

Metodología innovadora: Reingeniería de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM-R®) para un ingenio azucarero en Santa Cruz

Nogales Núñez Nicol¹, Espinoza Guzmán Daniel²

Estudiante Sociedad Estudiantil Científica de Ingenieros Industriales de la Católica (SECIIC) – UCB SCZ¹

nicol.nogales@ucb.edu.bo

Docente Asesor – MCs. en Gestión de Mantenimiento²

despinoza@guabira.com

Resumen- Un inadecuado proceso de planificación de mantenimiento preventivo para la temporada de zafra en el área de extracción genera paros no programados de producción, además de costos de oportunidad como también costos por mantenimiento correctivo. Este artículo pretende mejorar la efectividad del proceso de planificación del mantenimiento, a través de metodología RCM-R para generar políticas de gestión de consecuencias en las áreas de extracción I y II de un ingenio azucarero. La metodología utilizada considera la integridad de datos, análisis de modos y efectos de fallas y análisis de criticidad (FMECA), análisis de indicadores de mantenimiento (RAM), análisis de confiabilidad mediante la distribución Weibull y diagramas de decisión para proporcionar un plan de mantenimiento. Mediante un diagnóstico general se encontraron falencias como análisis de criticidad desactualizado, falta de una estandarización de procedimientos para realizar el análisis de modos y efectos de fallas, falta de un análisis de confiabilidad, falta de una estandarización de procedimientos para realizar la planificación y la inexistencia de rutas de inspección visual y limpieza de los equipos.

Palabras Clave- Ingenio Azucarero, Mantenimiento, Planificación, RCM-R, Weibull.

Abstract – An inadequate preventive maintenance planning process for the harvest season in the extraction area generates unscheduled production stoppages, in addition to opportunity costs as well as corrective maintenance costs. The degree project aims to improve the effectiveness of the maintenance planning process, through RCM-R methodology to generate consequence management policies in the extraction areas I and II of a sugar mill. The methodology used considers data integrity, failure modes, and effects analysis and criticality analysis (FMECA), maintenance indicators analysis (RAM), reliability analysis through Weibull distribution, and decision diagrams to provide a maintenance plan. A general diagnosis revealed shortcomings such as outdated criticality analysis, lack of standardized procedures for failure modes and effects analysis, lack of reliability analysis, lack of standardized procedures for planning, and the absence of visual inspection routes and equipment cleaning.

Keywords- Sugar Mill, Maintenance, Planning, RCM-R, Weibull.

I. INTRODUCCIÓN

Recordemos que la evolución histórica del mantenimiento nos marca cuatro generaciones importantes.



ASBOMAN, en el año 2011 realizó un Benchmarking de indicadores de clase mundial, dicha investigación no tuvo éxito debido a que la mayoría de las empresas bolivianas se encuentran en la primera generación (es decir, la

aplicación del mantenimiento correctivo) y muy pocas en una 2° y 3° generación (es decir la aplicación del mantenimiento preventivo, predictivo o proactivo).

Sin duda alguna, la planificación es el proceso por el que se determinan los elementos necesarios para realizar una tarea con antelación a la hora de inicio del trabajo.

En el ingenio azucarero se distinguen dos periodos importantes, el primero es la interzafra que tiene una duración aproximada de 5 meses y se realiza el mantenimiento de tipo preventivo u “overhaul” que es la restauración de un equipo o una parte importante de un equipo a un estado aceptable debido a que se pretende llevar un activo a cero horas, dicho período se planifica con 3 meses de anticipación, donde gerencia de mantenimiento define las fechas de inicio y finalización de interzafra, dicha planificación se realiza con apoyo de nueve departamentos. El departamento de PCM (Planificación y Control de Mantenimiento) tiene el trabajo de apoyar en la planificación a la gerencia de mantenimiento y controlar el mantenimiento tipo predictivo, preventivo y en últimos casos correctivo para las épocas de zafra e interzafra. Para zafra, las áreas de mayor criticidad son extracción 1 y extracción 2, generación de vapor y fábrica de azúcar. Es decir, el funcionamiento de dichas áreas incide directamente en la continuidad de la producción. Si bien PCM realiza el diagnóstico de los síntomas detectados por disfunciones o averías en los equipos y también se genera un plan preventivo destinado para el periodo de zafra, existen paros no programados en la planta de las áreas críticas y en especial del área de extracción. Para el año 2020, se tuvieron 790,57 horas y 730,4 horas de paros de producción tanto en extracción I y extracción II, donde cada hora pérdida equivale a un monto de \$ 5000. Respectivamente, los costos de oportunidad por área abarcan \$ 3.952.850 y \$ 3.652.000 que inciden en la reducción de utilidades para la empresa.

Mediante observación in situ, entrevistas a gerencia de mantenimiento y verificación del plan de mantenimiento destinado para la temporada de zafra, se pudo identificar las siguientes causas:

- Carecen de rutas de inspección visual y limpieza de los equipos.
- La identificación de la criticidad de los equipos se encuentra desactualizada, la última revisión y modificación del análisis fue realizada hace cuatro años.
- Los equipos que presentan averías en el período de zafra no cuentan con un análisis de modos y efectos de fallas, y tampoco con un número de prioridad de riesgo (RPN).
- Los tipos de mantenimiento pueden ser basado en condición, restauración o sustitución en función al tiempo, detección, de rediseño o mantenimiento hasta el

fallo, no obstante, falta una clasificación del tipo de mantenimiento que se va a aplicar.

-El plan actual no cuenta con una asignación de recursos, es decir, que no indica el tipo de repuesto necesario y tampoco el capital de humano.

-Aunque su planificación cuenta con medidas preventivas, avance de medida preventiva y prioridad de la tarea, la probabilidad de fallo es definida de manera cualitativa y no utilizan un análisis estadístico de fallas como un estudio de supervivencia y fallos acumulados de los equipos.

Una efectiva planificación de mantenimiento incrementa la disponibilidad y confiabilidad de los equipos y maquinarias, como también la reducción de los costos de oportunidad y costos por mantenimiento correctivo por paros no programados. El objetivo general del proyecto es mejorar la efectividad del proceso de planificación del mantenimiento, a través de metodología RCM-R para generar políticas de gestión de consecuencias en las áreas de extracción I y II de un ingenio azucarero.

II. METODOLOGÍA

El trabajo de grado se ha basado en la metodología RCM-R como también otras herramientas mediante la revisión de la literatura que se adapte al contexto operativo de ingenios azucareros.



En la primera etapa conocida como trabajo previo o la integridad de los datos ha garantizado que la información sea precisa y en el contexto adecuado. En esta etapa se debe considerar la norma ISO14224 que proporciona una base sólida para la recopilación y estructuración de los datos de confiabilidad para la codificación de equipos y la información de las órdenes de trabajo. También se ha examinado un estudio llamado “optimización de la eficiencia de los activos” o AEO por la empresa multinacional sueca AB SKF, el cual ha sido diseñado para identificar oportunidades de mejora de tal forma que la organización pueda establecer una estrategia adecuada para mejorar la gestión de mantenimiento, la confiabilidad y la gestión de los activos mediante un modelo de entrevista. El análisis RAM o cuantificación de indicadores (MTBF, MTTR y Ai) es una herramienta

esencial de RCM-R® perteneciente a la segunda etapa, permite definir los tiempos medios entre fallos, tiempo medio de reparación y la disponibilidad resultante de un activo en su contexto operativo actual. Igualmente, se procedió a analizar los eventos de fallo para identificar los equipos que presentan una mayor incidencia de paros debido a que cuentan con un historial extenso perteneciente al periodo de zafra. La tercera etapa llamada FMECA hace referencia a un análisis de modos y efectos de fallas considerando el nivel de criticidad de los activos, basado en normas SAE JA1011/1012, la finalidad es definir la causa raíz de los equipos que presentan averías en el período de zafra mediante una clasificación que propone el RCM-R®.

Un análisis de criticidad de activos (ACA) es una herramienta de evaluación para valorar cómo los fallos de los activos pueden afectar a los objetivos de la organización. El ACA es el siguiente paso recomendado para priorizar los activos en el análisis RCM-R®. Debido a que no existe una norma específica para el ACA, se puede considerar las siguientes normas como: ISO 14224 (Petróleo, petroquímica y gas natural: Recogida de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos), ISO 31000 (Gestión de riesgos: Principios y directrices) y la IEC 60812 (Análisis y técnicas de fiabilidad de sistemas: Procedimiento para el análisis del modo de fallo y sus efectos).

Por último, en la planificación, se procedió a verificar la estrategia de mantenimiento o el tipo de mantenimiento que se aborda en la empresa de estudio, para identificar el tipo de tareas designadas y el grado de análisis técnico otorgado.

III. RESULTADOS

Durante la primera etapa de integridad de datos se identificó que la empresa en cuestión maneja 7 niveles en total, en profundidad del registro de activos. Los primeros cuatro niveles están orientados a la ubicación técnica, el nivel uno hace referencia al sistema SAP, el nivel dos al tipo de producto, el nivel tres al área, el nivel cuatro al producto en proceso, el nivel cinco al equipo principal, el nivel seis al subequipo y el nivel siete a los equipos de instrumentación como las válvulas o indicadores de variables. Dentro del alcance de las órdenes de trabajo el 100% de todos los trabajos poseen una orden de trabajo escrita y están documentadas en el sistema SAP, además que todas las órdenes de trabajo cumplen con los registros sugeridos con la norma ISO 14224.

En el cálculo de los indicadores se consideró que para extracción I el tiempo de zafra fue de 4178 horas y para extracción II de 4134 horas. Asimismo, los tiempos respecto a "falta de caña" no fueron considerados. La disponibilidad promedio de extracción I es de 90,7% y de extracción II de 91,9%, sin embargo, la disponibilidad objetivo de la empresa por cada área mencionado en la entrevista a gerencia de mantenimiento es del 97% y no cumple el objetivo ya que han tenido un periodo determinado para el mantenimiento exclusivo de overhaul.

Debido a que se cuenta con un historial de paradas perteneciente al área de extracción, se procedió a analizar los datos donde existen paradas de 790 y 730 horas para extracción I y II, de los cuales 251 y 272 horas son paros no programados, así mismo estos paros no programados se pueden clasificar en averías debido a problemas y problemas en otras etapas, donde el 18% y 42% pertenecen a la categoría que nos interesa debido al alcance del proyecto.

Los paros no programados por averías de acuerdo a una agrupación del tipo de modo de falla, se dan por problemas de tipo mecánico, instrumental, automatización y eléctricos. Alrededor de 23 equipos pertenecientes a extracción I provocaron paros no programados durante la zafra 2020. En extracción II, 33 equipos provocaron los paros no programados por averías.

La empresa en estudio, no realiza un análisis modos y efectos de fallas y análisis de criticidad (FMECA). A consecuencia de esto, se ha procedido a realizar dicho análisis para encontrar la causa raíz del paro no programado, donde muchos de ellos se dan por problemas relacionados a operación y mantenimiento o fallos relacionados al desgaste de los equipos

Asimismo, el análisis de criticidad presenta ausencia de información, si bien es posible verificar la ubicación técnica y equipo, el riesgo no contiene una calificación concisa de parámetros de seguridad, medio ambiente, producción y mantenimiento (provenientes de la Matriz de criticidad), además denota ausencia de la asignación de probabilidad. No obstante, no existe ninguna norma que estandarice los análisis de criticidad utilizados en las empresas y están sujetos a modificaciones adaptadas por los usuarios. Dicho análisis de criticidad tuvo su última revisión en el año 2018, donde extracción II, generación de vapor y extracción I tienen un nivel de

criticidad alto debido a la cantidad de equipos en estudio.

El plan de mantenimiento actual carece de cierto tipo de información y orden como:

-Si bien cuentan con las causas de cada fallo funcional (modos de fallo y causa raíz) que es el equipo o proceso responsable de la parada y la causa de paradas descritas en la segunda y tercera columna del plan, este no cuenta con una clasificación por cada tipo de modo de fallo (mecánico, instrumental, material, eléctrico, etc) y tampoco con una clasificación de causa raíz (fallos relacionados al diseño, funcionamiento y operación, de gestión o debido a la edad) como recomienda la norma SAE JA1011.

-La determinación de las medidas preventivas están desprovistas de una clasificación de consecuencias como las relacionadas a seguridad y medio ambiente, producción o mantenimiento.

-No utilizan diagramas de decisión o estadística de fallos para la determinación de una estrategia de mantenimiento, se menciona la medida preventiva pero no la clasificación del tipo de mantenimiento a realizar (monitoreo de condición, basado en el tiempo, hasta la falla, de rediseño, etc.).

-El plan de mantenimiento destinado para zafra no cuenta con una asignación de personal y repuestos necesarios por cada medida preventiva que se menciona.

-La norma SAE JA1011 sugiere determinar qué debe realizarse para predecir o prevenir cada fallo (tareas e intervalos de tareas), no obstante, no cuentan con un programa de mantenimiento preventivo para la temporada de zafra.

-No existe un análisis de confiabilidad donde se demuestre la supervivencia y fallos acumulados de los equipos con mayor frecuencia de paradas.



Mediante un diagnóstico general se encontraron falencias como un análisis de criticidad desactualizado,

inexistencia de procedimientos para realizar un FMECA, falta de un análisis de confiabilidad para equipos que presentan una frecuencia de fallos o averías, falta de una estandarización de procedimientos para realizar la planificación y la inexistencia de rutas de inspección visual y limpieza de los equipos.

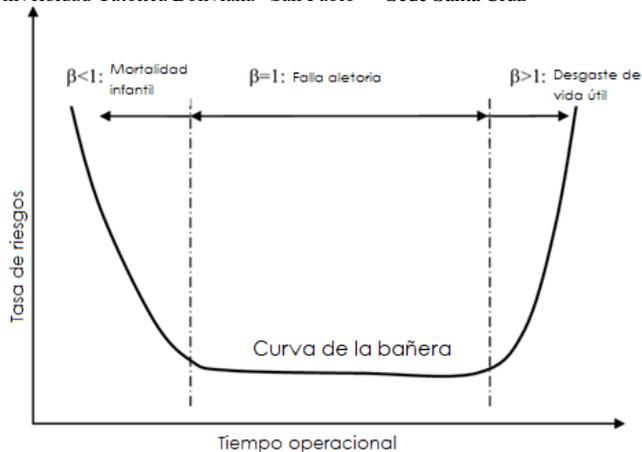
Para la primera causa raíz se procedió a diseñar un formato estandarizado de análisis de criticidad en el cual se muestran los valores de seguridad, medio ambiente, producción y mantenimiento como también la probabilidad mediante una matriz de criticidad debido a que la empresa en cuestión no contaba con la información respectiva mencionada. Además, se procedió a actualizar el análisis de criticidad para los activos de extracción mediante un procedimiento realizado con el respectivo instructivo de trabajo.

En la segunda causa raíz se diseñó un formato estandarizado para el análisis de modos y efectos de fallas y análisis de criticidad (FMECA) que permita realizar dicha herramienta al finalizar cada periodo de zafra.

La distribución de Weibull es la distribución que más se utiliza para modelar datos de fiabilidad. Esta distribución es fácil de interpretar y muy versátil. Sin embargo, se realizará el análisis del coeficiente de Anderson Darling para constatar la elección de Weibull y comprobar afirmaciones acerca de las funciones de probabilidad (o densidad). Para determinar el tipo de distribución se recurrió al uso del software Minitab para el análisis de la confiabilidad.

Para dicho análisis se deben considerar los siguientes pasos:

- 1) Selección de equipos para estudio, activos que contienen una frecuencia mayor a cuatro paradas.
- 2) Determinación del tiempo entre fallos en equipos que es la diferencia entre el tiempo que se da cada vez el fallo.
- 3) Uso del software Minitab ya que contiene un módulo de confiabilidad.
- 4) Análisis de bondad de ajuste mediante el coeficiente Anderson-Darling, mide qué tan bien siguen los datos una distribución específica. Para un conjunto de datos y distribución en particular, mientras mejor se ajuste la distribución a los datos, menor será este estadístico.
- 5) Análisis de Weibull y determinación de parámetros (β y α), beta refleja la física del fallo mediante y en qué punto se encuentra el activo mediante la curva de la bañera y alfa refleja el tiempo en el cual la probabilidad de fallo es de 63,2%.



- 6) Revisión de gráfica de probabilidad donde los puntos deben ubicarse cerca de la línea de distribución ajustada, a lo largo de la misma y además dentro de los bordes de confianza.
- 7) Generación de la prueba de hipótesis. Se debe comparar el valor p de la distribución o transformación con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como α o alfa) de 0.05 funciona adecuadamente. Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen la distribución, cuando en realidad sí lo hacen.

$H_0: P \leq \alpha$: Los datos no siguen la distribución Weibull.

$H_1: P > \alpha$: Los datos siguen la distribución Weibull.

| Valor de β | Física de fallo | Política de gestión de consecuencias | Comentario |
|------------------|--------------------|--------------------------------------|---|
| $\beta < 1$ | Prematuro | R,F | T, C no recomendado |
| $\beta = 1$ | Aleatorio | F,R,C | Considerar R para alto λ . C podría ser considerado |
| $1 < \beta < 3$ | Aleatorio+desgaste | C | Perfecto escenario para C |
| $\beta > 3$ | Fuerte desgaste | T | T es preferido sobre C |

La política de gestión de consecuencias o tipo de mantenimiento que se recomienda hace referencia a:

- C: Monitorización de la condición (considera el mantenimiento predictivo, las pruebas no destructivas [NDT] y la tendencia de los parámetros del proceso)
- T: Restauración o sustitución en función del tiempo
- 2: Combinación de dos tipos de tareas entre los tipos C, T y D.
- R: Tareas de rediseño
- F: Fallo (ejecución hasta el fallo)

La metodología RCM-R recomienda que para realizar el plan de mantenimiento (Ver apéndice 2) se debe utilizar la información del FMECA, además de identificar la consecuencia de la falla y de esa forma generar la política de gestión de mantenimiento óptima, cabe recalcar que la política de gestión de consecuencias (tipo de

mantenimiento) se puede delimitar por diagramas de decisión como se observa en el apéndice 1 o por el análisis Weibull.

Las tareas de mantenimiento engloban la persona encargada, para el equipo la revisión debería realizarla un operador, la descripción de la tarea para reducir la probabilidad del fallo potencial, el tiempo adecuado donde se toma en cuenta el análisis de supervivencia y fallos acumulados de la confiabilidad, la frecuencia se obtiene de una división de tiempo entre la duración total de la zafra y el tiempo donde se de más del 97% de probabilidad del fallo, se define también el tipo de repuesto o material a utilizar. Por último, el tiempo medio de reparación aproximado se basa en la duración de las paradas no programadas por averías, recomendaciones de gerencia de mantenimiento y el departamento de PCM en base a hechos suscitados de anteriores zafras. Además se ha considerado el tiempo medio de reparación general (MTTR) por el cuál debe ser menor que 3,23 [horas] para extracción I y 1,6 [horas] para extracción II.

Con la finalidad de destacar las diferencias entre el plan propuesto y el plan actual se ha procedió a realizar el siguiente listado:

| Listado | Plan actual | Plan propuesto | Descripción |
|--|-------------|----------------|--|
| Organización independiente | ✗ | ✓ | El plan actual cuenta con una mezcla del análisis de paradas en otras etapas y también las averías propias de extracción. Sin embargo, el plan propuesto está enfocado en las averías propias de extracción, además que ha sido organizado y dividido en extracción I y extracción II, generando planes independientes para un mayor orden. |
| Deriva de un FMECA | ⚠ | ✓ | Si bien el plan actual cuenta con un área responsable, fallo funcional y causa raíz de parada, el nuevo plan deriva de un FMECA que considera los modos y causa raíz del fallo con su respectiva clasificación basada en la metodología RCM-R, además de los efectos de falla de los equipos que presentan paradas. |
| Consecuencias y prioridad | ⚠ | ✓ | El plan actual contiene una prioridad de las tareas de mantenimiento en alta, media y baja de acuerdo a la duración de los paros no programados, sin embargo, no considera la consecuencia directa de dicho paro. El nuevo plan muestra las consecuencias del efecto de falla ya sea en el ámbito de seguridad, medio ambiente, producción o mantenimiento. |
| Política de gestión de consecuencias | ✗ | ✓ | La política de gestión de consecuencias hace referencia a una clasificación del tipo de mantenimiento a realizar, deriva de diagramas de decisión y análisis estadístico de fallas, donde solo el plan propuesto cuenta con esta característica. |
| Medida preventiva | ✓ | ✓ | Ambos planes de mantenimiento cuentan con la descripción de la medida preventiva o la tarea de mantenimiento a realizar. |
| Análisis estadístico y probabilidad de fallos (Weibull) | ⚠ | ✓ | De acuerdo a la información dotada el plan de mantenimiento propuesto considera la probabilidad de fallos mediante el uso de la distribución Weibull. No obstante, el plan actual también considera la probabilidad de ocurrencia de una manera mucho más cualitativa en base a la cantidad de paradas presentes en zafra pero no realiza el análisis de confiabilidad respectivo. |
| Asignación de recursos materiales y capital humano | ✗ | ✓ | El plan propuesto considera un listado de materiales necesarios para la tarea de mantenimiento como también la asignación de personal idóneo. |
| Tiempo de reparación aproximado | ✗ | ✓ | El nuevo plan considera el tiempo de reparación aproximado por cada fallo presentado en el período de zafra en base a experiencia del departamento de PCM como también el indicador MTTR. |
| Aumento de tareas de mantenimiento enfocado en averías propias de extracción | ⚠ | ✓ | El plan actual presenta 110 y 182 tareas de mantenimiento para extracción I y II donde considera las averías propias como también los problemas en otras etapas. Pero si se considera solo las tareas de mantenimiento para las averías propias de extracción cuenta con 53 y 99 en total. El plan propuesto que está centrado a las averías propias de extracción debido al alcance del proyecto. En un conteo de las tareas de mantenimiento son 66 y 102 tareas para extracción I y II respectivamente. |

La metodología utilizada a lo largo del proyecto conocida como RCM-R, donde ha sido aplicada de forma experimental y oficial en industrias como resultado de un proyecto de tesis de grado de maestría en Ingeniería de Confiabilidad, indica en los resultados obtenidos una reducción de más del 50% en los costes globales de

Revista: Gerente Industrial v 1.0
Carrera de Ingeniería Industrial
Universidad Católica Boliviana "San Pablo" – Sede Santa Cruz

mantenimiento correctivo. Mediante estimaciones y benchmarking, las reducciones de costos de mantenimiento correctivo podrían darse entre un 50% y 89,6% con la ayuda de la metodología RCM-R.

IV. CONCLUSION

Con respecto a los objetivos del proyecto, se han obtenido los siguientes resultados:

1. Se realizó el levantamiento de datos y diagnóstico de los procesos actuales del área de mantenimiento donde las causas raíz encontradas se dan debido al siguiente orden de prioridad: falta de una estandarización de procedimientos para realizar el análisis de modos y efectos de fallas, análisis de criticidad desactualizado, falta de una estandarización de procedimientos para realizar la planificación, desconocimiento del tipo de repuesto a utilizar, falta de un análisis de confiabilidad, desconocimiento de la mano de obra a utilizar y la inexistencia de rutas de inspección visual y limpieza de los equipos .

2. Se procedió a realizar el análisis de confiabilidad de los equipos en base a la frecuencia de los paros no programados por averías del área de extracción para 7 equipos que presentaron una mayor frecuencia de paros no programados, donde efectivamente se deben realizar tareas de monitorización debido a que la probabilidad de fallos es elevada durante el período de zafra.

3. Se siguió la metodología RCM-R para realizar el plan de mantenimiento de los equipos críticos que cuentan con una mayor frecuencia de paros no programados por averías, además de la creación de nuevos registros estandarizados que permitirán recopilar y desarrollar los procedimientos necesarios para el proceso de planificación de mantenimiento. El nuevo plan de mantenimiento contiene características como una organización independiente, deriva de un FMECA, considera las consecuencias y prioridad, genera una política de gestión de consecuencias, medida preventiva, además se basa en un análisis estadístico y probabilidad de fallos (Weibull), determina la asignación de recursos materiales y capital humano y tiempo de reparación aproximado, donde en un conteo general existe un aumento de tareas de mantenimiento enfocado en averías propias tanto en extracción I y II de 53 a 66 tareas de mantenimiento y 99 a 102 respectivamente.

4. Se procedió a determinar el capital de inversión de la propuesta de mejora con un monto de \$ 14.864,34.

5. Se presentó el plan de implementación de la propuesta cuya duración es de 80 días o cuatro meses de trabajo.

Una vez concluido el proyecto de grado se recomienda:

- Continuar con el análisis RCM-R para el desarrollo de plan de mantenimiento en las otras áreas de la empresa en estudio con la documentación desarrollada para extracción y los formatos establecidos en el proyecto.

- Seguir a cabalidad todos los manuales de procedimientos realizados, referente al análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de falla, y sobre todo el manual de procedimientos para la planificación del mantenimiento en zafra.

- Actualizar la información respectiva al finalizar el período de zafra sobre análisis de criticidad, FMECA y plan de mantenimiento debido a que se tiene conocimiento que puede existir la adquisición de nuevos equipos o equipos dados de alta.

- Adquirir el software Minitab para el análisis de confiabilidad con el objetivo de generar parámetros técnicos que son necesarios para el plan de mantenimiento debido a que cuentan con datos de paros no programados por averías de cada equipo pertenecientes a la temporada de zafra.

- Para realizar el análisis de confiabilidad con la aplicación de la distribución Weibull se deben considerar datos históricos de cinco gestiones anteriores, perteneciente a los paros no programados de los equipos en la temporada de zafra, con la finalidad de comparar los resultados finales respecto a los tiempos de supervivencia y fallos acumulados.

APENDICES

Apéndice 1. Diagramas de desición

Apéndice 2. Ejemplo de plan de mantenimiento con RCM-R

AGRADECIMIENTOS

Agradecida con Dios por brindarme sabiduría y valentía para seguir adelante.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Ing. Daniel Espinoza Guzmán que ha ayudado a culminar mi proyecto de grado y al departamento de PCM que me dio apoyo en todo momento, es satisfactorio poder contar con su amistad.

A todo el plantel docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Industrial, gracias por darme todas las facilidades y conocimientos necesarios para mi crecimiento profesional.

A la Sociedad Estudiantil Científica de Ingeniería Industrial (SECIIC) porque me ha dado la oportunidad de liderarla y el poder de la investigación, ciencia e innovación.

Gracias a cada uno de mis amigos que me acompañaron en esta travesía.

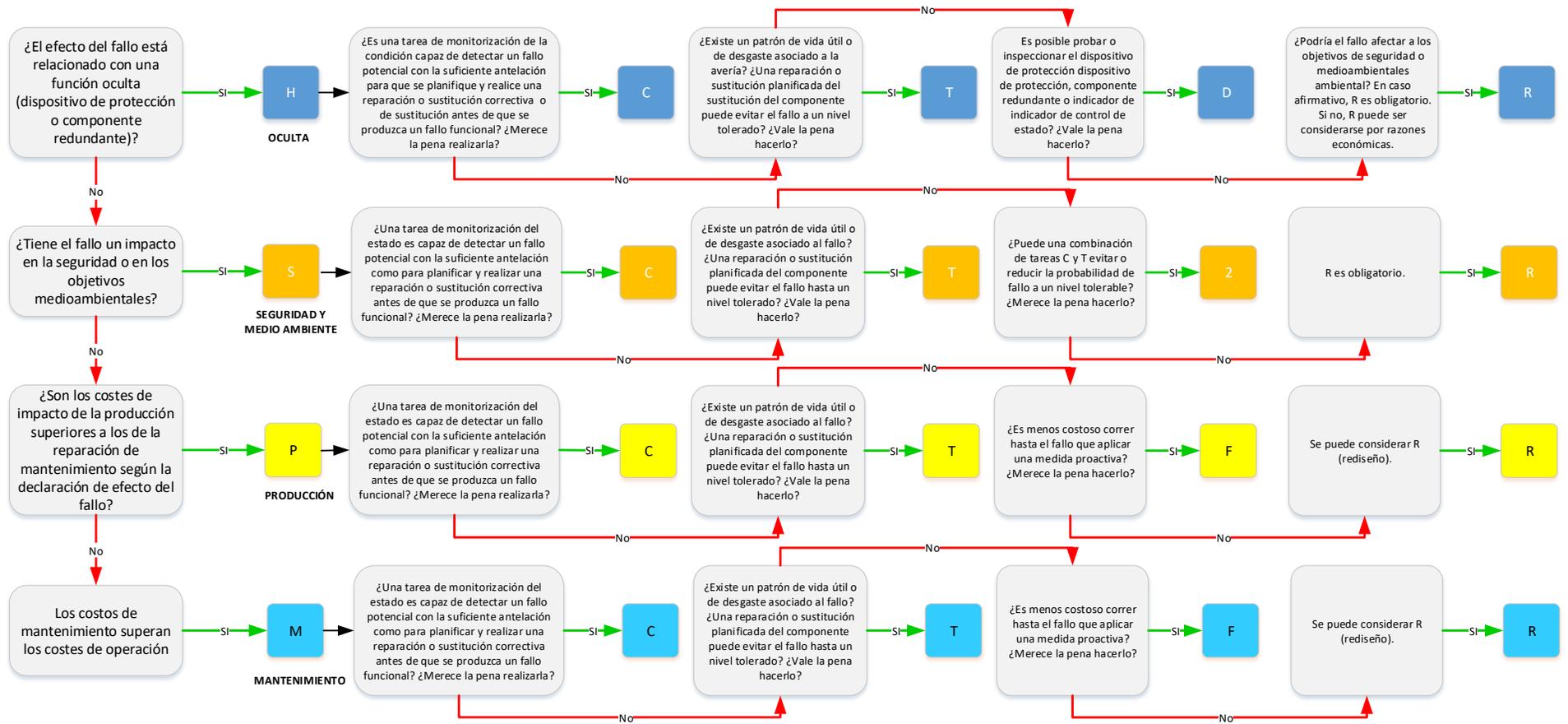
REFERENCIAS

- [1] Ben-Daya, M., Kumar, U. y Murthy, D., 2016. *Introducción a la ingeniería de mantenimiento*. 1ª ed. West Sussex, Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd, p.12.
- [2] Campbell, J. y Reyes-Picknell, J., 2016. *Estrategias para la excelencia en la gestión del mantenimiento*. 3ª ed. Boca Raton, FL, EE. UU.: Taylor & Francis Group, p. 47.
- [3] Campos López, O., Tolentino Eslava, G., Toledo Velázquez, M., & Tolentino Eslava, R. (2019). Reliability Centered Maintenance Methodology (RCM) Considering Equipment Taxonomy, Data Bases and Effects Criticality. *Científica*, 23(1), 1. Retrieved 1 June 2021, from <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458265006/html/index.html>.
- [4] Devore, J., Farnum, N. and Doi, J., 2014. *Applied statistics for engineers and scientists*. 8th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, p.188.
- [5] Duffuaa, S., & Raouf, A. (2015). *Planning and Control of Maintenance Systems* (2nd ed.). Springer.
- [6] EL-Shimy, M., Abdelfatah, M., & Ismail, H. (2012). Reliability, Availability, and Maintainability (RAM) Analysis of Utility Power Transformers in Egypt. *Elektrika*, (1), 1-5. Retrieved 1 June 2021, from <https://libgen.is/book/index.php?md5=33BA8B1BE E02CB870DEE9003F0D9444B>.
- [7] García Garrido, S. (2003). *Organización y gestión integral del mantenimiento* (1st ed., pp. 1-121). Ediciones Díaz de Santos, S. A.
- [8] Golwalkar, K., 2019. *Mantenimiento integrado y gestión energética en las industrias químicas* *Mantenimiento integrado y En*. 1ª ed. Nagpur, Maharashtra, India: Springer Nature Switzerland AG, p.12.
- [9] Espinoza, D. (2020). 2º Ciclo de conversatorios sostenibles [Image]. Retrieved 4 June 2021, from <https://www.facebook.com/2do-Ciclo-de-Conversatorios-Sostenibles-348702665724080/photos/pcb.685928252001518/685920068669003/>.
- [10] Guabira.com. 2021. *Quienes Somos | Guabira*. [en línea] Disponible en: <https://www.guabira.com/quienes-somos.html> [Consultado el 26 de abril de 2021].
- [11] Imam, S., Raza, J., & Chandima Ratnayake, R. (2013). World Class Maintenance (WCM): Measurable indicators creating Opportunities for the Norwegian Oil and Gas industry. *Researchgate*, 1(1), 1-5. <https://doi.org/DOI:10.1109/IEEM.2013.6962656>
- [12] Krajewski, L., Malhotra, M. y Ritzman, L., 2018. *Gestión de operaciones - Procesos y cadena de suministro*. 12ª ed. Estados Unidos: Pearson, páginas 477 a 479.
- [13] *Manual de procedimiento PCM* (2014). Dimensión interna. [Consultado el 26 de abril de 2021]
- [14] Medrano Márquez, J., González Ajué, V., & Díaz de León Santiago, V. (2017). *Mantenimiento. Técnicas y aplicaciones industriales* (1st ed., pp. 4-14). GRUPO EDITORIAL PATRIA, S.A. DE C.V.
- [15] MEMORIA GUABIRÁ 2019, 2020. Dimensión interna. [en línea] (Octava), p.85. Disponible en: <https://guabira.com/sites/default/files/memoria-2019-2020.pdf> [Consultado el 26 de abril de 2021].
- [16] Moubray, J. (2004). *Reliability-centred maintenance*. Elsevier.
- [17] Muñoz Arce, B. (2019). *INDICADORES MULTIJERARQUICOS Y MULTICRITERIO PARA LA MEDICION DEL RENDIMIENTO DE MANTENIMIENTO - ASBOMAN*. Presentation, Santa Cruz - Bolivia.
- [18] Sifonte, J. y Reyes-Picknell, J., 2017. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad: reingeniería (RCM-R)*. 1ª ed. Florida, Estados Unidos: Taylor & Francis Group, p. 32.
- [19] SKF Group. (2018). *Select Appropriate Work Category*. SKF Training Handbook, 10. Retrieved 16 June 2021, from <https://pdfcoffee.com/2018-skf-training-handbook-pdf-free.html>.
- [20] Shivananda, N. (2015). *World class maintenance management* (2nd ed.). McGraw Hill Education.
- [21] Rein, P. (2012). *Cane sugar engineering* (1st ed., pp. 117-189). Bartens.

AUTORES

Primer Autor– Nicol Nogales Núñez, Estudiante de la Sociedad Estudiantil Científica de Ingenieros Industriales de la Católica (SECIIC) – UCB SCZ nicol.nogales@ucb.edu.bo

Segundo Autor– Daniel Espinoza Guzmán. Con más de diez años de experiencia en la industria azucarera. Docente de maestría de en la facultad de post-grado de la UAGRM y consultor SAP ERP en mantenimiento. Postgrados en Gestión de mantenimiento (INEGAS). Gestión de proyectos (UTEPSA). MBA Gerencia industrial y de servicios (UAGRM). Estudiante PhD de investigación en Ciencias y tecnología (UAGRM). despinoza@guabira.com



PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Elaborado por: Nicol Nogales Núñez, PCM, Gerencia de mantenimiento

Fecha: 08/09/2021

Área: Extracción I

| Activo | Modo de falla/ Tipo y causa raíz/ Tipo | | | | Efecto de falla | Consecuencias | | Tareas de mantenimiento | | | | | |
|-------------------------------------|--|---------|---|--------|---|---------------|--------------------------------------|-------------------------|--|-----------------------|------------|---------------------------|---|
| | Modo de falla | Tipo | Causa raíz | Tipo 2 | Efecto de falla | Consecuencia | Política de gestión de consecuencias | Encargado | Descripción de tarea | Tiempo (horas) cambio | Frecuencia | Tipo de repuesto/material | MTTR/Revisión/Inspección aproximado (horas) |
| SISTEMA CONTROL TR- 1 | La señal/indicación/alarma es errónea en relación con el proceso real. Puede ser espuria, intermitente, oscilante o arbitraria | INS | Fallos por desgaste según sus características de fiabilidad inherentes. | AGE | Inconveniente electrónico con parada de producción completa de extracción I debido al electroposicionador | P | T | Instrumentación | Cambio de electroposicionador para el sistema de control | 2400 | 1 | Electroposicionador | 0,41666 |
| BOMBA CENT JUGO SECUNDARIO NO TAMIZ | Flujo restringido/obstruido debido a la suciedad, contaminación, condiciones climáticas | EXT | Fallo relacionado con el funcionamiento/ uso o el mantenimiento del equipo, pero no se conocen más detalles | OYM | Deficiencia del bombeo del jugo secundario no tamizado debido a obstrucción | P | F | Operador | Revisión de trampas en la bomba centrífuga de jugo secundario al inicio de la molienda | 2000 | 2 | Trampa de bomba | 1 |
| SISTEMA PRESION MOLINO N°4 | Desgaste abrasivo y adhesivo, por ejemplo rayado, raspado, rozamiento | MA T | Fallos por desgaste según sus características de fiabilidad inherentes. | AGE | Rotura de pernos sujeción de peine de molino | P | C | Mecánico | Verificación de cabezales de prensa, rectificación de bronce y cambio de sellos más junta de gomas | 800 | 5 | Junta de gomas | 0,3 |

