

Mejora de la disponibilidad en procesos a partir de la confiabilidad

Improved Availability Processes from Reliability

MSc. Henry Ricardo-Cabrera^I, hricardo@ucf.edu.cu; Dr. Alberto Medina-León^{II}, amedina@umcc.edu.cu; MSc. Claudia Martha Pérez-Hernández^I, claumar1910@gmail.com; MSc. Quirenia Núñez-Chaviano^I, knunez@ucf.edu.cu; MSc. Mario Curbelo-Hernández^I, mcurbelo@ucf.edu.cu

^IUniversidad “Carlos Rafael Rodríguez”, Cienfuegos, Cuba;

^{II}Universidad “Camilo Cienfuegos”, Matanzas, Cuba

Resumen

La presente investigación se realizó en la industria “Cementos Cienfuegos S.A.”, su objetivo fundamental fue implementar un procedimiento para mejorar la disponibilidad técnica de los procesos productivos. El método descrito emplea sistemas analíticos clásicos como herramienta para mejorar el trabajo de los operadores de las instalaciones de la industria, utilizando listas de chequeo elaboradas a partir de la identificación del aporte de la indisponibilidad del equipo al fallo del sistema tecnológico. Como ejemplo de aplicación están los resultados en los sistemas tecnológicos de la cementera, realizados sobre la base de la confiabilidad de los componentes de los sistemas tecnológicos, específicamente el proceso de Materias Primas. Como resultado de la implementación se obtienen mejoras en la disponibilidad técnica del proceso y, por tanto, una elevación de su eficiencia. La extensión de este trabajo puede garantizar la mejora de la disponibilidad general de la industria.

Palabras clave: árbol de fallas, listas de chequeo, indicadores, confiabilidad.

Abstract

This research was conducted in the industry, “Cementos Cienfuegos S.A.”, its main objective was to implement a method for improving the technical availability of the production processes. The method described uses classical analytical systems as a tool to improve the work of the operators of industrial facilities using checklists developed from the identification of the contribution of the unavailability of equipment to the failure of the technological system. Examples of application are the results in the cement technology systems, made on the basis of the reliability of the components of technological systems, specifically the process of raw materials. As a result of improvements in technical implementation process availability are obtained and, therefore, an increasing efficiency. The extension of this work can ensure the improvement of the general availability of the industry.

Keywords: fail tree, check lists, indicators, confiability.

Introducción

Con frecuencia, el concepto de instalación de proceso va asociado a un sistema productivo o a una parte de él, donde intervienen materias primas que a través de determinadas operaciones básicas, generalmente concatenadas, son sometidas a procesos físicos y/o químicos para obtener productos intermedios o acabados.

Las instalaciones son diseñadas para adecuarse a las condiciones normales de trabajo, pero deben ser capaces de soportar alteraciones previsibles, aunque sean ocasionales, sin generar daños a personas y bienes.

Dado la importancia que tiene la atención a los fallos de las instalaciones, fundamentalmente por el impacto en la eficiencia y eficacia de las empresas, específicamente en instalaciones de producción de cemento, resultan justificativos los estudios que se realicen para su mitigación. De aquí que en el presente artículo se trace como objetivo implementar un procedimiento para determinar la confiabilidad operacional de los procesos productivos en la cementera “Cementos Cienfuegos S.A.”

Fundamentación teórica

El análisis operacional en instalaciones requiere considerar todas las variables que condicionan el proceso en cuestión, planteándose variaciones ante posibles fallos o deficiencias (Vaidas Matuzas & Sergio Contini, 2012) y, consecuentemente, la capacidad de respuesta de la instalación en base a sus características y a los elementos de operación, muchos de los cuales deben garantizar una respuesta activa. Las alteraciones que puedan aparecer son diversas, como diversas son sus causas y consecuencias, que necesariamente deben ser consideradas para poder efectuar una evaluación operacional de la instalación en complejos esquemas de interrelación secuencial (Dunnett & J.D. Andrews, 2004).

Una peculiaridad destacable en las instalaciones de proceso es que suele existir interrelación entre la indisponibilidad del equipamiento y sus factores causales, que según las circunstancias desencadenantes generan diferentes niveles de fallos y de sus consecuencias (Nusbaumer & Rauzy, 2013).

Los métodos aplicados en los análisis operacionales para la confección de las listas de chequeo en “Cementos Cienfuegos S.A.”, no consideran la fiabilidad de los componentes y, por ende, la frecuencia de revisión y los parámetros necesarios no

toman en cuenta la contribución de dicho elemento al fallo de sistemas. En consecuencia, el problema de investigación se define como la necesidad de identificar y disminuir las interrupciones y/o fallas ocasionadas en el proceso productivo de la empresa objeto de estudio, que inciden en la disminución de la confiabilidad operacional y provocan cuantiosas pérdidas para la entidad.

En tal sentido, es factible desarrollar el estudio operacional de cada sistema tecnológico que requiere, ineludiblemente, de un trabajo en equipo, constituido este por técnicos conocedores de las características y funcionamiento de la instalación y del proceso que se desarrolla; de un método que facilite la reflexión y el análisis en profundidad. El método propuesto en este trabajo permite analizar el peso operacional de cada componente del sistema tecnológico y trazar las estrategias para las revisiones tanto operacionales como de mantenimiento, con vistas a mejorar la eficacia y eficiencia operacional.

Materiales y métodos

Para desarrollar el estudio se empleó el Árbol de Fallas como herramienta para detectar el aporte a la falla del sistema de cada componente de la instalación (Zheng Liu, Yan-Feng, Li-Ping He, & Hong-Zhong Huang, 2014) y así confeccionar las listas de Chequeo y con ello contribuir a mejorar el trabajo de los obreros de la instalación; además, se utilizaron técnicas y modelos de distribución estadísticos que facilitaron una mejor utilización de los datos disponibles y que permitieron tener una mayor confiabilidad para la toma de decisiones; se tuvieron en cuenta las siete herramientas básicas del control estadístico y mejoramiento de la calidad.

Árbol de fallas. Generalidades

Un sistema consta de personas, equipo, material y factores ambientales. Este sistema realiza tareas específicas con métodos recomendados (Majdara & Wakabayashi, 2010). Los componentes de un sistema y su ambiente están interrelacionados y una falla con cualquier parte puede afectar las demás partes.

Análisis de Fallas con Diagramas de Árbol. Descripción del método

El Análisis por Árboles de Fallos (AAF), es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente.

Se trata de un método deductivo de análisis que parte de la previa selección de un suceso no deseado o evento que se pretende evitar, sea este un accidente de gran magnitud (explosión, fuga, derrame entre otras) o sea un suceso de menor importancia (fallo de un sistema de cierre) para averiguar en ambos casos los orígenes (Li, Si, Xing, & Sun, 2014).

Seguidamente, de manera sistemática y lógica, se representan las combinaciones de las situaciones que pueden dar lugar a la producción del “evento a evitar”, conformando niveles sucesivos de tal manera que cada suceso esté generado a partir de sucesos del nivel inferior, siendo el nexo de unión entre niveles la existencia de “operadores o puertas lógicas”. El árbol se desarrolla en sus distintas ramas hasta alcanzar una serie de “sucesos básicos”, denominados así porque no precisan de otros anteriores a ellos para ser explicados. También alguna rama puede terminar por alcanzar un “suceso no desarrollado” en otros, sea por falta de información o por la poca utilidad de analizar las causas que lo producen.

El suceso iniciador puede ser cualquier desviación importante, provocada por un fallo de un equipo, error de operación o error humano. Depende de las salvaguardias tecnológicas del sistema, de las circunstancias y de la reacción de los operadores, las consecuencias pueden ser muy diferentes. Por esta razón, está recomendado para sistemas que tienen establecidos procedimientos de seguridad y emergencia para responder a sucesos iniciadores específicos. Los nudos de las diferentes puertas y los “sucesos básicos o no desarrollados” deben estar claramente identificados.

Para ser eficaz, un análisis por árbol de fallos debe ser elaborado por personas profundamente conocedoras de la instalación o proceso a analizar y que a su vez conozcan el método y tengan experiencia en su aplicación; por lo que, si fuera preciso, se deberán constituir equipos de trabajo pluridisciplinarios (técnico de seguridad, ingeniero del proyecto, ingeniero de proceso, entre otros) para proceder a la reflexión conjunta que el método propicia. El análisis deducible empieza con una conclusión general, luego intenta determinar las causas específicas de la conclusión a partir de la construcción de un diagrama lógico llamado un árbol de falla (Hurdle, Bartlett, & J. D. Andrews, 2007).

El motivo principal del análisis de este árbol es el ayudar a identificar causas potenciales de falla de sistemas antes de que estas ocurran (Shneiderman, Dunne,

Sharma, & Wang, 2012). También puede ser utilizado para evaluar la probabilidad del evento más alto utilizando métodos analíticos o estadísticos. Estos cálculos envuelven sistemas de relatividad cuantitativos e información de mantenimiento tales como probabilidad de falla, tarifa de falla, y tarifa de reparación. La ventaja principal de los análisis de árbol de falla son los datos valiosos que producen que permiten evaluar y mejorar la fiabilidad general del sistema (Contini & Matuzas, 2012). También evalúa la eficiencia y la necesidad de redundancia.

Listas de chequeo

El desarrollo de procesos productivos conlleva al diseño de operaciones industriales, al empleo de máquinas, equipos y herramientas, así como la utilización de materias primas e insumos, lo cual modifica el ambiente natural del hombre y si bien facilita y aumenta la eficiencia del trabajo, también aporta factores de riesgo que es necesario controlar para evitar que los adelantos que deben constituirse en un aporte para el bienestar del hombre se conviertan en agresores de su integridad (Pérez, 2012).

Por lo anterior, se establecen diversos mecanismos conducentes al control de los riesgos. Las listas de chequeo constituyen uno de estos mecanismos y su función básica es la de detectar condiciones peligrosas que puedan generar accidentes o enfermedad profesional, antes que se desencadenen los accidentes o avancen las enfermedades profesionales.

Es de vital importancia entender qué es una lista de chequeo y cuál es su aplicabilidad. Existen muchos formatos de listas de chequeo para diversas actividades o equipos, pero cada lista de chequeo debe ser particular, aunque el especialista se pueda basar en el modelo.

Se entiende por lista de chequeo (*chek-list*) a un listado de preguntas, en forma de cuestionario, que sirve para verificar el grado de cumplimiento de determinadas reglas establecidas con un fin determinado.

Las preguntas en forma de cuestionario sirven como una guía, que obligan a quien las contesta a reflexionar sobre el nivel de acatamiento de determinados requisitos o reglas. La *ckeck-list* enumera una serie de ítems (muchos o pocos dependerá de la exhaustividad que se pretenda) que deberían verificarse uno a uno para asegurarnos de lograr el producto final con un nivel de calidad previamente aceptado.

Uno de los formatos más prácticos y fáciles de usar son aquellos diseñados en forma de cuadro, que permiten un llenado rápido de los distintos casilleros, de acuerdo que se verifique, o no, la regla en cuestión. Otra opción de diseño es un listado de preguntas con espacios libres al final, que deben ser respondida con frases breves y sencillas por parte de aquellos encargados de realizan el control. Están también aquellas que optan por utilizar ambos formatos de manera alternada, colocando en algunas partes casilleros y en otros espacios libres.

Es aconsejable un diseño sencillo, práctico y fácil de visualizar, de manera que quien responda se familiarice con la lista de manera rápida y la incorpore a su rutina de trabajo de manera natural.

Las listas de chequeo tienen, por lo general, más de un destinatario y usuario pues sirven a quien realizó el trabajo, para verificar que no olvidó el cumplimiento de ninguna regla (autocontrol o control interno); por el otro, resulta útil para quien deba revisar el trabajo de otros, ya que mediante estos listados, pueden verificar de manera rápida el cumplimiento de las tareas planteadas (Pérez, 2012).

Resultados y discusión

El procedimiento propuesto cuenta con cuatro etapas: Preparación, Diagnóstico, Análisis y control y Optimización, las cuales cuentan con un sistema de actividades para su diseño y ejecución en las que se incluyen metodologías y herramientas de confiabilidad, cuyos resultados conducen a la empresa al mejoramiento continuo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la confiabilidad operacional en la fábrica de cementos “Cementos Cienfuegos S.A.”.

Etapa 1: Preparación

Esta fase tiene como objetivo acciones para asegurar el éxito de las etapas, formación y el compromiso desde la alta dirección hasta los niveles inferiores de la organización.

Paso 1: Creación del equipo de trabajo o grupo de expertos

En este paso se crea el grupo de expertos de la empresa los cuales se relacionan con la actividad y ocupan, fundamentalmente, los cargos de especialistas en operación, mantenimiento, jefes de área, supervisores y gerentes. Así se conforma un grupo cuyas habilidades se complementan entre sí, con vasto conocimiento del tema, y se logra involucrar en el estudio a la alta dirección. Se realiza una sesión de trabajo reuniéndose

el equipo natural, se induce la metodología y los representantes de las áreas como facilitadores de las sesiones de trabajo guían el estudio.

Finalmente el equipo de trabajo se conformó por:

- Conductor del grupo.
- Estudiantes de Ingeniería Industrial.
- Coordinador de proceso y mejora continua.
- Personal de operación.

Paso 2: Obtención de la información

Se recopila la información relativa a los equipos de todas las áreas, comenzando con un trabajo de preparación y registro de información técnica de cada equipo, funciones, parámetros de trabajo, sistemas, datos de fallas correspondientes al período de dos años.

El histórico de los equipos se registra desde el año 2004 y contempla la siguiente información:

- Fecha de inicio de la parada.
- Código del equipo.
- Código de la parada.
- Hora de inicio de la parada.
- Hora de salida de la parada.
- Comentario (se refleja el motivo de la parada).

Selección del proceso o área

Los paros en los procesos se registran por causas externas como mantenimiento, falta de materia prima, acomodo, silos llenos o por averías, considerados fallos en el presente estudio; se clasifican según la causa que los origina en fallo eléctrico y de control, fallo mecánico y fallo de operación.

En la figura 1 se observa el comportamiento de los indicadores disponibilidad, tiempo medio entre fallas, horas de fallas y cantidad de fallas acumulados en el año 2011 por áreas.

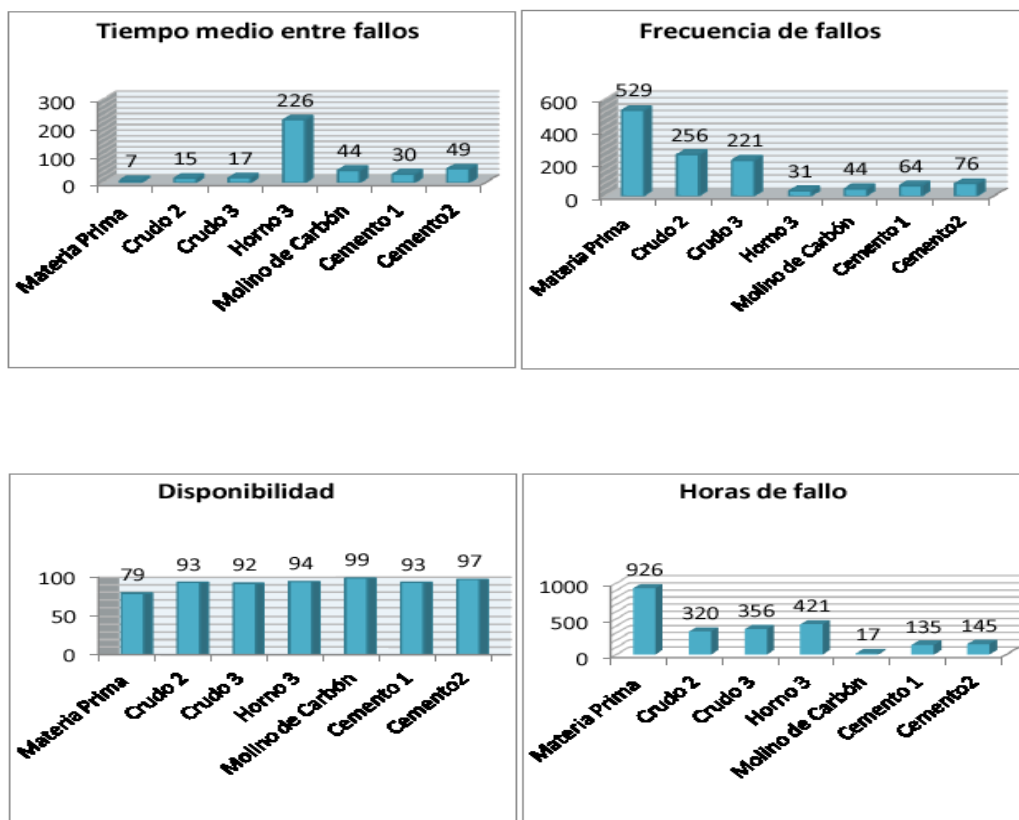


Figura 1: Comportamiento de los indicadores

Fuente: Elaboración del autor

Del análisis anterior se deduce que:

- Las áreas con menor disponibilidad son Materias Primas y Crudo II.
- El indicador tiempo medio entre fallas llega a su valor más bajo en las áreas de Materia Primas, Crudo II y Crudo III.
- En el año 2011 el mayor número de fallas se observó en el área de Materias Primas, Crudo II y Crudo III.
- Las áreas críticas en cuanto a las horas de fallas son: Materias Primas, Horno 3, Crudo II y Crudo III.

Por tanto, se decidió comenzar el estudio por Materias Primas, debido a que es el área que presenta menor disponibilidad y tiempo medio entre fallas y mayor número de fallas y horas de fallas.

Etapa 2: Diagnóstico

Paso 3: Determinación de los equipos con comportamiento conflictivo

En este paso se realizó el análisis de criticidad en el área seleccionada, con el objetivo de establecer niveles de jerarquía en todos los equipos, de acuerdo a criterios previamente establecidos en una matriz que considera los parámetros operacionales, riesgos asociados a la operación, a la seguridad, al medio ambiente y a las fallas del equipo en el período que se analiza.

Del análisis se obtuvo como resultado una categorización de los equipos que establece las bases para realizar análisis de confiabilidad e implementar las prioridades para establecer las estrategias para la inspección y el mantenimiento de todos los activos. A continuación, en la tabla 1, se muestran la categorización por niveles de criticidad de los equipos en el área seleccionada.

Tabla 1: Categorización por niveles de criticidad de los equipos

Código	Nombre del equipo	Clasificación	ICsha	ICp	Fr.	IGC	Condición
221-TP1	Transportador de placa	Dinámico	1	4	4	A144	Alta
221-RD1	Rascador	Dinámico	1	3	2	B132	Media
221-CT1	Criba	Dinámico	1	4	1	B141	Media
221-AE1	Alimentador	Dinámico	1	4	1	B141	Media
211-TS1	Trituradora	Dinámico	1	3	3	B133	Media
211-VE1	Ventilador de polvo	Dinámico	4	1	1	B411	Media
221-BT1	Banda de material fino	Dinámico	1	3	2	B132	Media
221-BT2	Banda de material fino	Dinámico	1	3	2	B132	Media
291-BT1	Banda de material grueso	Dinámico	1	3	2	B132	Media
291-BT2	Banda	Dinámico	1	3	2	B132	Media
221-TP2	Transportador de placa	Dinámico	0	4	1	B141	Media
221-BT4	Banda de hierro	Dinámico	0	2	2	C022	Baja
221-BT3	Banda al secador	Dinámico	1	3	2	B132	Media
221-SE1	Secador	Dinámico	0	3	1	B031	Media
221-VE1	Ventilador de polvo (Casa de polvo)	Dinámico	3	2	1	C321	Baja
291-BT3	Banda	Dinámico	1	3	2	B132	Media
291-BT4	Banda	Dinámico	1	3	3	B133	Media
291-BT5	Banda	Dinámico	1	3	2	B132	Media
291-BT6	Banda	Dinámico	1	3	2	B132	Media
291-FT1	Filtro de manga	Estático	3	1	2	B132	Media
291-FT2	Filtro de manga	Estático	3	1	2	B132	Media
291-FT3	Filtro de manga	Estático	3	1	2	B132	Media
291-FT4	Filtro de manga	Estático	3	1	2	B132	Media
291-FT5	Filtro de manga	Estático	3	1	2	B132	Media

Se ajustaron datos de los equipos a la distribución de probabilidad Weibull detectándose que los equipos más conflictivos son la trituradora y el secador.

Paso 4: Cálculo de los indicadores de confiabilidad

A continuación, se realizó el análisis de los indicadores de confiabilidad a partir del histórico de fallos de los equipos en los años 2010 y 2011 (figura 2), se determinaron los equipos con mayor frecuencia de fallas en el área, se calcularon los indicadores tiempo medio entre fallas (TMEF), tiempo promedio fuera de servicio (TPFS) y disponibilidad (tabla 2).

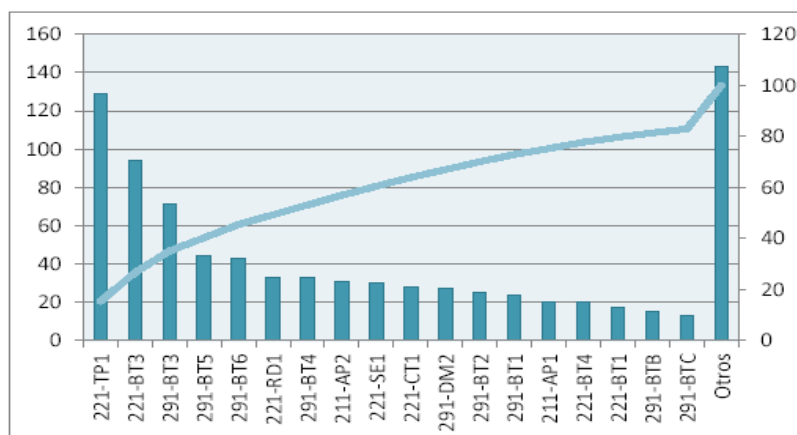


Figura 2: Frecuencia de fallas por equipos en el área de Materias Primas, durante los años 2010 y 2011

Tabla 2: Resumen de los Indicadores de confiabilidad calculados en el área de Materias Primas

Nombre	Equipo	Fallas	TMEF	TPFS	Disponibilidad
Transportador de placas	221-TP1	129	194,9	3,35	60,30
Banda	221-BT3	94	241,7	0,97	99,60
Banda	291-BT3	71	217,2	1,41	99,35
Banda	291-BT5	44	68,3	7,13	89,56
Banda	291-BT6	43	50,2	1,23	97,56
Rascador de desecho	221-RD1	33	601,0	0,76	99,87
Banda	291-BT4	33	673,3	3,85	99,43
Trituradora	211-AP2	31	561,5	4,02	99,28
Secador	221-SE1	30	1 037,7	5,61	99,46
Criba	221-CT1	28	96,0	3,26	96,60
Válvula de cambio	291-DM2	27	43,1	0,57	98,68
Banda	291-BT2	25	75,0	1,27	98,31
Banda	291-BT1	24	286,1	2,63	99,08
Otros		143			
Totales		840			

Proceso: Materias Primas, Área: Materias Primas

Del análisis anterior se concluye que los equipos que presentan menor tiempo medio entre fallos son 291-DM2, 291-BT6, 291-BT5, 291-BT1, los que presentan mayor

tiempo para reparar fallas son 291-BT5, 221-SE1, 211-AP2, 291-BT4 y los que presentan menor disponibilidad son 221-TP1, 291-BT5, 221-CT1.

De forma general, en el área de Materia Prima los equipos que presentaron problemas en cuanto a fallas y confiabilidad son: el Transportador de placas 221-TP1, las bandas transportadoras 221-BT3, 291-BT3, 291-BT5, 291-BT6, 291-BT4, 291-BT2, 291-BT1, 221-BT1, el rascador de desecho 221-RD1, la Trituradora 211-AP2, el Secador 221-SE1 y la Criba 221-CT1.

Planificación y organización del análisis para la elaboración del Árbol de Fallas

En la actualidad, en la empresa no se cuenta con un sistema de control operacional donde se establezca los tipos y frecuencia de revisiones por parte de los operadores de campo, así como de los parámetros fundamentales de la instalación que puedan identificar sucesos iniciadores de averías ni desviaciones del régimen tecnológico.

Desarrollo del árbol

Prefijado el “fallo que se pretende evitar” en el sistema tecnológico, se fue descendiendo, escalón a escalón, a través de los sucesos inmediatos o sucesos intermedios hasta alcanzar los sucesos básicos que generan las situaciones que, relacionadas entre sí, contribuyen a la aparición del “fallo del subsistema”.

Información de referencia

Se analizó la documentación técnica de la instalación, así como las instrucciones de operación y/o procedimientos de trabajo.

De la documentación de la instalación fueron analizadas:

- Diagramas del proceso e instrumentación (*Flowsheets*) con datos completos sobre los diversos componentes de la instalación (tuberías, válvulas, equipos, elementos de seguridad), sus características, sus condiciones de trabajo y sus limitaciones.
- Características y peligrosidad de las materias primas utilizadas.
- Plano de emplazamiento de la instalación.
- Características y disponibilidad de los servicios (CO₂, aire, electricidad, combustibles).
- Descripción de los sistemas de seguridad.

Fallos de componentes

- Diseño inapropiado frente a: corrosión del medio y temperatura.
- Fallos de elementos tales como motores, compresores, ventiladores, bandas.
- Fallos de sistemas de control (sensores de presión y temperaturas, analizadores de gases, controladores de nivel, reguladores de flujos y unidades de control computarizadas).
- Fallos de sistemas específicos de seguridad (válvulas de seguridad, sistemas de alivio de presiones, sistemas de neutralización y avisadores).
- Fallos de juntas y conexiones.

Desviaciones en las condiciones normales de operación

Alteraciones incontroladas de los parámetros fundamentales del proceso (presión, temperatura, flujo, parámetros de las materias primas).

Fallos en los servicios, tales como:

- Insuficiente enfriamiento.
- Corte del suministro eléctrico.
- Suministro de CO₂.
- Aire comprimido.
- Desempolvado.
- Fallos en los procedimientos de parada o puesta en marcha.
- Errores humanos y de organización.
- Errores de operación.
- Desconexión de sistemas de seguridad a causa de frecuentes falsas alarmas.
- Errores de comunicación.
- Incorrecta reparación o trabajo de mantenimiento.
- Realización de trabajos no autorizados (soldadura, entrada en espacios confinados).

Estos errores suelen suceder por alguno de los siguientes motivos:

1. No conocer suficientemente el peso de sus operaciones en el desempeño del sistema.
2. Insuficiente formación y adiestramiento en el trabajo.
3. Carga psíquica excesiva de los empleados.

Elaboración del árbol de fallos

En el análisis de fiabilidad de Materias Primas, el paso previo a la elaboración del árbol es la identificación del suceso no deseado y su probabilidad de ocurrencia. Esta etapa previa fue realizada por medio de un análisis histórico de accidentes en las instalaciones, aportando experiencias similares. El árbol queda conformado como ilustra la figura 3.

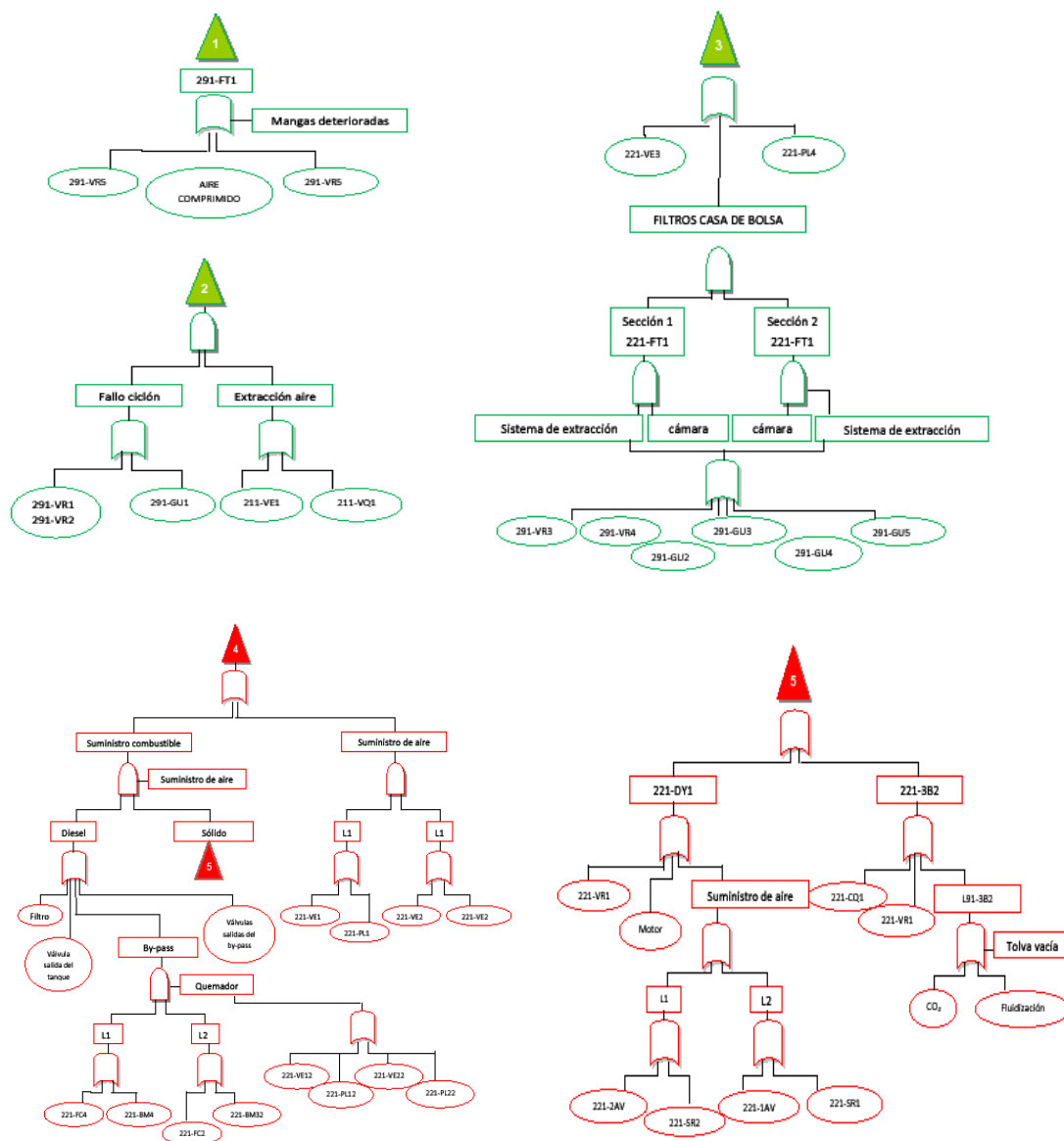


Figura 3: Árboles de fallos asociados a la instalación de Materias Primas.

Fuente: Elaboración del autor

La identificación de los equipos y modos de fallos que tienen un mayor impacto en la disponibilidad de la instalación de Materias Primas es lo que constituye un análisis de importancia del sistema. Este análisis permitió centrar la atención en aquellos equipos

que han propiciado los sucesos básicos más importantes, a la vez que marcó las pautas a seguir para adoptar las medidas preventivas más eficaces que, obviamente, serán sobre aquellos equipos que muestren medidas de importancia más significativas.

La importancia de los sucesos básicos fue calculada a través de diferentes medidas existentes, que realizan el análisis desde diferentes puntos de vista. En este documento se han considerado tres de las medidas más utilizadas.

- a) **Medida de importancia 1:** proporciona la degradación del sistema en caso de ocurrir el suceso básico. La ordenación obtenida está basada en la disposición estructural de los sucesos básicos en el árbol de fallos, sin tener en cuenta explícitamente los valores reales de las indisponibilidades de los sucesos.
- b) **Medida de importancia 2:** esta medida proporciona los sucesos básicos que más contribuyen al riesgo. Identifica aquellos sucesos básicos que si fueran perfectamente fiables, con indisponibilidad nula, conducirían a una reducción más importante en la indisponibilidad del sistema.
- c) **Medida de importancia 3:** en esta medida influye tanto la indisponibilidad del componente como su posición estructural en el árbol de fallos.

En el caso práctico, los resultados obtenidos para las tres medidas de importancia muestran los siguientes resultados.

- a. **Medida 1:** esta medida revela la importancia de asegurar las señales de control e indicaciones de parámetros locales, así como el suministro eléctrico, con revisiones horarias del personal de campo.
- b. **Medidas 2 y 3:** estas medidas necesitan señales de control permanentes pero las revisiones pueden ser periódicas.

Finalmente, se confeccionó los árboles de fallos asociados a la instalación de Materias primas. Los resultados fueron utilizados en la confección de las listas de chequeo para el personal de operación de las instalaciones.

Estas listas de chequeo contienen la frecuencia, los puntos, así como los parámetros operacionales identificadores de los sucesos iniciadores de eventos operacionales no favorables, que pueden ser utilizados en los análisis de mejoras.

La implementación del procedimiento propuesto permitió a la cementera poseer un procedimiento para mejorar la disponibilidad técnica. En la aplicación realizada al proceso de materias primas se pudo apreciar mejoras en la disponibilidad técnica, traducidos a menor números de fallos y por tanto la elevación de la eficiencia del proceso.

Conclusiones

- 1. El empleo de los árboles de fallos en los análisis operacionales de las instalaciones tecnológicas de “Cementos Cienfuegos S.A.”, constituyen una herramienta para la identificación de eventos iniciadores de averías y equipamiento comprometido en su desarrollo para, de esta forma, confeccionar las listas de chequeo para las inspecciones durante la operación del personal del turno.*
- 2. El empleo de las listas de chequeo facilitan el trabajo del personal del turno por cuanto optimizan los tiempos de inspección del equipamiento, centrando la atención en aquellos puntos con mayor probabilidad de fallos que puedan indisponer la instalación.*
- 3. Esta instalación, aunque tienen un alto nivel de automatización, requiere también la intervención humana, tanto en operaciones normales (vigilancia de procesos) como ocasionales, por alteraciones en las condiciones de trabajo que precisan de actuaciones correctas y rápidas para evitar su criticidad. Por ello, en este tipo de instalación. para asegurar un comportamiento correcto y minimizar errores, exige la selección del personal adecuado y el perfecto conocimiento y adiestramiento sobre los procedimientos de trabajo tanto en circunstancias normales como en desviaciones de regímenes operacionales.*

Referencias bibliográficas

1. Contini, S., & Matuzas, V. (2012). Coupling decomposition and truncation for the analysis of complex fault trees. *Journal of Risk and Reliability*, 226(3), 249-261.
2. Dunnett, S., & Andrews, J. (2004). Analysis methods for fault trees that contain secondary failures. *Journal of Process Mechanical Engineering*, 218(2), 93-102.
3. Hurdle, E., Bartlett, L. M., & Andrews, J. D. (2007). System fault diagnostics using fault tree analysis. *Journal of Risk and Reliability*, 221(1), 43-55.

4. Li, S., Si, S., Xing, L., & Sun, S. (2014). Integrated importance of multi-state fault tree based on multi-state multi-valued decision diagram. *Journal of Risk and Reliability*, 228(2), 200-208.
5. Majdara, & Wakabayashi. (2010). Automated fault tree construction for a sample chemical plant. *Journal of Risk and Reliability*, 224(3), 207-216.
6. Matuzas, V., & Contini, S. (2012). On the efficiency of functional decomposition in fault tree analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 226(6), 635-645.
7. Nusbaumer, & Rauzy. (2013). Fault tree linking versus event tree linking approaches: a reasoned comparison. *Journal of Risk and Reliability*, 227(3), 315-326.
8. Pérez, C. M. (2012). *Procedimiento para la mejora de la confiabilidad operacional. Caso de estudio: Cementos Cienfuegos S.A.* Tesis de maestría en Ingeniería Industrial, Universidad de Cienfuegos.
9. Shneiderman, Dunne, C., Sharma, P., & Wang, P. (2012). Innovation trajectories for information visualizations: Comparing treemaps, cone trees, and hyperbolic trees. *Information Visualization*, 11(2), 87-105.
10. Zheng Liu, Yan-Feng, Li-Ping He, & Hong-Zhong Huang. (2014). Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. *Journal of Risk and Reliability*, 228(4), 371-381.