Revista VIRTUALPRO
ISSN 1900-6241
Bogotá, Colombia.
revista@virtualpro.co
www.virtualpro.co

2020

Edgar Fuenmayor

Aplicación de la metodología análisis causa raíz plus en las fallas recurrentes de un motor-ventilador

Consultor independiente
Maracaibo, Venezuela

Aplicación de la metodología análisis causa raíz plus en las fallas recurrentes de un motor-ventilador

(Application of the plus root cause analysis methodology on the recurrent failures of a motor-fan)

Edgar Fuenmayor
Consultor independiente
Maracaibo, Venezuela
edgarfuenmayor1@gmail.com

Resumen

La confiabilidad operacional se define como la probabilidad de que un equipo, sistema o persona desarrolle su función, dentro de su contexto operacional por un período específico de tiempo. Solo se da cuando un conjunto de actividades técnicas, operativas y administrativas interrelacionadas se integran y alinean a través de la asignación de recursos y la entrega de servicios que contribuyen en el aseguramiento de la confiabilidad humana, confiabilidad de procesos, confiabilidad de diseño y confiabilidad de los equipos. Una de las prácticas que ayuda a mejorar la confiabilidad operacional —en específico la confiabilidad de los equipos, los procesos y la humana— es la metodología análisis causa raíz, la cual ayuda a eliminar eventos no deseados de forma estructurada, sistemática, sistémica y disciplinada. En este documento podrá observarse cómo deben ser efectuados los análisis y el reporte de los hallazgos identificados, de acuerdo con el nivel de complejidad y el impacto que tengan las desviaciones a través de la aplicación de la metodología ACR plus.

Palabras clave: falla; interrupción; causa raíz; criticidad; confiabilidad; rentabilidad; problemas; falla física; falla humana; análisis de causa raíz; causa principal; el costo del ciclo de vida; fallas evento; grupo de trabajo.

Abstract

Operating reliability is defined as the probability that a physical asset, system or person develops the desired function within its defined operational context for a specific period of time. It only occurs when you have integrated and aligned set of technical, operational and administrative activities interrelated, through resource allocation and service delivery which contribute to the

human reliability assurance, process reliability, equipment reliability and design reliability. One practice that help to improve operational reliability —specifically equipment reliability, reliability of processes and human reliability— is the root cause analysis methodology, which helps to eliminate undesirable events through structured, systematic, systemic and disciplined methods. This document will show how to proceed to analyze and report the findings identified according to the level of complexity and impact of the deviations through of the methodology RCA plus.

Keywords: failure; interruption; root cause; criticality; reliability; cost effectiveness; problems; physical failure; human failure; root cause analysis; main cause; the cost of the life cycle; event failures; workgroup.

Introducción

En la última década, el mantenimiento ha sufrido grandes cambios, y ha dejado de verse como un centro de gastos para convertirse en un sistema integral que fomenta la creación de valor y la generación de utilidades. La función del mantenimiento en cada uno de los niveles de su estructura organizativa es aportar estrategias de mejoramiento, a partir del diagnóstico y el análisis de las oportunidades y la evaluación del impacto del mantenimiento en la empresa.

Es importante tener en las instalaciones un proceso de mejoramiento continuo, apoyado en el análisis causa raíz, porque si se realiza de forma sistemática y con criterios homologados se pueden generar beneficios como:

- Reducir la exposición al riesgo personal (seguridad operacional).
- Mejorar la eficiencia de los procesos debido a la prevención y eliminación sistemática de las fallas y la probabilidad de que estas ocurran.
- Reducir costos de reparación al identificar y corregir las de fallas crónicas.

En este documento se plantea el análisis de las fallas recurrentes de un motor-ventilador instalado en un condensador de superficie a través de la metodología análisis causa raíz plus. También, se puede apreciar el desarrollo sistemático, sistémico y disciplinado del análisis obteniéndose las causas raíces que permiten que ocurran fallas humanas, ya que estas originan las fallas de equipos o componentes (los datos fueron modificados por confidencialidad).

Materiales y métodos

Definiciones importantes

Análisis causa raíz plus. Es una metodología disciplinada de tres niveles que permite identificar de forma deductiva e inductiva las causas raíces latentes y desconocidas que generan las fallas humanas, las cuales ocasionan las fallas de los componentes o los incidentes que ocurren una o varias veces. Esto permite adoptar las acciones correctivas que reducen los costos del ciclo de vida útil del proceso, mejorar la seguridad y la confiabilidad del negocio, permitiendo así cumplir con la norma ISO 55000 Asset Management (Fuenmayor, 2018).

Falla. De acuerdo a la norma ISO 14224, es la terminación de la habilidad de un sistema, equipo o parte de este para realizar una función requerida (ISO, 2006)

Análisis de falla. Está orientada a la búsqueda de causas asociadas a equipos o maquinarias. Por ejemplo, el análisis de materiales (esfuerzos, dureza, tracción, microscopia) está enfocado en establecer por qué ocurrió la falla del material o componente, por lo tanto, el análisis de falla forma parte del análisis causa raíz.

Causa de falla. La circunstancia durante el diseño, la manufactura o el uso que conlleva a una falla (ISO 14224).

Problemas recurrentes o crónicos. Son problemas o fallas que tienen una alta frecuencia o se repiten por lo menos 2 veces en 12 meses. Un problema se considera recurrente cuando se repite de una manera inusual para el tipo de equipo o proceso.

Exposición al riesgo. Representa el resultado de la multiplicación de probabilidad por la consecuencia (producción, seguridad, materiales, horas hombres, señalización), típicamente es expresada en términos de $/año, esto es equivalente al impacto económico que se espera que tenga un problema en el futuro.

Eventos de alto impacto (esporádicos). Estos se refieren a eventos esporádicos o únicos que resultan en una pérdida de producción importante o altos costos de mantenimiento. Los eventos

donde el impacto sea mayor en SHA o llamados catastróficos requieren la formación de comités especiales con alto nivel de especialización.

Falla de componente. La circunstancia durante el diseño, la manufactura o el uso que conlleva a una falla (ISO 14224), típicamente es la última causa que dispara o genera la falla o el evento. Frecuentemente está asociado a un componente, si se limita el análisis causa raíz a la falla del componente entonces se llamaría un análisis de falla.

Falla humana. La circunstancia durante el diseño, la manufactura o el uso que conlleva a una falla (ISO 14224). Esta se relaciona con un error humano debido a la intervención inapropiada del ser humano como un descuido, olvido, equivocación o una violación sea de carácter rutinario, situacional, o excepcional y, que afecta al componente generando una falla de este. De otro lado, limitar el análisis causa raíz a la falla humana sería como una cacería de brujas para buscar culpables. Según la norma HSE HSG48 (HSE HSG48, 1999), el error es una acción o decisión no intencional, la cual involucra una desviación del estándar aceptado y genera una salida no deseada.

Causa raíz. La circunstancia durante el diseño, la manufactura o el uso que conlleva a una falla (ISO 14224), que usualmente está relacionada con las deficiencias, debilidades u oportunidades que tiene un proceso en una organización, lo que conlleva o permite que la inapropiada acción del ser humano (falla humana) genere un efecto en un componente, es decir, una falla de un componente.

En ese sentido, solo la erradicación de las causas raíces garantizará que la falla humana y la falla del componente no se repitan en el equipo estudiado o en uno similar. Este postulado se basa en que el origen de todos los problemas son las decisiones u omisiones del personal supervisor o de la gerencia. Por ejemplo, la consideración de riesgo, ausencia de adiestramiento,

incumplimiento de prácticas, procedimientos inadecuados, GDC (gerencia del cambio) no realizado o incompleto (falta de actualización de la información), entre otros.

Modo de falla. Es la apariencia, manera o forma como un componente de un sistema falla. No debe ser confundido con la causa de la falla, ya que la primera es el efecto y la segunda es la causa. Los modos de falla pueden ser definidos para todos los niveles de un sistema y la jerarquía del ensamblado (ISO 14224).

Árbol lógico (logic tree). Es una herramienta usada en el proceso del ACR PLUS para ordenar gráficamente el análisis, la secuencia lógica del cómo se relacionan cada una de las causas raíces, fallas humanas, fallas de los componentes, los modos como evidencia la falla y el evento tope que afecta al negocio.

El tope del árbol es el evento y los modos como se evidencia, además se relacionan las fallas de los componentes, las fallas humanas y las causas raíces a través de las siguientes preguntas: ¿Cómo se puede dar? ¿Cómo puede ser? El árbol lógico también permite hacer la representación lógica de forma inductiva y al combinarlo con la lógica booleana se puede calcular la confiabilidad de los sistemas representado. En muchos casos las causas son condicionadas a través de compuertas lógicas (Robert, 2011)

Hipótesis. Es una conjetura o suposición que se admite provisionalmente para ser verificada o validada y si el resultado es verdadero, la misma se convierte en una causa, de lo contrario simplemente es desechada la conjetura.

Promotor del ACR plus. Es la persona, de gerencias de segunda línea, superintendencias y supervisores de cada especialidad, responsable de la implantación de esta guía dentro de su organización (Gerencia de Operaciones y Mantenimiento, Gerencia de Confiabilidad, Gerencia de Proyectos, SHA, entre otros).

Facilitador. Es el trabajador con alto dominio o conocimientos en la metodología ACR plus nivel 2 y nivel 3 perteneciente a cada organización o división, cuya función será la de facilitar las sesiones o las reuniones para realizar el análisis causa raíz.

Perfil del equipo de ACR. El equipo típico de ACR está comprendido por un líder de equipo, un facilitador, personal de operaciones, ingeniero de procesos, personal de mantenimiento y personal experto en la materia de análisis. Los miembros del equipo deben ser imparciales y necesitan estar enfocados en hallar la(s) causa(s) raíz(es) o las causas asociadas a la organización. Se recomienda un equipo de mínimo 5 y máximo 7 personas. Es importante anexar a este equipo personal que este directamente relacionado con las fallas que se estén analizando, como operadores y mantenedores (Woodhouse & Sojo, 2008).

Cuáles son los problemas que se deben analizar

Los problemas o fallas sujetos a la aplicación de esta metodología están asociados a los denominados problemas crónicos, los cuales se definen como rutinarios en su naturaleza, ya que ocurren una y otra vez y por las mismas razones aparentes. El problema es que las causas reales del problema nunca han sido analizadas y corregidas (Fuenmayor, 2018).

El primer paso es generar una lista de los problemas crónicos encontrados en el trabajo. Cada vez que se encuentre un problema se debería tomar nota del mismo. A la par que se realiza esto, es necesario determinar si la solución del problema tendrá un impacto pequeño o grande. Además, también se debe determinar si la resolución del problema requerirá un esfuerzo grande o pequeño (Woodhouse & Sojo, 2008).

De esta forma se puede representar el impacto y el esfuerzo utilizando una escala de uno, tres y cinco puntos, donde uno es un impacto bajo y fácil de resolver, y cinco representa un impacto

alto y relativamente difícil de resolver. Al usar esta escala para mostrar impacto y esfuerzo es fácil ver dónde concentrar los esfuerzos de análisis. Una vez generada una lista de problemas, el siguiente paso es priorizar la lista a través del desarrollo de una matriz de prioridades de tres por tres, tal como se muestra en la figura 1.

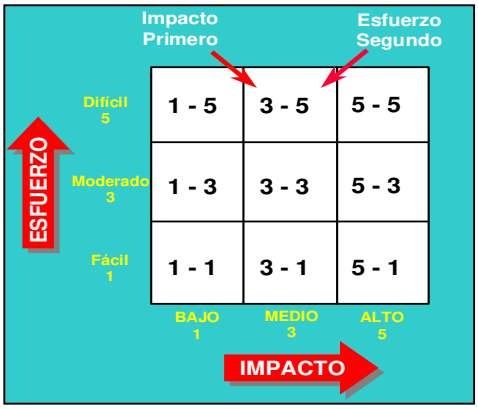


Figura 1: *Matriz de prioridades. Fuente:* Woodhouse y Sojo, 2008.

La técnica correcta para asignar los valores relacionados con el impacto y el esfuerzo es asignar primero el impacto y después el esfuerzo para así resolverlo. El uso de la matriz de prioridades mejorará significativamente la capacidad para eliminar aquellos problemas crónicos que impiden conseguir los niveles de éxito deseados (Woodhouse & Sojo, 2008).

Caso de aplicación

ACR plus es una metodología disciplinada, estructurada de identificación para la eliminación de las causas raíces desconocidas, las cuales típicamente aceptan que la falla humana puede ocurrir y generar cualquier tipo de evento, como: falla en los componentes, accidentes, incidentes una o varias veces en el tiempo. Esta metodología permite:

- Identificar de forma estructurada las fallas humanas más comunes indicando cuales serían sus efectos en el negocio.
- Identificar las causas raíces de las fallas humanas para eliminarlas de fondo con un plan de acción concreto y justificado.
- Ubicar las causas raíces que se deberán eliminar de forma sistemática.
- Trabaja a partir de un hecho (algo que ya ocurrió) y se aplica a todo tipo de proceso (industrial, administrativo, medicina, salud, investigación y desarrollo).
- **Permite representar de forma estructurada los tres niveles de causas directas, intermedias e indirectas acorde a la OSHA 1910.119.**

El método está estructurado en cuatro pasos, que se describen a continuación:

Paso 1/4. Preparando el análisis causa raíz

Análisis funcional. Es el pilar fundamental para el desarrollo de un diagnóstico estructurado, que defina la condición actual y la deseada en los procesos o sistemas, esto se hace a través de los diagramas de entrada y funciones y salidas combinadas con los diagramas de flujo funcionales, dado que el análisis funcional les permite:

- Establecer las condiciones normales de operación o funcionamiento para alinear las actividades a los objetivos estratégicos a lograr (¿Cuál es la función principal?).
- Visualizar en forma rápida la vinculación de los procesos o sistemas.
- Relacionar los procesos o sistemas con el cumplimiento de la producción.

- Establecer las condiciones normales de la operación o el correcto funcionamiento del negocio.

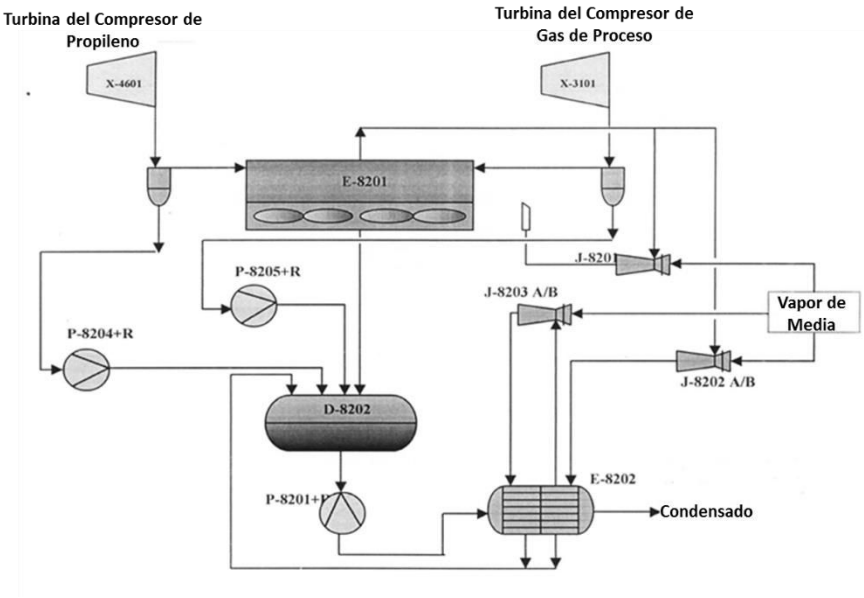


Figura 2: *Diagrama de flujo de proceso. Fuente: elaboración propia.*

Diagrama entrada-función-salida. Es una explicación visual de cómo el proceso fluye y se conecta. Contiene una secuencia de funciones primarias o secundarias que convierten entradas de insumos y servicios en salidas de productos primarios o servicios para un cliente específico interno o externo. Este diagrama permite:

- Conocer cuáles son los compromisos cuantitativos de las entradas y de las salidas.
- Asociar las variables cuantitativas con sus valores de entrada y salida por cada sistema o proceso para alinear los objetivos.
- Producir servicios principales y secundarios comprometidos en una relación cliente-servidor.

Este se orienta al desarrollo de los diagramas de flujos funcionales, sencillos, sistemáticos y cuantitativos, donde se muestre la secuencia de los procesos con sus niveles normales de

operación, para que los mismos sirvan de guía al personal y de documento base para análisis y actualizaciones posteriores.

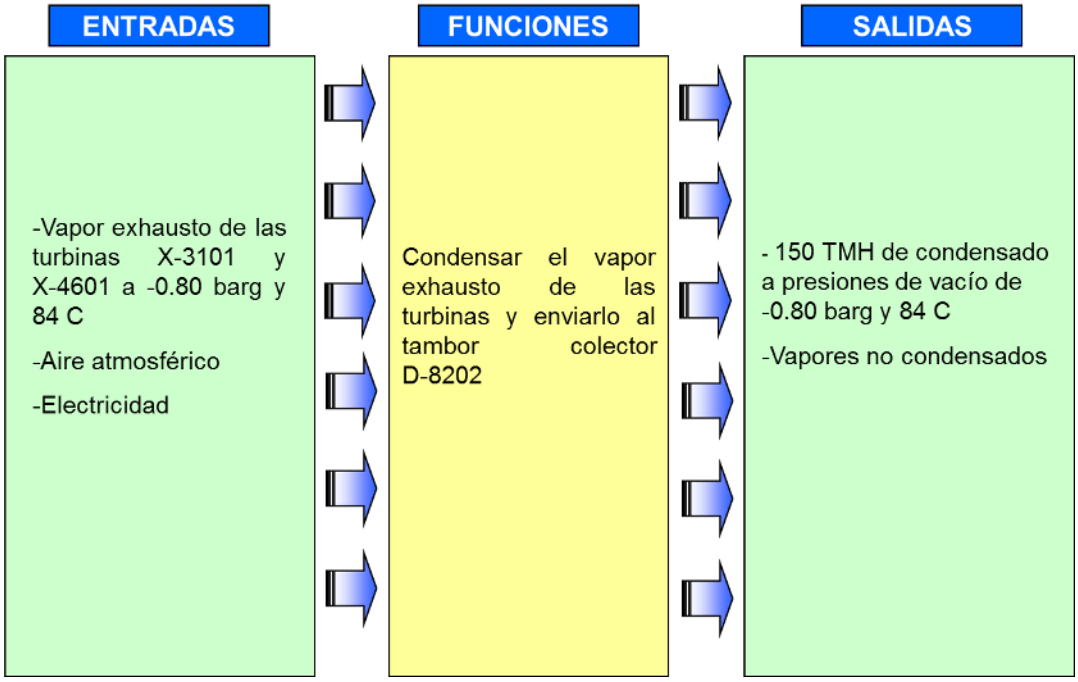


Figura 3: *Diagrama entrada- función-salida. Fuente: elaboración propia.*

Identificación de oportunidades, cuantificación del evento. Para evaluar las oportunidades es necesario definir las funciones deseadas de los procesos como fuentes de generación de valor del negocio, así como las condiciones de pérdida de dicho valor. Para realizar esta evaluación se debe alinear con el modelo avanzado de valor del activo, el cual se muestra a continuación:



Figura 4: *Representación del modelo para generar valor. Fuente:* Woodhouse y Sojo, 2008).

Se define una oportunidad como una situación que podría generar valor al negocio, expresada en la disminución de gastos y costos, el aumento de producción, más eficiencia, menos problemas de calidad, entre otros. La siguiente tabla muestra cómo se realiza la cuantificación del evento ocurrido (Woodhouse & Sojo, 2008).

Tabla 1: *Cuantificación del evento.*

Función deseada del sistema con los parámetros claves de control	**Evento** o el incumplimiento de la función deseada	**Evidencia** o cómo el sistema hace un llamado	**Frecuencia anual n. º** de veces que ocurre por año	**Consecuencias** (producción, SHA, ambiente, materiales, flujo de caja, salud, pérdidas monetarias)	**Valor oportunidad** n. º de veces multiplicado por las consecuencias anuales
Garantizar en las celdas un flujo de aire a través del tiro forzado que desempeñan 6	Disminución de la capacidad de conversión y de la disponibilidad del flujo de los motor-ventiladores	Oscilación del amperaje en motores con alta	6	Costo de reparación de los motores 60.561,06 bsf. No hubo	**Escenario optimista:** costo de reparación de los motores.

motor-ventiladores con el propósito de transformar el fluido de la etapa gaseosa a la etapa licuable, y alcanzar una disponibilidad de 100%.		temperatura de motores		lesiones. Producción potencial 600 tm etileno total 60.561,06 bsf.	**Escenario pesimista:** 600 TN, por no contar con motores para las posiciones e o f, esperando los nuevos motores.

Fuente: elaboración propia.

Esta metodología permite reconocer de manera real, objetiva y en consenso las pérdidas asociadas a eventos repetitivos o esporádicos que están afectando al negocio, y que a su vez pueden representar una recuperación de valor.

La misma de igual forma permite que todos identifiquen dónde están las pérdidas y cuantifiquen su valor o impacto, definiendo parte del paso inicial para el establecimiento de estrategias de mejoramiento y control.

Paso 2/4. Levantando la información. Técnica de la línea de tiempo

La secuencia de eventos representada con la línea de tiempo nos ayuda a:

- Construir una lógica básica de la secuencia de lo que ocurrió y qué actores físicos o elementos participan y contribuyen.
- Establecer de forma más exacta la relación de cuándo ocurrió con su hora, fecha, turno, secuencia, entre otros.
- Identificar y clasificar el lugar dónde ocurrió, su ubicación funcional, entre otros.
- Ubicar a las personas quienes nos podrían brindar información o ser parte del cerebro entero, es decir, del equipo de trabajo de forma temporal o continua.

- Comenzar a establecer una opinión individual desconectado de la parcela, apoyándose en la secuencia lógica.

La secuencia de eventos va a depender de la información clave que aportará el cerebro entero en otras palabras el equipo de trabajo:

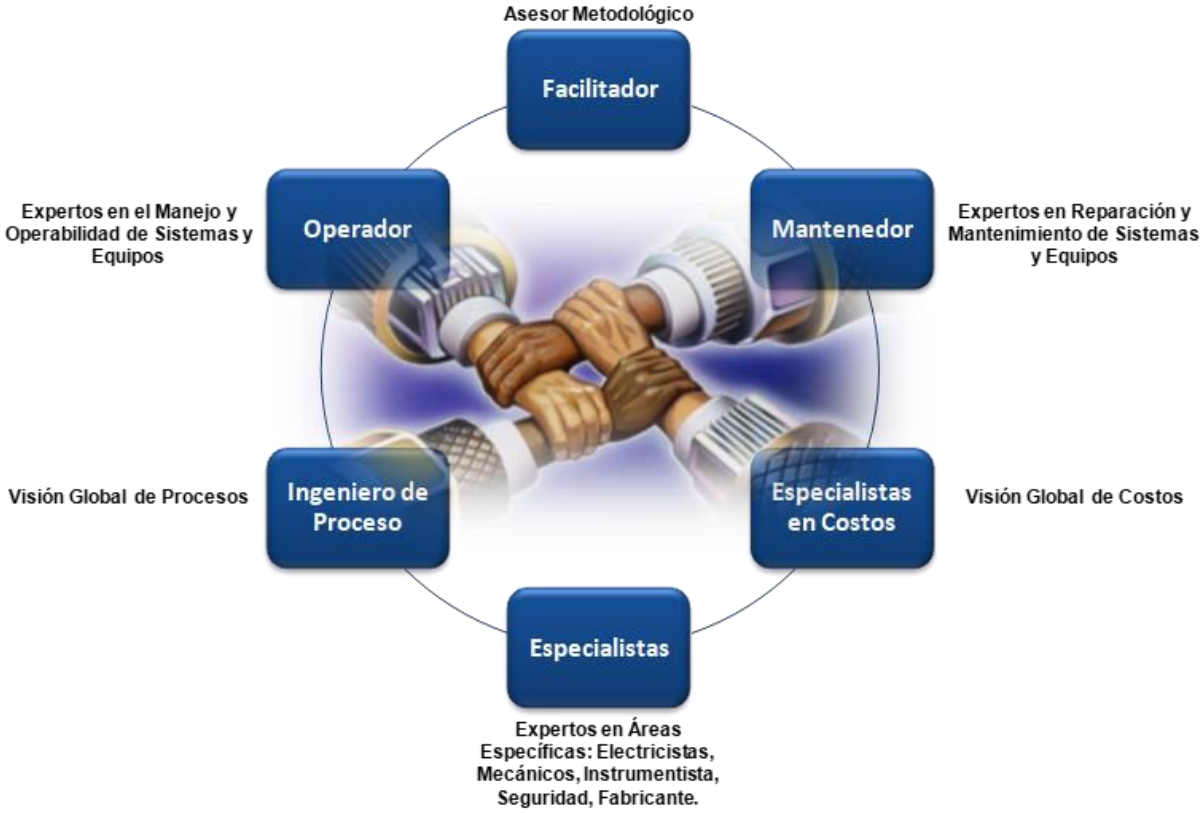


Figura 5: *Estructura de un equipo multidisciplinario. Fuente:* (Woodhouse & Sojo, 2008)

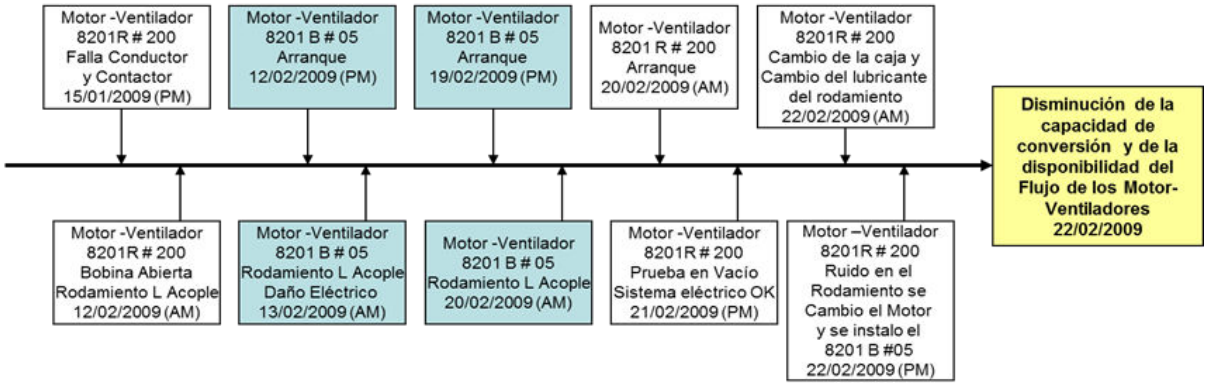


Figura 6: *Línea de tiempo del evento. Secuencia de lo ocurrido. Fuente: elaboración propia.*

Paso 3/4. Ubicando la lógica deductiva

En este paso, el desarrollo del árbol lógico deductivo nos permite:

- Representar de forma gráfica, sistémica, estructurada y sistemática la lógica de lo ocurrido.
- Identificar el evento y los modos ocurridos.
- Identificar las hipótesis y verificarlas para descartarlas o convertirlas en causas.
- Identificar los niveles de las fallas de los elementos o componentes también llamadas causas directas.
- Identificar los niveles de las fallas humanas o causas intermedias.
- Identificar los niveles de las causas raíces que representan las deficiencias del sistema-organización).

Los componentes del árbol lógico deductivo son:

Evento. Es el último elemento en la secuencia de la línea de tiempo, y es aquello que se debe eliminar. Su eliminación estaría justificada económicamente porque este evento afecta el negocio.

Evidencias deductivas. Es la forma como el sistema hace un llamado de que una o varias cosas andan mal. Ocurre antes de incumplir la función o la condición satisfactoria del negocio, como

cuando sucede un accidente, incidente, fuga, hay ausencia de la información, entre otras condiciones.

Hipótesis. Se plantean a partir de la pregunta ¿Cómo se puede dar?, o ¿Cómo puede ser?, esto permitirá ver ampliamente cuáles son las posibles causas o factores causales. Cada hipótesis planteada se deberá validar con lo descrito en la línea de tiempo. Cada hipótesis tiene una posibilidad de darse respecto a un 100%, al comparar las hipótesis se les asigna el peso de acuerdo a la experiencia y conocimiento de cada especialista, lo cual se acuerda previamente con el equipo de trabajo. El peso también puede ser asignado al formular al equipo de trabajo la siguiente pregunta: si las cosas siguen igual que ahora ¿Qué peso piensan ustedes tendrán sus causas en el futuro?

Matriz de verificación de las hipótesis. Permite verificar cada una de las hipótesis o de los factores causales para convertirlas en fallas de componentes, fallas humanas y en las causas raíces. Cada hipótesis planteada se deberá validar con datos verdaderos, y al validar las hipótesis se establecerán los caminos lógicos a seguir, luego se le colocarán los pesos reales o verdaderos.

Falla de componentes. Son típicamente representadas por elementos, componentes, partes que al ser reemplazados eliminan de forma temporal el problema. Al eliminar las fallas de los componentes o partes (las causas directas) se obtiene un resultado inmediato a nivel operativo, pero no es la causa raíz.

Fallas humanas. Son aquellas causas donde interviene el ser humano o las personas, estas generan el efecto de la causa directa o de otra indirecta. Al cambiar a las personas o al despedirlas no se elimina el problema de fondo, solo se hace un movimiento a nivel táctico, ya que la persona no es la causa raíz.

Causa raíz. Son aquellas causas raíces donde el sistema o la organización permite que existan fallas humanas y estas generan fallas en los componentes, típicamente estas causas raíces están asociadas a las deficiencias latentes de la organización. Al eliminar las causas raíces, el sistema y la organización se hacen más robustos. El cambio a niveles estratégicos logra ser sustentable, ya que es la verdadera causa raíz.

A continuación, en las figuras 7, 8, 9, 10 y 11 se muestra el ejemplo del desarrollo del árbol lógico deductivo de hipótesis.

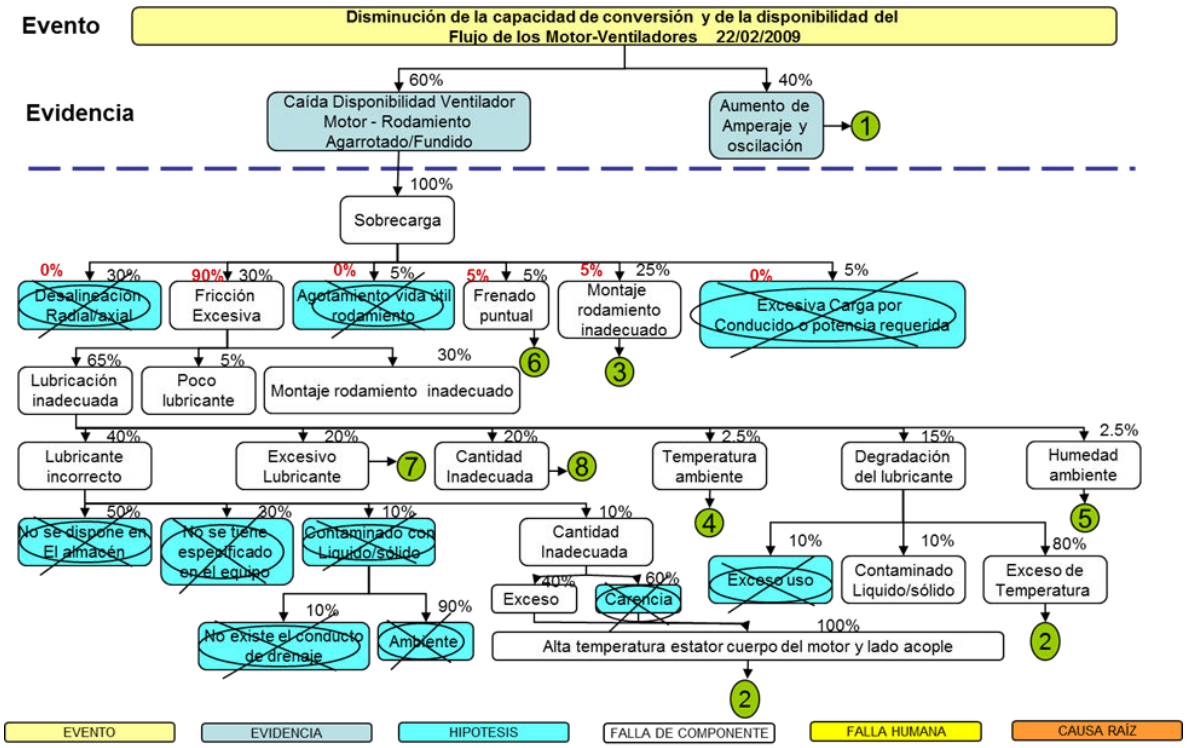


Figura 7: *Desarrollo del árbol lógico deductivo de hipótesis. Parte 1. Fuente: elaboración propia.*

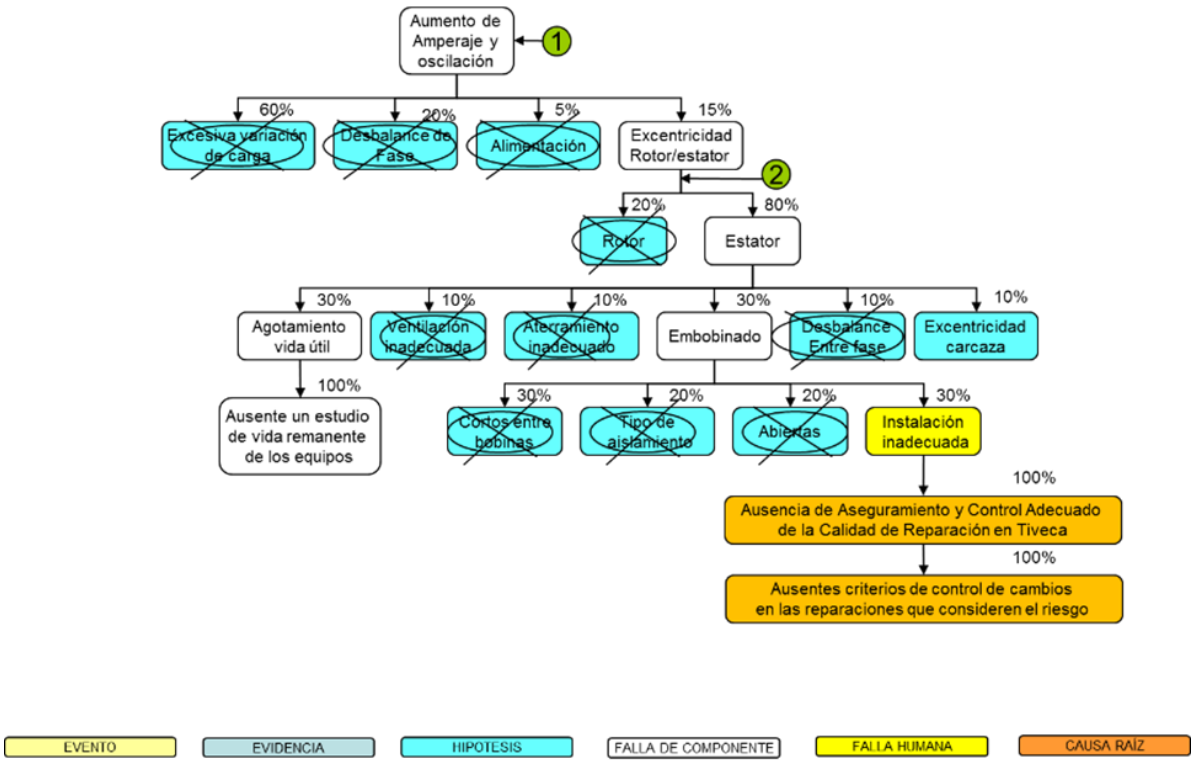


Figura 8: *Desarrollo del árbol lógico deductivo de hipótesis. Parte 2. Fuente: elaboración propia.*

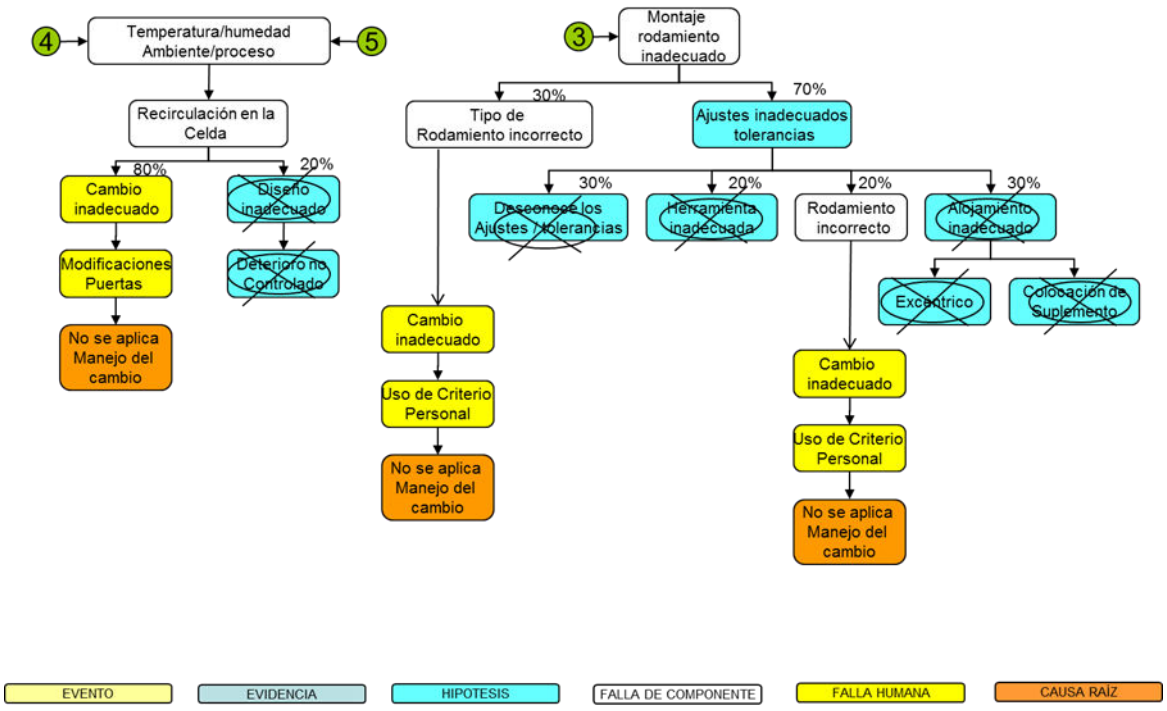


Figura 9: *Desarrollo del árbol lógico deductivo de hipótesis. Parte 3. Fuente: elaboración propia.*

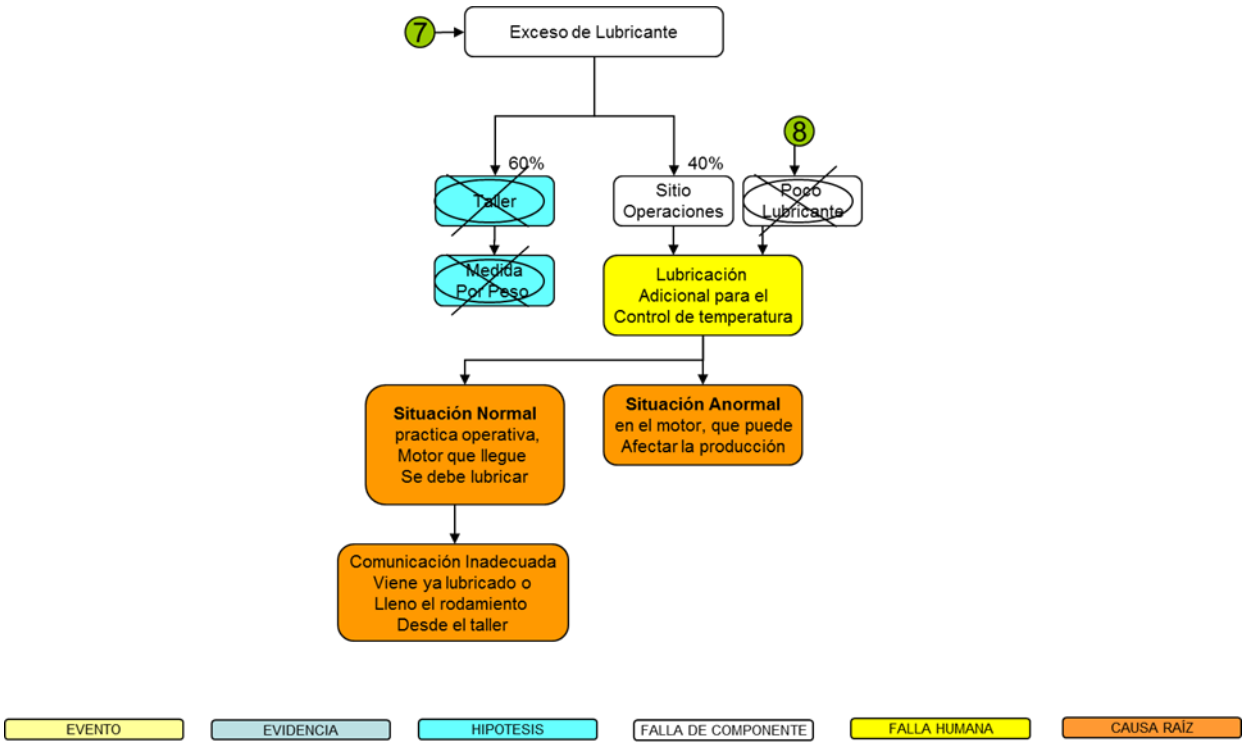


Figura 10: *Desarrollo del árbol lógico deductivo de hipótesis. Parte 4. Fuente: elaboración propia.*

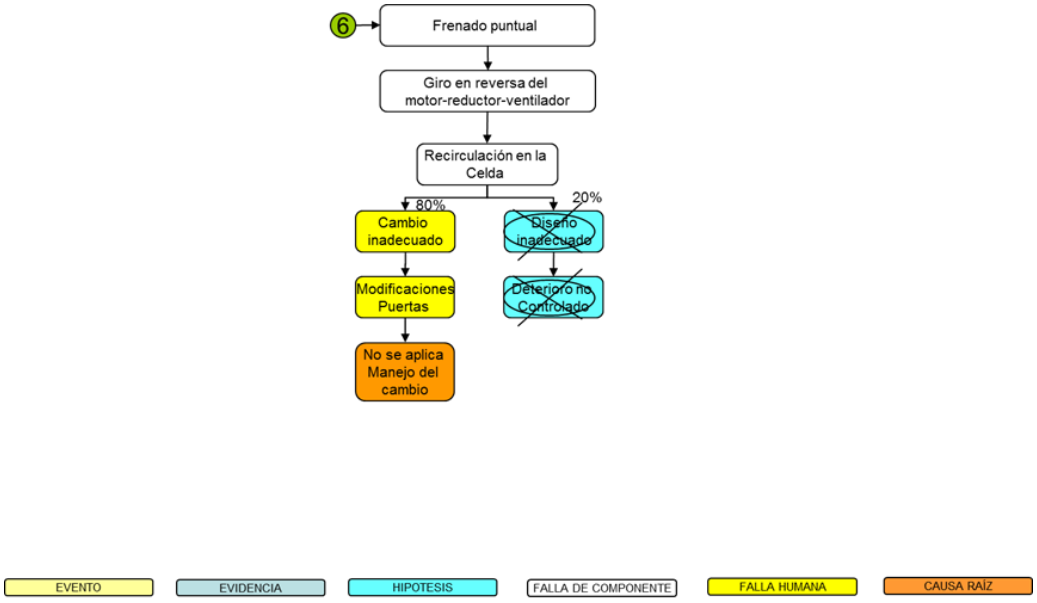


Figura 11: *Desarrollo del árbol lógico deductivo de hipótesis. Parte 5. Fuente: elaboración propia.*

Tabla 2: *Matriz de verificación de hipótesis.*

Rama o posible raíz	**Hipótesis**	**Método de verificación (cómo se validará la hipótesis)**	**Fecha (cuándo)**	**Responsable (quién)**	**Respuesta obtenida (se confirma o descarta)**
Sobrecarga	Fricción excesiva	Análisis del grado de deformación	9/02/2009	Mantenimiento	Confirmada
	Frenado puntual	Inspección visual	10/02/2009	Electricidad	Confirmada
	Montaje de rodamiento inadecuado	Análisis del grado de deformación	15/04/2009	Inspección dinámica	Confirmada
	Desalineación radial/axial	Espectro de vibraciones	15/04/2009	Inspección dinámica	Descartada
	Acoplamiento vida útil rodamiento	Registro histórico del fabricante	18/04/2009	Tribología	Descartada
Fricción excesiva	Lubricación inadecuada	Prueba en el laboratorio	18/05/2009	Tribología	Confirmada
	Poco lubricante	Inspección visual	20/05/2009	Tribología	Confirmada
Frenado puntual	Giro en reversa del motor -ventilador	Reporte de operaciones	20/06/2009	Operaciones	Confirmada

Fuente: elaboración propia.

Paso 4/4. Solucionar y comunicar las conclusiones y recomendaciones

Se establece la matriz de acción para eliminar las causas raíces latentes que permiten las fallas humanas que a su vez generan las fallas de componentes. Para ello, se deberá hacer un recorrido desde abajo hacia arriba en este orden: primero se revisará las causas raíces (las deficiencias de la organización), luego los errores humanos (o fallas humanas), después las fallas de los componentes o causas directas, inmediatamente se revisará los modos ocurridos y, por último, el evento (Robert, 2011).

El recorrido se hará acumulando el valor colocado en cada causa identificada o (calculando el 1 %) desde abajo hacia arriba. Se deberá especificar las acciones que garanticen la eliminación de cada causa identificada. Para ello es necesario identificar las causas raíces de los errores humanos y no buscar culpables o estar cambiando componentes cada vez que se presente la falla. La acción recomendada para eliminar la rama deberá ser específica en su tarea, establecer paso a paso qué hacer, garantizando así que se eliminará de forma definitiva cada causa identificada. Luego se colocará el valor o el costo de cada acción recomendada, se especificará el costo de producción, materiales, horas hombre y estudio, también se totalizarán los costos por cada acción recomendada (Fuenmayor, 2018).

De otro lado, se deberá informar quién es el responsable (nombre y apellido y el departamento donde labora para cada acción recomendada), es necesario involucrar a la persona antes de asignarlo como responsable de la acción y evitar colocar nombre de departamentos o nombres de gerencia. El responsable para cada acción recomendada deberá establecer una fecha de inicio y de culminación de cada actividad, también se puede colocar una fecha de seguimiento.

El responsable con el equipo de trabajo deberá calcular para cada acción recomendada la tasa interna de retorno o el valor presente neto, para determinar cuál es la alternativa más efectiva para el negocio, y así conocer en cuánto tiempo se recupera el dinero invertido en la acción (Amendola, 2011).

Tabla 3: *Matriz de acción.*

Conclusión	**Valor de la rama**	**Recomendaciones**	**Valor de la acción**	**Responsable**	**Fecha**	**Beneficio**
La ausencia de criterios de control de cambios, durante	Contribuye en un 90% en la posibilidad de	1) Evaluar la posibilidad de rebobinar	Parte del servicio	Taller externo	05/03/2009	Disminución de un 90% en la posibilidad de

las reparaciones sin consideran el riesgo, permitió la falta de aseguramiento y control adecuado de la calidad de las reparaciones en talleres externos. Esto conlleva a *una instalación inadecuada* del embobinado del estator, que produce exceso de temperatura, degradando el lubricante, obteniendo así una lubricación inadecuada, lo que generó una fricción excesiva que se manifiesta con una sobrecarga en el rodamiento lado acople provocando su agarrotamiento. Esto afectó la capacidad de conversión y disponibilidad del flujo de los motor-ventiladores E-8201	disminución de la capacidad de conversión y de la disponibilidad del flujo de los motor-ventiladores	nuevamente E-8201B y E-8201R, debido al número de veces que ya se han realizado	del taller externo	Edgar Fuenmayor		disminución de la capacidad de conversión y de la disponibilidad del flujo de los motor-ventiladores
		2) Realizar el cambio del tipo de material del alambre del embobinado utilizando el correcto recomendado por el fabricante	Precio según contrato con el taller externo	Taller externo Daniel Rodríguez	De acuerdo a la respuesta de la recomen-dación 1	
		3) Suministrarle al taller externo con el contrato reciente las especificaciones técnicas del motor	Parte del trabajo	Miguel Chirinos	05/03/2009	

Fuente: elaboración propia.

Evaluación económica de las alternativas

Una vez elaborado el plan de acción, para evitar que las causas raíces o deficiencias organizacionales vuelven a ocurrir, se debe evaluar económicamente las recomendaciones en el ciclo de vida para determinar cuál es la opción económicamente rentable, esta también debe ser presupuestariamente viable. La evaluación económica debe cumplir con lo establecido en la

matemática financiera, de tal manera que se pueda conocer el valor presente neto (VPN) de cada alternativa para compararlas, tomando el VPN que arroje mejores beneficios económicos en el tiempo a la organización.

En la mayoría de ocasiones, la mejor alternativa desde el punto de vista técnico no es la más económica, respecto al horizonte de vida del activo físico ni tampoco en algunos casos la opción más económica es la mejor alternativa para la empresa ya que "lo barato sale caro" (Barsalou, 2015). En la siguiente figura se muestran dos flujos de caja basados en las recomendaciones de un plan de acción.

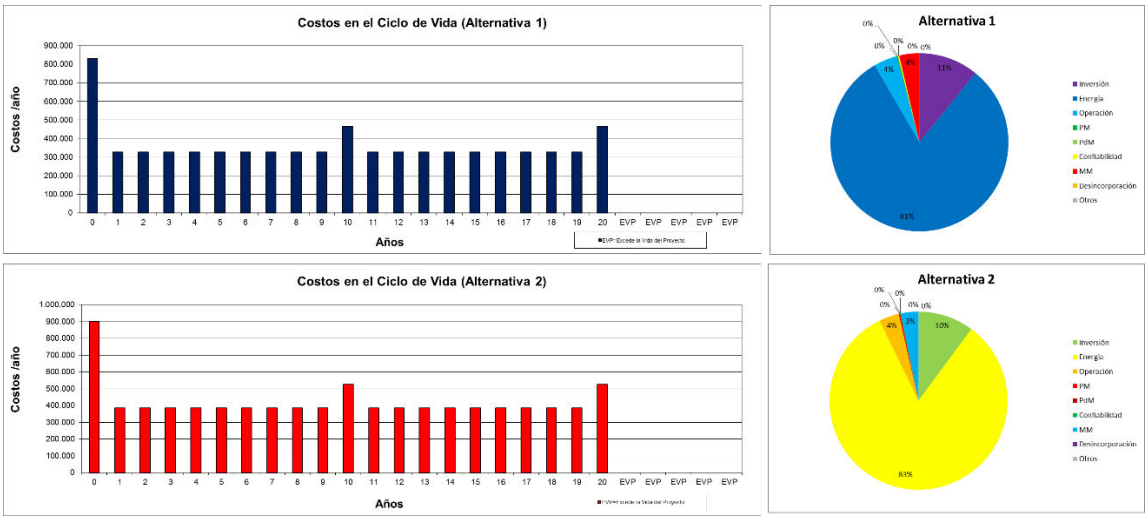


Figura 12: *Flujo de caja proyectado de los elementos de costos. Fuente: elaboración propia.*

Logrando que funcione

Las personas normalmente tienen buenas intenciones al implementar un plan de acción. Sin embargo, después del desarrollo del plan y de que los participantes vuelven a sus ambientes de trabajo, tienden a entrar en la “rutina” reactiva. Parece que los “problemas del día a día” siempre son prioridad sobre cualquier trabajo relacionado con mejorar. Los analistas siguen postergando

las actividades proactivas, dejándolas al costado, pensando que los trabajos proactivos pueden esperar, pero ¿Realmente pueden esperar? (Barsalou, 2015).

En esta línea, se debe pensar en la cantidad de nuestro tiempo y de nuestro recursos dedicados a la reparación o la atención de problemas repetitivos. Internacionalmente se ha demostrado que un 80% del tiempo, las personas están involucradas en trabajos reactivos. Solamente un 20% de su rutina diaria tiene la mirada puesta en el futuro (Amendola, 2011).

Por esto, debemos hacer algo diferente si las actividades reactivas son la norma en el trabajo. Primero,las mejoras o los trabajos proactivos deben priorizarse como los trabajos reactivos dentro de los sistemas actuales de trabajo. La clave es estar convencidos de que el éxito se logra solucionando proactivamente los problemas e identificando un "campeón", quien es una persona de alto nivel que patrocine y apoye las iniciativas y análisis que se realicen, así como en publicar y celebrar los éxitos que se obtengan (Robert, 2011).

Resultados y discusión

- La ausencia de aseguramiento y control adecuado de la calidad de reparación propicia la inadecuada reparación del estator del motor, que se evidencia por la alta temperatura en el cuerpo, afectando el lubricante hasta dañar el rodamiento.
- Al no haber criterios de control de cambios en las reparaciones que consideren el riesgo, la reparación del motor en los talleres externos es inadecuada.
- Si la comunicación es inadecuada, se puede omitir que el motor reparado viene ya lubricado o lleno de grasa, lo que permite que se vea como práctica operativa normal, es decir, "motor que llegue se debe lubricar".

- Al aplicar el manejo del cambio acorde el elemento del SIR se pueden realizar modificaciones como cambio de tipos de rodamientos, tipo de grasa y eliminación de puertas sin evaluar las consecuencias.
- Al no contar con un criterio técnico económico del momento óptimo de reemplazo de los equipos, teniendo en cuenta su vida remanente, no se pronostica el reemplazo de forma oportuna, consecuentemente, habrá fallas recurrentes.

Conclusiones

La ausencia de criterios de control de cambios, que consideren el riesgo durante las reparaciones, permitió que no se pudiera asegurar ni controlar la calidad de las reparaciones en talleres externos, lo que conllevó a una instalación inadecuada del embobinado del estator, que se manifiestó como exceso de temperatura, degradando el lubricante y obteniendo una lubricación inadecuada, lo que generó una fricción excesiva, que sobrecargó el rodamiento lado acople provocando, finalmente, su agarrotamiento. Esto afectó la capacidad de conversión y disponibilidad del flujo de los motor-ventiladores.

Debido a que no se aplicó un manejo del cambio, y se hizo uso del criterio del personal, se realizó un cambio inadecuado del rodamiento sin considerar los ajustes y tolerancias, resultando un montaje de un rodamiento inadecuado, que permitio una carga adicional en el rodamiento ubicado en el lado acople provocando su agarrotamiento, lo que afectó la capacidad de conversión y disponibilidad del flujo de los motor-ventiladores.

Como no se aplicó el manejo del cambio, para considerar el riesgo de la modificación de las puertas, este cambio inadecuado conllevó a una recirculación de aire en las celdas, permitiendo así

un leve cambio en las temperaturas y la humedad del ambiente, factores que contribuyeron con la efectividad de la lubricación y esta a su vez conllevó a la fricción excesiva adicionando una sobrecarga que agarrotó el rodamiento.

De otro lado, faltó comunicación entre los involucrados, por ello se desconocía que el rodamiento ya estaba lubricado o lleno. En el taller es lubricado el motor que llegue al área, generando así una lubricación adicional excesiva o una lubricación inadecuada, lo que generó una fricción excesiva que condujó a la sobrecarga en el rodamiento y su agarrotamiento, como ya se había mencionado.

Finalmente, es importante resaltar que en este análisis se utilizó el ACR plus deductivo para establecer las prioridades basadas en los costos operativos a mejorar. El evento que se representó tenía un alto costo operativo asociado, representando una oportunidad de mejora, a diferencia del ACR plus inductivo que es probabilistico, ya que los eventos aún no ocurren y presenta un nivel de riesgo no tolerable.

Bibliografía

Amendola, L. (2011). *Gestión Integral de Activos Físicos.* España: PMM Institute for Learning.

Barsalou, M. (2015). *Root Cause Analysis. A step-by-step Guide to Using the Right Tool at the Right Time.* CRC Press.

Fuenmayor, E. (2018). Analisis Causa Raiz. *Predictiva 21*. Obtenido de http://predictiva21.com/analisis-causa-raiz-de-un-activo-fisico-una-herramienta-de-mejoramiento-continuo/

HSE HSG48. (1999). *Reducing error and influencing behavior, Segunda Edicion.* TSO.

ISO. (2006). *ISO 14224. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.* ISO.

Robert, L. (2011). *Root Cause Analysis. Improving Performance for Bottom-Line Results* (Cuarta Edición ed.). Reliability Center, Inc.

Woodhouse, J., & Sojo, L. (2008). *Adiestramiento en Análisis Causa Raíz Plus.* THE WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED.