en el suelo y las botellas de nivel de primera y segunda etapa llenas de crudo.

El supervisor y los mecánicos procedieron a inspeccionar el compresor, encontrando que todos los cilindros estaban llenos de crudo, al igual que los separadores de primera y segunda etapa. Para lo cual procedieron a drenar cada una de estas partes y así evacuar el crudo hacia la trampa API, también retiraron las válvulas de primera, segunda y tercera etapas para realizar limpieza en su interior, se llamo al carro chupa manchas con el fin de retirar el crudo de la trampa API, este retiro 450 barriles de crudo.

La maquina duro dos días parada, lo cual atribuye a una pérdida de 7,6 mmfcs de gas, ya que por día comprime 3,8 mmfcs.

De acuerdo a las entrevistas realizadas a los operadores de la planta de gas y a los operadores de la planta deshidratadora se encontró que a la hora de realizar el cambio de turno de los operadores de la planta deshidratadora este olvido comunicarle al operador que le estaba recibiendo, que tenía que operar una válvula manualmente, (esta válvula controla el nivel de la torre de separación crudo-gas que sale de los tratadores termoelectrostaticos), esto hizo que el crudo se regresara por la línea de gas (aproximadamente 600 metros de distancia en una línea de 6") inundando la máquina de crudo.

También se encontró que el operador que recibía el turno no tenía experiencia en el cargo, era nuevo.

Se realizó visita a la maquina compresora, se revisó el switch de alto nivel de la botella de succión, este se encontró limpio, sin embargo se encontró dañado. No se encontró switch de alto nivel de la botella de descarga de primera etapa (estaba puenteado). Se revisó el presostato de primera, segunda y tercera etapa, encontrándose crudo en ellos.

Se desmontaron las válvulas de seguridad de primera, segunda etapa por donde evacuo crudo de las líneas. Estas válvulas están diseñadas solo para aliviar excesos de presión.

Se realizó orden y aseo a todo el lugar y al compresor para colocarlo en marcha, se limpiaron las líneas de gas.

4. LISTADO DE ALARMAS:

Alarma por baja presión.

5. ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ DE LA FALLA

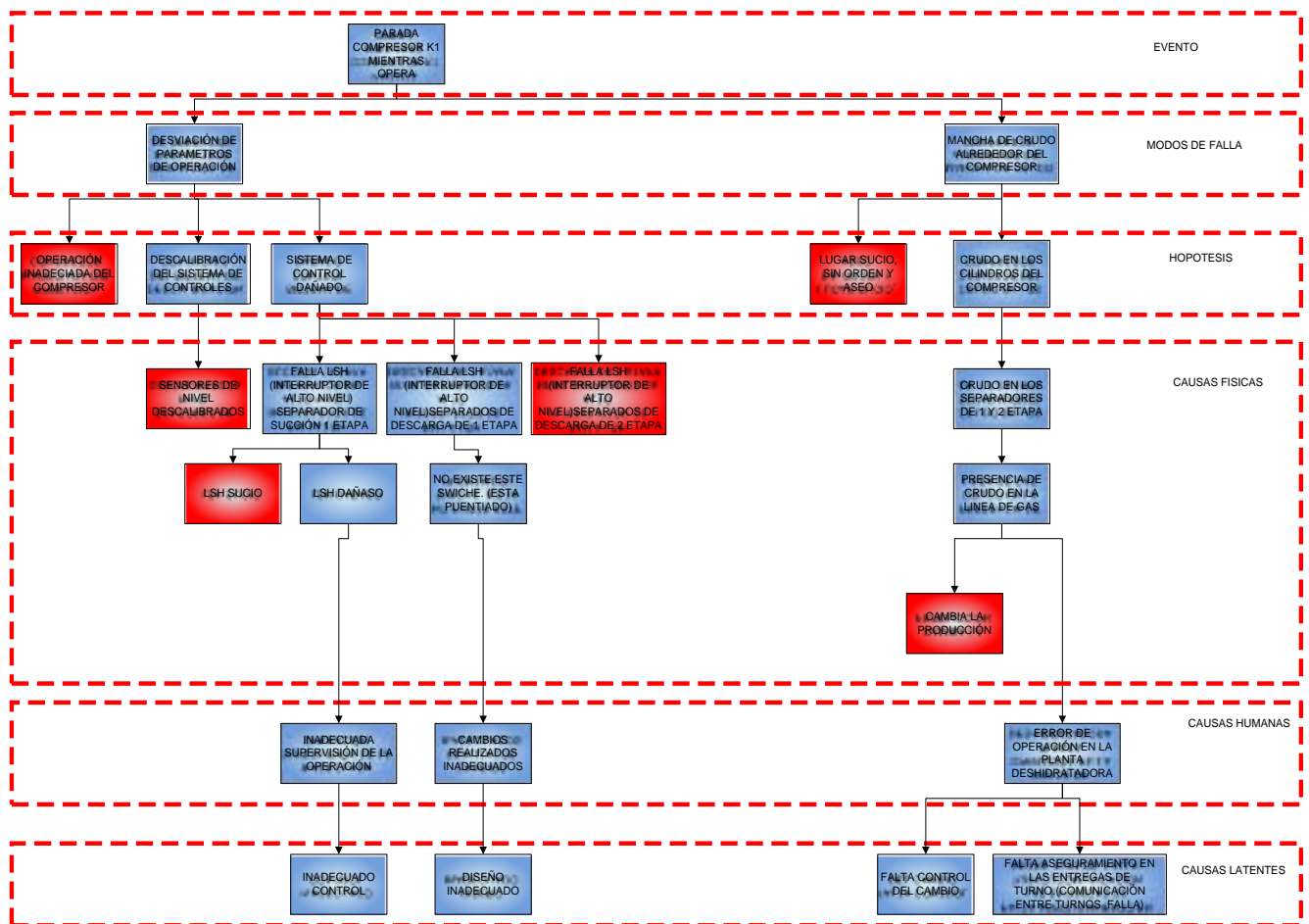


Figura 15. Árbol lógico de falla del caso práctico.

6. ACCIONES DE VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

(Documente las acciones realizadas para verificar las hipótesis de falla)

Tabla 6. Acciones de verificación caso Práctico

MODO-DE-FALLA ²	HIPÓTESIS-DE-FALLA ²	ACCIÓN-DE-VERIFICACION ²	RESPONSABLE ²	FECHA-DE-CUMPLIMIENTO ²
Desviación de parámetros de operaciones ²	Descalibración del sistema de controles. ²	Se revisan los sensores de nivel y se encuentran calibrados. ²	Carlos Ramírez especialista en instrumentación. ²	3-sept-2007 ²
2 ² Desviación de parámetros de operaciones ²	Sistema de control dañado ²	Se revisa el (LSH) interruptor de alto nivel del separador de succión de 1 etapa y se encuentra dañado y no existe el de el separador de descarga de 1 etapa, pues esta puenteado. ²	Carlos Ramírez especialista en instrumentación ²	3-sept-2007 ²
3 ² Mancha de crudo alrededor del compresor ²	crudo en los cilindros ²	Se desmontan válvulas y se encuentra crudo ²	Edison Pava especialista en reciprocantes. ²	3-sept-2007 ²

7. RECOMENDACIONES

La prioridad se da a partir de la evaluación con la matriz de priorización de recomendaciones.

Tabla 7. Recomendaciones Para el caso Práctico

№	CAUSA-RAIZ	RECOMENDACIONES	PRIORIDAD	RESPONSABLE	FECHA-DE-CUMPLIMIENTO	OT
1	LSH del separador de succión de primera etapa dañado	Reemplazar y reubicar el switch de alto nivel del separador de succión de primera etapa.	Alta	Supervisor de la planta.	20-oct-2008	Parada de planta
2	Ausencia de LSH del separador de descarga de 1era. etapa.	Instalar y reubicar el switch de alto nivel en el separador de descarga de primera etapa.	Alta	Supervisor de la planta.	20-oct-2008	Parada de planta
3	Falla la comunicación entre turnos	Controlar las entregas de turno (confiabilidad operacional) documentando y comunicando las eventualidades del día en el momento que van pasando.	Alta	Operadores	5-sep-2007	N/A
4	Falla la comunicación entre turnos.	Documentar los cambios operacionales en las entregas de turno.	Alta	Operadores	5-sep-2007	N/A

8. Anexos



Figura 16. Fotos del Evento para el Caso Practico.

Planos de las propuestas de mejora:

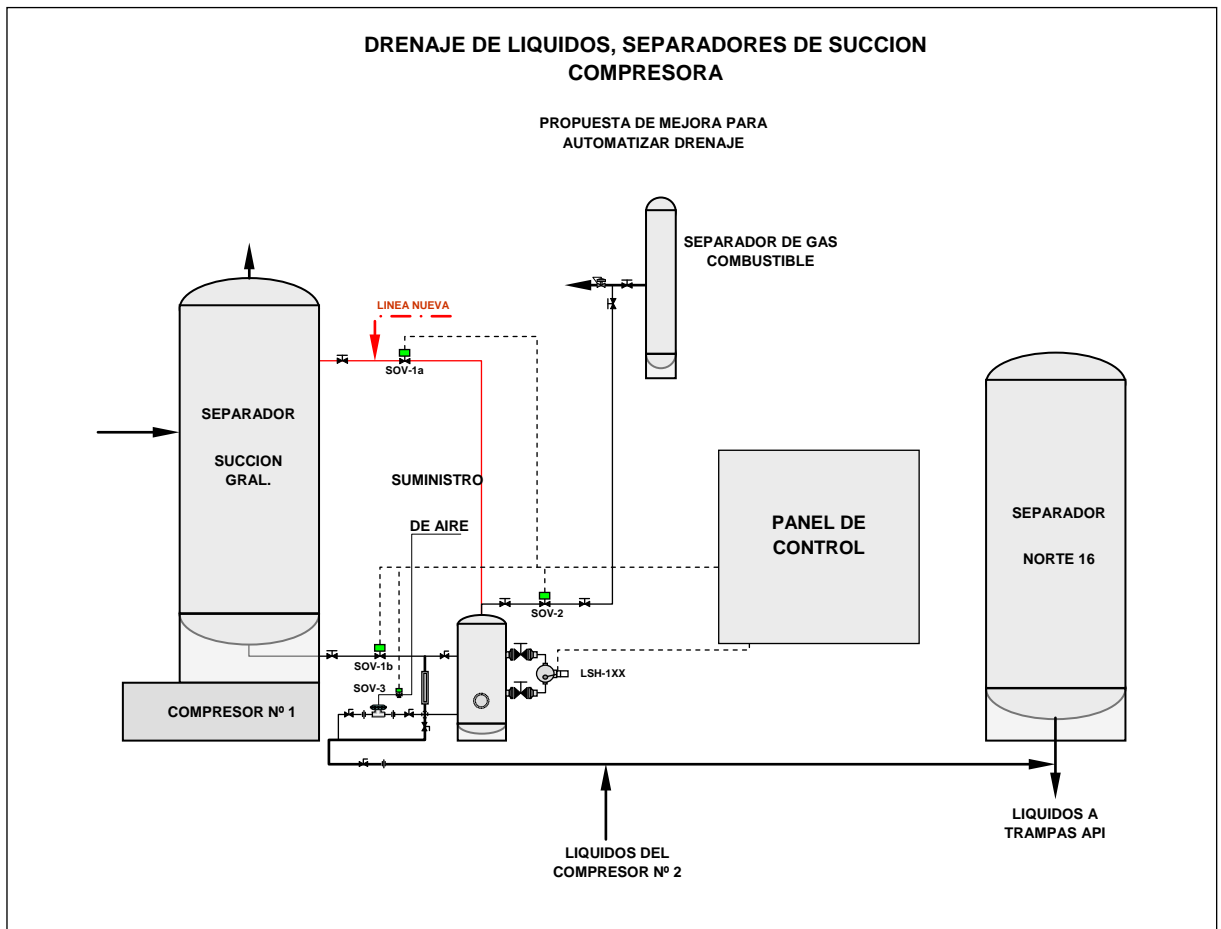


Figura 17 PLANO DE PROPUESTA Y RECOMENDACIÓN.

En la fig. 17 podemos ver que la línea roja es una línea que hay que instalar de una pulgada (1”), con el fin de igualar presiones en los extremos de la válvula solenoide “SOV-1b” ubicada en la salida inferior del separador de succión general, se deben colocar las facilidades (bridas, válvulas de bloqueo, niples y codos) para instalar un control o switch de nivel en el separador inferior, se deben comprar válvulas solenoides tal como se describen en el cuadro 1.

Se debe reemplazar la línea que va desde el separador de gas combustible al separador inferior para presurizar el sistema cuando haya alto nivel en éste. Se debe instalar una válvula de control de nivel en el separador, se debe instalar un relevo de 120 VAC, 11 ó 14 pines para instalar en riel omega. Este relevo será instalado dentro del panel de control de cada máquina.

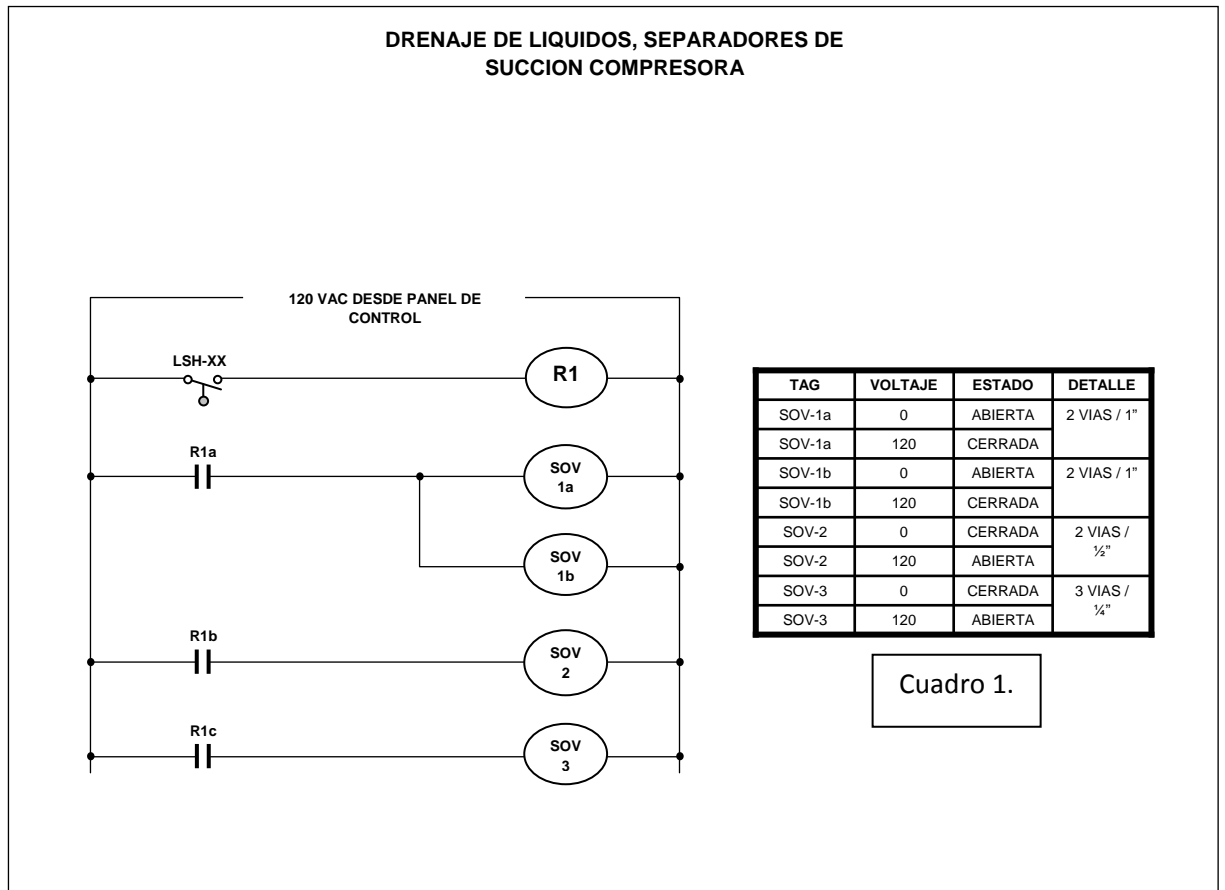


Figura 18. Diagrama Eléctrico.

En la figura 18 observamos el funcionamiento de las válvulas solenoides comandadas por el switch de nivel y el relevo.

Cuando se sube el nivel se cierra el switch (LSH) energizando el relevo R1, este a su vez cierra los contactos "a, b y c" que energizan y desenergizan las válvulas solenoides.

2.8.5 Justificación Económica.

En caso de no solucionar el problema que se evidencia por falta de control en los niveles de los separadores de primera y segunda etapa, al momento en el que ocurra otro pase de crudo hacia la parte compresora de esta máquina en el peor de los casos sucedería:

1. Daño de válvulas compresoras, resortes, empaques, discos y platos.
2. Daño o cristalización de anillos compresores y riders ring
3. Daño o fractura de pistones compresores
4. Daño mecánico o torcedura de los connecting rod (vástago de pistones)
5. Torcedura del cigüeñal
6. Ruptura del carter
7. Daño o fracturas de culatas compresoras
8. Fractura de camisas o cilindros compresores
9. Torcedura de bielas y pasadores de biela
10. daño de crucetas

Como se puede observar solo con la torcedura del cigüeñal o con la fractura o daño de los pistones compresores, se generaría desde 1 mes a 6 meses la máquina fuera de servicio, todo depende de la disponibilidad de los repuestos, esto nos implica solo por pérdidas de producción el valor entre los 720.000 US y 4.320.000 US. Ya que las pérdidas por parada de la máquina son de 24000 US por día.

Si se tiene los repuestos a un mes:

Por parada de máquina: 720.000 US: \$1800.000.000

Por mano de obra y recursos: 21.189,6 US: \$ 52.974.000

Por materiales necesarios por pérdida de cigüeñal y repuestos: 82.616 US:
\$ 206.540.000.

TOTAL: 844995.2 US: \$2.112.488.000

En caso de solucionar el problema se deberá dejar la maquina fuera de servicio durante dos días para este trabajo de mejoramiento. Éste proyecto costaría:

Por parada de máquina parada del trabajo: 2 días* 24.000 US = 48.000 US:
\$120.000.000

Por mano de obra y recursos: 1412.64 US: \$ 3531600

Por materiales necesarios para el proyecto: 2.517,9 US: \$6.294.798

TOTAL: 51930.5592 US: \$129.826.398

Costo caso real del 10 de agosto/07 el cual se ha presentado similar en varias máquinas en el pasado:

Por parada de la máquina: 2.20 días* 24.000 US: 52999.99 US: \$132.500.000

Por mano de obra y recursos: 23.954,4 US: \$ 59.886.000

Por materiales utilizados y repuestos: 187.92 US: \$469.800

TOTAL: 77.142,32 US: \$ 192.855.800

Valor Solución	Valor por Ocurrencia real Impacto Optimista	Valor por Ocurrencia Potencial Impacto Pesimista
\$129.826.398	\$ 192.855.800	\$2.112.488.000

Análisis del impacto económico por ocurrencias contra los costos de la solución, como se puede observar, el costo beneficio de la solución es menor al caso optimista por ocurrencia y equivale a un 67% del costo de restauración de la máquina, cuando la frecuencia de ocurrencia es 2, 3 o 4 veces, el costo beneficio se hace más notable ya que la relación se reduce solo al 34%, 22% y 17% respectivamente con respecto al caso optimista, si observamos el caso pesimista con respecto al costo beneficio de la solución

planteada la relación de la inversión con respecto a la pérdida equivale solo a un 6%. Financieramente la solución al problema se debe efectuar a la mayor brevedad.

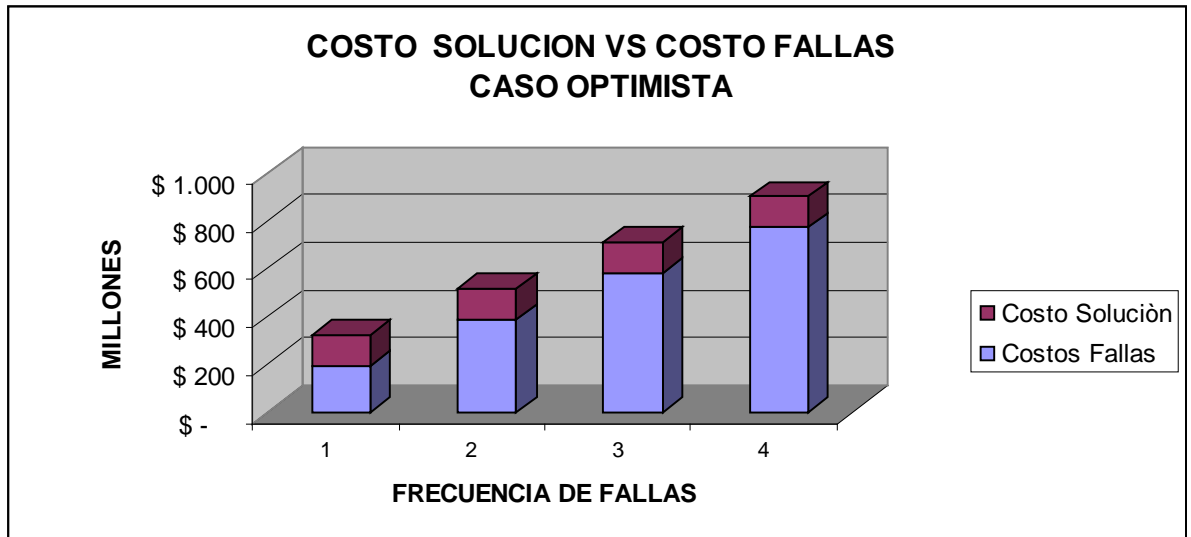


Figura 19 Costo de la Solución Vs Costo de falla. Caso optimista.

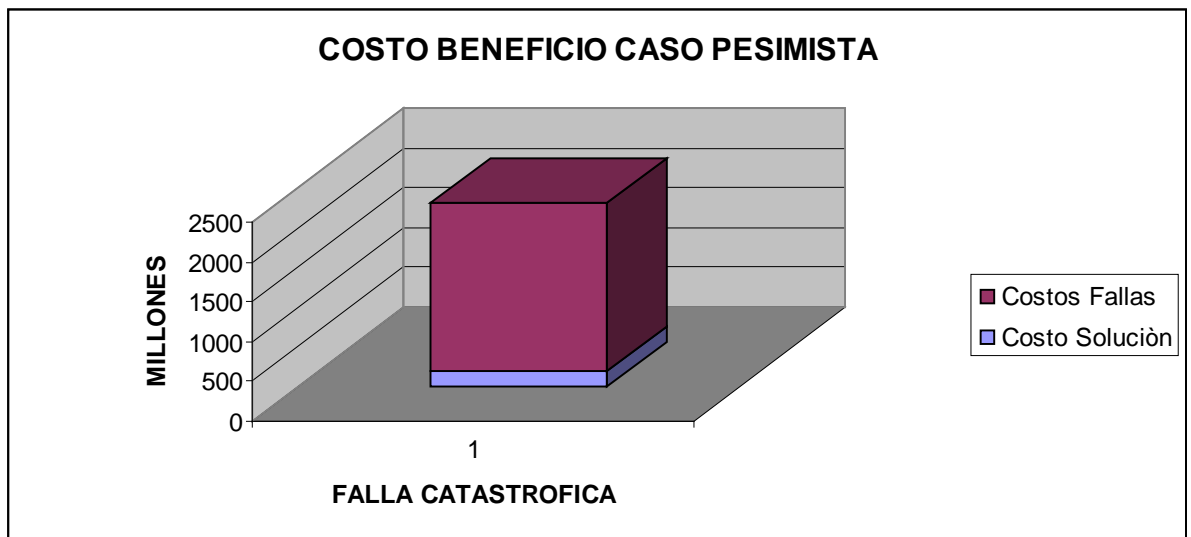


Figura 20. Costo Beneficio caso Pesimista.

2.8.6 Definición de la matriz de Priorización de Recomendaciones RCA. Para la Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM)

De acuerdo con la justificación económica, se evalúan las recomendaciones con la matriz priorización de actividades dando una prioridad media para las recomendaciones de los switches y una alta para las entregas de turno.



Figura 21. Matriz de Priorización de Recomendaciones RCA.
Para la planta en la que fue aplicada la metodología.

2.9 ANALISIS DE RESULTADOS Y BENEFICIOS

Para analizar los resultados se ha calculado el tiempo medio entre fallas antes y después de la implementación de las recomendaciones para así comparar y poder ver los beneficios.

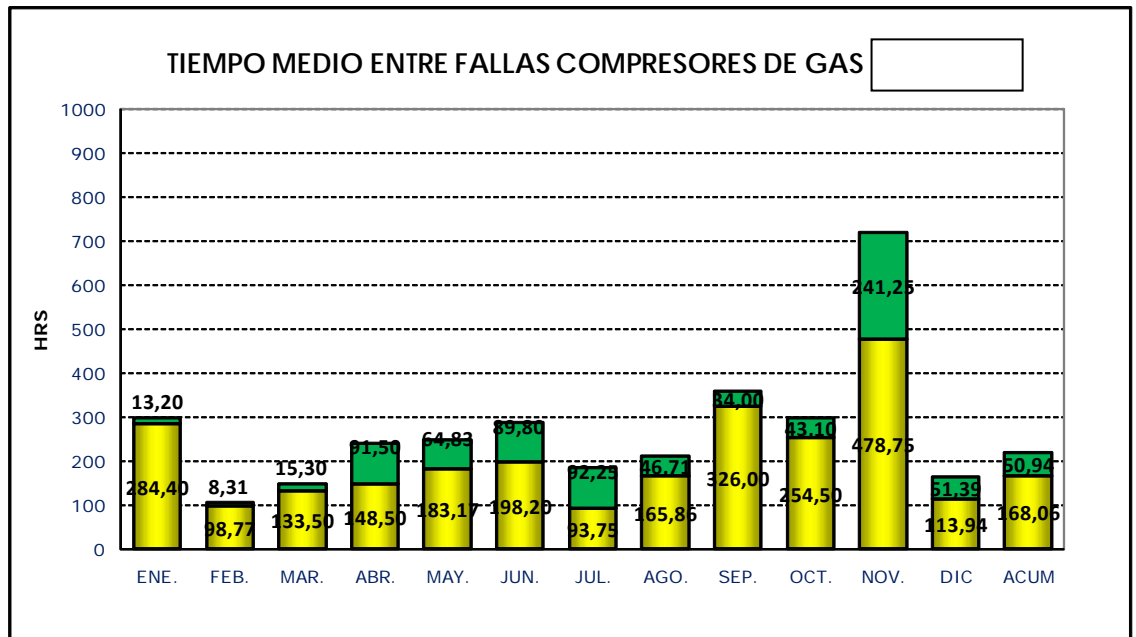


Figura 22. MTTF y MTBF del 2008

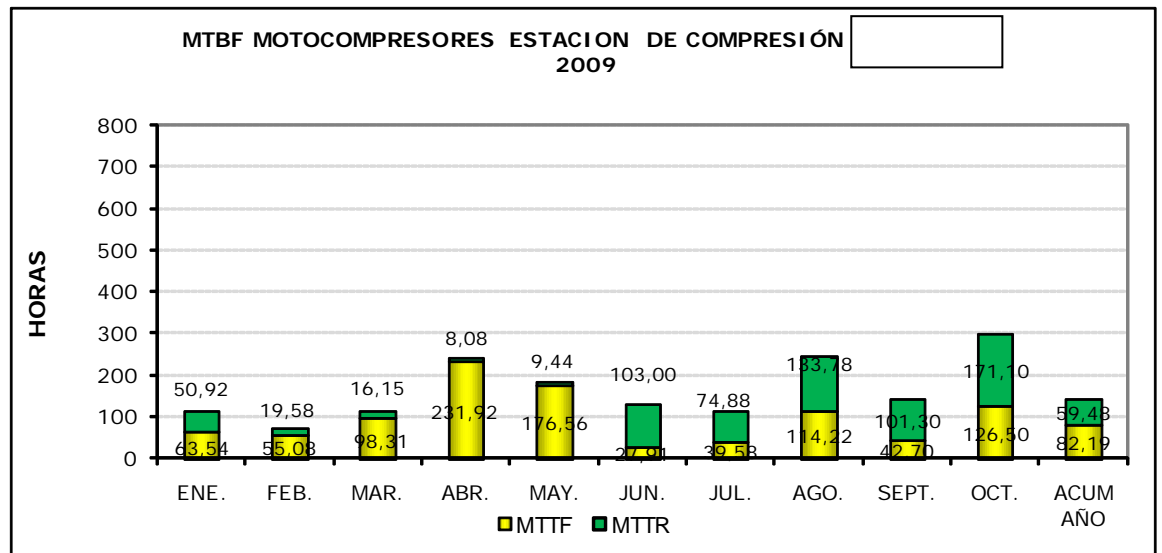


Figura 23. MTTF y MTBF del 2009

Podemos observar que el tiempo medio entre fallas (MTTF) en los compresores se redujo a la mitad una vez implementadas las recomendaciones. Lo que nos indica que hemos reducido la tasa de falla de la planta compresora del centro y así los costos de mantenimiento.

3 CONCLUSIONES

- El RCA es una técnica que usada adecuadamente permite optimizar la frecuencia de paradas, ya que con su aplicación disminuimos el MTTF de la planta compresora.
- Comprobamos que esta metodología RCA es una técnica que bien modelada ayuda a encontrar las causas raíces de los problemas de la industria con su correcta aplicación.
- El uso de esta técnica nos permitió mitigar el impacto en las operaciones, el equipo y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Cornelison, J.D., Mort Based Root Cause Analysis, System Safety Development Center, Idaho Falls, Mayo de 1989.
- ✓ Wilson, P.F y L.D Dell, Introduction to Root Cause Analysis, Quality Resource and Training Center, Richland, mayo de 1991.
- ✓ SOJO B., Luis A. (2004). El proceso de análisis Causa Raíz PROACT: "Metodología & Software". Publicado por: WWW.Klaron.net
WWW.reliability.com.
- ✓ MURILLO, William M.(2003). Modelo de Confiabilidad basado en el análisis de fallas. V Congreso internacional de mantenimiento. ACIEM 12 y 13 de junio de 2003. Bogotá. Colombia.
- ✓ LATINO, Robert J. (2001) ROOT CAUSE ANALYSIS: Improving Performance for Bottom Line Results. Reliability Center, Inc. (Latino & Latino, 2001/www.crcpress.com)
- ✓ REVISTA ASSET MANAGENMENT Editions No 001 a 004
- ✓ Procedimiento de aplicación de la metodología RCA para la eliminación de malos actores, documento O&M-IMC1-P-17
- ✓ Procedimiento de confiabilidad, documento O&M-IMC1-P1
- ✓ Reliasoft.com.br
- ✓ RMS S.A.: soporte técnico y consulta. www.rms.com.co

- ✓ CONFIPETROL S.A.: Visita a sitio donde se Aplicó y Validó la metodología, para seguimiento y recolección de información.
www.confipetrol.com

- ✓ Director Monografía. Ing. Eduardo Rodríguez

- ✓ Grupo de Ingeniería de mantenimiento y Confiabilidad de CONFIPETROL S.A.