

Modelo para detección y simulación de fallas bajo la gestión de mantenimiento y proyectos

Model for detection and simulation of failures under the approach of maintenance and project management

Javier Augusto Barros Leal^{1*}
Julio César Martínez Espinosa²

¹Colombiano, MsC. Universidad Internacional Iberoamericana. *Autor de correspondencia.
e-mail: jaubale07@hotmail.com.

²Mexicano, PhD. Universidad Internacional Iberoamericana.
e-mail: julio.martinez@unini.edu.mx.

Recibido: 06-02-2018 Aceptado: 20-02-2018

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un modelo basado en un dispositivo que contiene elementos de control digital e integra un sistema automático de detección y diagnóstico de fallas que puede ser usado como herramienta para la orientación de los operarios durante la presencia de una falla potencial. Este sistema se fundamenta en el control digital bajo la implementación de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) y un software aplicativo programable. Con la realización de este estudio se hace un aporte al desarrollo del mantenimiento productivo total y su alcance va dirigido a contribuir significativamente en el mantenimiento autónomo.

Palabras clave: Mantenimiento autónomo; detección de fallas; simulación; DAQ.

Abstract

This report presents the design and implementation of a model based on a device that contains digital control elements and integrates an automatic system detection and failure system diagnosis that can be used as a guidance tool for operators during the presence of a potential failure. It is based on digital control on the implementation of a data acquisition card (DAQ) and a programmable software application, with the realization of this study it done contribution to the development of Total Productive Maintenance and scope is made, intended to contribute significantly in the Autonomous Maintenance.

Keywords: Autonomous maintenance; fail detection; simulation; DAQ.

Introducción

Una falla es una interrupción temporal o definitiva del sistema, que genera una perturbación dentro del desarrollo de un procedimiento o proceso industrial, (Vallejo 2016). El impacto generado por estos eventos, depende de su frecuencia de aparición y al tiempo de respuesta a su solución, un programa de mantenimiento bien definido y aplicado a un sistema productivo, puede disminuir el riesgo de falla (Montenegro, Velásquez y Pérez, 2016). Las perturbaciones que sufren los procesos desde los momentos previos a un evento de falla, provocan variaciones en los valores nominales de sus variables hasta el punto de ocasionar desde una falla menor hasta una suspensión de las actividades de la planta (conocido como parada de planta).

Cómo citar: Barros Leal, J. A., Martínez Espinosa, J. C. (2018). Modelo para detección y simulación de fallas bajo la gestión de mantenimiento y proyectos. *Informador Técnico*, 82(1), 11-25. doi: <http://doi.org/10.23850/22565035.1366>

Ante esta circunstancia, surgen una serie de interrogantes dentro de la gran mayoría de los sistemas productivos a saber: ¿De qué forma se pueden disminuir los tiempos de parada y otros costos de mantenimiento?, ¿Cómo se podría aumentar la disponibilidad de los sistemas?, ¿De qué manera se puede capacitar al personal operativo sin comprometer la producción, elevar los costos de mantenimiento y poner en riesgos los equipos? . En todos los casos, se requiere de procedimientos que guíen las actividades a realizar y personal capacitado para su ejecución, dándose la acción conjunta de operarios y personal de mantenimiento, inspirada por el mantenimiento autónomo. La idea del mantenimiento autónomo es que cada operario sepa diagnosticar y prevenir las fallas eventuales de su equipo y de este modo prolongar la vida útil del mismo (Aguilar, 2013).

En este estudio se implementa un modelo para detección y simulación de fallas en sistemas productivos bajo el enfoque de la gestión de mantenimiento y proyectos, el cual permitirá capacitar al personal operativo y mejorar el desempeño del personal de mantenimiento bajo la figura de simulación de las fallas sin poner en riesgo la integridad del equipo y sin generar costos de mantenimiento. Además, propone una solución al inconveniente donde los tiempos fuera de servicio son grandes, debido a la demora para intervenir los equipos por razones diferentes a las técnicas.

El modelo consta de siete etapas (Ver Figura 1) desarrolladas de manera secuencial, las cuales se ejecutan en dos fases; una fase metodológica y una fase aplicativa. En la fase metodológica, se incluye la elaboración de un diagnóstico del estado actual del sistema productivo relacionado con el factor mantenimiento, la jerarquización e identificación de los equipos considerados críticos y la determinación de los modos de fallas en esos componentes.



Figura 1. Etapas del modelo

Fuente: Los autores

En la fase aplicativa se realiza el diseño de un prototipo compuesto de una tarjeta interfaz que opera en conjunto con un software aplicativo, que se usa para orientar a los operarios en la atención inicial de una falla, evitando así que ésta se prolongue y por ende, minimizar los efectos producidos por los eventos de falla inesperados que se presenten dentro de los procesos productivos que se llevan en las empresas de manufactura.

El modelo está dirigido a aquellos sistemas productivos que se ubican en lugares alejados y de difícil acceso que tienen problemas para solucionar fallas en sus equipos, donde se puede tomar muchas horas o incluso días para dar inicio a la atención de una falla. Este es el caso de la zona fronteriza colombo-venezolana, marco contextual donde se desarrolló ésta investigación, donde existen muchos inconvenientes para trasladarse de un lado al otro del eje fronterizo, lo que dificulta enormemente la solución de una anomalía presentada en uno de aquellos sistemas productivos que se ubican allí.

A pesar de que existen varios estudios característicos de la región, no se tienen antecedentes de estudios relacionados con el tema de las fallas en los sistemas productivos, considerando las situaciones coyunturales del intercambio comercial un elemento que dificulta llegar a ello, debido al alto nivel de informalidad existente.

El modelo se implementó en la empresa perteneciente a la industria del plástico de la zona fronteriza colombo-venezolana, en donde los problemas propios del intercambio comercial impiden la atención oportuna de las anomalías con personal externo, obligando a que el personal operativo se capacite en la solución y tratamiento de fallas de los equipos, para disminuir los costos de producción.

Materiales y Métodos

Etapa I. Diagnóstico inicial

Se identifican factores inherentes a las funciones desarrolladas dentro de un sistema productivo por parte del personal de producción y de mantenimiento, relacionadas con tiempos fuera de servicio, eventos de fallas, gestión del mantenimiento, detección de fallas, entre otros.

Para obtener información se aplicaron encuestas y entrevistas personalizadas; así mismo, los registros de bitácoras contribuyen en gran parte a la recolección de la información.

En la caracterización de la función mantenimiento en los sistemas productivos de la zona fronteriza colombo-venezolana, participaron alrededor de 20 empresas, que se clasificaron según su actividad como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los sistemas productivos participantes en el diagnóstico.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
1. Actividad principal del sistema productivo	
a. Bienes y servicio	5
b. Salud	1
c. Industria cerámica	1
d. Electrificadora	2
e. Cementera	1
f. Plástico	6
g. Imprenta	1
h. Metalmecánica	3
2. Programas de mantenimiento en ejecución	
a. Ninguno	12
b. Alguno o parcial	5
c. Total o avanzado	3
3. Ejecución de actividades de mantenimiento	
a. Solo correctivo	12
b. Preventivo/correctivo	7
c. Otro (predictivo/proactivo)	1
4. Registros de eventos/fallas e información relevante	
a. No existe/no llevan	13
b. Posee alguna información	5
c. Posee información	2

Fuente: Los autores

La aplicación de un instrumento constituido por 22 preguntas con cuatro opciones de respuesta (Siempre, Casi siempre, A veces y Nula), fue aplicado a 121 personas integrantes de las áreas de operación y mantenimiento de empresas ubicadas en el marco contextual, como componente multidisciplinario de la población y en complemento a la cantidad de la muestra requerida.

La encuesta diseñada permitió evaluar cuatro variables de estudio definidas para orientar la investigación hacia la fase de simulación y que hacen relación con la gestión de mantenimiento, detección de fallas, simulación y gestión de proyectos.

Etapa II y III. Definición de criterios y selección del método de criticidad

El Análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basada en la realidad actual (Moubray, 2004; Riveros y Rosas, 2009). Para conocer el impacto que generan las fallas en los equipos se evalúan criterios operativos, técnicos, ambientales y otros. Adicionalmente, se utilizó un método cuantitativo para determinar el grado de criticidad que posee cada componente.

El análisis de varios métodos existentes y utilizados en investigaciones (Del Castillo, Brito-Ballina, y Fraga, 2009; Riveros y Rosas, 2009), facilitó la selección de uno de ellos que se asemejó a las condiciones de operación y del entorno donde se ubica el sistema productivo a estudiar.

Para la implementación de esta etapa del modelo, se utilizó el método expuesto por Huerta (2005), en razón a que este autor asume criterios que tienen concordancia con el contexto aplicativo donde se efectuó la investigación. Los criterios a evaluar, corresponden a: tiempos fuera de servicio, económico, tasa de fallas, seguridad, ambiente, tiempo de reparación, producción, costos de operación y mantenimiento.

Etapa IV y V. Análisis de criticidad y determinación de lista jerarquizada

El análisis de criticidad permite identificar y jerarquizar aquellos equipos dentro de una planta, con el propósito de establecer prioridades en la planificación del uso de los recursos y las acciones de mantenimiento asociadas a ellos (Díaz, Pérez, del Castillo y Brito 2012; Montes, 2013; Espinosa, Salinas y Leiva, 2010).

Su determinación corresponde a la ecuación 1.

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia de fallas} \times \text{Consecuencia de fallas} (1)$$

Donde:

$$\text{Consecuencia} = a + b$$

Donde:

a = costo reparación + impacto seguridad personal + impacto ambiental + impacto satisfacción cliente

b = impacto en la producción $\times$ Tiempo promedio para reparar MTTR

Los factores que hacen parte de la ecuación corresponden a:

Frecuencia de fallas: Número de veces que se repite un evento o falla dentro de un período de tiempo.

Impacto operacional: Efectos causados por las fallas en la producción.

Tiempo promedio para reparar: Posibilidad de efectuar cambio, reparaciones de forma rápida para continuar con la producción sin incurrir en pérdidas considerables de tiempo.

Costo del mantenimiento: Costos inherentes al factor mantenimiento, no incluye los costos de producción experimentados por la falla.

Impacto de seguridad: Consecuencias potenciales de las fallas sobre la salud y seguridad de las personas.

Impacto medio ambiente: Consecuencias potenciales de las fallas sobre el medio ambiente.

Impacto satisfacción del cliente: Entendida como los efectos que producen las fallas por pérdidas económicas en las demás áreas de la empresa y que ocasiona inconformidades a terceros.

Los equipos a tener en cuenta para las etapas siguientes al análisis de criticidad, corresponden a los que resulten clasificados como de alta y muy alta criticidad.

En relación con los valores de criticidad, se definen rangos de acuerdo con los niveles de frecuencia, en correspondencia con los valores promedios de los factores de consecuencia, expresados en la ecuación de criticidad.

En la Tabla 2 se muestran los valores definidos para la implementación del presente modelo.

Tabla 2. Niveles de frecuencia y consecuencia en ecuación de criticidad.

Nivel de frecuencia	Rango de consecuencia	Valor criticidad
1	Menor a 30	Baja criticidad
2	Entre 30 y 50	Baja criticidad
3	Entre 50 y 70	Media criticidad
4	Entre 70 y 90	Alta criticidad
5	Mayores de 90	Muy alta criticidad

Fuente: Los autores

La lista jerarquizada se determina de acuerdo con los niveles establecidos en la matriz de criticidad definida para los equipos, la cual se muestra en la Figura 2.

FRECUENCIA	5	BC	MC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
	4	BC	BC	MC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
	3	BC	BC	MC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
	2	BC	BC	BC	MC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
	1	BC	BC	BC	BC	BC	BC	MC	MC	AC	AC
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		CONSECUENCIA									

Figura 2. Matriz de criticidad definida.

Fuente: Los autores

Los equipos a analizar mediante el método de criticidad se clasificaron en cuatro áreas teniendo en cuenta su ubicación en el proceso de producción de la empresa e identificando un total de 61 componentes que se relacionan en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación de equipos para el análisis de criticidad.

UBICACIÓN	EQUIPO	CANTIDAD
Área de compresores	Unidad de aire comprimido	2
Área de mezclado	Mezcladoras industriales	2
Área de mezclado	Mezcladoras semi industriales	1
Área de extrusión	Máquinas de inyección bolsas	6
Área de extrusión	Máquinas de inyección potes	3
Área de extrusión	Máquinas de inyección vasos	3
Área de extrusión	Máquinas de extrusión	6
Área de empaque	Máquinas amarradoras	3
Área de empaque	Máquinas de corte	3
Área de empaque	Máquinas de empaque	3
Área de empaque	Máquinas de encolado	2
Área de empaque	Máquinas de sellado	6
Área de peletizado	Máquinas peletizadoras	2
Área de control y mando	Banco de transformadores	2
Área de control y mando	Subestación eléctrica	1
Área de control y mando	Tableros de control principal	4
Área de control y mando	Tableros de control secundario	12

Fuente: Los autores

La información requerida para los criterios definidos correspondió a registros obtenidos durante un periodo de cuatro meses, considerando las fallas y tiempos fuera de servicio.

Jerarquización. Los resultados finales de la criticidad de los equipos, conlleva a estructurar la lista jerarquizada del sistema productivo. Esto permitió conocer los componentes que requieren más atención y a los que se deben disponer y dirigir los mayores esfuerzos y recursos dentro de la cadena productiva de la organización.

Impacto de las fallas. Se cuantifican los tiempos fuera de servicio de los equipos críticos que se originan por los respectivos modos de falla o “Eventos”. Estos tiempos permitirán calcular las pérdidas reflejada de los equipos en cuanto a su capacidad de producción. Se recomienda establecer un tiempo de referencia entre tres a seis meses como mínimo para hacer la evaluación del impacto generado por las fallas.

Etapa VI. Análisis de modos y efecto de las fallas (AMEF)

Se identifican, analizan y evalúan las fallas potenciales de los equipos que resultan críticos, dándoles prioridad y una atención apropiada, según el impacto que se considere que puedan generar. Esta técnica orienta la elaboración de las consignas operativas y protocolos de atención de las fallas para su incorporación a la base de datos de la etapa de simulación proyectada.

Inicialmente se debe identificar las funciones, parámetros de funcionamiento, fallas funcionales y efectos generados en los equipos seleccionados como críticos desde su contexto operacional.

Los datos de las características operativas de los equipos a analizar y lo referente a eventos, fallas y demás datos necesarios, se tomarán de las especificaciones de placa, bitácoras, manuales de los fabricantes, catálogos técnicos e igualmente información entregada por el personal de la empresa.

Etapa VII. Etapa de simulación

Se incorporan las consignas operativas que se establezcan a partir de la fase anterior, a la base de datos del software aplicativo que interactúa con la interfaz física diseñada como complemento del proyecto.

Implementación del software y prototipo. Esta etapa, involucra cuatro elementos: planteamiento lógico-secuencial y selección de elementos, el diseño de la interface lógica-analógica, desarrollo de la herramienta computacional y elaboración de pruebas de los sistemas conjuntos.

Planteamiento Lógico-secuencial y selección de elementos. Se tuvo en cuenta el acoplamiento de señales al sistema proyectado en forma discreta (señales de 0 o 5 V de corriente continua), número de variables que intervienen en los procesos, protocolos de operación, elaboración de consignas operativas, simplificación de funciones y determinación de componentes. Los parámetros manejados en las distintas etapas del sistema, corresponden a señales de voltajes entre 1,5 y 5,5 voltios de corriente continua y señales de corriente entre 4 y 20 miliamperios de corriente continua.

Los componentes electrónicos que integran los circuitos de control de las variables del sistema, son de tecnología de lógica transistor-transistor o TTL (por sus siglas en inglés) alimentados a través de una fuente de 5,5 V en corriente continua a una capacidad de corriente de 2 amperios. El manejo de las señales en la etapa de entrada del simulador, corresponde a señales discretas que operan entre 1,2 y 5,5 V en corriente continua.

Diseño de la interface lógica- analógica. La interfaz diseñada para el manejo de datos de entrada/salida, se basa en una tarjeta para adquisición de datos bajo el sistema RaspBerry Pi 3 modelo B o computador de placa simple SBC (Single Base Computer en inglés) de bajo costo. Se incorporan dos circuitos: el módulo de entrada (señales análogas y discretas) y el módulo de salida. Interconectados a través de buses de datos de 8 Bits, con circuito integrado Buffer 8 line drivers de tecnología TTL referenciado como DM74LS244.

En la función detección, se manejan doce señales análogo-digital provenientes de elementos sensores de los equipos instalados en los procesos. Para la función de simulación de las fallas, se dispone de 12 conmutadores lógicos, una señal variable de voltaje y un circuito de control de nivel, cuya activación se asemeja a la enviada por los sensores acoplados a los equipos (Ver Figura 3).

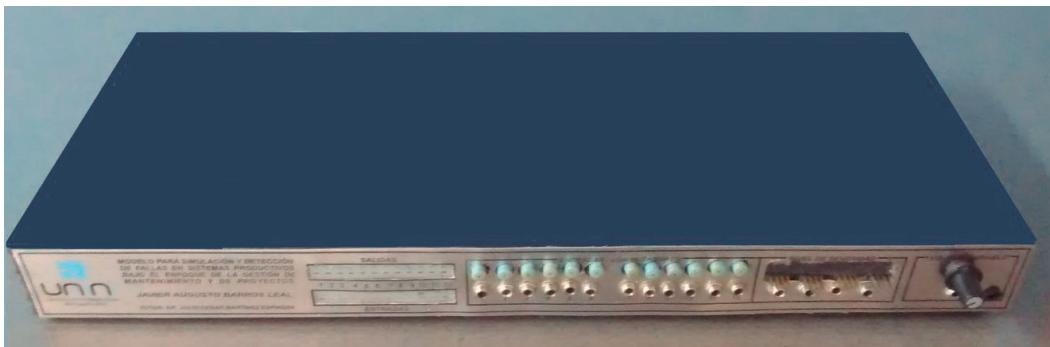


Figura 3. Dispositivo Interfaz del modelo
Fuente: Los autores

Determinación y desarrollo de la herramienta computacional. La aplicación usada para el procesamiento de los datos, señales y manejo de la información, se desarrolló con base en el sistema operativo *Raspbian* versión 4.1.

El programa aplicativo está en capacidad de ser programado para configurar una cantidad de procesos diferentes, limitados por la capacidad de memoria existente para la base de datos. Cada proceso maneja un gran número de tipos de fallas diferentes por equipo; con sus respectivos modos, causas y las acciones que debe efectuar el operario durante el tratamiento de una anomalía.

La destreza en la operación del software como función simulador, servirá para capacitar al personal en un menor tiempo sin poner en riesgos los equipos, lograr óptimos resultados en la solución de fallas de los mismos y su entendimiento traerá avances en el mantenimiento autónomo. En la Figura 4 se muestra la ventana inicial diseñada en el software aplicativo que hace parte del modelo propuesto.

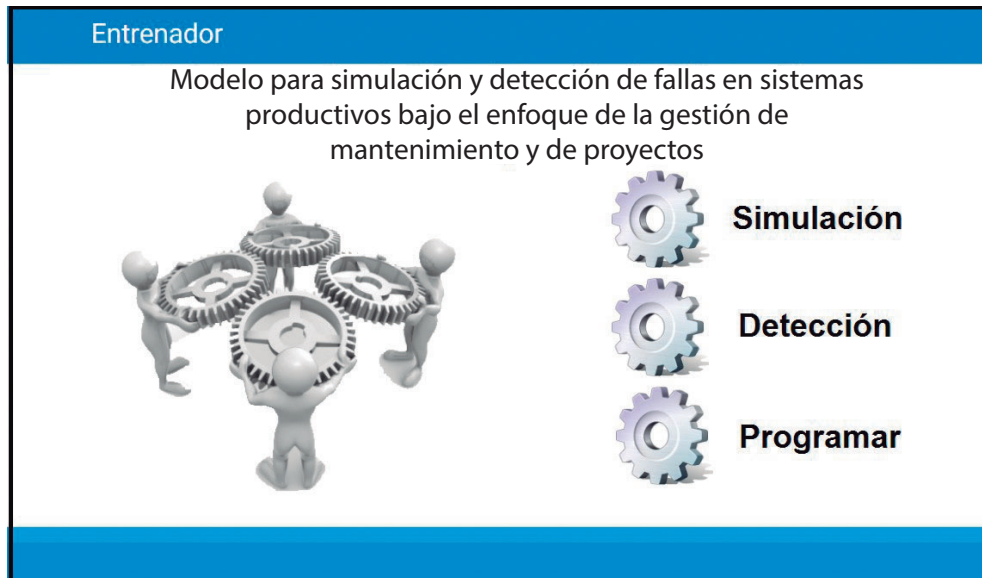


Figura 4. Pantalla del software aplicativo
Fuente: Los autores

Elaboración de pruebas de los sistemas conjuntos. Desarrollados los sistemas en forma independiente, se elaboraron las tablas correspondientes al tratamiento de las fallas que se incorporarán en la base de datos del software aplicativo. Para llegar a esto, se tuvo en cuenta los resultados del diagnóstico y el análisis de modos y efectos de las fallas, cuya información genera un procedimiento para la atención de las mismas.

Los procedimientos se codifican en forma binaria para intercambiar información con los dispositivos externos de la interfaz, y así llevar a cabo la simulación de fallas.

Simulación, implementación del modelo definitivo. Se analizaron las variables operativas del proceso, para establecer los datos que se obtienen bajo condiciones de fallas y para determinar las tablas equivalentes a las mismas, para finalmente llevar a cabo la implementación del modelo planteado como objeto de la investigación.

Una característica importante y novedosa del proyecto en lo que respecta a la interface, es que puede ser accedido desde cualquier punto y lugar, a través de la plataforma de internet si se instala dentro de una red de computadores. Esto con el fin de hacer monitoreo y control en modo remoto.

Se desarrolló la aplicación web “Entrenador” (Barros, 2017), como una versión libre del software que hace parte del modelo y que solo funciona en modo simulación (cuando no se disponga de la interfaz), para ser utilizado por aquellos sistemas productivos interesados en emplear esta herramienta en la capacitación del personal de sus empresas, en solución y atención de fallas según las condiciones de sus procesos. Así mismo, se ha dispuesto dentro de esa aplicación un enlace a un sitio web, donde se puede descargar la versión completa del software aplicativo como parte estructural del aporte científico del proyecto y que va dirigido a todos aquellos sistemas productivos que deseen implementar el modelo en su versión completa.

Resultados

Etaa 1. Diagnóstico inicial. La Figura 5 presenta los resultados de los aspectos que caracterizan la gestión del mantenimiento en los sistemas productivos evaluados.

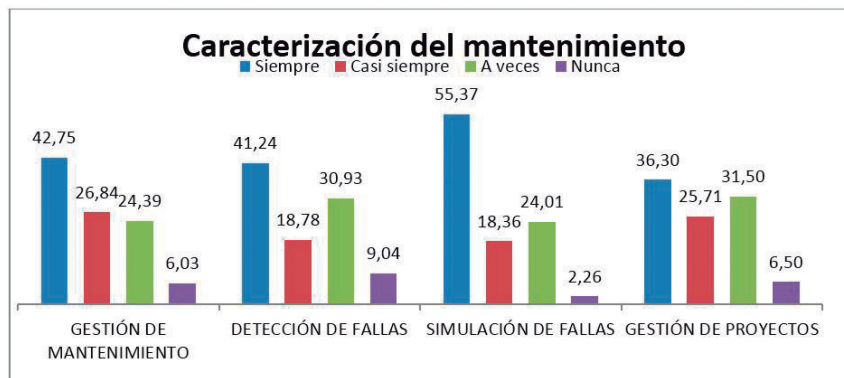


Figura 5. Resultados variables gestión de mantenimiento

Fuente: Los autores

Los resultados presentados, identifican que en un 69,59 % de los casos, se realiza una moderada gestión en las acciones de mantenimiento (siempre 42,75 % y casi siempre 26,84 %) predominando el uso de recursos, herramientas y elementos de trabajo y seguridad con una alta disposición de participación en programas de adiestramiento y trabajo en equipo.

Para la variable detección de fallas, en un 60,02 % de los casos (siempre 41,24 % y casi siempre 18,78 %), interviene el manejo de parámetros de variables características en los procesos, aunque en la mayoría de los casos, se controlan rangos permisibles de manera empírica por el poco nivel técnico en el control de los mismos, lo que provoca la presencia de un gran número de eventos de falla.

El 73,73 % del personal encuestado (siempre 55,37 % y casi siempre 18,36 %), en la variable simulación coincide en la necesidad de seguir protocolos de operación para desarrollar los procesos, entender para qué sirve cada maniobra que se realiza a las etapas de los mismos; sin embargo en la mayoría de los sistemas productivos, no se tiene documentada la operación y mantenibilidad de los equipos.

En lo que respecta a la variable gestión de proyectos, el 52,01 % de los casos (siempre 36,30 % y casi siempre 25,71 %) manifiesta en sus respuestas que se realizan acciones propias que hacen parte del alcance, los recursos y el manejo del tiempo en las acciones de operación y mantenimiento (características propias de la gestión de proyectos), como resultado de la relación que tienen las actividades desarrolladas de manera individual ya sea por procesos o equipos, que pueden ser concebidas como microproyectos y que sumadas entre sí, puedan integrar un proceso global de gestión a un proyecto macro.

La caracterización de la función mantenimiento evidencia que existe un margen de mejora. Los porcentajes globales de las variables de estudio aunque son moderados, no son los más óptimos en el momento de la evaluación.

Validación de la muestra. En la determinación de fiabilidad de la medición e instrumento de la investigación, se aplicó el método del Alfa de Cronbach y se constató su resultado mediante el Software SPSS, cuyo valor se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Escala: Fiabilidad de los datos e instrumento

RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS			
		N	%
Casos	Válido	118	100,0
	Excluido*	0	0
Total		118	100,0
* La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento			
ESTADÍSTICAS DE FIABILIDAD			
Alfa de Cronbach		No. de elementos	
0,819		22	

Fuente: Los autores, con datos obtenidos de software SPSS (2017)

Se muestra una fiabilidad de los datos obtenidos al constatar el resultado con respecto a las recomendaciones siguientes para evaluar los coeficientes de alfa de Cronbach. Como criterio general se sugieren los siguientes valores: Coeficiente alfa >0,9 es excelente, >0,8 es Bueno, >0,7 es aceptable (George y Mallery, 2003; Frías-Navarro, 2011; Lamprea y Gómez, 2007).

En cuanto a la validez total se obtiene 0,9092 teniendo en cuenta tres aspectos fundamentales: validez del contenido del instrumento, validez de criterio y validez de constructo (Preguntas del cuestionario), en la sumatoria de los valores parciales de cada uno de ellos.

La variabilidad de los datos con respecto a las variables se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Variabilidad de los datos en relación con las variables de la investigación.

VARIABLE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	PROMEDIO	COEFICIENTE DE VARIABILIDAD
Gestión de mantenimiento	12,2 %	0,78	16 %
Detección de fallas	6,6 %	0,88	7 %
Simulación de fallas	12 %	0,67	18 %
Gestión de proyectos	9 %	0,93	9 %

Fuente: Los autores

Análisis de criticidad. La Tabla 6 presenta el resultado en la evaluación de la criticidad en los niveles de alta y media criticidad.

Tabla 6. Resultados del análisis obtenido en los niveles de alta y media criticidad

REALIZADO EN		Área de producción y mantenimiento
AÑO:		2017
NIVEL CRITICIDAD	UNIDAD / EQUIPO	CRITICIDAD
Alta	Unidad de aire comprimido	123
Alta	Máquinas extrusoras 1	119,4
Alta	Unidad de aire comprimido	96,8
Alta	Máquinas extrusoras 2	84
Alta	Máquinas peletizadoras	72,8
Media	Mezcladoras industriales	68,1
Media	Máquinas de inyección vasos	65,4
Media	Máquinas de inyección potes	65,4
Media	Máquinas de inyección bolsas	65,4

Fuente: Los autores

La selección de los equipos que harán parte del análisis de modos y efectos de falla, corresponden a aquellos que resultaron como de media y alta criticidad para lo cual se escogen la unidad de aire comprimido y las máquinas extrusoras.

Impacto de las fallas. En la Tabla 7 se aprecia la relación mensual de las pérdidas por capacidad de producción de las máquinas extrusoras analizadas y en la Tabla 8 se detalla el caso de la unidad compresora.

Tabla 7. Tiempos fuera de servicio en extrusoras debido a eventos de fallas

PERIODO / MESES (2016-2017)	TIEMPO FUERA DE SERVICIO (2 Equipos)	PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (60 Kg / hora)	CANTIDAD DE BOLSAS aproximado (65 Kg = 1000)
NOVIEMBRE	84,2	5,052	77,723
DICIEMBRE	62,4	3,744	57,600
ENERO	34,6	2,076	31,938
FEBRERO	48,6	2,916	44,862

Fuente: Los autores

Tabla 8. Tiempos fuera de servicio en unidad compresora debido a eventos de fallas

PERIODO / MESES Años 2016-2017	Tiempo fuera de servicio	Pérdida de producción extrusoras (60 Kg / hora) * 4 unidades	Pérdida de producción equipo elaborar potes (35 kg / hora)* 2 unidades	Pérdida de producción equipo elaborar bolsas (40 kg / hora) * 2 unidades	Pérdida de producción equipo elaborar vasos (30 kg / hora) *2 unidades	Pérdida total de producción (Kg)
NOVIEMBRE	28,3	6,792	1,981	2,264	1,698	12,763
DICIEMBRE	19,8	4,752	1,386	1,584	1,188	8,930
ENERO	8,6	2,064	602	688	516	3,879
FEBRERO	14,5	3,480	1,015	1,160	870	6,540

Fuente: Los autores

Los datos solo detallan las pérdidas por producción; no incluyen los costos de reparación, materia prima por reproceso, energía adicional y otros aspectos que multiplican los costos de producción y que no se visualiza a primera mano lo que una falla incide en la rentabilidad de los sistemas productivos.

Análisis de modos y efectos de fallas. La Figura 6 muestra el resultado del análisis de modos y efectos de falla durante el funcionamiento de la etapa simulación en modo de detección-simulación.

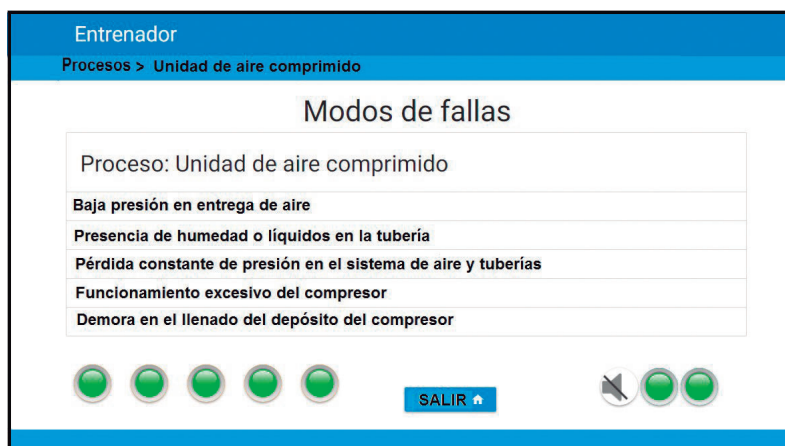


Figura 6. Modo de fallas en etapa de simulación

Fuente: Los autores

Avances en el mantenimiento autónomo. En la Tabla 9 se detallan los resultados de la reducción de fallas en los equipos que resultaron ser críticos, una vez se realizó la implementación del modelo en el sistema productivo estudiado.

Tabla 9. Valores de reducción de eventos de fallas en equipos críticos.

Tiempo/Equipo	Extrusoras		Unidad compresores	
Meses (2016-2017)	Tiempo fuera de servicio	Número de eventos	Tiempo fuera de servicio	Número de eventos
Noviembre	84,2	109	28,3	50
Diciembre	62,4	94	19,8	42
Enero	34,6	80	8,6	29
Febrero	48,6	90	14,5	36

Fuente: Los autores

Se hace notoria una reducción en la intervención a los equipos críticos y por lo tanto se da origen a una mejora en los costos por producción y en la rentabilidad del negocio del sistema productivo evaluado, a razón de necesitar menos los servicios de personal externo para prestar los servicios de mantenimiento a la empresa.

En ambos casos, se observa un valor pequeño en los tiempos fuera de servicio durante el intervalo de los meses de diciembre-enero, y un incremento de los mismos en el siguiente mes. Esto se debe a que en ese mes se laboró solo 18 días por efecto del periodo de vacaciones de año nuevo que la empresa no estuvo laborando.

El proceso de adaptación del personal operario en un mantenimiento autónomo, produce una disminución progresiva tanto en los tiempos fuera de servicio como en los eventos de falla en los equipos críticos. Esto da respuesta a la hipótesis inicial de la investigación, donde se planteaba que los avances en un mantenimiento autónomo mejoraban los tiempos fuera de servicio y los eventos de falla.

Las Figuras 7 y 8 permiten visualizar los resultados de reducción en los equipos críticos.

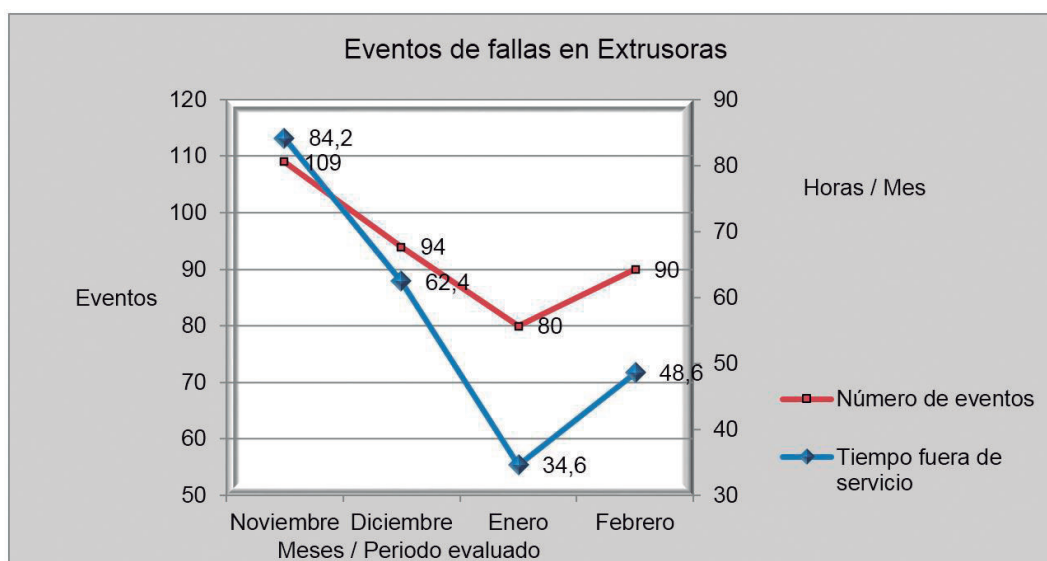


Figura 7. Resultados eventos de fallas en equipo extrusoras.

Fuente: Los autores

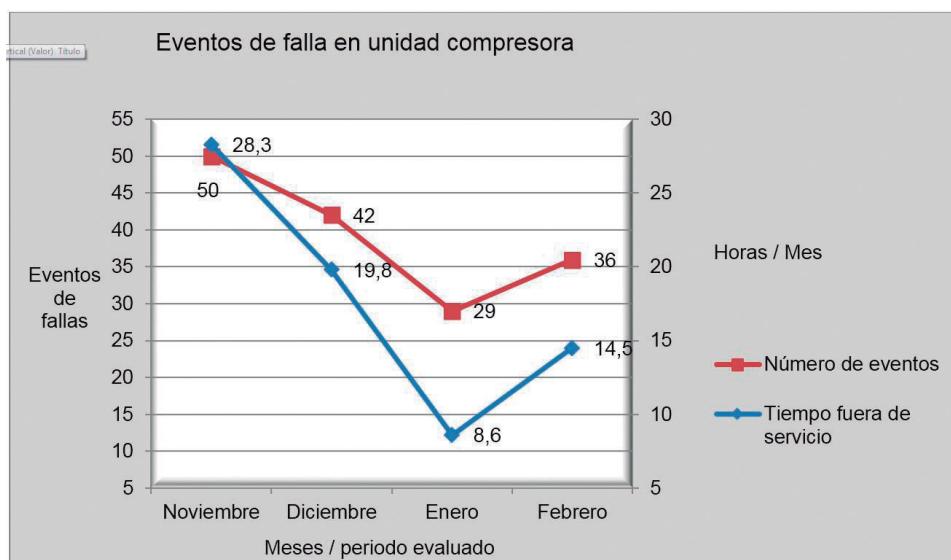


Figura 8. Resultados eventos de fallas en equipo extrusoras.
Fuente: Los autores

Conclusiones

Los procedimientos empleados para la determinación de los equipos críticos del sistema productivo bajo estudio, contribuyeron a detectar falencias en el proceso en cuanto a operación de los equipos en horarios donde se presentaban variaciones de voltajes, hecho que ocasionaba constantes bloqueos y traía como consecuencia pérdidas considerables de tiempo y gastos innecesarios que afectaban la rentabilidad de la empresa. Además, permitió proponer acciones correctivas para la obtención de mejores resultados en la producción.

Los resultados que se persiguen con la implementación del modelo en avances de un mantenimiento autónomo, establecen acciones que involucran una gestión con base en la calidad, el riesgo, los recursos, las comunicaciones y los costos entre otros, aspectos que parten de los elementos de la gestión de proyectos.

Se pudo mostrar a las personas integrantes de la empresa, cómo se asocian las fallas de los equipos con la rentabilidad del negocio, como parte del proceso de sensibilización hacia la confiabilidad operacional. En tal sentido, la necesidad de iniciar un programa de capacitación del personal en las etapas del proceso fue percibida con claridad, al igual que los beneficios asociados al mantenimiento autónomo.

La utilización de herramientas computacionales para la capacitación del personal y para el manejo de información incide positivamente en la gestión de mantenimiento, mejora la consulta y el manejo de los registros e información de los equipos por los usuarios. La información registrada permitió reducir los efectos de la rotación de personal y la pérdida de experiencia que esto provoca.

Este estudio es el punto de partida para desarrollar una cultura de mantenimiento en la empresa, dado que es necesario implantar actividades de distinta índole, tales como inspecciones, lubricaciones y acciones correctivas de pequeña índole, para garantizar un mejoramiento efectivo en los equipos de producción, prevenir o minimizar fallas, evitar reparaciones costosas y las pérdidas de producción por paradas no programadas.

La detección de aspectos secundarios que afectaban el funcionamiento de los equipos, y que no habían sido identificados, generó planes de mejora, programación de puesta en marcha de equipos que disminuyeron los tiempos de suspensión de la operación de la planta alrededor de un 45 %, ampliando la capacidad de producción de la planta, generando mayores oportunidades de trabajo al personal y aumentando la rentabilidad de la empresa objeto del estudio.

Referencias

- Aguilar, J. y Monasterio, L. (2013). *Propuesta de un plan de mejoras que permita reducir los tiempos de paradas no planificadas en la línea de envasado n° 10 en la empresa Cervecería Polar C.A., San Joaquín*. (Tesis de pregrado). Universidad José Antonio Páez, Fac. de ingeniería. San Diego, Venezuela. 115 pp. Recuperado de: <https://bibliovirtualujap.files.wordpress.com/2013/05/teg-aguiar-monasterio.pdf>
- Barros, J. A. (2017). Entrenador (Versión 1) "Software". Recuperado de: <http://jaubale07.pythonanywhere.com/>
- Del Castillo Serpa, A. M., Brito-Ballina, M. L. y Fraga Guerra, E. (2009). Análisis de criticidad personalizados. *Ingeniería Mecánica*. 12(3), 1-12. Recuperado de: <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/view/72/395>.
- Díaz, Pérez, del Castillo y Brito (2012). Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. *Ingeniería Mecánica*. 15(1), 34-43. ISSN 1815-5944. Recuperado de: <http://scielo.sld.cu/pdf/im/v15n1/im04112.pdf>
- Espinosa, F. F., Salinas, G. E., y Leiva, P. P. (2010). Jerarquización del reemplazo de equipos productivos de acuerdo a su nivel de cumplimiento de los objetivos de la empresa Inf. tecnol. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 22(4), 97-106. ISSN 0718-0764. Recuperado de: <https://scielo.conicyt.cl/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IisScript=iah/iah.xis&base=article%5Edlibrary&format=iso.pft&lang=e&nextAction=lnk&indexSearch=AU&exprSearch=SALINAS,+GONZALO+E>
- Frías-Navarro, D. (2011). Alfa de Cronbach y consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida. España, Universidad de Valencia. Recuperado de: www.uv.es/~friasnav/AlfaCronbach.pdf
- George, D. y Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*. 11.0 update. (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Huerta Mendoza, R. (2005). "El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional". *Club de Mantenimiento*. p 12. Recuperado de: http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf
- Lamprea, J.A., y Gómez Restrepo, C. (2007). Validez en la evaluación de escalas. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 36 (2), 340-348.
- Montenegro Martínez, S.R., Velásquez Meza, R. I., y Pérez Gutiérrez, J. M. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para el área de secado mecánico en Exportadora ATLANTIC SA, Beneficio seco de Condega en el II Semestre 2016*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. 148 pp. Recuperado de: <http://repositorio.unan.edu.ni/6868/1/17872.pdf>
- Montes, J. D. (2013). *Diseño de un plan de mantenimiento para la flota articulada de integra S.A. usando algunas herramientas del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)*. (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica de Pereira, Fac. Ingeniería Mecánica. Pereira, Colombia, 132pp.
- Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. ISBN 095 39603-2-3. Gran Bretaña: Aladon Ltda.
- Riveros, M. L. y Rosas, E. G (2009). *Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planta de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Río S.A.* (Tesis de maestría). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Recuperado de: <http://www.uptc.edu.co>.

Vallejo, C. (2016). *Diseñar un plan de mantenimiento a una rebobinadora de papel de la compañía Papeles Nacionales S.A. bajo los lineamientos de mantenimiento preventivo y predictivo*. (Tesis de pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Fac. Ingeniería Mecánica. Pereira, Colombia. 54 pp. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/7459>

Línea de atención al cliente:
(57 - 1) 472 2000 en Bogotá
01 8000 111 210 a nivel Nacional
.....
www.4-72.com.co

El servicio de **envíos**
de Colombia

