

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Procedimiento para el tratamiento de las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgos.

Autor: Marcos Antonio Rodriguez Toledo

Tutor: Dr. C. Aramis Alfonso LLanes

Santa Clara, noviembre 2021
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Industrial Engineering Department

DIPLOMA THESIS

Title: Procedure for the treatment of the limitations of the Maintenance Management process through Risk Management.

Author: Marcos Antonio Rodriguez Toledo

Thesis Director: Dr. C. Aramis Alfonso LLanes

Santa Clara, november 2021
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“El éxito debe medirse no por la posición a que una persona ha llegado, sino por su esfuerzo por triunfar”.

Booker T. Washington

Dedicatoria

A mis padres por su paciencia y amor, por inculcarme la valentía que se debe tener ante las adversidades, por el esfuerzo que han realizado para ayudarme a cumplir el sueño de convertirme en profesional.

Con amor y orgullo su hijo Marcos Antonio.

Agradecimientos

A mis padres Caridad y Juan Carlos por ser mis amigos incondicionales, los intelectuales que profesan en mi escuela de la vida, por creer en mí.

A Claudia, por el amor que me brinda, por su apoyo, por ayudar a superarme como persona en lo intelectual y en lo personal, y por ser parte de este equipo tan bueno que hacemos juntos.

A mi tutor Aramis, por ser profesor y amigo, por inculcarme amor por la carrera, por ser tan profesional y perfeccionista, gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo.

A todas las personas que de una forma u otra me han ayudado.

RESUMEN

La Gestión del mantenimiento ha constituido para las empresas una herramienta fundamental; con una correcta administración, la misma puede ser tornada en una ventaja competitiva dentro de un entorno dinámico. En busca de estrategias novedosas resultantes de la integración de metodologías para materializar esta ventaja, en la presente tesis se propone diseñar un procedimiento para contribuir al mejoramiento del proceso de Gestión del mantenimiento mediante la definición de acciones preventivas efectivas, resultantes del tratamiento de las restricciones del proceso a través de la Gestión de riesgos, de forma tal que sea de fácil aplicación en cualquier tipo de organización. La tesis contiene una revisión bibliográfica actualizada que aborda las generalidades sobre la Gestión del mantenimiento, Teoría de las limitaciones y Gestión de riesgo, así como su integración. Desde el criterio de diferentes autores el procedimiento sirve para gestionar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento, a partir de la Gestión de sus riesgos, de manera eficiente y efectiva con el objetivo de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones y contribuir al mejoramiento integral de la organización; utilizando los recursos y sistemas de control de forma adecuada, genera utilidades, y se obtiene de el mismo un registro de riesgos necesario para aplicaciones en el futuro.

ABSTRACT

Maintenance Management has been a fundamental tool for companies; with proper administration, it can be turned into a competitive advantage within a dynamic environment. In search of novel strategies resulting from the integration of methodologies to materialize this advantage, in this thesis it is proposed to design a procedure to contribute to the improvement of the Maintenance Management process by defining effective preventive actions, resulting from the treatment of the restrictions of the process through Risk Management, in such a way that it is easy to apply in any type of organization. The thesis contains an updated bibliographic review that addresses the generalities of Maintenance Management, Theory of Limitations and Risk Management, as well as their integration. From the criteria of different authors, the procedure serves to manage the limitations of the Maintenance Management process, starting from the Management of its risks, efficiently and effectively with the aim of reducing uncertainty in decision-making and contributing to improvement. Integral of the organization; using the resources and control systems in an appropriate way, it generates profits, and a necessary risk register for future applications is obtained from it.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1. Generalidades sobre la Gestión del mantenimiento.....	5
1.1.1 El proceso de Gestión del mantenimiento	10
1.2. Generalidades sobre la Teoría de las Limitaciones (TOC).....	12
1.2.1 Procedimiento de la TOC	16
1.2.2 Teoría de las limitaciones aplicada al mantenimiento	19
1.3. Aspectos generales sobre la Gestión de riesgo.....	21
1.3.1 Normativas sobre Gestión de riesgos.....	25
1.3.2 Procedimiento de la Gestión de riesgos	27
1.3.3 La Gestión de riesgos aplicada al mantenimiento.....	30
1.4. Integración de la TOC y la Gestión de riesgos en la empresa	32
1.5. Conclusiones parciales.....	33
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA MITIGAR LAS LIMITACIONES DEL PROCESO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A TRAVÉS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS	34
2.1 Características del procedimiento general para mitigar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgos	34
2.2 Diseño del procedimiento general para mitigar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgos	35
2.2.1 Fase 1. Preparación inicial	36
2.2.2 Fase 2. Identificar las limitaciones del sistema	37
2.2.3 Fase 3. Decidir cómo explotar las limitaciones	43
2.2.4 Fase 4. Subordinar todo a las decisiones adoptadas en la fase anterior	46
2.2.5 Fase 5. Elevar la restricción del proceso	47
2.2.6 Fase 6. Mejora continua	47
2.3 Evaluación de la factibilidad del procedimiento propuesto mediante el criterio de especialistas.....	48
2.4 Conclusiones parciales.....	49
CONCLUSIONES GENERALES	50
RECOMENDACIONES	51

BIBLIOGRAFÍA 52

ANEXOS 74

INTRODUCCIÓN

En la actualidad y como consecuencia del desarrollo de una economía globalizada la competencia entre empresas se ha intensificado. Cada vez es mayor la velocidad de cambio en un entorno altamente variable lo que conlleva a que las organizaciones tengan más exigencias para que sus capacidades no sean sobrepasadas. Como resultado de lo anterior las empresas actuales buscan la forma de adaptarse a realidades complejas para garantizar su supervivencia; las mismas necesitan ser flexibles y contar con nuevas herramientas de gestión para optimizar aspectos fundamentales como calidad, costos, cambio de producto, tiempo de producción, entre otros; todo esto con el objetivo de mantener la producción y/o servicios cumpliendo con las exigencias del mercado y el cliente (Kiran et al., 2016; Troya Jorge, 2016; Ba et al., 2017).

Las organizaciones en general (manufactureras y/o de servicio) necesitan activos como por ejemplo instalaciones, equipos, herramientas o dispositivos. También precisan que los mismos se mantengan en funcionamiento, en buen estado y disponibles en todo momento. Es por ello que se deben gestionar un conjunto de actividades para conservar dichos activos o devolverlos a un estado en el que puedan desempeñar la función requerida al menor costo posible, lo cual se consigue a través del mantenimiento (López Osorio, 2017; Mantilla Rivera y Morales González, 2017; Alfonso Menéndez, 2019).

El mantenimiento enfocado en la mejora continua ha obtenido gran importancia, ya que ayuda al trabajo en equipo, y a la preparación constante para actuar sin dejar caer la producción o el servicio. El desempeño de la empresa estará en dependencia de la calidad de mantenimiento que se provea a cada uno de los elementos que intervengan en el proceso, es de suma importancia tener una visión de futuro, planificar, programar, evaluar y controlar el mantenimiento para cubrir todo el proceso en tiempo, sea a mediano o largo plazo y además reducir costos de repuestos y materiales, para un mejor desempeño (Conesa Díaz, 2019). El mantenimiento, al evolucionar constantemente se convierte en una pieza clave para muchos modelos de procesos. El mismo siempre está en estado de transición debido a las consideraciones demandadas por el mercado. Por lo tanto, el reto está en conseguir un modelo de gestión adecuado para conducir sus actividades de forma eficiente y eficaz para cumplir con los objetivos de la empresa. El desarrollo de la función mantenimiento tiene que ser un proceso de alto nivel y contar con el apoyo de todos los que se relacionan con él, ya sea de forma directa o indirecta (Amendola et al., 2017; Sifonte y Reyes-Picknell, 2017; Mehairjan, 2017) .

En Cuba, el tratamiento del mantenimiento ha venido ganando en importancia. En el VI Congreso del PCC se aprueban los lineamientos que regirían la política económica y social del país (Comité

Central del Partido Comunista de Cuba, 2011), donde se trata el mantenimiento en 16 de ellos. Luego, en el VIII congreso se realiza su actualización (Comité Central del Partido Comunista de Cuba, 2021) donde se trata el mantenimiento en nueve de ellos. En el año 2017 se aprueba la Resolución 116 (MINDUS, 2017) que presenta las indicaciones metodológicas que contienen los requisitos técnico-organizativos mínimos del sistema de mantenimiento industrial, la cual es revocada recientemente con la aprobación de la Resolución 66 (MINDUS, 2021) que presenta el Sistema de Gestión Integral de Mantenimiento Industrial. En esta última resolución se aborda, sobre el mantenimiento, lo siguiente:

- Ordenar el mantenimiento durante el ciclo de vida de las instalaciones, los sistemas tecnológicos y los equipos.
- Desarrollar la ingeniería en la actividad de mantenimiento y lograr una gestión competitiva a través de la asimilación de nuevas tecnologías que aseguren el cumplimiento de normas técnicas y de calidad.
- Garantizar la organización, preparación y ejecución del mantenimiento para lograr la máxima calidad y eficiencia en la realización de los trabajos.
- Integrar el personal de mantenimiento a los procesos inversionistas.
- Lograr la automatización en cada proceso que como herramienta para mejorar prestaciones de los equipos y sus rendimientos.
- Elaborar planes de reducción de riesgos con la periodicidad correspondiente.
- Cumplir con los procedimientos que permitan iniciar y terminar el mantenimiento con la seguridad industrial y las medidas de cuidado del medio ambiente.

Esta situación ha creado la necesidad de convertir las empresas cubanas en organizaciones flexibles, capaces de adaptarse a los constantes cambios a partir del incremento de sus capacidades de respuesta a las nuevas condiciones del entorno. Muchos servicios de mantenimiento funcionan con resultados inciertos y a un costo resultante elevado, incluyendo no solo el dinero invertido, sino también, el esfuerzo del personal, horas extras realizadas de forma habitual, mayor cantidad de materiales y repuestos, en definitiva, la falta de objetivos estables, claros y conocidos encarece la gestión (González Pérez, 2018).

Por otra parte, se encuentra la Teoría de las restricciones (TOC) la cual es una metodología de mejoramiento continuo, que propone seguir una secuencia lógica a través de cinco pasos bien estructurados, para lograr mejores resultados de manera global en cualquier tipo de organización (Carrión Gordón, 2020). Este concepto piensa a la organización como una cadena eslabonada, en la que el eslabón más débil determina la fortaleza de toda la estructura. Esta metodología ha sido aplicada en distintos ámbitos, tales como Ventas, Finanzas, Producción, Competitividad,

Cadena de Suministros y Mantenimiento; esto abre las puertas cada día a implementarla y aplicarla en nuevas áreas o procesos lo que permite su integración con otros métodos que favorezcan el desempeño de las organizaciones. Los principios básicos de la TOC son elementos de apoyo que contribuyen a mejorar el raciocinio gerencial en el manejo de procesos e interacciones entre recursos, actividades y personas (Coque Párraga, 2018). En el desarrollo de la labor de mantenimiento se identifican limitaciones tanto físicas como políticas y hay que actuar sobre cada una de ellas, siempre teniendo en cuenta el sistema al que pertenece el elemento que limita el proceso y siguiendo un orden de acuerdo a su importancia en el momento determinado. La TOC permite planificar, programar y ejecutar dicho proceso; lo que contribuye a evitar averías o paradas innecesarias, el sobre tiempo, los altos costos, es decir, es una oportunidad de mejorar constantemente la rentabilidad del proceso y por consiguiente de la organización.

Las empresas se desarrollan bajo condiciones de incertidumbre, siendo por tanto el riesgo una característica inherente a la misma que debe ser abordado de una forma sistemática para evitar que un proyecto fracase. El fracaso puede verse reflejado cuando no se cumple con los objetivos trazados, como son el plazo, costo, calidad, seguridad o cuando se generan menos utilidades. La identificación a tiempo de los riesgos en un proceso permite poder tratarlos de forma efectiva, a pesar de esto muchas empresas no tratan este tema con la importancia que merece y para cuando el riesgo aparece ya es tarde para controlar la magnitud de sus efectos (Quispe Soria y Paricahua Cruz, 2016). La Gestión de riesgos posee una visión holística de la compañía y tiene en cuenta aspectos como la seguridad, la pérdida de control, estrategias para prevenir, reducir o transferir el riesgo, representa para la empresa una ventaja competitiva. El análisis de riesgos es uno de los elementos fundamentales a tomar en cuenta ya que puede traer consecuencias dañinas al entorno empresarial, a la comunidad y al planeta (Casares y Lizarzaburu, 2016). El uso de un enfoque basado en los riesgos garantiza una estrategia que cumple con los objetivos de un mantenimiento racional como la reducción al mínimo de los peligros, causados por el fallo inesperado del equipo. Dicho enfoque permite tratar profundamente las situaciones que puedan aparecer durante el mantenimiento, así como su planificación y control.

Por lo expuesto anteriormente es importante identificar las debilidades que hacen vulnerable a la organización, concentrando los esfuerzos en gestionar un cambio favorable e implementando medidas factibles para establecer un modelo administrativo en la mejora continua de los procesos.

En los análisis anteriores se observa cómo cada una de estas metodologías, de manera individual, son aplicadas con éxito al proceso de Gestión de mantenimiento, arrojando resultados satisfactorios; sin embargo, no se han aprovechado de manera integrada las ventajas que ellas

poseen. Lo anterior constituye, a grandes rasgos, la **situación problemática** que origina la presente investigación, la cual cede paso al **problema de investigación** que se desea solventar, y se hace visible de la manera siguiente: ¿Cómo contribuir al mejoramiento del proceso de Gestión del mantenimiento en las empresas cubanas?

El **objetivo general** de la investigación consiste en: definir acciones preventivas efectivas, resultantes del tratamiento de las restricciones del proceso a través de la Gestión de riesgos. Para alcanzar este objetivo general se proponen los **objetivos específicos** siguientes:

1. Seleccionar a través de la revisión de la literatura disponible los elementos fundamentales que caracterizan la Gestión del mantenimiento, la Teoría de las limitaciones y la Gestión de riesgo, así como los aspectos comunes que facilitan su integración.
2. Construir un procedimiento en el que se vincule la Teoría de las limitaciones y la Gestión de riesgo con el objetivo de tributar al mejoramiento de la Gestión de mantenimiento.
3. Validar el procedimiento propuesto mediante el criterio de especialistas.

Para dar solución al problema de investigación planteado en la Tesis se acudió a diferentes métodos teóricos y empíricos, además de técnicas y herramientas de la investigación científica, que contribuyeron de una forma sinérgica al desarrollo exitoso de la misma. Entre los métodos aplicados se destacan: los de análisis y síntesis, y el análisis comparativo, sin excluir el análisis lógico, la analogía, la reflexión y otros procesos mentales que también le son inherentes a toda actividad de investigación científica.

El **valor metodológico** de la propuesta se manifiesta a través de la integración de diferentes conceptos y herramientas en el procedimiento propuesto para asistir a la Gestión de mantenimiento, estructurados en un método general que permite su aplicación a otros procesos con similares propósitos.

En la presente investigación se desarrollan los objetivos planteados mediante dos capítulos, cuya estructura es la siguiente: el primero recoge toda la fundamentación teórica de la investigación para llegar a conceptualizar las definiciones, elementos y tendencias principales de los campos objeto de estudio. En el segundo se le da solución al problema de investigación mediante la propuesta de un procedimiento que integra a la Gestión de riesgos con la Teoría de las limitaciones, y posteriormente se realiza su validación mediante el criterio de expertos. Además, se muestran las conclusiones alcanzadas y las recomendaciones que contribuyen al desarrollo de trabajos futuros. Finalmente se expone un grupo de anexos necesarios para fundamentar, destacar y facilitar la comprensión de los aspectos de mayor complejidad que se tratan en el documento.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El capítulo que a continuación se desarrolla está estructurado según el hilo conductor que se muestra en la figura 1.1. Para su elaboración se realizó una revisión exhaustiva de la literatura especializada disponible en diferentes idiomas, sustentando las bases del estudio de forma tal que permitan el análisis del estado del arte y de la práctica sobre la integración de la Gestión del mantenimiento, la Teoría de las restricciones y la Gestión de riesgo.

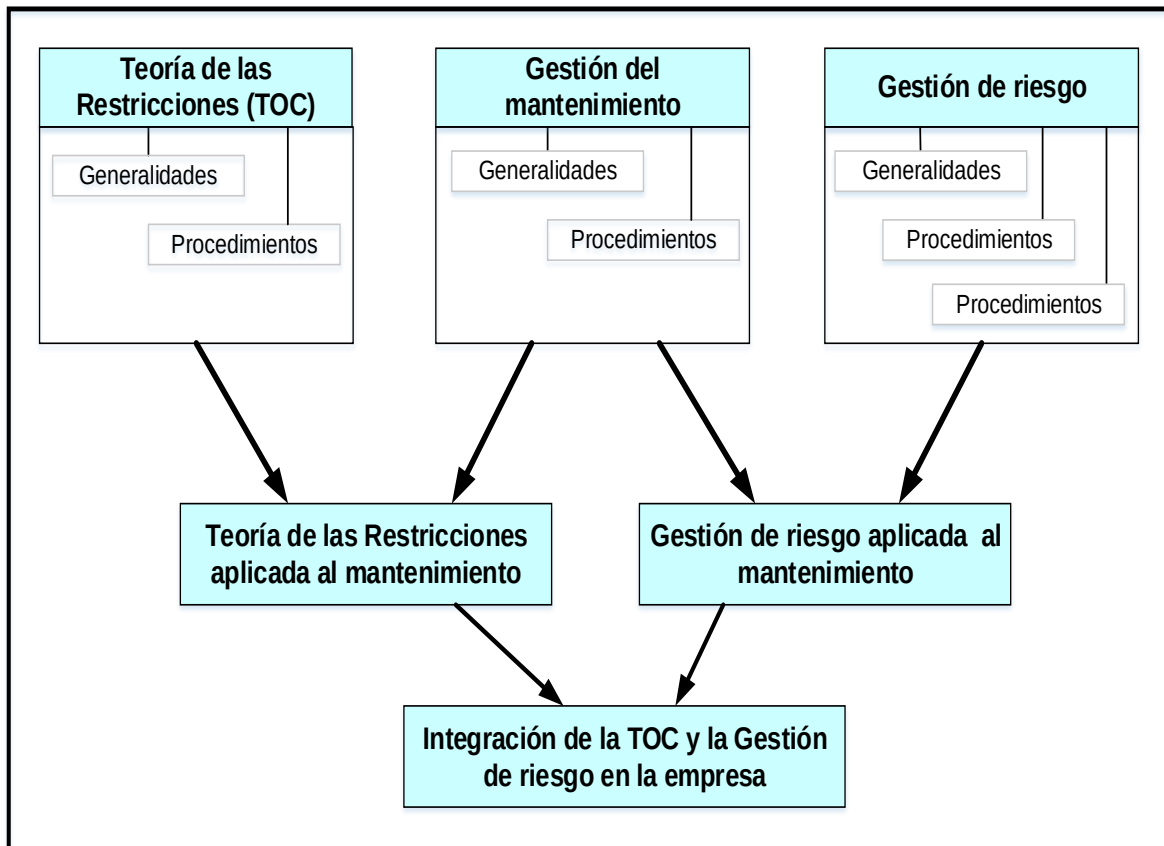


Figura 1.1. Hilo conductor del Marco Teórico Referencial.

1.1. Generalidades sobre la Gestión del mantenimiento

En la actualidad las empresas cuentan con una caracterización que define su sentido, su proyección en el futuro y a quién se debe. Para cumplir con lo anterior las empresas deben contar con una infraestructura tecnológica y constructiva la cual necesitan mantener en óptimas condiciones a través del mantenimiento. El mantenimiento es un servicio que agrupa una serie de actividades mediante las cuales un equipo, máquina, construcción civil o instalación, se mantiene o se restablece a un estado apto para realizar sus funciones, siendo importante en la calidad de los productos y como estrategia para una competencia exitosa, es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la

función requerida (Useche et al., 2013; Mantilla Rivera y Morales González, 2017; Jonge y Jakobsons, 2018; Galloso Cruzado, 2020; Gonzales Gomez, 2021; Pérez Rondón, 2021).

El término mantenimiento se empezó a utilizar en la industria hacia 1950 en EE.UU. El concepto ha ido evolucionando desde la simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción hasta la concepción actual del mantenimiento con funciones de prevenir, corregir y revisar los equipos a fin de optimizar el costo global (Escolar Chica y Rodríguez Torres, 2021). Varios autores, como Moubray (2004), Rodríguez Machado (2012), Chávez Salazar (2016), Pérez González (2016), Conesa Díaz (2019), Ren et al. (2021), Pérez Rondón (2021), Carramiñana Elbaile (2021), han categorizado dicha evolución a través de varias generaciones, las cuales se muestran a continuación.

Primera generación: cubre el período hasta la Segunda Guerra Mundial, en esa temporada la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los periodos de paradas no generaban impactos negativos en la producción, además de que la maquinaria se caracterizaba por ser sencilla y diseñada para una función determinada, lo que hacía que fuera confiable y fácil de reparar. En esos días el mantenimiento usado era el correctivo ya que la maquinaria se reparaba solo cuando se dañaba en su totalidad.

Segunda generación: todo cambió dramáticamente desde la Segunda Guerra Mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevó a una mayor mecanización. Para 1950, las maquinarias de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad, la industria estaba comenzando a depender de ellas. A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de mantenimiento preventivo. En 1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se llevaba a cabo en intervalos fijos. El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto llevó al crecimiento de la planificación de mantenimiento y programas de control, los cuales fueron una enorme contribución para comenzar a controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste. Finalmente, la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevó a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

Tercera generación: surge a principios de la década de 1980. En esta época se operaba con volúmenes de producción muy elevados, cobraban mucha importancia los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzó mayor complejidad la maquinaria y aumentó la dependencia de ellas, se exigían productos y servicios de calidad, considerando

aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolidó el desarrollo del mantenimiento preventivo. Se implementaron técnicas como: monitoreo de condición, diseño basado en fiabilidad y mantenibilidad, estudios de riesgo, utilización de ordenadores pequeños y rápidos, análisis de los modos de fallos y sus efectos, y análisis de los modos de fallos y sus efectos críticos (FMEA y FMECA, respectivamente). Es la etapa donde el mantenimiento predictivo o detección precoz de síntomas incipientes surge para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles.

Cuarta generación: hasta finales de la década de los 90 los desarrollos alcanzados en la tercera generación del mantenimiento incluían herramientas de ayuda a la decisión como estudios de riesgo, modos de fallo y análisis de causas de fallo, nuevas técnicas de mantenimiento como el monitoreo de condición, equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad. También surge un cambio importante en el pensamiento de la organización hacia la participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad. El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallos utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias del fallo, sino que se debe encontrar su causa, para eliminarlo y evitar así que se repita. Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de su organización y ejecución. Se extiende la externalización del servicio de mantenimiento y se fijan ratios medibles para poder calificar el servicio de mantenimiento, con bonificaciones y penalizaciones.

Quinta generación: está centrada en la terotecnología. Esta palabra, derivada del griego, significa el estudio y gestión de la vida de un activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final (incluyendo formas de disponer del mismo, desmantelar, etc.). Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costos de ciclo de vida (CCV) económicos. Es aplicable en todo tipo de industria y proceso. El objetivo principal de su aplicación es mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida. Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas. La quinta generación define el planteamiento de las bases y reglas para la creación de un modelo de la gestión y operación de mantenimiento orientado por la técnica y la logística integral de los equipos, requiere un enfoque disciplinado que permita a la organización maximizar el valor de sus activos y el ahorro de recursos.

En la figura 1.2 se muestran características de las generaciones anteriormente descritas.

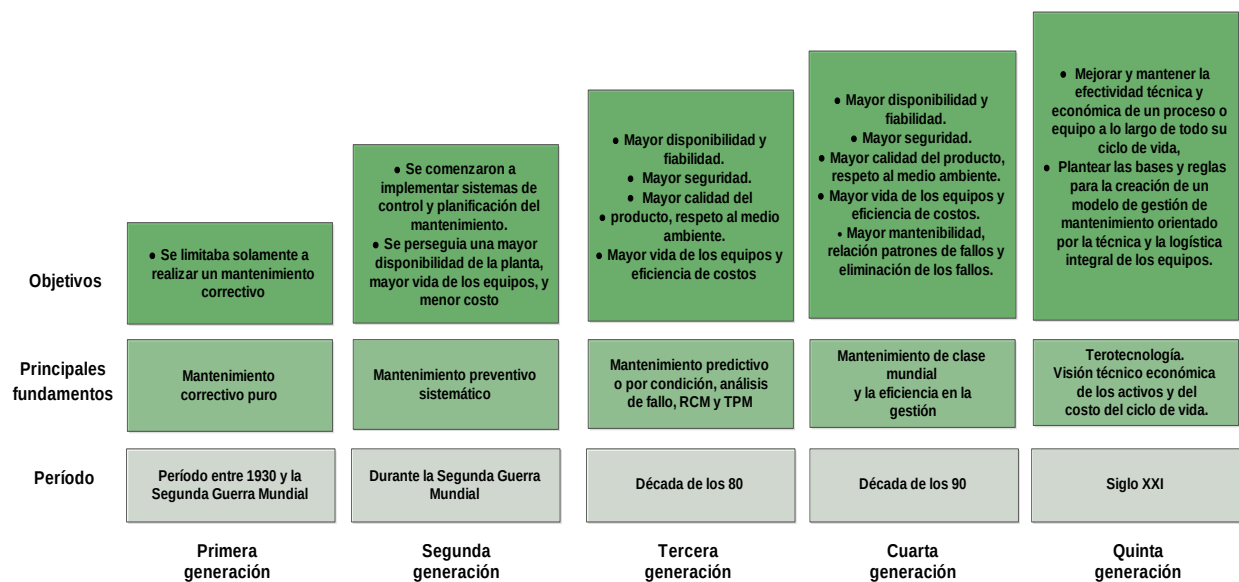


Figura 1.2. Características principales de las generaciones de mantenimiento.

Fuente: González Pérez (2018).

Los objetivos del mantenimiento son varios, autores como Quinde Rangel (2011), Duan et al. (2018), Alfonso Menéndez (2019), Gonzales Jara (2019), Hurtado Hurtado (2021), Alarcón Quiñonez y Romero Montenegro (2021) han coincidido en muchos de sus supuestos. Dichos autores establecen que los equipos deben funcionar durante el mayor tiempo posible, mantenerlos estables para disminuir los costos de producción, en condiciones donde se asegure la calidad y se resguarde la seguridad de todo el personal relacionado al proceso. Coinciden también en que se debe garantizar la máxima disponibilidad y la confiabilidad de las instalaciones, cumplir todas las normas de seguridad para evitar accidentes, mantener la conservación del medio ambiente, y maximizar la productividad y eficiencia.

Con el paso del tiempo han surgido variados sistemas para hacer frente al servicio de mantenimiento en las instalaciones en operación, algunos de ellos no solo centran su atención en corregir las fallas, sino también tratan de actuar antes de la aparición de las mismas lo que ha conducido a que el mantenimiento sea clasificado en diferentes grupos o tipos; autores como Troya Jorge (2016), Hernández Santana (2017), Sexto (2017), Castillo Leyva (2018), Reyes Alvarez (2019), Jamanca Paredes (2020), Fila et al. (2020), Abbas y Shafiee (2020), Calzada y Steven (2021), Díaz Delgado et al. (2021), Özgür-Ünlüakın et al. (2021), Zhang et al. (2021) coinciden que entre estos se encuentran los presentados a continuación.

Mantenimiento correctivo: consiste en ir reparando las averías a medida que se van produciendo. Se subdivide en correctivo inmediato (aquel que se realiza inmediatamente después de la verificación de un fallo funcional) y el correctivo diferido (puede programarse, se impone como

necesidad de intervención no prevista. Los une el hecho que, tanto uno como el otro se ejecutan siempre a posteriori de un fallo. El personal encargado de avisar de las averías es el propio usuario de las máquinas y equipos, y el encargado de realizar las reparaciones es el personal de mantenimiento. La tarea de mantenimiento correctivo consta de las actividades siguientes: detección y localización de la falla, desmontaje, recuperación o sustitución, montaje, pruebas, y verificación.

Mantenimiento preventivo: es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas. Es un servicio de trabajos necesarios, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua. Puede ser relativamente costoso, ya que sustituye piezas o elementos de un determinado equipo sin haberse explotado al máximo. El mantenimiento preventivo se inicia con un análisis detallado del estado de la maquinaria. Para ello, se establecen unos parámetros de medida tales como: tiempo entre fallos consecutivos, tiempos medios de reparación, rendimiento global de la maquinaria (OEE), y similares.

Mantenimiento predictivo: consiste en estudiar ciertos parámetros o variables, y asociarlos a la evolución de fallos, para determinar en qué período de tiempo ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que no tenga consecuencias graves. Las variables más comunes a analizar son: la temperatura, la presión, la cantidad de partículas presentes en el aceite usado, el ruido, la vibración, ensayos no destructivos con tintes penetrantes o por ultrasonido. Algunas de las principales técnicas de monitoreo que son empleadas en el mantenimiento predictivo son: análisis vibracional de equipos o elementos rotativos, análisis de la degradación de los aceites y lubricantes, termografía, y medición de espesores.

Como se puede observar el mantenimiento incrementa la confiabilidad de los sistemas de producción al realizar actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones. Su valor se aprecia en la medida en que éstas disminuyan como resultado de un trabajo planificado y sistemático con apoyo y recursos de una política integral de los directivos (Mora, 2009; Martinez Ruiz, 2018; Acevedo Darías, 2018).

Las actividades mencionadas forman un conjunto donde cada una depende de la otra, lo que lleva a gestionar dicho conjunto para que la organización alcance sus objetivos; y se enfatiza en la palabra gestionar la cual, según la ISO:9000 (2015), no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización para que así, en este epígrafe, se comience a entender el proceso de Gestión del mantenimiento.

La Gestión de mantenimiento puede ser definida, según Rodríguez Machado (2012), Paseiro Cortiñas (2017), Geldres Marchena (2019), Mehmeti et al. (2018), Qian et al. (2018), García y García (2019), Peinado Gonzalo et al. (2020), Singh et al. (2020), Sarbini et al. (2021), como el proceso que contempla la planificación, organización, coordinación, dirección, ejecución y el control en las tareas relacionadas con el mantenimiento, buscando la forma de retroalimentar el ciclo para en la medida de lo posible mejorar la gestión, asegura la producción de bienes y/o servicios de forma eficiente y con calidad, a través de la disponibilidad y fiabilidad de los equipos que integran la cadena de producción, garantiza la rentabilidad a través de la reducción de los costos por mantenimiento y satisfacción del cliente. La Gestión de mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos, permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de su contexto operacional. Según Farfán Panamá (2016), González Batista (2019), Ederson Manuel (2020) la Gestión de mantenimiento maximiza o añade valor a las instalaciones, maquinarias y equipos. Tiene como fin ser eficiente y efectiva aprovechando los recursos humanos, económicos, materiales y de tiempo, es un constituyente fundamental para el éxito. Está implícita en las utilidades de la empresa, en los riegos y en casi todas las actividades productivas y de planificación, por lo que reviste una gran importancia para cualquier negocio, reducir los paros por imprevistos, las pérdidas de producción (por productos dejados de elaborar o productos defectuosos) y garantiza la protección del medio ambiente.

1.1.1 El proceso de Gestión del mantenimiento

En la actualidad, la Gestión de mantenimiento está destinada a ser el pilar fundamental de toda empresa que busque ser competitiva o ser una empresa de excelencia. Autores como Campbell et al. (2015), Troya Jorge (2016), Velázquez López (2017), Ren et al. (2017), Rubio Arechavaleta (2018), Castillo Leyva (2018), Kent et al. (2018), Kumar y Kumar (2018), Reyes Alvarez (2019), Sangroni Laguardia et al. (2021), han planteado sus criterios para referirse al proceso, ciclo, plan o fases de dicha gestión. Todos coinciden en que las etapas que la conforman son: planificación, organización, ejecución y control. Seguidamente se muestra la caracterización de las mismas:

Planificación: conjunto de actividades que, a partir de las necesidades del mantenimiento, definen el curso de acción y las oportunidades más apropiadas para satisfacerlas, identificando los recursos necesarios y definiendo los medios para asegurar su oportuna disponibilidad. En la planificación del mantenimiento se le debe dar respuesta a las preguntas ¿cuándo hacerlo?, ¿con qué hacerlo? y ¿con quién hacerlo? En ella se deben cubrir aspectos como: acciones de mantenimiento (preventivo, correctivo) a realizar en los equipos o instalaciones, manejo de repuestos y partes componentes, contratistas (terceros), recursos humanos, físicos y financieros. También se establece el balance de las cargas de trabajo con las capacidades de medios y

hombres para llevarlas a cabo. En los edificios de instalaciones de servicio debe existir una planificación general a mediano y largo plazo para la totalidad del área. Se debe realizar una programación global, coordinar el trabajo de las diferentes subáreas y elaborar un presupuesto concreto, que incluya un cronograma y los recursos necesarios.

Organización: debe dar respuesta a las preguntas: ¿qué hacer? y ¿cómo hacerlo? Para ello se vale de dos fases: la fase organizativa donde se determina la estructura de trabajo, las funciones dentro de esta, las relaciones externas e internas, los procedimientos para el flujo, registro de información y documentación; y la fase preparatoria donde se define la preparación de los recursos (materiales y humanos), la documentación y las instalaciones. Es tal vez el área más ampliamente desarrollada de la teoría administrativa, tiene una vertiente estética que es sinónimo de entidad creada para alcanzar determinados objetivos, o colectivo de personas estructurado para la acción y una vertiente dinámica que consiste en ordenar y armonizar los recursos humanos, materiales y financieros de que se disponen con la finalidad de cumplimentar una meta dada con la máxima eficiencia. No se debe restar importancia a los aspectos relacionados con los individuos (motivación, capacitación, remuneración, incentivos, etc.) ya que contribuyen a crear un clima propicio para el logro de los objetivos. Otro factor importante es dimensionar la variedad de tareas que comprende el área de mantenimiento.

Ejecución: es el conjunto de actividades encaminadas a cumplimentar los requerimientos de mantenimiento, expresadas como trabajos específicos de cualquier tipo. Maneja la recepción de los programas o requerimientos en el caso de emergencias, la labor preparatoria de búsqueda de repuestos, herramientas, asignación del personal, instrucciones sobre procedimientos, así como la ejecución correcta de las tareas específicas del caso y la puesta en servicio del equipo o zona intervenida. Las tareas específicas en la ejecución del mantenimiento son los servicios técnicos (revisión, limpieza y fregado, lubricación), las pruebas de regulación (ajustes y tolerancias perdidos por causas imprevistas) y la conservación para la no operación, la protección contra la corrosión activa o pasiva (pintura y protecciones especiales), las inspecciones (controles del desgaste, revisión de los instrumentos de medición y de los dispositivos de seguridad), las reparaciones (pequeñas, medianas y generales). En esencia la ejecución consiste en realizar las actividades de mantenimiento de forma efectiva y eficiente, para aumentar la productividad en la gestión y cumplir exitosamente con los programas establecidos. Esta etapa puede realizarse por medios propios, por contratación de los trabajos a terceros o por la combinación de ambas. La tendencia general es hacia organizaciones de tipo mixto, descentralizadas por sectores.

Evaluación y control: está orientada a determinar cómo marchan las cosas y por qué marchan, a fin de que permita tomar decisiones. En esencia, se trata de responder a las preguntas: qué,

cómo, cuándo y cuánto se controlará, esto estará en dependencia no sólo de los objetivos de la organización o la empresa, sino también de las herramientas de que se disponga para el control. El control es una acción a ser realizada en forma constante en la organización, aunque existe una fuerte tendencia al autocontrol, utilizando mecanismos simples, sobre la base de los objetivos definidos, para un período determinado. Está basado en patrones de comparación preestablecidos, en consecuencia, será eficaz en la medida en que los resultados de su aplicación sean económicos y sirvan para tomar medidas de corrección. Posteriormente se definiría cómo se va a controlar, se harán inspecciones o se auto controlará el objeto ya definido. En cualquier caso, se requerirá una preparación adecuada que parta de la correcta definición de los parámetros a controlar y de la forma en que serán analizados y evaluados los resultados. Por último, se define el momento en que se controla y la frecuencia de control. Los tipos de control que existen son el previo, directivo o de dirección a corriente y a posterior. En cuanto a la evaluación de la Gestión de mantenimiento varias son las formas de realizarla, pero se pueden resumir en dos grandes grupos, el primero es la medición de resultados a partir del cálculo y análisis de indicadores y el segundo es la valoración del desarrollo principalmente a través de auditorías, que permiten realizar una evaluación más cualitativa y por tanto más flexible para su adecuación en el terreno, en dependencia de los puntos débiles y fuertes que vayan encontrando los auditores.

1.2. Generalidades sobre la Teoría de las Limitaciones (TOC)

El Dr. Eliyahu Goldratt es considerado el inventor de la Teoría de las Restricciones (Theory of Constraints, TOC), explicada por primera vez en su libro La Meta en 1984. La misma nace como solución a un problema de optimización y fue planteada por Occidente en respuesta a los crecientes avances de las industrias creadas en el sudeste asiático. En su libro considera que toda organización industrial tiene como único fin el ganar dinero de manera sostenida, y todo lo que ayude a ese fin (compras baratas, contratación de personal adecuado, tecnología de punta, fabricación y venta de bienes de calidad, conquista de mejores tasas de mercado, y comunicaciones y cumplimiento de los deseos del cliente) son los medios para alcanzar esa meta (Goldratt, 2010).

Esta teoría, según Goldratt (2010), Díaz Pérez (2014), Mabin (2015), es un procedimiento sistemático de gestión que se concentra en regir activamente las limitaciones que impiden el incremento de la organización hacia su meta de maximizar el total de fondos o ventas con costo agregado. Para esto se deben detectar los cuellos de botella. En el planteamiento de la teoría, se denomina “cuello de botella” a esos pasos que restringen el flujo del proceso.

La TOC es un conjunto de procesos de pensamiento que utiliza la lógica de la causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar maneras de mejorar. Se basa en el hecho simple de que los procesos multitarea de cualquier ámbito solo se mueven a la velocidad del eslabón más lento. Esta filosofía se basa en el esquema de una estructura compuesta por elementos interdependientes, similar al de una cadena, donde interviene un eslabón débil. Se fundamenta en observar a un sistema como una generalidad, aceptando la idea de que cualquier tipo de asociación (empresas, industrias, entidades financieras, u otras) que estén conformadas por sectores o elementos que trabajen de forma independiente (cumpliendo una determinada función), favorece en su totalidad a la institución. Está asociada a las diferentes áreas que integran una empresa, consiguiendo que la funcionalidad particular, ejecutable de forma separada, contribuya con la gestión global de dicha entidad. Tiene como fundamento la Teoría de Sistemas, cuyo punto de partida es la consideración de que los sistemas son teleológicos; es decir, que tienen un propósito, la visión sistémica posibilita el análisis de la empresa a partir del estudio de partes menores (subsistemas que se interrelacionan entre sí en el cumplimiento de sus objetivos) (Arango y Sorza, 2008; Coque Párraga, 2018; Cevallos et al., 2020; Mabin y Balderstone, 2020; Kahit, 2020; Kumar et al., 2020; Zhao y Hou, 2021).

Para comprender la filosofía TOC, Vega Falcón (2000) propone que es preciso conocer las hipótesis básicas en las que se fundamenta, dígame:

- Una organización ha sido creada para alcanzar un determinado objetivo.
- Una organización es más que la suma de sus partes.
- El desempeño de una organización depende de muy pocas variables.
- Goldratt (2010) plantea que la Teoría de las Restricciones (TOC) se basa en cuatro ejes fundamentales que son:
- Simplicidad inherente: esta explica que, sin importar el tamaño de la organización o sistema, la raíz de la problemática radica en muy pocos elementos, los mismos gobiernan el sistema y su correcto manejo ocasionan un efecto positivo en todo el sistema.
- Cada conflicto puede ser removido: este principio se basa en el hecho de que existen en toda organización dos partes definidas, lo que se conoce como dos colas, por lo que es necesario que no se aplique soluciones a medias tintas, que solo se enfoquen en solucionar una parte de la problemática, sino que se busquen y apliquen soluciones integrales que cubran las partes que se encuentran en conflicto.
- La Gente es buena: este fundamento se basa en el principio de lograr que en la organización, tanto los miembros de la alta gerencia como los mandos medios y operarios deben confiar mutuamente, con el fin de lograr esto se establece el principio de ganar - ganar, es decir, que

cuando la empresa genera un mayor crecimiento o ganancias de igual manera sucederá para las personas que forman parte de la organización. Para esto es necesario cultivar una mentalidad de asumir culpas y evitar echarlas a los demás.

- Nunca digas ya lo sé: consiste en evitar el confort por parte de los miembros de la empresa y en obtener una retroalimentación permanente de los procesos y el sistema TOC, para mejorar los resultados empresariales permanentemente.
- Según plantea Ribeiro et al. (2018), Asmat Rodriguez y Lopez Vaca (2020), del correcto uso y aplicación de la TOC se obtienen beneficios, los cuales se exponen a continuación:
- Aseguramiento del futuro: el mejoramiento continuo del sistema fortalece constantemente la posición estratégica de una empresa y asegura así el futuro en forma sostenible.
- Incremento de utilidades: gracias a la utilización óptima de recursos y a la toma de medidas bien enfocadas a puntos clave se mejora la competitividad.
- Mejoramiento de liquidez: un mejoramiento de la liquidez se logra mediante la reducción de inventarios innecesarios de productos terminados y en proceso, flujos más rápidos de pago y cobros y la utilización inteligente de recursos financieros.
- Capacidad mejorada: la optimización de la restricción permite que se fabriquen más productos.
- Responsabilidad social: en base a la estrategia prioritaria de aumentar utilidades reduciendo costos, generalmente se logra conservar o inclusive incrementar puestos de trabajo. Por lo tanto, se trata de un sistema de gestión que incorpora la responsabilidad social.
- Conservación de recursos y medio ambiente: gracias a los métodos de producción y logística orientados hacia una demanda real, únicamente se utilizan los materiales y recursos estrictamente necesarios para la fabricación de productos o prestación de servicios. De esta forma se evita el desperdicio de materias primas y energía contribuyendo así a la conservación del medio ambiente.

La metodología TOC postula que la meta y el desempeño de una organización pueden medirse a través de tres indicadores definidos de manera cuidadosa para observar el rendimiento operacional (Morales Londoño, 2016). Plantea Goldratt (2008) que los indicadores se clasifican en operativos y estratégicos. Coincidiendo con el mencionado autor, dichos indicadores se definen, según Hernández Quispe (2014), Delgado Añasco (2017), Uribe Gomez y Quintero Ramírez (2017), Gupta y Andersen (2018), Carrión Gordón (2020) de la forma siguiente.

Indicadores operativos: estos permiten conocer la situación actual de la empresa, miden el efecto global sobre la meta de la organización de una acción local.

- Rendimiento, ingreso neto o throughput (T): se define como la razón en la cual el sistema genera dinero mediante las ventas de los productos elaborados, o sea, todo el dinero que entra en el sistema (principalmente por las ventas).
- Inventario (I): dinero retenido dentro del sistema (invertido en adquirir bienes que luego se pretenden vender).
- Gastos de operación (GO): todo el dinero que el sistema tiene que gastar para generar throughput, incluidos los gastos de mantenimiento de instalaciones y equipos, o sea, dinero gastado por el sistema para convertir el inventario en ingresos netos.
- Indicadores estratégicos: para la teoría que se caracteriza en este epígrafe lo que determina si una organización está en camino de cumplir su meta es el análisis de tres indicadores que denomina estratégicos. Estos son utilidad neta, retorno de la inversión (ROI), y liquidez. Si una organización aumenta su utilidad neta, he incrementa la rentabilidad, la consecución del objetivo de la empresa está prácticamente asegurado.
- Beneficio o Utilidad neta (U.N): es considerada como la diferencia del throughput y los gastos operacionales, es decir, es el resultado de descontar los gastos correspondientes a las utilidades obtenidas por la organización.
- Rentabilidad o Retorno de la inversión (ROI): es la razón entre la utilidad neta y la inversión que se ha realizado. Este indica que tan bien está siendo utilizado el dinero puesto por los accionistas de la empresa. En otras palabras, el ROI es el dinero que la organización gana por una inyección de capital. Representa el rendimiento financiero de la empresa.
- Liquidez: dinero disponible en la entidad.

La TOC se presenta como una alternativa útil para gestionar la generación de valor, abordando el tema desde la perspectiva de incremento de la utilidad operativa. Esta ve a cualquier empresa como un sistema, es decir, un conjunto de elementos interdependientes que al interactuar entre sí afectan el desempeño global del sistema. También supone que todos los sistemas tienen al menos una restricción que interfiere en que ese desempeño global sea mayor, por lo tanto es de suma importancia conocer lo que se entiende por restricción (Valencia Guapacha, 2017).

Las restricciones son las que impiden obtener mejores resultados. Se consideran cualquier cosa que limita que la empresa logre su objetivo, es decir, que impida que gane más dinero. Puede ser un trabajador, un equipo, una política, la ausencia de alguna herramienta o un procedimiento errado. La existencia de las mismas representa oportunidades, estas deben ser valoradas como aspectos por mejorar y no como problemáticas. Con lo anterior se hace referencia al perfeccionamiento de los procesos, a la forma de solucionar los problemas, al análisis de los costos, al manejo del talento humano, a la programación efectiva de la producción, a la

identificación correcta de lo que restringe una empresa y cómo eso afecta la satisfacción del cliente y el crecimiento económico de la misma (Goldratt, 2010; Coque Párraga, 2018; Palma et al., 2020).

Existen según González Gómez et al. (2003), Morales Londoño (2016), Valencia Pupiales y Bedoya Osorio (2017), Romero Tricerri (2018), Ordosgoitia López (2018), García Erazo (2020), Tuñoque Chávez (2021) diferentes tipos de restricciones en una empresa que pueden limitar su progreso y obtención de utilidades, las más comunes son:

Restricciones físicas: principalmente son el mercado, la logística, la función de máquina, la manufactura, y la disponibilidad de materias primas.

- Restricciones de manufactura: se refieren a obstáculos en la capacidad de producción que impiden mantener el ritmo de la demanda.
- Restricciones de mercados: cuando la demanda del mercado atendido es menor que la capacidad de la empresa.
- Restricciones de materiales: cuando el suministro, la calidad y la oportunidad de los materiales impide cumplir con la demanda.
- Restricciones logísticas: problemas en los métodos de trabajo que impiden el adecuado flujo del producto desde las fuentes de materia prima hasta los clientes finales.

Restricciones políticas: son aquellas que se dan por la manera de administrar la empresa y se originan en una causa raíz. Es decir, prácticas, reglas, normas, indicadores mal planeados o interpretados, procedimientos, protocolos, estímulos o maneras de operación que son contrarias a la productividad y conducen inadvertidamente a resultados que son opuestos al rendimiento.

1.2.1 Procedimiento de la TOC

Las restricciones determinan el rendimiento del sistema, por lo que la TOC recomienda, para su utilización eficiente y eficaz, el procedimiento de los cinco pasos. El mismo concentra sus iniciativas de mejora en la operación que restringe un proceso crucial o en el componente más débil que limita el desempeño de todo el sistema (Orouji, 2016; Tovar Zapata, 2017; Li, 2019; Mishra y Moktan, 2019). También permite a una organización aprovechar continuamente y elevar su potencial inherente, que puede "desbloquearse" o "crearse", enfocando los recursos escasos en identificar, explotar y elevar el rendimiento de su restricción actual (Espinoza Ramírez, 2019). En su teoría, Goldratt (2010) expone los pasos que a continuación se tratan a grandes rasgos.

- Paso 1. Identificar la restricción del sistema

El primer paso que se debe dar para mejorar la eficiencia del proceso es identificar la restricción. La forma más simple de identificar dicha restricción es comparar la carga que se coloca en cada recurso, con la cantidad total de producción y la configuración requerida en ese recurso para

satisfacer la demanda del mercado. La elección del cuello de botella es el punto fundamental en el desarrollo de la estrategia para todo el negocio. Esta es una decisión que no debe tomarse basándose solamente en la relación producción / fabricación. Esto implica la necesidad de analizar el proceso completo para determinar qué limita el rendimiento. No es posible hacer mejoras si no se encuentra la restricción o el eslabón débil.

- Paso 2. Decidir cómo explotar la restricción

La explotación significa que se debe exponer al máximo el recurso crítico. Consiste en determinar la forma de cargar la restricción mientras se planifica el flujo de producción. Más específicamente, se requiere determinar de qué manera se debe explotar la restricción para maximizar su utilidad y usarlo de la manera más efectiva posible. Esto se logra evitando tiempo ocioso, haciendo mantenimientos para evitar averías, producir partes que no serán necesarias.

- Paso 3. Subordinar todo lo demás a la decisión anterior

Una vez el proceso restrictivo está operando a su máxima capacidad, el movimiento de otros procesos está en función de la velocidad o capacidad de la restricción. Subordinar es que el nivel de utilización de los recursos no restrictivos, sean determinados por el cuello de botella. Es decir, se deben programar los recursos con base en la restricción. Todas las actividades, desde la publicación del material hasta cómo se procesan antes y después del cuello de botella, deben realizarse de la manera que mejor respalde las decisiones tomadas en el segundo paso. Los procesos subordinados se pueden determinar antes de la restricción a través del flujo de valor.

- Paso 4. Elevar la restricción del sistema

Al completar el tercer paso, se tiene un sistema que opera a pleno potencial (se obtiene el máximo rendimiento por lo que se ha hecho con la restricción y el desperdicio se minimiza mediante la subordinación en todos los demás recursos). Este paso lo que busca es tratar de aumentar la capacidad del cuello de botella de manera que permita agregar valor a este. Para lograrlo se pueden desplazar partes a otros procesos, aumentar las horas - hombres, aumentar la maquinaria o subcontratar parte de la producción del cuello de botella. Si se supera la limitación identificada, vaya al paso cinco para encontrar otra limitación que afecte el rendimiento del sistema de producción, con el fin de fortalecer los efectos de las acciones tomadas.

- Paso 5. Sí la restricción ha sido eliminada, regresar al paso inicial

Completado el cuarto paso, la capacidad de rendimiento de la restricción actual es elevada, por lo tanto, ya no puede seguir siendo una limitante. Su nuevo potencial será mayor que la capacidad de otro recurso en el sistema. Tras haber eliminado el impedimento, se lleva a cabo un nuevo ciclo de TOC en el que se debe identificar nuevamente que eslabón es el más débil; este análisis permitirá mantener una revisión continua del proceso. No se puede permitir que la inercia se

imponga. La organización puede requerir algunos cambios más, que podrían estar involucrados en la mejora de capital, reorganización u otros costos importantes de tiempo o dinero.

Para facilitar el procedimiento descrito anteriormente Goldratt (2008) propone varias técnicas, las cuales se describen a continuación:

Árbol de pre-requisito (APr): es una herramienta de causa necesaria. Los autores Díaz Pérez (2014), Ikeziri et al. (2018), Cox III y Boyd (2020), coinciden en que lo primero que se debe hacer es realizar una comparación entre la situación actual y la deseada o preguntarse, ¿qué es lo que impide alcanzar el objetivo en este momento? Si se superan todos los obstáculos, se deben examinar cada uno planteándose la pregunta siguiente, ¿es realmente esto lo que impide alcanzar el objetivo? Esta etapa es importante porque se evita inventar obstáculos que no existen. Luego se confecciona un listado de las condiciones en que cada uno de los obstáculos se logra superar (objetivos intermedios). Es muy importante no confundir los objetivos con acciones las cuales son las que logran alcanzarlos.

Árbol de transición (AT): en la base se encuentra el punto del cual partimos o nuestra realidad actual, y en la parte superior se encuentra el objetivo al cual se desea llegar a través de todas reacciones y efectos expresados. Es el final donde logramos una estrategia que permitirá plantear un resultado exitoso. Se hace útil cuando el plan contiene varias líneas paralelas y se está haciendo algo nuevo, donde hay poca experiencia. Conduce a la construcción de un plan detallado. Se basa en las acciones obtenidas para enfrentar los obstáculos intermedios señalados en el árbol de prerrequisitos (Mayta Tolentino, 2017; Ordosgoitia López, 2018; Alvarado Condori, 2019).

Nube de conflictos: es una metodología desarrollada para resolver conflictos de acuerdo con una relación ganar-ganar. Se llama nube porque en algunos casos no se sabe explicar el verdadero motivo del conflicto. Como la metodología permite que desaparezca la confusión que envuelve al mismo, la nube se evapora. Está conformada por un objetivo que exige la existencia de dos requerimientos (A y B), y dichos requerimientos exigen cada uno la existencia de dos prerrequisitos (D y D') que son contrapuestos (Cárdenas Krenz y Gálvez Fujishima, 2010; Díaz Pérez, 2014; Peña García, 2016)

Árbol de realidad actual (ARA o CRT): esquema donde se relacionan "causa" y "efecto" cuya construcción está definida por ocho reglas. Comienza por un problema de raíz, se desarrolla hacia arriba y tiene ramas de efectos negativos y hojas que son los efectos finales o indeseables. Los problemas son los que se deben cambiar (Samá Muñoz y Díaz Acosta, 2020).

Árbol de realidad futura (ARF): es una herramienta basada en la lógica para construir y probar soluciones antes de su implementación. Los objetivos son (1) desarrollar, expandir y completar

la solución y (2) identificar y solucionar nuevos problemas creados por implementar la solución (Ramírez Gaitan, 2018).

En el lenguaje TOC, los cuellos de botella o las restricciones que determinan la salida del proceso son llamados drums. Los mismos establecen su capacidad. De esta analogía proviene el método llamado drum-buffer-rope (tambor-amortiguador o inventario de protección-cuerda), que es la forma de aplicación de dicha teoría a las empresas industriales. Este método asegura un nivel de inventario constante entre el recurso restringido y el proceso de selección de materias primas (Acero Navarro, 2012).

Drum (tambor): se refiere a los cuellos de botella, representa el tiempo de proceso dado por la restricción y marca el ritmo de flujo de la misma, puede limitar el inventario del sistema (Harish 2019).

Buffer (amortiguador o inventario de protección): es la manifestación física del inventario en un sistema TOC. El propósito del búfer es brindar protección para la salida de la restricción. El mismo lo hace actuando como un "amortiguador" contra las fluctuaciones estadísticas. Está también el búfer de restricción (BR) el cual permite que el recurso de restricción produzca una salida con poca dependencia de la entrada que se recibe de los procesos ascendentes (Bazan Rios et al., 2019).

Rope (cuerda): une el recurso de restricción con la operación inicial, controlando así la liberación de materiales a un ritmo dictado por el consumo de los mismos en la restricción, y al igual que el tambor puede limitar el inventario del sistema. Este es el canal de comunicación para proporcionar retroalimentación desde el tambor hasta el comienzo del sistema, es decir, liberación de la orden. Con base en lo anterior, dicha liberación alinea la entrada de trabajo con la tasa de salida del cuello de botella (Thürer y Stevenson, 2017).

DBR subordina la liberación de trabajos al sistema de acuerdo con el cuello de botella (la restricción o el tambor). El mismo no limita el movimiento de materiales entre máquinas y opera bajo un sistema de trabajo cuando hay disponible. Es un sistema de planeación de procesos para reducir el tiempo de control en la programación de las operaciones y evitar las fluctuaciones en el proceso (Watson y Patti, 2008).

1.2.2 Teoría de las limitaciones aplicada al mantenimiento

En las empresas manufactureras y algunas de servicios la función del área de producción es programar la planta para lograr la mayor rentabilidad, aprovechando al máximo los recursos instalados con que cuenta (Reyes Mendoza, 2006). Lo ideal de una planta sería que esos procesos fluyeran sin ningún tropiezo, pero la realidad es que con frecuencia se presentan subutilización de equipos, averías, la maquinaria instalada en la cadena de producción no tiene

la misma capacidad para atender un determinado flujo de productos, no se cuenta con soporte de equipos de respaldo, con un inventario lógico de partes en almacén o con personal capacitado (Díaz Pérez, 2014). Todo esto lleva en pocas palabras a la disminución de la rentabilidad de la Empresa. De ahí nace la necesidad de tener un departamento de mantenimiento bien enfocado en su razón de ser y en sus objetivos (Asencios Príncipe et al., 2021) .

Según plantea Amendola et al. (2017) existe una combinación entre TOC y técnicas para la planificación, programación y ejecución para las paradas de planta. Es por esto que los proyectos de trabajos de planta han visto en este procedimiento una oportunidad de constantes mejoras. Conceptos como seguridad y fiabilidad están íntimamente relacionados en el análisis de los procesos con los cuales al estar bien definidos se prevén pérdidas económicas, ecológicas y humanas. Si se identifican, explotan y posteriormente elevan las restricciones se ofrecería un servicio de calidad. Precisamente es la TOC aplicada al mantenimiento la que ofrece ventajas de prevención de fallos (Sandoval Alayo, 2019).

Todo sistema productivo, de cualquier organización, genera valor con un coste y tienen un tiempo de respuesta. La TOC pretende la óptima operatividad del sistema incrementando su tasa de generación de valor. En mantenimiento, debe aplicarse siempre teniendo en cuenta el sistema a que pertenece el equipo en donde se detecta que se forma el cuello de botella (Poma Surichahui, 2017).

La ejecución de cualquier sistema podría mejorar drásticamente y seguir un perfil adecuado utilizando TOC. Esta teoría puede combinarse con otras herramientas como con el sistema de camino o ruta crítica, estudios de tiempo, análisis de causa – efecto entre otros, para determinar posibles causas y obtener un diagnóstico más puntual. Los procedimientos mencionados contribuirán a indicar que actividades son las que hay que ejecutar y establecer en qué momento ejecutarlas, con el objetivo de que la parada de planta culmine en el tiempo establecido (Moncada Maliza, 2017).

Mantenimiento debe entender el negocio que se está desarrollando en la empresa y las rentabilidades de los diferentes productos para conservar operable con el debido grado de eficiencia y eficacia su activo fijo. Conocer los procesos que se desarrollan en la planta, los principios de funcionamiento de cada uno de los equipos, su puesto dentro de la línea de producción, cuales restringen dicha línea y las especificaciones técnicas de cada uno. También debe brindar un apoyo capacitando al personal de operaciones (Gutiérrez Herrera, 2020).

Actualmente muchas empresas pierden significativamente materia prima y tiempo en los mantenimientos. Esto se convierte en un alto porcentaje del costo de la producción planificada. La disminución de los costes del mantenimiento no siempre ayuda a optimizar el mantenimiento

industrial pudiendo provocar más pérdidas que ganancias. Tener los mejores equipos no siempre hace tener máxima eficiencia. Los indicadores tomados no siempre representan la realidad de la eficiencia del mantenimiento (De la Cruz Aragonese et al., 2018).

El responsable del departamento de mantenimiento debe tener presente siempre el impacto de su área en los resultados financieros para elaborar el modelo de mantenimiento que contribuya a ellos. En la gran mayoría de las empresas el desempeño de mantenimiento afecta la facturación. Si el mantenimiento es demasiado frecuente e ineficiente se incrementan los costos y pueden llegar a ser muy altos y no lograr las metas propuestas (Stein, 2010).

1.3. Aspectos generales sobre la Gestión de riesgo

La correcta identificación y evaluación de los riesgos se está convirtiendo en un elemento crucial en la gestión de las organizaciones. Llevar a cabo los programas de cumplimiento normativo mediante la gestión de riesgos posibilita integrar herramientas de gestión para el logro de la sostenibilidad organizacional (Aguilera Sánchez et al., 2019). En el desarrollo de este tema se necesita comenzar definiendo el riesgo el cual, según Chemweno et al. (2015), Dickerson y Ackerman (2016), Herrera Galán (2017), Lamiña Asqui (2018), ISO:31000 (2018), Tranchard (2018), Jonek Kowalska (2019), Project Management Institute. Inc (2019), Quitian Duque (2020), Laine et al. (2021), Parviainen et al. (2021), es la probabilidad de que suceda un evento o impacto adverso siendo la consecuencia del peligro, en relación con la frecuencia con que se presente dicho evento. Este concepto cuenta con dos elementos, la posibilidad de que algo ocurra y las consecuencias en caso de que suceda. A nivel estratégico, los riesgos son el impacto actual o previsto en los resultados empresariales debido a decisiones inadecuadas, inapropiada implementación de las decisiones o falta de respuesta ante los cambios en la industria, mercado, política, sociedad, leyes, o tecnología. A nivel operacional, los riesgos surgen de la posibilidad de sistemas de información y operación inadecuados, fallos en los controles internos, fraudes, catástrofes o eventos imprevistos, resulten en pérdidas o daños inesperados. El nivel de riesgo, comentan Huth et al. (2017), Conesa Díaz (2019), Mvubu y Naude (2020), Samimi (2021), relaciona la frecuencia de ocurrencia de un hecho y las consecuencias potenciales que generaría el mismo en caso de ocurrir. En la medida que la frecuencia o el impacto aumenten, aumentará el nivel de riesgo, y viceversa. Dicho nivel está influenciado por cualquier control, o acción, implementados para minimizar la probabilidad de ocurrencia o sus consecuencias. Existen varias formas de clasificar los riesgos, las cuales se pueden observar claramente en el Anexo 2.

En las expresiones siguientes se muestra la forma de calcular el riesgo planteada por varios autores. Según Rizo Rodríguez et al. (2019) el riesgo (R) se obtiene de multiplicar la frecuencia del fallo (F) por la probabilidad de fallo (P) por la magnitud de las consecuencias (C) es decir:

- $R = F * P * C$ (1.1)

Por otro lado Rodríguez et al. (2021) plantea que el riesgo (R) se basa en el producto de la probabilidad de ocurrencia de accidentes considerados (P_A , absoluta o referida a un período de tiempo determinado: F_P accidentes/año o año^{-1}), por las consecuencias esperadas (C) en términos de afectaciones económicas, a la salud o a la vida humana y/o al medio ambiente.

- $R = P_A * C$ ó $R = F_P * C$ (1.2)

También Figueira et al. (2020) expone que los riesgos potenciales de un activo, expuestos a una amenaza se calculan de la siguiente manera:

- Riesgo potencial = Frecuencia * Impacto potencial
- Impacto potencial = Valor * Degradación

Dónde:

- Frecuencia: representa cuan a menudo aparece la amenaza (calculada a partir del historial datos y considerando cuántas veces se ha materializado la amenaza en el período, generalmente un año)
- Valor: la importancia del activo para la organización, si se pierde o ya no está disponible se le asigna normalmente en una escala de 0 (no significativo) o de lo contrario a 10 (muy significativo).
- Degradación: es un porcentaje que representa el daño que puede causar una amenaza al activo (0% significa que no hay degradación del activo y 100% significa que el activo ya no está disponible).

Cuando se aborda el tema referente al riesgo es necesario referirse a su Gestión, la cual ya no se limita al enfoque financiero tradicional o de cobertura. Este tipo de gestión en realidad posee una visión holística de la empresa que contempla aspectos muy variados como la pérdida de control, la seguridad, así como diversas estrategias para prevenir, reducir o transferir el riesgo (Torre Enciso y San José Martí, 2011) .

La Gestión del riesgo tiene como objetivo principal lograr la comprensión y el aprovechamiento de las oportunidades para generar beneficios, mientras se disminuyen las pérdidas al conocer y atacar las amenazas. Todo ello permite un análisis integral del riesgo en cada etapa y, al mismo tiempo, plantear medidas adecuadas de tratamiento, orientadas a cada una de las variables, según el riesgo y la necesidad particular de cada sistema u organización (Chasi Toca, 2017; Brocal et al., 2021; Pérez Loaiza y Ramírez Betancur, 2021). La misma es una temática actual, considerada una nueva forma de organización, aunque de igual manera, se reconocen las dificultades para su implementación y seguimiento. Herrera Galán (2017) la sitúa como un elemento importante a tener en cuenta en el desarrollo de la actividad empresarial, precisamente,

en el centro de preocupación de la administración. Su abordaje es realizado por diversos especialistas desde miradas distintas, por lo general en el ámbito financiero, laboral y de prevención. Autores como Romera y Torres Gallego (2008), Seyedshohadaie et al. (2010), Montes (2012), Soler González et al. (2018), Hutchins (2018), Laine et al. (2021), plantean que dicha gestión es la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas para identificar, analizar, evaluar, tratar y dar seguimiento a los riesgos. Esencialmente implica el anticipar ¿qué puede ir mal?, ¿por qué puede ocurrir? y ¿qué puede realizarse para evitar o disminuir el riesgo? Es aplicable a todo el ámbito empresarial, en cualquier fase de un programa, proceso, actividad o proyecto, así como en todos los niveles de la organización, tanto estratégico como operacional. Según Rodríguez Pérez (2017), Castro Aguilar (2020), Hinojoza Aliendres (2021), la Gestión de riesgo no es más que el proceso planificado, concertado, participativo e integral de reducción de las condiciones de riesgo en una comunidad, región o país. Implica la complementariedad de capacidades y recursos, está íntimamente ligada a la búsqueda del desarrollo sostenible. Es el conjunto de decisiones administrativas y conocimientos operacionales para implementar políticas y estrategias con el fin de reducir el impacto de amenazas y desastres tanto ambientales como tecnológicos.

Varias entidades asumen que los riesgos empresariales están afectados por principios y políticas que rigen su administración. En compendio con la ISO:31000 (2018), Montenegro Enriquez (2020) y Cárdenas Rico et al. (2020), el autor de la presente investigación coincide en que los principios de la Gestión del riesgo empresarial son los siguientes.

- Integrada: es parte integral de todas las actividades de la empresa, tiene un marcado enfoque a procesos, abarca de todas las actividades de la organización.
- Estructurada y exhaustiva: contribuye a gestionar resultados coherentes y comparables en el tiempo.
- Adaptable: se contextualiza de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis externo e interno realizado por la empresa, es proporcional a los contextos mencionados.
- Inclusiva: consulta y tiene en cuenta los impactos potenciales que actúan sobre todas las partes interesadas (stakeholders), los conocimientos, puntos de vista y percepciones son comunicados por diferentes vías para involucrar a todos los actores.
- Dinámica: anticipa, detecta, reconoce y responde ante todo cambio anticipándose oportunamente.
- Disponible: información histórica y actualizada para los stakeholders.
- Factor humano y cultural: influye en todo nivel y etapa, analiza las conductas, creencias, costumbres, actividades o comportamientos de los miembros.

- Mejora continua: establece indicadores clave de desempeño y los compara en el tiempo para evaluar la mejora continua en la organización por medio del aprendizaje y la experiencia.
- La adopción formal de los principios de Gestión de riesgos no tiene la intención de implantar complejidad innecesaria o niveles de burocracia en sus prácticas actuales, sino que tiene el propósito de implantar un enfoque sistemático a lo que usted ya hace, y por tanto mejorar la responsabilidad y el desempeño de la organización. Para comprender los riesgos empresariales se requieren tres condiciones básicas (Mariani, 2016; Kiran et al., 2016; Ariet, 2017):
- El conocimiento detallado de los procesos empresariales.
- Una imaginación activa y las herramientas para generar ideas sobre los posibles efectos de los riesgos.
- Una estructura de riesgo y un lenguaje común para discutir los riesgos.
- Dada la relación de principios, los responsables de la organización deben establecer un marco de referencia estandarizado en un ciclo de actividades. Existe una serie de elementos que se deben tener en cuenta para comprender una política de riesgos y su gestión en las entidades, los cuales son adaptables a cualquier tipo de organización (Henao et al., 2017; Lara, 2020; Guillart Juan y Capuz Rizo, 2020), dígase:
- Conocer la dinámica, incidencia, causalidad y naturaleza de los factores de riesgo, amenazas y vulnerabilidades.
- Definir los recursos, responsabilidades y metodologías para la valoración del riesgo.
- Estimular y promocionar los mecanismos para reducir las condiciones de riesgo existentes.
- Contar con capacidades para predecir, pronosticar, medir y difundir información fidedigna.
- Fomentar procesos educativos para el entendimiento del problema del riesgo.
- Reducir, en prospectiva, el riesgo en futuros proyectos de desarrollo.
- Definir las interacciones entre la gestión de riesgos y otros sistemas de gestión.

En resumen, esto lleva a considerar que el sistema de gestión del riesgo en general es importante porque crea y protege el valor de algo. Es una parte integral de todos los procesos de organización. Contribuye en la toma de decisiones, es sistemático, estructurado y oportuno para conseguir resultados fiables y consistentes. Respalda la calidad y la seguridad en los procesos cadena (Meisel Lanner, 2020).

Las organizaciones empresariales con ánimos de lucro o no, deben desarrollar la Gestión de riesgo empresarial basándose fundamentalmente en las normativas que los rigen, para que establezcan planes que propicien la protección de recursos y transacciones financieras. El estudio especializado de la materia ha de convertirse en una necesidad. La utilización de las

herramientas recomendadas por normas e investigadores debe ser una vía a desarrollar (Soler González et al., 2018).

1.3.1 Normativas sobre Gestión de riesgos La gestión de riesgos es uno de los elementos más renovadores a considerar en el direccionamiento estratégico y el fortalecimiento del control interno, donde el hombre, como activo más importante, se ocupa de su identificación, tratamiento, revisión y monitoreo permanente. A nivel internacional se trabaja para apoyar su implementación desde diferentes normas, tales como: la ISO 31000, el estándar Australiano (Standards Association of Australia, 2004) y el COSO (COSO, 2018). Así también, la efectividad de la gestión depende de la precisa identificación de los riesgos y factores asociados, lo que permite tomar acciones para prevenir eventos o mitigar su efecto. Por otra parte, la resolución no. 60 (Contraloría General de la República de Cuba, 2011), es la normativa que rige el control interno en Cuba, en su segundo componente incorpora la gestión y prevención para propiciar una cultura de riesgo organizacional. Utilizada para la identificación y tratamiento de los riesgos desde el plan de prevención (Guerrero Aguiar et al., 2020).

La norma ISO 31000, comentan Casares y Lizarzaburu (2016), Aven (2017), León Ruiz (2017), es utilizable en todo tipo de riesgos ya sea financiero, de instalaciones, de operaciones, sistémico entre otros; otorga las pautas necesarias para que una organización de cualquier tipo pueda gestionar adecuadamente sus riesgos; reconoce que el efecto del riesgo puede ser positivo o negativo para la organización; es indispensable que se enfoque hacia las metas para que la administración de riesgos empresariales se realice mediante un lenguaje y un proceso común en toda la corporación. Los objetivos de la norma para ayudar a toda organización que la implemente son los siguientes (Casares y Lizarzaburu, 2016; ISO:31000, 2018; Hutchins, 2018) :

- Ayuda en la gestión ante acontecimientos de riesgos que se analizan.
- Proporciona una configuración para controlar riesgos, en particular para los que no hayan sido reconocidos.
- Crear una compañía que permita adaptarse a riesgos futuros de manera oportuna y logre una conveniente comunicación.
- De esta manera, Uribe Ibañez (2012), Casares y Lizarzaburu (2016) mencionan que la ISO 31000 permite a toda empresa que la implemente:
- Incrementar la posibilidad de alcanzar los objetivos.
- Dar una fuente confiable para decidir y la planificar.
- Optimizar tanto el aprendizaje como la flexibilidad organizacional.
- Fomentar e incentivar una gestión proactiva.
- Cumplir las exigencias legales y normativas pertinentes y con las reglas internacionales.

- Perfeccionar la presentación de informes obligatorios y voluntarios.
- Mejorar la eficacia y la eficiencia operativa.
- Optimizar los procesos de control.
- Mejorar la eficacia y la eficiencia operativa.
- Reformar la gestión de incidencias.
- Reducir el impacto de las pérdidas.
- La ISO 31000 está estructurada en tres elementos clave para obtener una Gestión de riesgos efectiva, transparente, sistemática y creíble (ver figura 1.3). Dichos elementos son:
- Nociones o principios de la Gestión de riesgos.
- Marco de referencia o labores para la administración de riesgos.
- Proceso de administración de riesgos.

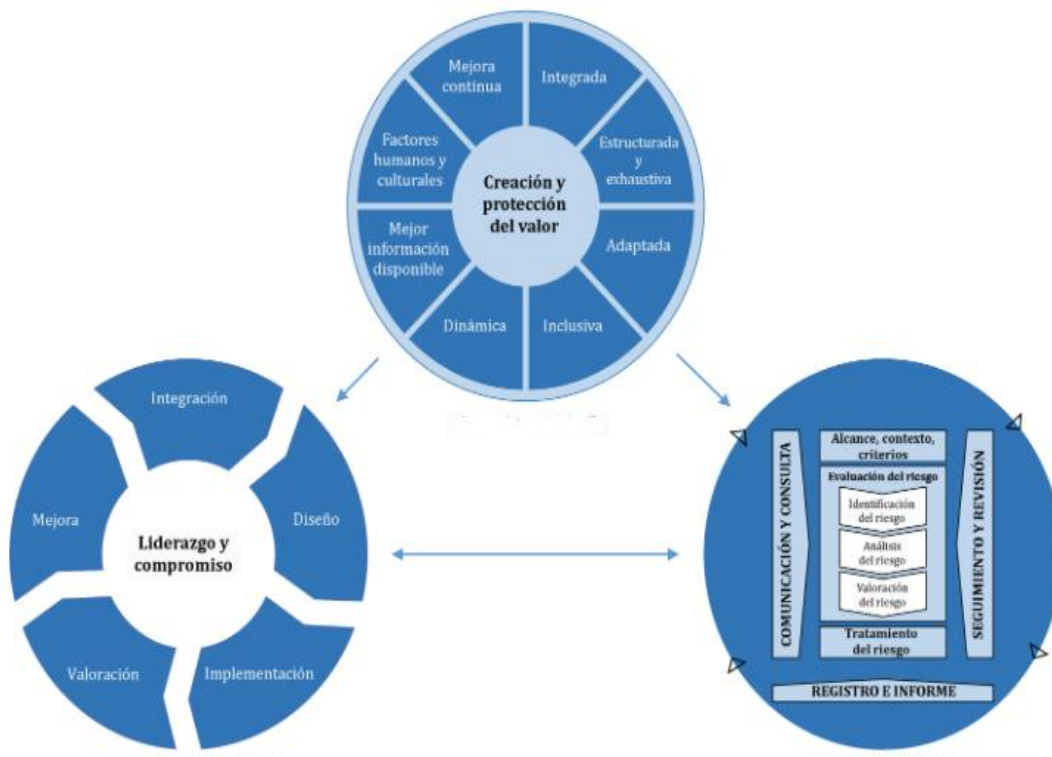


Figura 1.3. Principios, marco de referencia y proceso. Fuente:ISO:31000 (2018).

Organizaciones internacionales reconocidas han desarrollado normas y modelos para la Gestión del riesgo, entre los cuales se encuentra el Estándar Australiano de Administración del Riesgo AS/NZS 4360:2004. La misma plantea un modelo de análisis centrado en los principios de la familia normativa ISO 9000, proporciona una guía para la Gestión del riesgo a partir de la identificación, medición y control de los riesgos financieros, estratégicos y del entorno de la empresa. Provee una estructura que hace factible realizar un programa de Gestión de riesgos a

mayor detalle a un grado sub-organizacional (Cárdenas Rico et al., 2020). Este estándar desprende de su existencia tres normas complementarias:

- ISO Guía 73:2009 Gestión de riesgos –Vocabulario: proporciona un vocabulario básico para desarrollar un entendimiento común de los conceptos de gestión de riesgos.
- ISO 31010:2019 Gestión de riesgos –Técnicas de valoración del riesgo: aborda y categoriza las técnicas de análisis y valoración de riesgos por su aplicabilidad en cada una de las etapas del proceso.
- ISO 31004:2013 Gestión del riesgo –Guía para la implementación de la ISO 31000 proporciona orientación a las organizaciones sobre gestionar el riesgo de forma eficaz mediante la implementación de ISO 31000:2009.

De igual forma, se han creado otras normativas que tienen como elemento común el enfoque basado en el riesgo, como son:

- NC ISO 9001:2015 - riesgos asociados a la calidad de los productos y servicios.
- NC ISO 14001:2015- riesgos ambientales.
- NC ISO 45001:2018 - riesgos de seguridad y salud del trabajo.
- NC ISO 22001:2018 - riesgo relacionado con la inocuidad de los alimentos.
- NC ISO 27001:2007- riesgos de seguridad de la información, a fin de lograr un alineamiento en el manejo de los riesgos con enfoque integral, en dependencia de la complejidad de los procesos.

Una vez realizado el estudio de las normativas regulatorias por los consultores de la organización, un equipo de trabajo debe proceder a listar el conjunto de elementos a considerar, en cualquier procedimiento de Gestión de riesgos o instrumento que se utilice para evaluar el estado de la organización en esta práctica. La propuesta, se somete al análisis del grupo, dónde se fertiliza y se aprueba.

1.3.2 Procedimiento de la Gestión de riesgos

La Gestión de riesgo no es un proceso finito o con vida limitada, que concluye una vez se han logrado los objetivos previamente definidos. Es parte integral de la continuidad en la gestión empresarial, una forma de pensar y un patrón a seguir para trabajar en toda la organización. Existen procedimientos que han sido propuestos por varios autores (ver Anexo 2) con el avance de diferentes estudios realizados, pero todos parten de una guía o principio fundamental (las normativas).

La ICHQ9 (2015), norma que gestiona los riesgos para la calidad en la fabricación de medicamentos de uso humano y veterinario, aunque coincide en la mayoría de las etapas con la ISO:31000, comienza definiendo el problema o riesgo y su potencial, recopilando datos del

impacto en la salud y definiendo para el proceso de gestión un calendario, los documentos que se crearán y el nivel adecuado para cada toma de decisiones. Otros autores también se basan en la ISO 31000, como Vidal Riofrío (2020) en su propuesta de Gestión de riesgo ante amenazas naturales o Henao et al. (2017) que en su estudio coincide en que el proceso de la norma es aplicable a todos los niveles organizacionales, pero profundiza en la elaboración de cuestionarios para la definición de los riesgos y el análisis cualitativo de los mismos ya que según él, en algunas ocasiones, simplemente la identificación de un riesgo puede sugerir su respuesta y esto debe registrarse para realizar otros análisis y para su implementación en el proceso de planificación de la respuesta a los riesgos.

En su artículo Meisel Lanner (2020) establece un contexto, identifica los peligros, analiza los riesgos, evalúa y prioriza según los niveles, alto, bajo, medio y, luego, define las estrategias para neutralizar esas amenazas con unas medidas adecuadas y esboza rasgos legales a los que se afianza su estudio. Otra propuesta es la de Pulido Rojano et al. (2020) la cual tiene como particularidad que en la etapa de análisis acude a las herramientas estadísticas para examinarlos datos de la ocurrencia del riesgo o no conformidades con el proceso. Por lo demás acude a la norma ISO 31000 sobre todo en la etapa de mitigación donde propone el despliegue del proceso para en base a los datos recopilados establecer e implementar acciones de contención.

Existen también otros procedimientos como:

El PMBOK (Project Management Body of Knowledge) define la Gestión de Riesgos como un área de conocimiento que se ejecuta a través de los grupos de proceso de planificación, ejecución, seguimiento y control (PMI, 2017).

El PRINCE₂ (Projects in Controlled Environments) define la Gestión de Riesgos como una temática, que tiene como objetivo identificar, evaluar y controlar la incertidumbre del proyecto para posibilitar su éxito (Office, 2017).

La metodología PM₂ (Project Management Square), se apoya sobre cuatro pilares los cuales representan un modelo de gobernanza de proyectos, un ciclo de vida del proyecto por medio de un conjunto de procesos y artefactos (CoEPM², 2018).

La ISO:31000 (2018) establece la gestión de los riesgos en un conjunto de principios, los cuales pretenden aportar valor al proceso; un marco de referencia que proporcione liderazgo y compromiso para la toma de decisiones; y, un procedimiento que establezca una secuencia estructurada para gestionar los riesgos. El mismo en dicha norma se presenta frecuentemente como secuencial y en la práctica es iterativo.

Según Guillart Juan y Capuz Rizo (2020) los procedimientos mencionados se aplican en diferentes enfoques; es decir:

- PMBOK(estándar- grupo proceso)
- PRINCE₂ (método- temática)
- PM² (metodología - proceso)
- ISO 31000:2018 (estándar-proceso)

En estos procesos se puede observar como en la etapa de planificación a excepción de la metodología PM₂, el resto cumple con el objetivo de definir una etapa inicial donde se gestionarán los riesgos del proyecto. Dicha información, para los enfoques PMBOK y PRINCE₂ se recogerá en un documento denominado Plan de Gestión de Riesgos. No obstante, aunque PM₂ no tenga una fase inicial, sí que propone la creación del Plan de Gestión de Riesgos como punto de partida del proceso. Por último, aunque todos los enfoques tienen en cuenta a las partes interesadas en esta fase del proceso, el PMBOK es el único que propone la creación de un registro y análisis de los interesados.

En cuanto a la etapa de identificación todos los enfoques coinciden en un mismo objetivo el cual es, identificar las amenazas, las oportunidades y establecer qué parte del proyecto se verá afectada. Todos tienen la finalidad de obtener el documento de Registro de riesgos; exceptuando la norma ISO 31000 ya que en esta no se vislumbra su creación. El enfoque PMBOK es el único que además de un Registro de Riesgos propone crear un Informe de Riesgos para brindar una mayor comprensión de los mismos.

En la evaluación, el objetivo principal es valorar cada riesgo de forma individual y así obtener el general del proyecto. Para lograrlo se realiza un análisis cualitativo (recomendable en todos los casos) que permitirá categorizar cada uno en base a su nivel de criticidad (definido por los valores de probabilidad e impacto asociados) o cuantitativo (no es necesario en los proyectos, requiere de infraestructura específica, personal calificado, mucho tiempo y costo). Aunque todos los enfoques proponen la realización de ambos análisis, solamente PRINCE₂ y PMBOK poseen etapas diferenciadas para la realización de los mismos.

La planificación e implementación consiste en programar y ejecutar medidas a los riesgos identificados donde los posibles tipos de respuesta a los riesgos son los mismos en todos los enfoques. Es recomendable dividir este paso en sub-fases (una de planificación y otra de implementación), pero se han recogido de forma conjunta ya que PM₂ es el único enfoque que no diferencia entre estas dos sub-etapas.

La última fase consiste en controlar tanto la evolución de los riesgos como el proceso en general, donde todos los marcos de referencia plantean que sea una fase que se ejecute de forma continua durante todo el ciclo de vida del proyecto. No obstante, el PMBOK propone realizar

auditorías que garanticen la eficacia de todo el proceso y servirse de las buenas prácticas como lecciones aprendidas para proyectos posteriores.

Como se puede observar en esta comparación la estructura de cada enfoque presenta analogías entre sí, las cuales persiguen el mismo objetivo; solamente difieren en la profundización y nivel de detalle de la información que proporcionan. Dicho esto, y caracterizados los diferentes procedimientos encontrados en la literatura, el método seleccionado para el desarrollo de este estudio en lo que respecta a la Gestión de riesgo será el propuesto por la ISO 31000 ya que es el más general y más aplicable (Hutchins, 2018; Guillart Juan y Capuz Rizo, 2020; Parviainen et al., 2021).

1.3.3 La Gestión de riesgos aplicada al mantenimiento

La gestión del mantenimiento agrupa y aplica diferentes disciplinas, metodologías, buenas prácticas y herramientas, con la intención de optimizar: el ciclo de vida de los equipos, los costos, el rendimiento, la exposición al riesgo, la disponibilidad, la confiabilidad y el cumplimiento de las regulaciones de seguridad (Gasca et al., 2020). Uno de los principales objetivos de un mantenimiento racional es la reducción al mínimo de los peligros, tanto para los seres humanos como para el medio ambiente, causados por el fallo inesperado del equipo. El uso de un enfoque basado en los riesgos garantiza una estrategia que cumple estos objetivos (Chata Chagua, 2021). Aunque el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR) es en sí mismo una evolución del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM o MCC) adecuado a la aplicación, nunca ha dejado de afinarse por así decirlo. El mismo es esencial para desarrollar políticas rentables (Alavi, 2018).

El sistema MBR provee una metodología para decidir objetivos, formular los planes de vida de los equipos y la programación del mantenimiento de las plantas, diseñando la organización respectiva del mismo y estableciendo un sistema apropiado de documentación y control. El propósito del programa es identificar, a través de diferentes herramientas, los puntos críticos que merecen mayor atención y actuación, e implementar opciones de tratamiento específico o acciones anticipadas para contrarrestar la eventualidad de fallas en el funcionamiento de los actores que participen en un proceso (Guillén et al., 2016; Dickerson y Ackerman, 2016; Kamsu Foguem, 2016; Kiran et al., 2016; Pérez González, 2016; RemenYTE Prescott y Andrews, 2016; Alavi, 2018; ISO:31010, 2019; Ruiz Cuan, 2019).

Esta filosofía defiende una metodología de aproximación terotecnológica orientada a optimizar los costos totales de mantenimiento en el ciclo de vida asociado al equipamiento, en contraposición al proceso de adquisición de activos limitado a consideraciones de performance y costo de capital. Además, usa juicios de ingeniería y experiencia como la base para el análisis de

probabilidades y consecuencia de una falla, los resultados son dependientes de la experiencia y conocimientos de los expertos. Los resultados son emitidos en términos como alto, medio, bajo, etc. Autores como Mora Gutiérrez (2012), Rodríguez Díaz (2014), Mehairjan (2017), Rodríguez Pérez (2017), Leoni et al. (2019), Bakri y Januddi (2020) definen las características principales del MBR, como:

- Acabado análisis de confiabilidad, mantenibilidad y seguridad, con la participación conjunta del propietario, operador y responsables del diseño, manufactura e instalación.
- Evaluación de aprovisionamiento de repuestos, capacitación del personal de mantenimiento y los servicios de apoyo de proveedores.
- Un sistema de registro y análisis de fallas e identificación de áreas con alto costo de mantenimiento, desde la puesta en marcha hasta el reemplazo de la planta, destinado a formular modos de acción conducentes a reducir costos directos e indirectos.
- Integra confiabilidad con seguridad y minimiza la probabilidad de fallo del sistema.

El impacto del mantenimiento se puede ver influenciado por problemas técnicos y de errores humanos. El análisis de los riesgos permite tratar profundamente las situaciones que puedan aparecer durante la Gestión del mantenimiento. La metodología basada en el riesgo puede ser fragmentada en tres ramas principales: la determinación del riesgo (que consiste en la identificación y estimación), la evaluación (prevención y análisis de tolerancia) y en un mantenimiento planificado que considere los factores de riesgo (Louhichi et al., 2019).

Su implementación puede ayudar en múltiples áreas objeto de optimización como la clasificación de equipos, la garantía de calidad, el diagnóstico predictivo, la programación y las piezas de repuesto, posibilitando centrar su potencialidad en la priorización de esfuerzos y en la determinación de las intervenciones de mantenimiento más eficaces y efectivas para garantizar la funcionalidad de la empresa, aunque los sistemas de Gestión del mantenimiento actuales adolecen del enlace necesario con los resultados de los análisis de confiabilidad y riesgo (Rodríguez Machado, 2012). A continuación, se especifican determinados elementos de cómo funciona la Gestión del mantenimiento que demuestran lo anteriormente planteado (González Pérez, 2018):

- Actualmente marchan de manera separada los sistemas de Gestión del mantenimiento y las herramientas de optimización del mantenimiento basadas en confiabilidad y/o riesgo.
- No está resuelta la incorporación a la Gestión del mantenimiento de herramientas basadas en modelos con enfoque en sistema, que resultan necesariamente de mayor complejidad, como los análisis de confiabilidad y/o riesgo.

- La determinación de prioridades para el mantenimiento basadas en criterios de confiabilidad es limitada. Esta tarea se realiza en ocasiones con herramientas ajenas a la gestión, lo que limita la aplicación de sus resultados.

De manera general, la formulación y aplicación de este sistema, para una organización, es un problema complejo y comprometido. Su resolución requiere de un enfoque sistemático y pragmático de aproximación. Esta metodología posee un enfoque iterativo para establecer las estrategias de mantenimiento (Ruiz Cuan, 2019).

1.4. Integración de la TOC y la Gestión de riesgos en la empresa

En líneas generales y para toda clase de actividad económica se encuentra el mencionado riesgo, el cual se orienta de las decisiones que en el interior de la entidad se requieren diariamente, ya sea producción, distribución, servicio al cliente, etc. Por tanto, siempre su gestión deberá formar parte de la frecuente y necesaria mejora con la finalidad de conseguir el ansiado progreso en eficiencia y en el ámbito empresarial.

La TOC es uno de los métodos de optimización de operaciones y gestión de cambios más reconocido por la industria en los últimos años el cual permite conocer cuál es el eslabón más débil que limita a un sistema y contribuye a conseguir un mejor desempeño con relación a su meta. Por la flexibilidad que dicha teoría ofrece, puede ser adaptada a distintos contextos y tomar decisiones sobre las posibles limitaciones de un sistema (Trejo et al., 2019). Las limitaciones, son consideraciones a tomar en cuenta para enmarcar la evaluación y reconocimiento de las condiciones, posibilidades y capacidades de operación de la organización, que permiten reconocer la viabilidad para adoptar e implementar un plan de Gestión de riesgos (De la Rosa Leal, 2008).

Por su parte Pérez Sierra (2015) plantea que la cuantificación de los riesgos podría lograrse si se integran ambas metodologías (Gestión del riesgo y TOC), debido a que ellas trabajan bajo la sistemática obtención de información, mediante la identificación de las causas que generan riesgos y cuellos de botella; la recolección y análisis de los datos teniendo en cuenta que la TOC podría trabajar más a fondo la cuantificación de los riesgos y su impacto en la generación de dinero de la compañía, adicionalmente identificar de una manera preventiva los cuellos de botella que podrían crear riesgos y medirlos. Por último, plantearles controles y poder realizar monitoreo a través de la Gestión del riesgo.

Acorde al tema de estudio en este epígrafe, se encontraron avances relacionados con la TOC y los riesgos en proyectos de desarrollo de software, tal como lo plantea Asseman et al. (2014), los cuales afirman que las limitaciones y riesgos son dos factores críticos que afectan el desempeño de los procesos y necesitan más atención con el fin de mejorar el rendimiento. En dicha

investigación se propone un modelo mejorado para describir cómo estos factores se afectan entre sí. Además, se proporcionan soluciones para controlar tanto las limitaciones como los riesgos. Otra de las investigaciones que posee relación con el tema es la realizada por Fajardo Moreno y Melo Moreno (2011) en la que dichos autores exponen de una manera simple la aplicación de los cinco pasos de la TOC a la Gestión de riesgos. Según ellos con la articulación se logran identificar los riesgos más relevantes de la organización y gestionarlos de una manera eficiente; con el objetivo de reducir la incertidumbre en la toma de decisiones y de esta manera contribuir al mejoramiento integral de la gestión organizacional.

Los autores Quispe Soria y Paricahua Cruz (2016) aplican la Teoría de Restricciones a la Gestión de riesgos y plantean que al realizar dicha gestión siguiendo los lineamientos de la guía del PMBOK, se estará aplicando implícitamente la TOC ya que sus procedimientos tienen ciertas similitudes. Se enfocan principalmente en aplicar la teoría fundamentada por Goldratt a la etapa de identificación de riesgos, porque creen que es en ella donde se hace más útil y necesaria su aplicación.

Los autores mencionados convergen en que las limitaciones y los riesgos son dos factores críticos que afectan el desempeño de los procesos y necesitan más atención con el fin de mejorar el rendimiento empresarial. Además, al analizar estos dos elementos de manera integrada, consideran que aquellos modos de fallo con niveles de riesgo más críticos son considerados como limitaciones o eslabones débiles del sistema.

1.5. Conclusiones parciales

1. El mantenimiento se ha convertido en una función imprescindible dentro de las organizaciones, garantizando, mediante un conjunto de acciones, la disponibilidad de los activos productivos y tributando al logro exitoso de los niveles competitivos exigidos por el mercado en la actualidad. Es también, una pieza clave para alcanzar ciertos estándares de calidad, seguridad y protección medioambiental, acordes con políticas de desarrollo sostenible.
2. La Teoría de las restricciones y la Gestión del riesgo tienen como objetivo cubrir y contribuir a la mitigación de todo tipo de limitaciones, lo que permite a las empresas organizarse de manera adecuada, ayudándoles a disminuir o evitar pérdidas derivadas de una mala gestión. Los procedimientos para el desarrollo de ambas metodologías proporcionan una base sólida para la toma de decisiones y poseen un rango amplio de aplicaciones para la optimizar los procesos. Sin embargo, la integración de estas dos materias ha sido pobremente tratada en la literatura científica, por lo que se considera pertinente desarrollar un procedimiento que contribuya a dicha integración.

CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA MITIGAR LAS LIMITACIONES DEL PROCESO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO A TRAVÉS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

En este capítulo se toma en consideración lo expuesto en el marco teórico-referencial de la presente investigación para tributar a la solución del problema científico y como respuesta a lo expuesto en las conclusiones parciales. En él se propone un procedimiento general, con sus procedimientos específicos asociados, los cuales permiten orientar a la toma de decisiones y a la definición de acciones de mejora para atenuar las restricciones que puedan existir en el proceso de Gestión del mantenimiento, basándose en la integración de la Teoría de las limitaciones y la Gestión de riesgos.

2.1 Características del procedimiento general para mitigar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgos

El procedimiento que se propone contribuye a la toma de decisiones encaminadas al mejoramiento del proceso de Gestión del mantenimiento, mediante la integración de dos metodologías (Gestión de riesgo y TOC), las cuales han sido incorporadas de manera creativa, enfocada y novedosa. Las cualidades y el carácter del procedimiento al que se hace referencia son definidas, mayormente, por el objetivo, el conjunto de principios básicos, sus premisas y las características que lo respaldan.

Objetivo del procedimiento

El objetivo general del procedimiento lo constituye: contribuir al mejoramiento del proceso de Gestión del mantenimiento mediante la definición de acciones preventivas efectivas, resultantes del tratamiento de las restricciones del proceso a través de la Gestión de riesgos.

Principios que sustentan el procedimiento

Flexibilidad: el procedimiento permite adaptarse con racionalidad a los cambios que provienen de un entorno dinámico y a los que se producen en lo interno de la organización. Puede ser aplicado a procesos y organizaciones con características similares y que persigan el mismo objetivo, siempre que se sustente en el procedimiento de la metodología TOC expuesta por Goldratt (2010) y en los principios de la Gestión de riesgos establecidos en la NC ISO 31000:2018, aplicable a cualquier organización y en cualquier fase de un programa, proceso, actividad o proyecto.

Consistencia lógica: en función de la elaboración, estructuración y secuencia diseñada para sus pasos, en correspondencia con la lógica de ejecución de este tipo de estudio.

Pertinencia: posibilidad que tiene el procedimiento de ser aplicado para garantizar el cumplimiento de las metas en el área de mantenimiento.

Generalidad: posibilidad de su extensión, como herramienta o metodología integrada, para ejecutar estudios en organizaciones con procesos similares.

Trascendencia: las decisiones y acciones que se derivan de su proceder impactan de manera significativa, no sólo en el desempeño del área de mantenimiento, sino también en funciones empresariales como Producción, Compras, Calidad, Economía y Recursos Humanos.

Integrador: permite identificar peligros, riesgos y por ende limitaciones; considera la integración del área de mantenimiento con las demás funciones de la empresa, y garantiza la participación de diferente personal dentro de las mismas, todo ello encaminado al mejoramiento continuo.

Premisas indispensables para la aplicación del procedimiento

- Participación de la alta dirección como fuente de ideas, aprobación e impulso del proyecto.
- El nivel de compromiso de los trabajadores involucrados en la toma de decisiones.
- Existencia de información necesaria, con calidad, oportuna y actualizada, para analizar y procesar en cada paso del procedimiento.
- La disponibilidad de especialistas, ya sean internos o externos, con las competencias necesarias para evaluar la Gestión del mantenimiento en la organización, definir los riesgos y las limitaciones en dicha gestión.

Entradas del procedimiento

- Información sobre el contexto interno y externo de la organización.
- Metas u objetivos del proceso objeto de estudio.
- Datos sobre el contexto operacional en que se desenvuelve el equipamiento que interviene en el proceso.
- Datos sobre los posibles expertos a participar en el proceso.
- Información técnica y económica de las alternativas de mejora.

Salidas del procedimiento

- Riesgos (modos de fallo) principales que afectan el proceso de Gestión del mantenimiento.
- Nivel de riesgo asociado a cada modo de fallo.
- Acciones preventivas a aplicar para mitigar cada riesgo del proceso.
- Factibilidad de las acciones preventivas.

2.2 Diseño del procedimiento general para mitigar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgos

El diseño del procedimiento general para mitigar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgo se realizó tomando como base las fases del proceso de TOC y los pasos establecidos en la NC ISO 31000: 2018 para la Gestión de riesgos. La concepción del procedimiento ha seguido un proceso lógico en su elaboración, a partir de la

revisión y análisis de las referencias analizadas en el capítulo 1, así como el uso de analogías y la consulta con especialistas en el tema objeto de estudio. Este procedimiento (ver figura 2.1) se ha estructurado en seis fases generales, estrechamente vinculadas y con interacciones durante su ejecución, que implican, a su vez, un conjunto de nueve etapas con sus pasos y acciones correspondientes. El mismo comienza con una preparación inicial del proceso (conformación del grupo de trabajo, identificación del contexto), luego se procede a identificar las limitaciones del sistema a través de la determinación, análisis y valoración de los riesgos. Posteriormente se decide cómo explotar las mismas mediante la realización de un análisis costo - riesgo – beneficio para filtrar o descartar aquellas acciones propuestas que no sean factibles desarrollar y se realiza una programación de las seleccionadas. Luego se subordina todo a las decisiones seleccionadas en la etapa anterior, mediante el control del cumplimiento de las actividades, se elevan las restricciones del sistema aumentando su capacidad y finalmente se recalcula el NPR para estimar la influencia de las acciones implementadas en los elementos que caracterizan este indicador, lo cual permite evaluar la eficacia de dichas medidas en la eliminación de la(s) restricción(es).

2.2.1 Fase 1. Preparación inicial

En esta fase se crean las condiciones necesarias para desarrollar la aplicación de las diferentes etapas del procedimiento, lo cual inicia con la conformación del grupo de trabajo, integrado por especialistas calificados que tengan conocimientos generales sobre el tema, y finaliza con la identificación del contexto donde se desarrolla el proceso objeto de estudio.

Etapas 1. Conformación del grupo de trabajo

El primer paso será la conformación del equipo de trabajo el cual se encargará de liderar, guiar y ejecutar la aplicación del procedimiento general. El grupo debe quedar integrado por personas que posean conocimientos generales sobre temas vinculados al proceso de Gestión del mantenimiento, al procedimiento de la TOC y de Gestión de riesgos; una vez logrado esto se establece el plan de trabajo del equipo. Los miembros deben tener y establecer objetivos claros, estar comprometidos con el estudio, interactuar con sus compañeros de equipo, y acordar un proceso definitivo para la toma de decisiones.

Etapas 2. Identificación del contexto

Esta etapa consiste en la comprensión del entorno donde se desarrolla el proceso, dígase contexto externo e interno. A continuación, se detallan los elementos que, según la ISO 31000:2018, deben considerarse en la definición de ambos contextos.

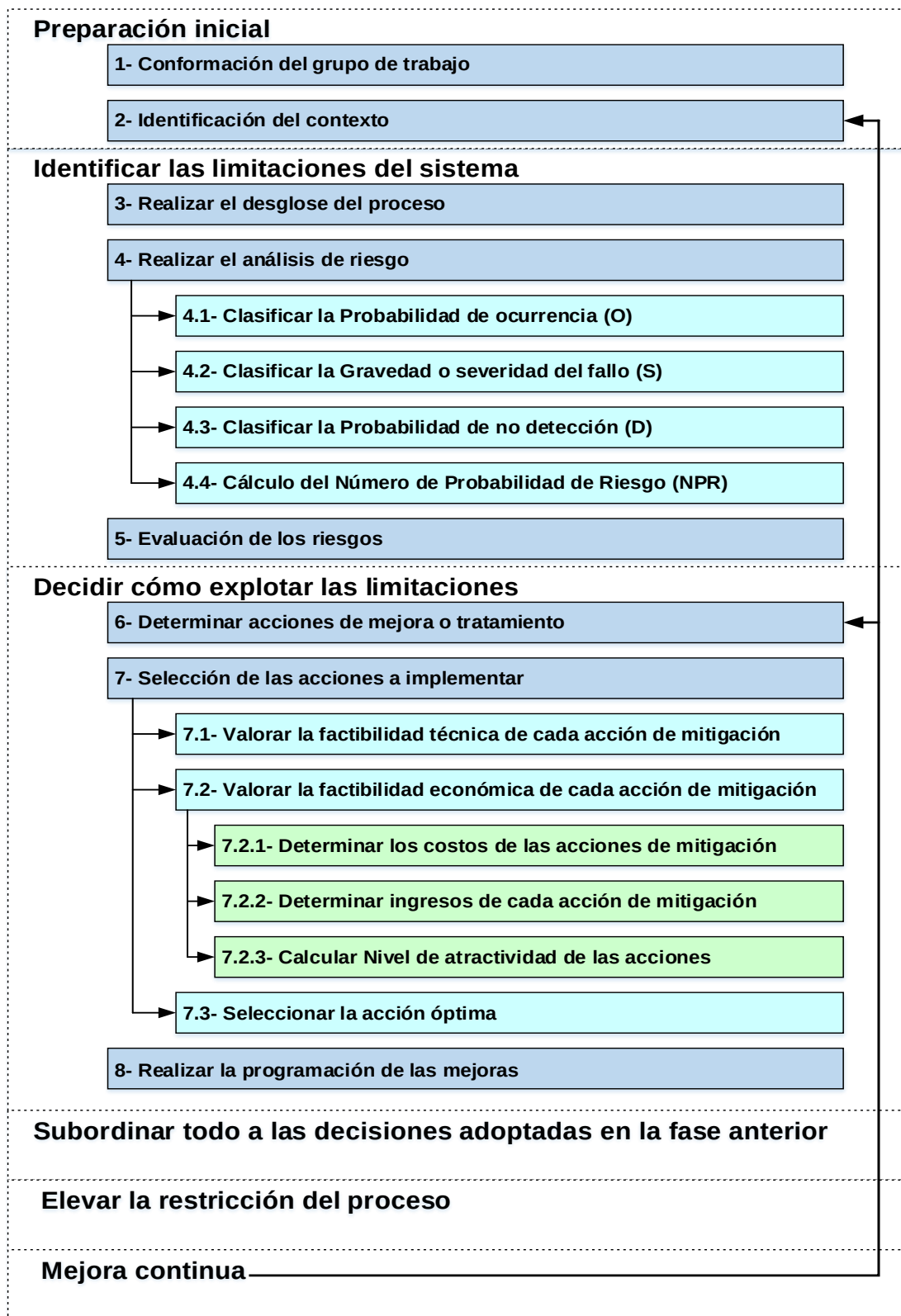


Figura 2.1. Procedimiento general para mitigar las limitaciones del proceso de Gestión de mantenimiento a través de la Gestión de riesgo.

Contexto externo:

- Los factores sociales, culturales, políticos, legales, reglamentarios, financieros, tecnológicos, económicos y ambientales ya sea a nivel internacional, nacional, regional o local.
- Los impulsores clave y las tendencias que afectan a los objetivos de la organización.
- Las relaciones, percepciones, valores, necesidades y expectativas de las partes interesadas externas.
- Las relaciones contractuales y los compromisos.
- La complejidad de las redes y dependencias.

Contexto interno:

- La visión, la misión y los valores.
- La estructura de la organización y los roles.
- La estrategia, los objetivos y las políticas.
- La cultura de la organización.
- Las normas, las directrices y los modelos adoptados por la organización.
- Las capacidades, entendidas en términos de recursos y conocimiento (por ejemplo, capital, tiempo, personas, propiedad intelectual, procesos, sistemas y tecnologías).
- Los datos, los sistemas de información y los flujos de información.
- Las relaciones con partes interesadas internas, teniendo en cuenta sus percepciones y valores.
- Las relaciones contractuales y los compromisos.
- Las interdependencias e interconexiones.

2.2.2 Fase 2. Identificar las limitaciones del sistema

Esta fase consta de tres etapas, en la primera se realiza el desglose del proceso, en la segunda el análisis de riesgos, y finalmente, en la tercera, se evalúan los riesgos.

Etapas 3. Realizar el desglose del proceso

En esta etapa se realiza el desglose del proceso objeto de estudio, lo cual facilita la identificación de las funciones, los mecanismos de degradación y los fallos en los subprocesos. Este es un prerrequisito para una valoración eficiente del riesgo y para la inspección, ya que en la misma se pueden observar las secciones controlables. La implementación de esta fase se propone desarrollarla a través de la llamada “Hoja de trabajo del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)” (Ver figura 2.2), la cual es una de las pocas técnicas que, según la ISO 31010:2019, son de amplia aplicación en todas las etapas del proceso de Gestión de riesgos (Ver anexo 4). Otras herramientas que pueden utilizarse para complementar esta etapa son los árboles de realidad actual y las nubes de conflicto (Cárdenas Krenz y Gálvez Fujishima, 2010; Peña García, 2016;

Ramírez Gaitan, 2018). De manera general, este levantamiento debe comprender los elementos que se detallan a continuación.

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE	PROCESO:		#	Realizado por:	FECHA		HOJA		
	SUBPROCESO:		REF	Revisado por:	FECHA		DE		
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR

Figura 2.2. Modelo de la Hoja de Trabajo del AMFE.

Desglose funcional

En este apartado, el primer paso consiste en establecer una jerarquía para los subprocesos bajo análisis, y luego se definirían las funciones de cada uno de los subprocesos dentro de la jerarquía establecida. Cada función se describe con un complemento, una operación estándar y un nivel de funcionamiento definido por el operador de la función. Si el proceso o los subprocesos tienen más de una función, se le podrían asignar subfunciones, las cuales pueden cubrir aspectos como (Mehairjan, 2017; Sifonte y Reyes-Picknell, 2017; Stamatis, 2019):

- Integridad medioambiental
- Integridad estructural/seguridad
- Control/contenido/confort
- Protección
- Apariencia
- Economía/eficiencia

Fallo funcional

Una vez que se ha establecido la jerarquía técnica y que las funciones de cada sistema, subsistema y subproceso han sido definidas, se deben identificar los fallos funcionales. Un fallo funcional significa que un elemento o sistema no satisface o no funciona de acuerdo con la especificación, o simplemente no se obtiene lo que se espera de él; es cualquier estado donde una función definida no puede desarrollar su rendimiento estándar esperado. Una misma función

podría tener uno o varios fallos funcionales (Mehairjan, 2017; Sifonte y Reyes-Picknell, 2017; Stamatis, 2019). Si la jerarquía técnica y las funciones han sido bien elegidas resultará sencillo listar los fallos funcionales.

Modo de fallo o causa del fallo funcional

Un modo de fallo es una razón potencial de un fallo funcional. La causa potencial de fallo se define como indicio de una debilidad del diseño o proceso cuya consecuencia es el fallo funcional. En el análisis, para cada fallo funcional, se deben listar todas las posibles causas de fallo (modos de fallo). La lista de causas de fallo puede estar asociada a modos de fallo que se han observado en las instalaciones en el pasado o que no han sido nunca observados en el proceso estudiado, pero que es posible que ocurran. La identificación de riesgos involucra la consideración rigurosa de todas las situaciones en las que potencialmente exista la posibilidad de un fallo, seguida por un análisis detallado de la combinación de secuencias de eventos que pueden transformar este potencial en un verdadero accidente funcional (Mehairjan, 2017; Sifonte y Reyes-Picknell, 2017; Stamatis, 2019). Las causas o riesgos relacionados deben ser lo más concisos y completos posibles, de modo que las acciones correctoras y/o preventivas puedan ser orientadas hacia las causas pertinentes.

Se debe tener en cuenta que los fallos más importantes son a menudo aquellos para los que no está preparada una organización. Los factores humanos son muy importantes ya que la falta de preparación o incluso el desconocimiento son una fuente muy importante de fallos. La identificación efectiva de riesgos depende en gran medida del grado de conocimiento y experiencia que tenga el grupo evaluador, y el uso de métodos sistemáticos hacen que ese conocimiento y esa experiencia sean adecuadamente aplicadas.

Efectos del fallo

Suponiendo que el fallo potencial ha ocurrido, en este aspecto se describirán los efectos del mismo. Para cada modo de fallo se deben determinar los efectos que este fallo produciría en el proceso. La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de los fallos. Al describir los efectos de un fallo, se debe hacer constar lo siguiente (Sandoval Céspedes, 2017):

- La evidencia que se ha producido un fallo.
- La manera en que el fallo supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras en que afecta al proceso.
- Los daños físicos causados por el fallo.
- Qué debe hacerse para reparar el fallo.

Los efectos corresponden a los síntomas, generalmente hacen referencia al rendimiento o prestaciones del sistema. Cuando se analiza un subproceso se tendrá también en cuenta la repercusión en todo el sistema, lo que ofrecerá una descripción más clara del efecto. Si un modo de fallo tiene muchos efectos, a la hora de evaluar, se elegirá el más grave, para esto los efectos de las fallas deben describirse como si no se estuviera haciendo nada para impedirlos. Para la obtención de los efectos se utiliza frecuentemente el "Diagrama Causa-Efecto" (de Saeger, 2016).

Etap 4. Realizar el análisis de riesgos

En el desarrollo de esta etapa se realizará el análisis minucioso de los riesgos identificados, para ello se propone el procedimiento que se muestra en la figura 2.3. Además, se debe conformar un grupo de expertos que contribuya a poner en práctica cada uno de los pasos, cuya selección de sus miembros se propone llevarla a cabo a través de la propuesta de Hurtado de Mendoza Fernández (2003). A continuación, se describe el contenido de cada uno de los pasos dentro de este procedimiento específico.

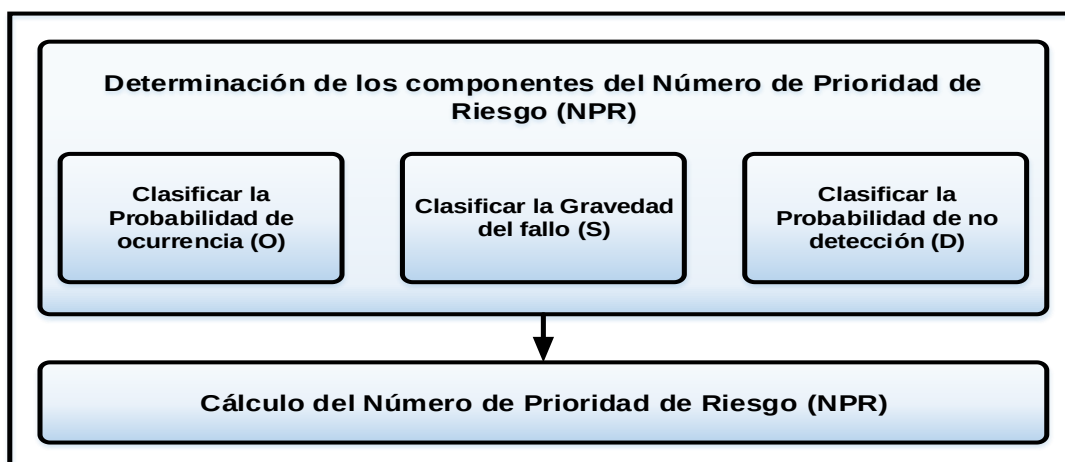


Figura 2.3. Procedimiento para la determinación del NPR. Fuente: González Pérez (2018).

Paso 4.1. Determinación de los componentes del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

Para determinar el NPR se deben seguir las acciones que se detallan a continuación.

Acción 4.1.1. Clasificación de la Probabilidad de ocurrencia (O)

Ocurrencia se define como la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar al modo de fallo (Stamatis, 2019). El índice de ocurrencia representa más un valor intuitivo que un dato estadístico matemático, a no ser que se disponga de datos históricos o se hayan modelado y previsto estos. Este índice de frecuencia está íntimamente relacionado con la causa de fallo y consiste en clasificar la probabilidad de ocurrencia según estimen conveniente los expertos. Para dicha clasificación se recomienda utilizar la tabla 2.1, donde el grupo de expertos seleccionado debe definir el contenido de cada uno de los criterios de clasificación, así como la

distribución de valores, los cuales se propone utilizar 1 para el valor más bajo y 10 para el más alto.

Tabla 2.1. Cuadro de clasificación de la Probabilidad de ocurrencia (O)

Criterio	Contenido	Valor de O
A _Alta		
MA _Media-Alta		
M _Media		
MB _Media-Baja		
B _Baja		

Cuando se asigna la clasificación por ocurrencia deben ser consideradas dos probabilidades, dígase:

- La probabilidad de que se produzca la causa potencial de fallo. Para esto deben evaluarse todos los controles utilizados actualmente para prevenir que se produzca la causa de fallo en el elemento designado.
- La probabilidad de que, una vez ocurrida la causa de fallo, ésta provoque el efecto nocivo (modo) indicado. Para este cálculo debe suponerse que la causa del fallo (motivo u origen fundamental que lo provoca) y el efecto del fallo (consecuencia, efecto o forma de representarse el fallo) son detectados antes de que el fallo se haga efectivo.

Acción 4.1.2. Clasificación de la Gravedad o Severidad del fallo (S)

La gravedad del fallo está basada únicamente en los efectos del fallo. El índice de gravedad valora el nivel de las consecuencias y tiene como objetivo principal evaluar el impacto de los modos de fallo. Este proceso considera primero las implicaciones ambientales y de seguridad de cada modo de fallo evidente, segundo afectaciones al proceso productivo y/o servicio. Un modo de fallo tiene consecuencia para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudiera lesionar o matar a alguien, ambiental si condujera a la infracción de cualquiera normativa o reglamento ambiental conocido o se contaminara de alguna forma el ambiente (ruidos, vertimientos, etc.); e incurriría en afectaciones al proceso de producción y/o servicio al provocar bajos rendimientos, altos costos, mal aprovechamiento de los tiempos, etc.

El índice de gravedad, o también llamado de severidad, es independiente de la frecuencia y de la detección. Para utilizar unos criterios comunes, en la empresa ha de utilizarse una tabla de clasificación de la severidad de cada efecto de fallo de forma que se objetivice la asignación de valores de “S”; se recomienda emplear una tabla como la 2.2 para este fin.

Como la clasificación de la consecuencia está basada únicamente en el efecto del fallo, todas las causas potenciales, para un efecto particular, recibirán la misma clasificación de gravedad.

Tabla 2.2. Cuadro de Clasificación de la Gravedad o Severidad de fallo (S)

Criterio	Contenido	Valor de S
MB_ Muy baja		
B_ Baja.		
M_ Moderada		
A_ Alta		
MA_ Muy alta		

Acción 4.1.3. Clasificación de la Probabilidad de No Detección (D)

Este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, sea o no detectado con los sistemas de control existentes. Se define la "no-detección", para que el índice de prioridad crezca de forma análoga al resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa (Ver tabla 2.3).

Tabla 2.3. Cuadro de clasificación de la Probabilidad de No Detección (D)

Criterio	Contenido	Valor de D
A_ Alta		
MA_ Media-Alta		
M_ Media		
MB_ Media-Baja		
B_ Baja		

Es necesario no confundir control y detección, pues una operación de control puede ser eficaz al 100%, pero la detección puede resultar nula si finalmente el fallo llega a ocurrir. Para mejorar este índice será necesario mejorar el sistema de control de detección, aunque por regla general aumentar los controles signifique un aumento del costo, que es el último medio al que se debe recurrir para mejorar la calidad. Algunos cambios en el diseño también pueden favorecer la probabilidad de detección.

Acción 4.1.4. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

El Número de Prioridad de Riesgo (NPR) es una herramienta muy interesante para determinar las acciones prioritarias dentro de un conjunto. Una vez establecidos los modos de fallo y los escenarios, el NPR puede ser evaluado fácilmente, siendo este el producto de la probabilidad de ocurrencia (O), la gravedad (S), y la probabilidad de no detección (D) (ver expresión 2.1), y debe ser calculado para todas las causas (modos) de fallo.

$$\text{NPR} = S * O * D \quad (2.1)$$

El valor resultante del cálculo del NPR permitirá priorizar la causa potencial del fallo para posibles acciones preventivas; se considerarán críticas aquellas con mayores puntuaciones. Para ello será

necesario definir el límite de aceptación del mismo, lo cual es decidido por el grupo de expertos encargado de desarrollar el estudio de riesgo.

Etapas 5. Evaluación de los riesgos

A partir de los valores del NPR obtenidos en la etapa anterior se puede clasificar el riesgo en función del rango (intervalo) donde se encuentre este indicador. El riesgo puede ser catalogado según las categorías siguientes (ISO 31000: 2018): muy alto riesgo o inadmisible, alto riesgo o inaceptable, riesgo tolerable y riesgo aceptable, como se puede observar en la tabla 2.4. En la caracterización de cada nivel de riesgo se trabaja de conjunto con un comité de expertos que posee conocimientos sobre la influencia de los fallos en el desempeño operacional del sistema.

Tabla 2.4. Rango de valores del NPR para cada nivel de riesgo

Niveles de riesgo	Valor del NPR
Muy alto riesgo o inadmisible (M)	
Alto riesgo o inaceptable (I)	
Riesgo tolerable (T)	
Riesgo aceptable (A)	

De acuerdo con el valor obtenido de la calificación del riesgo, los que han sido identificados con una mayor valoración (rojo y anaranjado) constituyen los eslabones más débiles del sistema y por consiguiente serán considerados como las restricciones más relevantes.

2.2.3 Fase 3. Decidir cómo explotar las limitaciones

En esta fase se determinan las acciones u opciones de mejora o tratamiento más factibles a acometer para eliminar las limitaciones, y posteriormente se realiza una programación de las mismas.

Etapas 6. Determinar acciones de mejora o tratamiento

En esta etapa se realiza la identificación de las acciones de mejora que se consideren aplicables, en aras de eliminar el riesgo equivalente a cada modo de fallo o disminuirlo hasta los niveles que se consideren permisibles en la organización; también contribuyen a detectar el fallo con anterioridad suficiente a su ocurrencia (para disminuir la probabilidad de no detección) con el fin de maximizar el tiempo de respuesta antes de que ocurran. Estas acciones pueden agruparse en múltiples categorías, en función del objetivo, bien sea para reducir incertidumbre, adecuar planes de mantenimiento, rediseñar o modificar sistemas, generar planes de contingencia, etc.

Para determinar opciones de mejora pueden ser utilizadas técnicas como la Tormenta de ideas (Brainstorming), el Método SCAMPER, el Método Walt Disney, la Técnica de MOLIÈRE (Método

de los ojos limpios), entre otras (Mattimore, 1994; Cotton, 2017; Selva Ruíz y Domínguez Liñán, 2018).

Etapas 7. Selección de las acciones a implementar

En esta etapa se selecciona, entre las acciones definidas anteriormente, cuál de ellas resulta más factible para su aplicación. Cumplimentando este objetivo se ha de utilizar una metodología que permita establecer una combinación óptima entre los costos de ejecutar una actividad y los logros o beneficios que esta genera, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal acción. Para el desarrollo de esta etapa se proponen los pasos que se explican a continuación.

Paso 7.1. Valorar la factibilidad técnica de cada acción de mitigación

Siempre que se propone una acción de mejora es primordial determinar, en primer lugar, si la empresa posee los recursos necesarios (humanos, materiales y financieros) para acometerla, o sea, valorar si técnicamente está preparada para poner en práctica dicha propuesta. Precisamente ese es el contenido de este paso, detallar la esencia de la tarea y determinar si es posible afrontarla por parte de la empresa.

Paso 7.2. Valorar la factibilidad económica de cada acción de mitigación

Una vez demostrada la factibilidad técnica de las opciones de mitigación se debe determinar si también lo resultan desde el punto de vista económico; para ello se propone desarrollar las acciones que se explican a continuación.

Acción 7.2.1. Determinar los costos de las acciones de mitigación

Una vez constituido el portafolio de opciones de mitigación se debe determinar el costo resultante de aplicar al proceso cada una de las opciones consideradas. La dificultad en la estimación de los costos totales radica en las múltiples variables o partidas que conforman los costos directos e indirectos (Newnan et al., 2017; Hanif, 2018; Drury, 2018; White et al., 2020).

Es importante mencionar que los costos de las diversas opciones de mitigación deben evaluarse en la perspectiva del ciclo de vida del proceso bajo análisis; en otras palabras, los costos deben evaluarse como componentes de un flujo de caja proyectado durante toda la vida de la propuesta, descontados a valor presente.

Acción 7.2.2. Determinar ingresos de cada acción de mitigación (cuantificación de la disminución del riesgo)

En este paso se deben estimar los ingresos que se obtendrían con cada acción de mitigación; entendiendo como estos a la reducción que cada opción propuesta produce en el riesgo total, bien sea eliminándolo o mitigándolo, o también a la cuantificación de entradas monetarias y/o ahorros generados por el cambio de “status” desde el riesgo base (antes de la mitigación) hasta el residual (después de la mitigación) (ver expresión 2.2).

$$IAM_{ij} = (IRr_{ij} - IRb_{ij}) + (GRb_{ij} - GRr_{ij}) \quad (2.2)$$

Donde:

IAM_{ij} : Ingresos de la acción de mitigación “i” en el período “j”.

GRb_{ij} : Gastos ante el riesgo base de la acción de mitigación “i” en el período “j”.

GRr_{ij} : Gastos ante el riesgo residual de la acción de mitigación “i” en el período “j”.

IRb_{ij} : Ingresos del riesgo base de la acción de mitigación “i” en el período “j”.

IRr_{ij} : Ingresos del riesgo residual de la acción de mitigación “i” en el período “j”.

Acción 7.2.3. Calcular Nivel de atractividad de las acciones de mitigación

En este paso se busca determinar el “Nivel de atractividad” de las opciones incluidas en el portafolio de acciones de mitigación, lo cual se logra mediante la comparación entre la reducción del riesgo, la obtención de los beneficios (ingresos) potenciales estimados para cada una de las alternativas analizadas, y los costos de aplicar dichas acciones de atenuación del riesgo. Para comparar las diversas alternativas de mitigación se propone utilizar técnicas como el Índice Riesgo-Beneficio (IRB), el Valor Presente Neto (VPN), el Retorno Sobre la Inversión (ROI) y la Utilidad Neta (UN) (Guevara et al., 2016; de Jaime Eslava, 2016; Aguilera Díaz, 2017; Castillo Baque y Zambrano Saltos, 2017; Gordillo y Plata, 2017; Castro Brahm, 2019; Viteri Moya, 2020).

Paso 7.3. Seleccionar la acción óptima

Luego de determinar el nivel de atractividad (a través de alguna de las técnicas propuestas en el paso 7.3) para cada opción bajo análisis, en este paso se seleccionarán aquellas alternativas que sean económicamente factibles. Como se ha podido deducir en el transcurso de esta etapa, se escogen para su implementación las opciones de mitigación que son técnica y económicamente factibles. Estos filtros propician que en el proceso de selección se eliminen algunas de las opciones de mitigación propuestas.

Etapas 8. Realizar la programación de las mejoras

El objetivo fundamental de esta etapa radica en realizar la programación de las acciones de mejora seleccionadas, para lo cual se deben agrupar conocimientos y experiencias suficientes, sin gastar demasiados recursos, ni ejecutar reuniones innecesarias. Para generar la planificación de las mejoras se utilizarán los datos obtenidos del análisis AMFE, y se propone realizarla a partir de la “Hoja de decisión del AMFE” (ver figura 2.5).

Los elementos a considerar en esta etapa se presentan a continuación.

- Las tareas de rutina deben ser descritas de forma consistente y clara, para que no quede duda alguna acerca de lo que se debe hacer. El grado de detalle necesario dependerá de la experiencia y las habilidades generales de las personas involucradas en su realización.

- Las acciones de cambios a realizar serán identificadas respecto a la manera de ejecutar cada proceso actualmente.
- Los cambios serán incorporados en las acciones de rutina y en procedimientos operativos en el grupo de tareas apropiado.
- Se especificará quién debe realizar cada tarea; así como, las herramientas y métodos prescritos.
- Se debe asegurar que las tareas se hagan y que cualquier fallo potencial que se encuentre sea rectificado antes que se convierta en un fallo funcional. Para ello, toda persona que pudiera descubrir un fallo potencial o funcional debe tener acceso irrestricto a un procedimiento que sea simple, confiable y directo para reportarlos de inmediato a quien los deba solventar. Una vez que los procedimientos de mejora hayan sido especificados en su totalidad, deberán ser agrupados de manera que puedan ser programados y organizados sin demasiada dificultad, y se puedan planificar los recursos (humanos y materiales) de manera detallada.

HOJA DE DECISIÓN DEL AMFE			Evaluación																Acción de mejora	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
			Inicial						Seguimiento																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
			Fecha de evaluación																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
			Actual								Anterior																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
FF	Modo de Fallo		Probabilidad					Consecuencia					Evaluación del riesgo						S	O	D	NPR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	No.	Concepto	A	MA	M	MB	B	A	B	C	D	E	F	L	M	S	H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

Figura 2.5. Modelo de la “Hoja de decisión del AMFE”.

2.2.4 Fase 4. Subordinar todo a las decisiones adoptadas en la fase anterior

En esta fase se subordinan todas las actividades a la(s) opción(es) seleccionada(s) y se realizan las variaciones necesarias en las áreas y procesos relacionados con el de Gestión de mantenimiento encaminadas a que las medidas de mitigación surtan el efecto esperado. Dicho esto, lo fundamental radica en establecer un control del cumplimiento de las acciones y el monitoreo de los recursos que intervienen en el proceso.

Las limitaciones identificadas y acciones para mitigar su efecto marcan un ritmo en el proceso. Lo anterior hace que esta fase suela ser más complicada de ejecutar, ya que el personal que interviene en el mismo considerará complejo seguir el ritmo de la limitación, pues para ellos implica reducir su ritmo de trabajo; o sea, se trata de “no procesar más trabajo de lo que la limitación” puede asimilar.

Es importante tener en cuenta la interdependencia existente entre las actividades que componen los procesos, lo cual resulta esencial si se quiere realizar con éxito la subordinación. Debido a ello, no tiene sentido instar a cada actividad que trabaje obteniendo el máximo rendimiento respecto a su capacidad, al contrario, se le debe exigir que opere de manera tal que facilite que las restricciones puedan ser explotadas según lo decidido en la fase 3.

2.2.5 Fase 5. Elevar la restricción del proceso

Una vez definidas y planificadas las acciones de mejora encaminadas a mitigar cada uno de los riesgos que se encuentran fuera de sus rangos de aceptación se le debe monitorear y dar seguimiento a la implementación de este plan de acciones, en aras de realizar las correcciones necesarias ante variaciones en los resultados esperados. En esta fase se eleva la restricción del proceso, para ello, se debe aumentar la capacidad hasta que la limitación se rompa, o lo que es lo mismo, invertir en acciones que mitiguen o eliminen los riesgos y luego de esto evaluar la eficacia de las medidas seleccionadas, con el fin de identificar si efectivamente se han alcanzado los resultados deseados.

La evaluación de la eficacia de las acciones preventivas implementadas para mitigar el efecto de cada modo de fallo se propone realizarla a través del cálculo del Numero de Prioridad de Riesgo Mejorado (NPRM) estimado, para lo cual se debe revisar el AMFE y valorar el mejoramiento alcanzado en la probabilidad de ocurrencia y de no detección luego de implementadas dichas acciones. Esto debe ofrecer un valor de NPRM más bajo y dentro de unos patrones de seguridad acertados. La estimación se realiza por parte del grupo de expertos (tal como se realizó el cálculo del NPR en la fase 2, etapa 4).

2.2.6 Fase 6. Mejora continua

Independientemente del estado alcanzado hasta el momento, siempre, mediante optimizaciones a pequeña, mediana o gran escala, se busca eliminar aquellas actividades que no agregan valor y, en consecuencia, se desean alcanzar resultados superiores en cada nueva etapa. En este sentido, llegada esta fase, se tienen dos posibilidades:

- Primero: en caso de no lograr los resultados esperados, es decir, cuando el valor del NPRM no alcance un nivel de riesgo aceptable o tolerable, habrá la necesidad de revisar el procedimiento que se siguió (desde la fase 3) para determinar posibles fallas y corregirlas.

- Segundo: contrario a lo anterior, en un escenario favorable (el valor del NPRM refleja un nivel de riesgo aceptable o tolerable) se deben volver a ejecutar los pasos con el objetivo de identificar nuevas restricciones del sistema. Es válido aclarar que se ha de comenzar desde la fase 1 ya que estudiar el contexto es una etapa de gran importancia debido a la variabilidad que lo caracteriza y la influencia que ejerce en el resto del proceso.

La mejora continua es el retorno al punto del procedimiento que lo precise (vías anteriormente mencionadas) hasta agotar las opciones factibles y tomar una decisión. Luego de esto se inicia nuevamente, para identificar una nueva limitación (riesgo crítico) y someterla a cada uno de los pasos, con el fin de encontrar medidas que permitan administrarla de manera conveniente para la organización y a un costo razonable.

2.3 Evaluación de la factibilidad del procedimiento propuesto mediante el criterio de especialistas

En este epígrafe se muestra cómo realizar la validación del procedimiento propuesto a través del empleo de especialistas. Para el cálculo y selección de la cantidad de estos expertos se utilizará el procedimiento presentado por Hurtado de Mendoza Fernández (2003). A continuación, en la tabla 2.6, se muestran características de los siete especialistas seleccionados para el estudio.

Tabla 2.6. Datos de los especialistas seleccionados

	Cargo	Especialidad	Institución
1	Jefe Control interno	Lic. Contabilidad y Finanzas	Almacenes Universales S.A. Sucursal Villa Clara
2	Jefe Departamento Mantenimiento	Ingeniería Mecánica	Empresa Constructora Militar No. 3
3	Jefe de SSTT	Ingeniería Industrial	Hotel Grand Sirenis Cayo Santa María
4	Profesora Investigadora	Dra. en Ciencias Técnicas	ITSM ¹
5	Docente investigador de Uniandes Categoría titular principal	Dr. en Ciencias Técnicas	Uniandes ²
6	Profesor Titular	Dr. en Ciencias Técnicas	UCLV
7	Profesor Titular	Dr. en Ciencias Técnicas	UCLV

Para definir la viabilidad del procedimiento propuesto se sometió al criterio de los especialistas seleccionados la valoración del cumplimiento de los principios definidos en el apartado 2.1, empleando para ello una escala donde uno (1) es el menor valor y cinco (5) el mayor. En la tabla 2.7 se presentan los resultados de dicha valoración.

¹Instituto Tecnológico Superior de Misantla, México.

²Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ecuador.

Tabla 2.7. Valoración brindada por los especialistas sobre la propuesta

Principios	EXPERTOS							Valor modal
	1	2	3	4	5	6	7	
Flexibilidad	4	5	5	5	3	4	5	5
Consistencia lógica	5	5	4	4	5	5	4	5
Pertinencia	3	5	5	5	4	4	5	5
Generalidad	5	5	4	3	5	5	5	5
Trascendencia	5	3	4	5	5	4	5	5
Integrador	5	5	5	5	4	5	5	5

Como se puede observar existe un alto grado de correspondencia entre los especialistas respecto al cumplimiento por parte de la propuesta de los principios evaluados, lo que evidencia la factibilidad de la misma.

2.4 Conclusiones parciales

1. El procedimiento propuesto logra integrar la Gestión de riesgos dentro de los pasos de la Teoría de las limitaciones y está diseñado para la obtención de beneficios rápidos, con esfuerzos mínimos en corto tiempo. El mismo contribuye al mejoramiento de la Gestión de mantenimiento ya que funciona como soporte al proceso de mejora continua al permitir enfocar los esfuerzos en los elementos que permitan alcanzar mayor eficiencia para lograr la meta del proceso.
2. Por su flexibilidad y carácter integrador este procedimiento puede ser adaptado y aplicado como herramienta metodológica a otros procesos. Cabe destacar que el mismo posee facilidad de comprensión lo cual resulta útil para los especialistas que deseen implementarlo en sus empresas; su consistencia lógica permite cumplir los objetivos para los que fue elaborado y estructurado.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La bibliografía revisada para la construcción del Marco Teórico Referencial del presente estudio confirma que existe una base conceptual amplia sobre Gestión de mantenimiento, Gestión de riesgo y Teoría de las limitaciones; sin embargo, los estudios precedentes acerca de su integración son escasos.
2. El análisis de la situación problemática que fundamenta el estudio motivó la necesidad de diseñar un procedimiento que sirva de soporte al proceso de mejora continua de la Gestión de mantenimiento, mediante la integración de la Teoría de las limitaciones y la Gestión de riesgo. Todo lo anterior con el objetivo de garantizar el incremento de la rentabilidad en aquellas empresas que decidan aplicarlo, manteniendo los elementos que componen el proceso en plena capacidad y buen estado
3. Luego de desarrollar cada etapa del procedimiento integrado se evidencia el potencial del mismo, ya que permite desarrollar una administración efectiva de los riesgos críticos (limitaciones) generando el mejoramiento de su gestión y mitigación sin que se produzcan cambios significativos en su estructura. Adicionalmente se puede concluir que. permite tomar decisiones respecto a las medidas de tratamiento y control de los riesgos; comprende a la organización como una estructura eslabonada, ofrece niveles de seguridad confiables para las empresas, lo cual permite alcanzar exitosamente lo objetivos planeados, obtiene una alta valoración de los riesgos y evita que se generen mayores pérdidas en la organización.

RECOMENDACIONES

Luego de culminada la investigación se proponen las recomendaciones siguientes:

1. Implementar el procedimiento propuesto en entidades del país de manera que se pueda comprobar su factibilidad práctica.
2. Capacitar al personal que se ocupará de la implantación y seguimiento de la propuesta, según su grado de implicación, de forma tal que se garanticen los resultados esperados y puedan incrementarse.
3. Realizar investigaciones encaminadas al desarrollo del Análisis Costo Riesgo Beneficio de las acciones de mitigación propuestas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABBAS, M. y SHAFIEE, M. 2020. An overview of maintenance management strategies for corroded steel structures in extreme marine environments. *Marine Structures*, vol.71, pp.102-718. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102718>.
2. ACERO NAVARRO, E. G. 2012. Administración de operaciones aplicado la teoria de las restricciones en una PYME. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Facultad de Ingeniería Industrial. EAP de Ingeniería Industrial.
3. ACEVEDO DARIAS, M. 2018. Fundamentación y propuesta de cambios a la gestión del mantenimiento a la maquinaria agrícola en Cuba. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Agrícola. , Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas Facultad de Ciencias Agropecuarias Departamento de Ingeniería Agrícola
4. AGUILERA DÍAZ, A. 2017. El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin Habana*, vol. 11, No. 2, pp. 322-343.
5. AGUILERA SÁNCHEZ, Y., PLASENCIA SOLER, J. A. y MARRERO DELGADO, F. 2019. Procedimiento para evaluar los riesgos del cumplimiento normativo en organizaciones orientadas a proyectos. *Folletos Gerenciales*, vol. 23, No. 2, pp. 93-104.
6. ALARCÓN QUIÑONEZ, B. A. y ROMERO MONTENEGRO, D. M. 2021. Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para una empresa productora y comercializadora de harina y aceite de pescado ubicada en la ciudad de Santa Elena. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador. Carrera de Ingeniería Industrial.
7. ALAVI, E. 2018. Mantenimiento basado en el riesgo (MBR), Caso:(MCH) Micro Central Hidroeléctrica. *Revista tecnológica*, vol. 14, No. 20, pp. 16-18.
8. ALFONSO MENÉNDEZ, L. B. 2019. Diseño del proceso para la gestión de la calidad del mantenimiento en el hotel Iberostar Seleccin Ensenachos. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu”de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
9. ALVARADO CONDORI, V. H. 2019. Implementación de la teoría de restricciones para optimizar la efectividad de los tiempos de atención en una empresa de servicios, Lima, 2019. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad César Vallejo, Perú. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

10. AMENDOLA, L., ARTACHO, M. Á. y DEPOOL, T. 2017. Análisis de los factores clave para mejorar la gestión del mantenimiento en la industria de oil&gas en América Latina. DYNA-Ingeniería e Industria, vol. 92, No. 5, pp. 566-571.
11. ARANGO, J. A. U. y SORZA, M. A. 2008. Diseño de procesos operativos mediante la metodología de teoría de restricciones en el Parque Explora Medellín. Revista Soluciones de Postgrado, vol. 1, No. 2, pp. 135-144.
12. ARIET, N. V. 2017. Tareas preventivas para mejorar la confiabilidad del sistema de acondicionamiento de aire en una aeronave. Revista Cubana de Ingeniería, vol. 8, No. 3, pp. 27-33.
13. ASENCIOS PRÍNCIPE, J. M., SALAS FLORES, F. A., TRAVERSO CARRASCO, R. y VILLAVICENCIO MENDOZA, P. A. 2021. Propuesta de mejora en la rentabilidad del sistema de mantenimiento de lubricantes en el concesionario Automóviles SA. Tesis en opción al grado académico de Máster en Administración Estratégica de Empresas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Surco. Escuela para los Buenos Negocios.
14. ASMAT RODRIGUEZ, M. A. y LOPEZ VACA, D. L. 2020. Teoría de restricciones en la reducción de costos operacionales del proceso de mantenimiento en la Empresa Transportes Rodrigo Carranza SAC. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Privada Antenor Orrego, Perú. Facultad de Ingeniería Industrial. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial
15. ASSEMAN, A., ALORAIDI, N. A., SALIM, M., REZK, E., DAWOUD, H., ALKHUZAEI, N. N., MECHETER, S., RIHAN, R. y BOURAS, A. 2014. Software project management: Theory of constraints, risk management, and performance evaluation. The Journal of Modern Project Management, vol. 2, No. 1, pp. 1-14.
16. AVEN, T. 2017. The flaws of the ISO 31000 conceptualisation of risk. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Journal of Risk and Reliability, vol. 231, No. 5, pp. 467-468. <http://dx.doi.org/10.1177/1748006X17690672>.
17. BA, H. T., CHOLETTE, M. E., BORGHESANI, P., ZHOU, Y. y MA, L. 2017. Opportunistic maintenance considering non-homogenous opportunity arrivals and stochastic opportunity durations. Reliability Engineering and System Safety, vol 160, pp. 151-161.
18. BAKRI, A. y JANUDDI, M. A.-F. M. S. 2020. Systematic Industrial Maintenance to Boost the Quality Management Programs, Switzerland: Springer Nature.
19. BAZAN RIOS, K., CANALES, C. C., PALOMINO, E. R., MUNARRIZ, J. E. y MESIA, R. An Integrated System_ Lean, Six Sigma and Theory of Constraints, a Study Applied in Wooden

- Furniture Industry in Lima, Peru. 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019. pp. 347-352.
20. BOLAÑO RODRÍGUEZ, Y., ALFONSO ROBAINA, D., PÉREZ BARNÉS, A. y ARIAS PÉREZ, M. 2014. Modelo de Dirección Estratégica basado en la Administración de Riesgos. Ingeniería industrial, vol. 35, No. 3, pp. 344-357.
 21. BROCAL, F., PALTRINIERI, N., GONZÁLEZ-GAYA, C., SEBASTIÁN, M. y RENIERS, G. 2021. Approach to the selection of strategies for emerging risk management considering uncertainty as the main decision variable in occupational contexts. Safety science, vol. 134, pp. 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105041>.
 22. CALZADA, R. y STEVEN, J. 2021. Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo y su influencia en la disponibilidad mecánica en la línea blanca y amarilla de la Empresa Multiservicios San Francisco de Asís Yarusyacán-Pasco-2019. Tesis en opción al grado de Ingeniero Mecánico, Universidad Continental, Huancayo, Perú. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica.
 23. CAMPBELL, J. D., REYES-PICKNELL, J. V. y KIM, H. S. 2015. Uptime: Strategies for excellence in maintenance management, New York, EE.UU: CRC Press.
 24. CÁRDENAS KRENZ, O. y GÁLVEZ FUJISHIMA, J. 2010. Implementación de un proceso de mejora continua TOC en una empresa de servicios. Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión de Operaciones, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
 25. CÁRDENAS RICO, A. G., MORA BLANCO, C. F. y SERNA GARCÍA, O. A. 2020. Gestión de riesgos para empresas pymes de ingeniería que ejecutan obras de infraestructura. Especialización en Gerencia de Proyectos, Universidad EAN. Seminario de Investigación-Especialización.
 26. CARRAMIÑANA ELBAILE, M. 2021. Análisis del estado del sistema de mantenimiento de la empresa Hofmann SL y estudio de la mejora del mismo mediante la implantación de un sistema GMAO (gestión de mantenimiento asistido por ordenador). Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Valencia, España. Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia.
 27. CARRIÓN GORDÓN, X. M. 2020. Análisis de la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) en la industria como un sistema de mejoramiento continuo: caso de estudio Sismode Cía. Ltda. Tesis en opción al grado académico de Master en Dirección de Empresas, Universidad Andina Simón Bolívar. Quito, Ecuador.
 28. CASARES, I. y LIZARZABURU, E. R. 2016. Introducción a la gestión integral de riesgos empresariales. Enfoque: ISO 31000, Lima, Perú: Platinum.

29. CASTILLO BAQUE, D. R. y ZAMBRANO SALTOS, F. T. 2017. La Contabilidad del Trúput y su Influencia en el Mejoramiento de los Resultados de las Empresas. Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Ecuador.
30. CASTILLO LEYVA, Y. 2018. Procedimiento para el control del mantenimiento en fábricas de transformación de plásticos. Aplicación en la fábrica de tubos de Holguín (HOLPLAST). Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad de Holguín. Facultad Ciencias Empresariales y Administración. Departamento de Ingeniería Industrial.
31. CASTRO AGUILAR, K. Y. 2020. Manual de dinámicas de Educación Ambiental para la Gestión de Riesgos. Tesis en opción al grado de Licenciada en Ciencias de la Tierra, Universidad de Ciencias Artes de Chiapas, México. Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Licenciatura en Ciencias de la Tierra.
32. CASTRO BRAHM, J. L. 2019. Análisis y aplicación del método de evaluación económica de proyectos por opciones reales. Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión y Dirección de empresas, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
33. CEVALLOS, R. P., TORO, R. G. y DE JESÚS MOREIRA, M. 2020. Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) en un proceso de fabricación de chocolates. Journal Business Science, vol. 1, No. 1, pp. 13-24.
34. COEPM² 2018. The PM² Project Management Methodology Guide v.3.0. Bruselas, Comisión Europea, Centre of Excellence in Project Management.
35. COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA, C. 2011. Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución.
36. COMITÉ CENTRAL DEL PARTIDO COMUNISTA DE CUBA, C. 2021. Actualización de la política económica y social del partido y la revolución. VIII Congreso
37. CONESA DÍAZ, A. 2019. Contribución al mejoramiento del proceso de reparación y mantenimiento de la Unión Básica de Inversiones (UBI) de ALMEST en Topes de Collantes, mediante la filosofía del análisis de riesgos. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
38. CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA DE CUBA, C. 2011. Normas del Sistema de Control Interno. La Habana: Resolución:60/11
39. COQUE PÁRRAGA, J. R. 2018. Optimización de recursos mediante la aplicación de teoría de restricciones (TOC) en empresa metalmecánica de envases de hojalata. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.

40. COSO, W. 2018. Enterprise risk management: Applying enterprise risk management to environmental, social and governance-related risks by the Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).
41. COTTON, D. 2017. The Smart Solution Book: 68 Tools for Brainstorming, Problem Solving, and Decision Making, Harlow, United Kingdom, Pearson.
42. COX III, J. F. y BOYD, L. H. 2020. Using the theory of constraints' processes of ongoing improvement to address the provider appointment scheduling system design problem. Health Systems, vol. 9, No. 2, pp. 124-158.
43. CHASI TOCA, D. C. 2017. Gestión de riesgos y su incidencia en el control interno en el departamento financiero de la florícola Fegacón cía. Ltda. parroquia Joseguango Bajo, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Tesis en opción al grado de Ingeniero en Contabilidad y Auditoría, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Facultad de Ciencias Administrativas. Carrera de Ingeniería en Contabilidad y Auditoría.
44. CHATA CHAGUA, C. 2021. Propuesta de un plan de mantenimiento basado en el riesgo para el sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de Gregorio Albarracín Tacna. Tesis en opción al grado de Ingeniero Mecánico Electricista, Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
45. CHÁVEZ SALAZAR, H. 2016. Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos de la planta de alimentos de la Empresa Minera LA Zanja S.R.L. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Industrial.
46. CHEMWENO, P. P., LILIANE, H., ADRIAAN, V. y MUCHIRI , P. 2015. Development of a risk assessment selection methodology for asset maintenance decision making : An analytic network process (ANP) approach. Centre for Industrial Management ,KU Leuven,Celestijnenlaan,Heverlee,Belgium . School of Engineering,Dedan Kimathi University of Technology,P,Nyeri,Kenya . <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.017>.
47. DE JAIME ESLAVA, J. 2016. La rentabilidad: análisis de costes y resultados, Madrid, ESIC editorial.
48. DE LA CRUZ ARAGONESE, M. D., NÁPOLES-GARCÍA, M., GONZÁLEZ-SUÁREZ, E. y MORALES-ZAMORA, M. 2018. Indisponibilidad industrial en la etapa de elaboración del

- mosto cervecero. *Tecnología Química*, 38(1), 71-84. *Tecnología Química*, vol. 38, No.1, pp. 5-10.
49. DE LA ROSA LEAL, M. E. 2008. La gestión medioambiental como una expresión de la responsabilidad social en la industria maquiladora de Hermosillo, Sonora, México. *Revista de Contabilidad y Dirección*, vol.7, pp. 185-204.
 50. DE SAEGER, A. 2016. El diagrama de Ishikawa, 50Minutes. es.
 51. DELGADO AÑASCO, F. J. 2017. Aplicación de teoría de las restricciones en una empresa de embutidos. Tesis en opción al grado de Ingeniero Químico, Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Carrera de Ingeniería Química.
 52. DÍAZ DELGADO, V. M., TORUÑO CRUZ, E. D. L. Á. y BELLORÍN UMANZOR, J. J. 2021. Evaluación del mantenimiento preventivo en los equipos del área de trillado de café en la empresa PRODECOOP RL en el municipio de Palacagüina, departamento de Madriz, en el segundo semestre del año 2020. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Facultad Regional Multidisciplinaria. FAREM-ESTELI.
 53. DÍAZ PÉREZ, A. 2014. Procedimiento para la integración de la filosofía de la Teoría de las limitaciones y la Gestión del mantenimiento en la planta industrial de la empresa Alimentos y Bebidas "La Estancia SA". Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Departamento de Ingeniería Industrial.
 54. DICKERSON, D. y ACKERMAN, P. 2016. Risk-based Maintenance Management of US Public School Facilities. *Procedia Engineering*. vol. 145, pp. 685-692. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.069>.
 55. DRURY, C. 2018. Cost and management accounting, Cheriton House, United Kingdom, Cengage Learning.
 56. DUAN, C., DENG, C., GHARAEI, A., WU, J. y WANG, B. 2018. Selective maintenance scheduling under stochastic maintenance quality with multiple maintenance actions. *International Journal of Production Research*, vol. 56, No. 23, pp. 6-8.
 57. EDERSON MANUEL, A. J. 2020. Gestión de mantenimiento para disminuir el tiempo de reparación del camión VOLVO FH13A64T en automotriz central del Perú S.A.C -Huancayo. Tesis en opción al grado de Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Facultad de Ingeniería Mecánica.
 58. ESCOLAR CHICA, A. M. y RODRIGUEZ TORRES, R. 2021. Plan de Mantenimiento Preventivo a un Sistema de Bombeo en Conjunto Motor Bomba Centrífuga. Trabajo de grado.

Proyecto de aplicación práctica, Universidad Antonio Nariño, Sede Cartagena. Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica. Programa Académico Tecnología Electromecánica.

59. ESPINOZA RAMÍREZ, J. L. 2019. Análisis, diagnóstico y propuesta de mejora en la línea de ensamble del proceso de producción de grupos electrógenos utilizando las herramientas de la metodología TLS (Teoría de las restricciones “TOC”–Lean Manufacturing–Six Sigma). Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de Operaciones, Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Posgrado.
60. FAJARDO MORENO, W. S. y MELO MORENO, Y. V. 2011. Teoría de las restricciones: una herramienta efectivo para la gerencia de riesgos empresariales. Especialización en Control Interno, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
61. FARFÁN PANAMÁ, C. F. 2016. Diseño de un Modelo de Gestión de Mantenimiento, basado en el TPM (Total Productive Maintenance) y alineado a la norma ISO 22000-2005, para la Industria Cárnica de la Ciudad de Cuenca. Tesis en opción al grado académico de Master Gestión del Mantenimiento Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador
62. FIGUEIRA, P. T., BRAVO, C. L. y LÓPEZ, J. L. R. 2020. Improving information security risk analysis by including threat-occurrence predictive models. *Computers & Security*, vol. 88, pp. 101-609. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101609>.
63. FILA, R., EL KHAILI, M. y MESTARI, M. 2020. Cloud computing for industrial predictive maintenance based on prognostics and health management. *Procedia Computer Science*, vol. 177, pp. 631-638.
64. GALARZA LÓPEZ, J. y ALMUIÑAS RIVERO, J. L. 2015. La gestión de los riesgos de planificación estratégica en las instituciones de educación superior. *Revista Cubana de Educación Superior*, vol. 34, No. 2, pp. 45-53.
65. GALLOSO CRUZADO, Z. F. 2020. Gestión de mantenimiento y disponibilidad de maquinarias y equipos en el sector minero, 2015-2020. Una revisión sistemática. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Industrial.
66. GARCÍA ERAZO, A. G. 2020. Propuesta de mejoramiento de la productividad en el departamento de producción de la empresa Remodularsa SA mediante la aplicación de la teoría de restricciones (TOC). Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Industrial y Productividad, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.

67. GARCÍA, S. G. y GARCÍA, M. G. 2019. Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview. *Procedia manufacturing*, vol. 41, pp. 415-422.
68. GASCA, M. C., CAMARGO, L. L. y MEDINA, B. 2020. Gestión del mantenimiento para la confiabilidad operacional. vol. 41, No. 47, pp. 251-260.
69. GELDRES MARCHENA, R. R. 2019. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) en la industria peruana. Una revisión sistemática de literatura científica de los últimos 10 años. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Industrial.
70. GOLDRATT, E. M. 2008. No es cuestión de suerte, Buenos Aires, Argentina. Ediciones Granica SA.
71. GOLDRATT, E. M. 2010. Meta, La (Tercera Edición revisada): Un proceso de mejora continua, Buenos Aires, Argentina. Ediciones Granica SA.
72. GÓMEZ SABANDO, S. A. 2021. DISEÑO DE PLAN PARA MITIGAR LOS RIESGOS EN TALLER DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS DE GRÚAS DE LA EMPRESA PROGRÚAS., Guayaquil.
73. GONZALES GOMEZ, F. J. 2021. Los costos de operación y mantenimiento del activo fijo vinculado a la producción y la rentabilidad de SEDAPAL 2017–2019. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Administración, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Programa Académico de Doctorado en Administración.
74. GONZALES JARA, M. R. 2019. Revisión bibliográfica y estadística de aplicaciones de metodologías y herramientas de la gestión de mantenimiento para ser utilizadas en las Mypes textiles en Arequipa. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú. Facultad de Ingenierías y Computación. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
75. GONZÁLEZ BATISTA, C. P. 2019. Selección del sistema de mantenimiento para la máquina de impresión offset Heidelberg en la UEB Gráfica de Holguín. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad de Holguín. Facultad de Ciencias Empresariales y Administración. Departamento de Ingeniería Industrial.
76. GONZÁLEZ GÓMEZ, J. A., ORTEGÓN MOSQUERA, K. y RIVERA CADAVID, L. 2003. Desarrollo de una metodología de implementación de los conceptos de TOC (Teoría de Restricciones), para empresas colombianas. *Estudios gerenciales*, vol. 19, No. 87, pp. 27-49.
77. GONZÁLEZ PÉREZ, A. M. 2018. Propuesta de mejoras en el proceso de gestión del mantenimiento en la Empresa Comercializadora de Combustible de Villa Clara basado en la

gestión de riesgo. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.

78. GORDILLO, P. A. y PLATA, R. V. R. 2017. Ingeniería económica:¿ Cómo medir la rentabilidad de un proyecto?, Lima, Perú, Fondo Editorial de la Universidad de Lima.
79. GUERRERO AGUIAR, M., MEDINA LEÓN, A. y NOGUEIRA RIVERA, D. 2020. Procedimiento de gestión de riesgos como apoyo a la toma de decisiones. Ingeniería Industrial, vol. 41, No.1, pp. 1-14.
80. GUEVARA, F. M. C., TOALA, G. M. L. y ENRÍQUEZ, R. P. C. 2016. Proyectos de inversión. Métodos y aplicación en el sector industrial de Manabí. Dominio de las Ciencias, vol. 2, No. 1, pp. 220-235.
81. GUILLART JUAN, S. y CAPUZ RIZO, S. 2020. Análisis comparativo de estándares y metodologías de gestión de riesgos del proyecto. 24th International Congress on Project Management and Engineering.
82. GUILLÉN, A. J., CRESPO, A., GÓMEZ, J. F. y SANZ, M. D. 2016. A framework for effective management of condition based maintenance programs in the context of industrial development of E-Maintenance strategies. Computers in Industry, vol. 82, pp. 170-185.
83. GUPTA, M. y ANDERSEN, S. 2018. Throughput/inventory dollar-days: TOC-based measures for supply chain collaboration. International Journal of Production Research, <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444805>.
84. GUTIÉRREZ HERRERA, R. Y. 2020. Gestión del Mantenimiento en el beneficio de café seco Las Nubes–INROCASA, segundo semestre del año 2019. Tesis en opción al grado de Ingeniero Agroindustrial, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Facultad Regional Multidisciplinaria, Matagalpa. Programa de Ingeniería Agroindustrial.
85. HANIF, M. 2018. Cost and Management Accounting-I, India, McGraw Hill Education
86. HARISH , U. 2019. Implementation of Theory of Constraints TOC in a manufacturing plant. Revista internacional de investigación y gestión científicas avanzadas.
87. HENAO, G. J. C., GONZÁLEZ, E. M. R. y MORENO, J. C. A. 2017. Evolución de la cultura de la gestión de riesgos en el entorno empresarial colombiano: revisión y diagnóstico. Journal of Engineering and technology, vol. 6, No. 1, pp. 22-45.
88. HERNÁNDEZ QUISPE, E. Y. 2014. Propuesta de reducción del retraso de productos terminados en el área de producción de una empresa metalmecánica mediante la Teoría de las Restricciones y herramientas Lean. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial,

Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Ingeniería. Carrera de Ingeniería Industrial.

89. HERNÁNDEZ SANTANA, J. A. 2017. Estudio del sistema de mantenimiento en las pasarelas en el Hotel Playa Cayo Santa María. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Centro de Investigaciones de Soldadura.
90. HERRERA GALÁN, M. 2017. Aplicación de la gestión de riesgo a equipos y sistemas productivos. Dyna, vol. 84, No. 202, pp. 247-254.
91. HINOJOZA ALIENDRES, E. V. 2021. Plan de gestión de riesgos de helada en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en la comunidad Canal Mayu del municipio Tiraque. Tesis en opción al grado de Licenciatura en Ingeniería en Recursos Hídricos para la Agropecuaria, Universidad Mayor de San Simón. Escuela Universitaria de Posgrado. Facultad de Desarrollo Rural y Territorial.
92. HURTADO DE MENDOZA FERNÁNDEZ, S. 2003. Criterio de expertos. Su procesamiento a través del Metodo Delphi
93. HURTADO HURTADO, J. L. 2021. Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Instalación Industrial de la Empresa de Cárnicos y Elaborados el Sueco de la ciudad de Quito. Trabajo de Titulación modalidad Estudio Técnico previo a la obtención de la Licenciatura en Ciencias de la Educación Mención Mecánica Industrial, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación. Carrera de Mecánica Industrial.
94. HUTCHINS, G. 2018. ISO 31000: 2018 Enterprise Risk Management, Greg Hutchins, CERM, Academy.
95. HUTH, M., VISHIK, C. y MASUCCI, R. 2017. From Risk Management to Risk Engineering: Challenges in Future ICT Systems. Handbook of System Safety and Security. Elsevier.
96. ICHQ9 2015. Quality risk management - Guideline.
97. IKEZIRI, L. M., FERNANDO BERNARDI DE SOUZA, MAHESH C. GUPTA y PAULA DE CAMARGO FIORINI 2018. Theory of constraints review and bibliometric analysis. International Journal of Production Research. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1518602>.
98. ISO:9000 2015. "Sistemas de Gestión de la Calidad".
99. ISO:31000 2018. Risk management –Guidelines.
100. ISO:31010 2019. Norma cubana ISO 31010. Gestión de riesgo - Técnicas de apreciación del riesgo. Oficina Nacional de Normalización , La Habana ,Cuba.

101. JAMANCA PAREDES, G. 2020. Mantenimiento preventivo para mejorar la productividad de los equipos de aire acondicionado del centro quirúrgico del Instituto Nacional de Oftalmología. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
102. JONEK KOWALSKA, I. 2019. Efficiency of Enterprise Risk Management (ERM) systems. Comparative analysis in the fuel sector and energy sector on the basis of Central-European companies listed on the Warsaw Stock Exchange. Resources policy. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.04.011>, vol. 62, pp. 405-415.
103. JONGE, B. y JAKOBSONS, E. 2018. Optimizing block-based maintenance under random machine usage. European Journal of Operational Research, vol. 2, No. 265, pp. 703-709.
104. KAHIT, E. A. M. D. A. 2020. The theory of constraints and value engineering conforms to sustainability accounting standards by making it a strategic dimension of cost management and improving product value. . Al Kut Journal of Economics and Administrative Sciences, vol. 12, No. 37, pp. 84-129. <https://www.researchgate.net/publication/343501921>
105. KAMSU FOGUEM, B. 2016. Information structuring and risk-based inspection for the marine oil pipelines. Applied Ocean Research, vol. 56, pp. 132-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2016.01.009>.
106. KENT, M. D., COSTELLO, O., PHELAN, S. y PETROV, K. 2018. Cost Oriented Maintenance Management Systems for Manufacturing Processes. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, No. 30, pp. 48-53.
107. KIRAN, S., KUMAR, K. P., SREEJITH, B. y MURALIDHARAN, M. 2016. Reliability evaluation and Risk based maintenance in a process plant. Procedia Technology, vol 24, pp. 576-583.
108. KUMAR, D. y KUMAR, D. 2018. Sustainable management of coal preparation, Woodhead Publishing
109. KUMAR, N., SIDDIQUI, M. T. y SUHAIL, M. 2020. Theory of Constraints: A Review on its Evolution and Adoption. The International journal of analytical and experimental modal analysis vol. 12, No. 9, pp. 954-961.
110. LAINE, V., GOERLANDT, F., BANDA, O. V., BALDAUF, M., KOLDENHOF, Y. y RYTKÖNEN, J. 2021. A risk management framework for maritime Pollution Preparedness and Response: Concepts, processes and tools. Marine Pollution Bulletin, vol. 171, pp. 2-22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112724>.
111. LAMIÑA ASQUI, V. M. 2018. Elaboración del plan institucional de gestión de riesgo e implementación de señalética de seguridad para la prevención de accidentes laborales en la

empresa mecánica Lincoln de la ciudad de Riobamba. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Facultad de Mecánica Escuela de Ingeniería Industrial.

112. LARA, A. 2020. Percepción social en la gestión del riesgo de inundación en una zona mediterránea/tesis doctoral, Universitat de Girona, Dipòsit legal: GI. 136-2013 <http://hdl.handle.net/10803/98249>.
113. LEÓN RUIZ, K. E. 2017. Desarrollo de un modelo de gestión de riesgo operativo para una empresa ecuatoriana de comercialización. Tesis en opción al grado académico de Master en Finanzas y Gestión de Riesgos, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
114. LEONI, L., BAHOOTORODY, A., DE CARLO, F. y PALTRINIERI, N. 2019. Developing a risk-based maintenance model for a Natural Gas Regulating and Metering Station using Bayesian Network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 57, pp. 17-24.
115. LI, X. 2019. Smart work packaging for constraints management in prefabrication housing production. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Filosofía, Universidad Politécnica de Hong Kong, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong. Departamento de Construcciones y Bienes Raíces. .
116. LÓPEZ OSORIO, H. J. 2017. Propuesta para la implementación de un sistema de mantenimiento productivo total (TPM) para eficientar el proceso productivo de la planta de producción en Alimentos Kern s. . Tesis en opción al grado de Ingeniero Mecánico Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala.
117. LOUHICHI, R., SALLAK, M. y PELLETAN, J. A cost model for predictive maintenance based on risk-assessment. 13ème Conférence internationale CIGI QUALITA, 2019.
118. MABIN, V. 2015. Goldratt's" Theory of Constraints" thinking processes: A systems methodology linking soft with hard. School of Business and Public Management. Victoria University of Wellington.
119. MABIN, V. J. y BALDERSTONE, S. J. 2020. The world of the theory of constraints: a review of the international literature, Boca Raton, Estados Unidos. CRC Press.
120. MANTILLA RIVERA, J. J. y MORALES GONZÁLEZ, M. C. 2017. Evaluación de la gestión de mantenimiento en el Hospital Básico Publio Escobar Gómez de la Torre de Cantón Colta y su incidencia en la calidad de servicio. Propuesta alternativa. Tesis en opción al grado de Ingeniero de Mantenimiento, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
121. MARIANI, H. D. 2016. Estudios de análisis de riesgo. Argentina: ERM SA.

122. MARTINEZ RUIZ, V. M. 2018. Plan de mantenimiento al área de cromado. Tesis en opción al grado de Ingeniería en Mantenimiento Área Industrial, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, México. Programa Educativo Ingeniería en Mantenimiento Industrial.
123. MATTIMORE, B. W. 1994. 99% inspiration: Tips, tales & techniques for liberating your business creativity, Amacom.
124. MAYTA TOLENTINO, R. A. 2017. Diseño de un sistema de planificación y control de la producción basado en la teoría de restricciones, para mejorar la productividad de la empresa de tratamiento de vidrios. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Facultad de Ingeniería Industrial. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
125. MEHAIRJAN, R. P. Y. 2017. Risk-based maintenance for electricity network organizations, Gewerbestrasse, Switzerland, Springer.
126. MEHMETI, X., MEHMETI, B. y SEJDIU, R. 2018. The equipment maintenance management in manufacturing enterprises. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, No. 30, pp. 800-802.
127. MEISEL LANNER, R. 2020. La importancia del sistema de gestión del riesgo aduanero. Revista de Derecho, vol. 53, pp. 108-132.
128. MINDUS 2017. Ministerio de Industrias.
129. MINDUS 2021. Ministerio de Industrias.
130. MISHRA, A. K. y MOKTAN, K. K. 2019. Identification of Constraints in Project Schedule Management. International Journal of Research-Granthaalayah, vol. 7, No. 2, pp. 18-35.
131. MONCADA MALIZA, M. F. 2017. Mejora en el proceso de mantenimiento de cilindros de 15 kg, en la Empresa Esain SA. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial.
132. MONTENEGRO ENRIQUEZ, J. 2020. Propuesta de gestión de riesgos empresariales-El caso del COVID19. Tesis en opción al grado académico de Máster en Administración, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Facultad de Ciencias Económicas, Área Curricular de Gestión de las Organizaciones y Contaduría.
133. MONTES, G. M. 2012. Gestión del riesgo en proyectos de ingeniería. El caso del campus universitario PTS. Universidad de Granada (España). Dyna, vol.79, No. 173, pp. 7-14.
134. MORA GUTIÉRREZ, A. 2012. Mantenimiento Industrial Efectivo. Edición Segunda, Medellín, Colombia: AMG.
135. MORA, L. A. 2009. Mantenimiento-planeación, ejecución y control, México: Alfaomega Grupo Editor.

- 136.MORALES LONDOÑO, N. 2016. Modelo de optimización en la producción basado en la teoría de las restricciones como estrategia para la gestión de la productividad: caso de aplicación: cantera de agregados para la construcción Cimaco. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia.
- 137.MOUBRAY, J. 2004. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Gran Bretaña: Aladon Ltda.
- 138.MVUBU, M. y NAUDE, M. 2020. Supply Chain Risk Management Strategies: a study of South African third-party logistics providers. *Southern African Business Review*, vol. 24, No. 1, pp. 1-24.
- 139.NEWNAN, D. G., ESCHENBACH, T. y LAVELLE, J. P. 2017. Engineering economic analysis, New York, Oxford University Press.
- 140.OFFICE, T. S. 2017. Managing successful projects with PRINCE2, Norwich City:The Stationery Office.
- 141.ORDOSGOITIA LÓPEZ, A. 2018. Diseño de una propuesta para el mejoramiento de la producción e incremento de la productividad global en la empresa Indusandra, una aplicación de la teoría de restricciones. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad de Cordoba, Argentina. Facultad de Ingenierías. Departamento de Ingeniería Industrial.
- 142.OROUJI, M. 2016. Theory of constraints: a state of art review. *Accounting*, vol. 2, No. 1, pp. 45-52.
- 143.ÖZGÜR-ÜNLÜAKIN, D., TÜRKALI, B. y AKSEZER, S. Ç. 2021. Cost-effective fault diagnosis of a multi-component dynamic system under corrective maintenance. *Applied Soft Computing*, vol. 102, pp. 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107092>.
- 144.PALMA, H. G. H., MOVILLA, J. S. y TORRES, J. J. 2020. Theory of restrictions for the processes of management and control in the IPS of the Colombian Caribbean. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 8, pp. 54-68.
- 145.PARVIAINEN, T., GOERLANDT, F., HELLE, I., HAAPASAARI, P. y KUIKKA, S. 2021. Implementing Bayesian networks for ISO 31000: 2018-based maritime oil spill risk management: State-of-art, implementation benefits and challenges, and future research directions. *Journal of Environmental Management*, vol. 278, pp. 2 -13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111520>.
- 146.PASEIRO CORTIÑAS, J. D. 2017. Propuesta de Indicadores de Mantenimiento para el Control del Mantenimiento en el Hotel Dhawa. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Mecánica.

147. PEINADO GONZALO, A., PLIEGO MARUGÁN, A. y GARCÍA MÁRQUEZ, F. P. 2020. Survey of maintenance management for photovoltaic power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 134, pp. 2-34. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110347>.
148. PEÑA ALMAGUER, S. M. 2019. Gestión de los riesgos laborales en la Terminal de Contenedores de Mariel S.A. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad de Holguín. Facultad Ciencias Empresariales y Administración. Departamento de Ingeniería Industrial
149. PEÑA GARCÍA, I. A. 2016. Propuesta de cambio para los proyectos de la vicepresidencia de empresas de telefónica desde la teoría de restricciones (TOC). Trabajo de grado, Universidad del Rosario, Bogotá, Colombia.
150. PÉREZ GONZÁLEZ, W. 2016. Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento del sistema de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
151. PÉREZ LOAIZA, N. y RAMÍREZ BETANCUR, A. 2021. Gestión de oportunidades a partir de la gestión de riesgos—caso de estudio Compañía de Galletas Noel. Tesis en opción al grado académico de Máster en Administración de Riesgos, Universidad EAFIT. Escuela de Administración.
152. PÉREZ RONDÓN, F. A. 2021. Conceptos generales en la gestión del mantenimiento industrial, Ediciones USTA Bucaramanga, Colombia.
153. PÉREZ SIERRA, L. 2015. Modelo integrado de gestión basado en la teoría de restricciones y la gestión del riesgo operativo. Especialización en Riesgos Financieros, Universidad de Medellín, Colombia. Facultad de Ingeniería.
154. PMI, A. 2017. Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBok Guide), Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute , Inc.
155. POMA SURICHAQUI, F. B. 2017. Teoría de restricciones y su relación con la productividad de la empresa Creaciones Karen, en el año 2016. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Continental, Huancayo, Perú. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial.
156. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. INC 2019. The standard for risk management in portfolios, programs, and projects., 14 Campus Boulevard Newtown Square, Pennsylvania, USA.

157. PULIDO ROJANO, A. D., RUIZ LÁZARO, A. y ORTIZ OSPINO, L. E. 2020. Mejora de procesos de producción a través de la gestión de riesgos y herramientas estadísticas. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 28, No. 1, pp. 56-67.
158. QIAN, F., LIU, Y., YANG, Y., GAO, W. y WU, Y. 2018. Equipment Operation and Maintenance Management of Shanghai Power Distribution Network After Power System Reform. *Energy Procedia*, vol. 152, pp. 1182-1187.
159. QUEZADA NIZAMA, M. C. y TORRES AGUILAR, R. V. 2019. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para incrementar la efectividad en el área de mantenimiento de la empresa Aguilar Transportes & Servicios Múltiples, San Juan de Lurigancho. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Cesar Vallejo. Facultad de Ingeniería.
160. QUINDE RANGEL, R. L. 2011. Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para una empresa constructora que se dedica a la elaboración de vías lastradas en la provincia del Guayas. Tesis en opción al grado de Ingeniero Mecánico Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
161. QUISPE SORIA, L. F. M. y PARICAHUA CRUZ, R. M. 2016. Reingeniería del plan de gestión de riesgos actual del proyecto: edificio multifamiliar Montesol evaluando las partidas de casco estructural y aplicando la teoría de restricciones en la identificación de riesgos. Tesis en opción al grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, Perú.
162. QUITIAN DUQUE, J. D. 2020. Formulación de la Gestión de Riesgos Basada en PMBOK®, Para el Proceso de Manejo de Riesgos Ocupacionales en el Área de HSE Para la Empresa "3Net Telecomunicaciones SAS". Tesis en opción al grado de Especialista en Gestión de Proyectos., Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de ciencias administrativas, contables, económicas y de negocios. Especialización en gestión de proyectos.
163. RAMÍREZ GAITAN, O. 2018. Optimización del Centro de Distribución de la Comercializadora Marden Ltda mediante la aplicación de la Teoría de las Restricciones. Especialización en Gestión de Proyectos, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios-ECACEN.
164. REMENYTE PRESCOTT, R. y ANDREWS, J. Review of infrastructure asset management methods for networked systems. 19th AR2TS, Advances in Risk and Reliability Technology Symposium, United Kingdom, 2016.
165. REN, H., CHEN, X. y CHEN, Y. 2017. Reliability based aircraft maintenance optimization and applications, London, United Kingdom. Academic Press.

- 166.REN, Z., VERMA, A. S., LI, Y., TEUWEN, J. J. y JIANG, Z. 2021. Offshore wind turbine operations and maintenance: A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144, pp. 2-22. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110347>.
- 167.REYES ALVAREZ, Y. A. 2019. Procedimiento para determinar el costo de mantenimiento imprevisto en la línea de sacos, UEB SAREX dela Empresa “Luis A. Turcios Lima”. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu”de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
- 168.REYES MENDOZA, J. B. 2006. Teoria de restrcciones aplicada a mantenimiento. Monografía de Grado para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
- 169.RIBEIRO, S., SCHMITZ, E., ALENCAR, A. y SILVA, M. 2018. Literature Review on the Theory of Constraints Applied in the Software Development Process. *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, No 11, 2747-2756.
- 170.RIZO RODRÍGUEZ, X. K., OBANDO SILVA, J. J. y MÁRQUEZ OROZCO, L. F. 2019. Evaluación de seguridad radiológica por medio de una matriz de riesgo en un laboratorio prestador de servicios en el período del 10 de enero al 21 de marzo de 2019. Seminario de graduación para optar al título de Lic. de Física con mención en Física médica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Recinto Universitario Rúben Darío. Facultad de Ciencias e Ingenierías.
- 171.RODRÍGUEZ DÍAZ, Y. 2014. Definición de la política de mantenimiento para el equipamiento productivo de la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande a partir de la metodología de Análisis de riesgo. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Industrial. Mención Mantenimiento, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Departamento de Ingeniería Industrial
- 172.RODRÍGUEZ, J. V., GINIEBRA, J. J. C. y VALDÉS, A. C. 2021. Métodos de estudio más utilizados para la evaluación de riesgos de accidentes mayores en la industria química. Una revisión. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, vol. 52, No. 2, 138-165.
- 173.RODRÍGUEZ MACHADO, A. 2012. Manual de gestión de mantenimiento. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Departamento de Ingeniería Industrial.
- 174.RODRÍGUEZ PÉREZ, C. 2017. Mantenimiento Basado en Riesgos para el motor de tecnología MAN B&W Diesel de la Central Eléctrica Sancti Spíritus. Tesis en opción al grado

de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.

- 175.ROMERA, L. y TORRES GALLEG0, Á. 2008. Gestión de Riesgos Tecnológicos. Revista de Procesos y Métricas de las tecnologías de la información vol. 5, No. 1, pp. 14-22.
- 176.ROMERO TRICERRI, F. X. 2018. Implementación de la teoría de restricciones (TOC) para reducir pérdidas de inventarios de la farmacia del Hospital IESS Ambato. Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión de Operaciones, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial.
- 177.RUBIO ARECHAVALETA, G. J. 2018. Contribución al logro del estándar de mantenimiento clase mundial en el hotel Villa San José del Lago a partir de la Gestión de riesgo. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
- 178.RUIZ CUAN, L. D. 2019. Bases para la implementación de un sistema de mantenimiento basado en riesgo en sistemas ingenieros de hoteles de Cayería Norte de Villa Clara. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
- 179.SAMÁ MUÑOZ, D. y DÍAZ ACOSTA, Y. 2020. La teoría de las restricciones en Unidad Empresarial de Base “El Caito”. Ciencias Holguín, Vol. 26, No. 2, pp. 57-71.
- 180.SAMIMI, A.-S., MARZIEH 2021. Investigating the Strategic Concept of Risk Management in the Stock Market and Investing. Journal of Engineering in Industrial Research, vol. 2, No. 1, pp. 1-6.
- 181.SANDOVAL ALAYO, E. R. 2019. Plan de mejora en el área de mantenimiento de flota y su efecto en productividad en la empresa Concremax SA–Perú. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Señor de Sipán. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial.
- 182.SANDOVAL CÉSPEDES, J. A. 2017. Programación de mantenimiento en las válvulas de control CV-602 de CO2 líquidos Criogénicos. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Escuela de Ingeniería.
- 183.SANGRONI LAGUARDIA, N., PÉREZ CASTAÑEIRA, J. A., ALBA CRUZ, R., JIMÉNEZ VALERO, B. y VELASTEGUI LÓPEZ, L. E. 2021. Análisis de la Gestión del Mantenimiento orientado a infraestructuras para el desplazamiento de discapacitados en el Complejo Hotelero los Cactus Tuxpan, Varadero. Conciencia Digital, vol. 4, No. 2, pp. 131-153. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1.1716>.

- 184.SARBINI, N. N., IBRAHIM, I. S., ABIDIN, N. I., YAHAYA, F. M. y AZIZAN, N. Z. N. 2021. Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102985>.
- 185.SELVA RUÍZ, D. y DOMÍNGUEZ LIÑÁN, R. 2018. Las técnicas de generación de ideas: revisión y análisis de su uso en las agencias publicitarias españolas. *Área Abierta*, vol. 18, No 13., pp. 371-387.
- 186.SEXTO, L. 2017. Tipos de mantenimiento:¿ cuántos y cuáles son? *Revista Mantenimiento en Latinoamérica*, vol. 4, pp. 14-17.
- 187.SEYEDSHOHADAIE, S. R., DAMNJANOVIC, I. y BUTENKO, S. 2010. Risk-based maintenance and rehabilitation decisions for transportation infrastructure networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 44 No. 4, pp. 236-248.
- 188.SIFONTE, J. R. y REYES-PICKNELL, J. V. 2017. *Reliability Centered Maintenance-Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R*, Boca Raton, Florida CRC Press.
- 189.SINGH, P., SINGH, S., VARDHAN, S. y PATNAIK, A. 2020. Sustainability of maintenance management practices in hydropower plant: A conceptual framework. *Materials Today: Proceedings*, vol. 30, pp. 2-6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.842>.
- 190.SOLER GONZÁLEZ, R., VARELA LORENZO, P., OÑATE ANDINO, A. y NARANJO SILVA, E. 2018. La gestión de riesgo: el ausente recurrente de la administración de empresas. *Revista Ciencia UNEMI*, vol. 11, No. 26, pp. 51-62.
- 191.STAMATIS, D. H. 2019. *Risk Management Using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, Milwaukee, Wisconsin, Quality Press.
- 192.STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA 2004. *Risk Management*. Australian/New Zealand Standard. Sydney, Australia and Wellington, New Zealand: Standards Association of Australia International Ltd and Standards New Zealand.
- 193.STEIN, R. E. 2010. *Re-engineering the manufacturing system: applying the theory of constraints*, Boca Raton, Estados Unidos: CRC Press.
- 194.THÜRER, M. y STEVENSON, M. 2017. On the beat of the drum_improving the flow shop performance of the Drum-Buffer-Rope scheduling mechanism. *International Journal of Production Research*, <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1401245>.
- 195.TORO DÍAZ, J. y PALOMO ZURDO, R. 2014. Análisis del riesgo financiero en las PYMES- estudio de caso aplicado a la ciudad de Manizales. *Revista Lasallista de investigación*, vol. 11, No. 2, pp. 78-88.

196. TORRE ENCISO, M. I. M. y SAN JOSÉ MARTÍ, M. I. C. 2011. El proceso de gestión de riesgos como componente integral de la gestión empresarial. Boletín de estudios económicos, vol. 66, No. 202, pp. 73-93.
197. TOVAR ZAPATA, A. B. 2017. Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) para mejorar la competitividad en la Empresa Envolturas Flexibles Huachipa SAC, Lima 2016. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad César Vallejo, Perú. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
198. TRANCHARD, S. 2018. Risk management: The new ISO 31000 keeps risk management simple. Governance Directions, vol. 70, No. 4, pp. 180-182.
199. TREJO, M. L. H., MARQUEZ, G. J. L., SOTELO, J. F. A. y ASCÓN, J. E. G. 2019. Simulación del Modelo de gestión para el control de riesgos y existencias del proceso de inventario en el almacén central de la Municipalidad Provincial de Huaura–Huacho 2017. Revista Científica EPigmalión, vol. 1, No. 2, pp. 74-91.
200. TROYA JORGE, I. 2016. Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en el Hospital Provincial Docente Clínico Quirúrgico “Comandante Manuel Fajardo Rivero”. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo. Departamento de Ingeniería Industrial.
201. TUÑOQUE CHÁVEZ, E. J. 2021. Aplicación de la teoría de restricciones para mejorar la productividad en la empresa planta industrial Chemoto SAC. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Señor de Sipán, Perú. Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial.
202. URIBE GOMEZ, J. A. y QUINTERO RAMÍREZ, S. 2017. Aplicación de los modelos de simulación en entornos productivos bajo la metodología de Teoría de las restricciones. Revista CEA, vol. 3, No. 6, pp. 11-27.
203. URIBE IBAÑEZ, J. D. 2012. Propuesta metodológica para la aplicación de la norma iso 31000: 2009 en el sistema de gestión de calidad de la universidad libre en la sede bosque popular para el proceso de servicios generales en el subproceso de mantenimiento. Tesis en opción al grado de Especialista en Gerencia de Calidad de Productos y Servicios, Universidad Libre, Bogotá. Facultad de Ingeniería. Instituto de Posgrados.
204. USECHE, A. O., MONROY, C. R. y IZQUIERDO, H. 2013. Gestión de mantenimiento en pymes industriales. Revista venezolana de gerencia, vol.18, No. 61, pp. 86-104.
205. VALENCIA GUAPACHA, G. 2017. Impacto en los indicadores financieros de Generación de Valor al utilizar Teoría de las Restricciones (TOC): caso empírico empresa sector calzado en

Colombia. Tesis en opción al grado académico de Master en Administración Financiera, Universidad EAFIT. Santiago de Cali.

206. VALENCIA PUPIALES, J. F. y BEDOYA OSORIO, M. D. C. 2017. Aplicación de la teoría de restricciones (TOC) al módulo de camisa manga larga en la empresa Kosta Azul para la mejora en el rendimiento del modulo. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Católica de Pereira Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería Programa de Ingeniería Industrial.
207. VEGA FALCÓN, C. V. 2000. Título: Teoría de las Limitaciones y Contabilidad de Gestión. monografías - umcc.cu.
208. VELÁSQUEZ RESTREPO, P. A., VELÁSQUEZ RESTREPO, S. M., VELÁSQUEZ LOPERA, M. y VILLA GALEANO, J. 2017. Implementación de gestión de riesgos en procesos misionales de la Sección de Dermatología de la Universidad de Antioquia (Medellín, Colombia) siguiendo lineamientos ISO 9001: 2015 Revista gerencia y políticas de salud, vol. 16, No. 33, pp. 78-101.
209. VELÁZQUEZ LÓPEZ, V. A. 2017. Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en la UEB Empacadora Osvaldo Herrera de la Empresa Cárnica Villa Clara. Tesis en opción al grado de Ingeniero Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
210. VIDAL RIOFRÍO, F. S. 2020. Evaluación del nivel de riesgo, ante amenazas naturales de la Unidad Educativa Católica “Mariano Negrete”, ubicada en el Cantón Mejía–Rumiñahui del distrito 17D11, en el período febrero–agosto 2019. Tesis en opción al grado de Licenciado en Atención Prehospitalaria y en Emergencias, Universidad Central del Ecuador, Quito. Facultad de Ciencias de la Discapacidad, Atención Prehospitalaria y Desastres. Carrera de Atención Prehospitalaria y en Emergencias.
211. VILLADA DUQUE, F. 1998. El mantenimiento como estrategia competitiva.
212. VITERI MOYA, J. R. 2020. Ingeniería económica: guía del estudiante. . Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química.
213. WATSON, K. y PATTI, A. 2008. A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. Revista Internacional de Investigación de Producción, Vol. 46, No. 7, pp. 1869–1885.
214. WHITE, J. A., GRASMAN, K. S., CASE, K. E., NEEDY, K. L. y PRATT, D. B. 2020. Fundamentals of engineering economic analysis, Nueva Jersey, Estados Unidos, John Wiley & Sons.

215. ZHANG, Z., TANG, Q. y CHICA, M. 2021. Maintenance costs and makespan minimization for assembly permutation flow shop scheduling by considering preventive and corrective maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 59, pp. 549-564.
216. ZHAO, X. y HOU, J. 2021. Applying the Theory of Constraints Principles to Tourism Supply Chain Management. *Journal of Hospitality and Tourism Research*. <http://dx.doi.org/10.1177/1096348021996791>.

ANEXOS

Anexo 1. Definiciones de mantenimiento

Fuentes	Definiciones
Villada Duque (1998)	Preservación de la vida útil de la maquinaria y por lo tanto constituye una parte integral de la actividad del negocio ya que garantiza la disponibilidad de los activos productivos.
Quinde Rangel (2011)	Conjunto de medidas o acciones necesarias para asegurar el normal funcionamiento de una planta, maquinaria o equipo, a fin de conservar el servicio de buena calidad para el cual han sido diseñadas, dentro de su vida útil estimada, al menor costo, dentro de las recomendaciones de garantía y respetando las normas de seguridad de medioambiente.
López Osorio (2017)	Conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un costo mínimo.
Mantilla Rivera y Morales González (2017)	Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizada durante el ciclo de vida de un elemento, destinada a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.
Alfonso Menéndez (2019)	Conjunto de actividades dirigidas a conservar los equipos e instalaciones al menor costo posible durante un periodo de tiempo determinado logrando así calidad, eficiencia y seguridad tanto de los trabajadores como del medio ambiente.
Quezada Nizama y Torres Aguilar (2019)	Aquellas actividades las cuales mantienen al equipo en óptimas condiciones para el trabajo que desempeñan, también implica que los equipos mejoren la producción de manera que estén siempre disponibles y con alto grado de confiabilidad en las instalaciones.
Jamanca Paredes (2020)	Permite realizar un seguimiento constante de las áreas de una planta o componentes de un producto, es como una serie de trabajos para la reparación y revisión, los cuales son necesarios para asegurar el funcionamiento y disponibilidad, asegurando el sistema en general. El mantenimiento es un conjunto de actividades planificadas o imprevistas que conlleva a preservar o restaurar un determinado equipo, maquina o instalaciones.

Gallosa (2020)	Cruzado	No es una actividad que genere únicamente impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, también es una pieza clave para alcanzar ciertos estándares de calidad, seguridad y protección medioambiental acordes con políticas de desarrollo sostenible señaladas por las diferentes normas ISO (9001, 14001, 45001, 27001, 22301 y 50001).
-------------------	---------	--

Anexo 2.Tipos de riesgos

Clasificación	Descripción
Estáticos	Están conectados con pérdidas causadas por la acción irregular de las fuerzas de la naturaleza o los errores y delitos del comportamiento humano y que resultan una pérdida para la sociedad.
Dinámicos	Están asociados con cambios de los requerimientos humanos y mejoramiento en la maquinaria y la organización.
Fundamentales	Son grupos de riesgos impersonales en su origen y en su efecto, al menos para el individuo imprevisible (Incluyen puros y especulativos).
Particulares	Son personales en su origen y en su efecto y más fáciles de controlar (Siempre son riesgos puros).
Financieros	El riesgo que es susceptible de valoración económica en términos monetarios.
No-Financieros	Aquellos riesgos que no pueden ser medidos estrictamente en términos monetarios. En todos los casos pueden existir implicaciones financieras, pero el resultado final y real sólo puede ser valorado mediante las implicaciones humanas que conllevan estas decisiones.
Puros	Implica una probabilidad de pérdida y en el mejor de los casos genera una situación donde no se gana, sino que se mantiene el estado inicial.
Especulativos	Son aquellos cuyo resultado puede producir una pérdida o una ganancia. Son situaciones tales, como: una inversión, una apuesta, comprar acciones en la bolsa de valores, entre otras, los que pueden o no traer aparejada una pérdida financiera.
Externos	Incluyen los económicos - financieros, medioambientales, políticos, sociales y tecnológicos.
Internos	Incluyen la estructura organizativa, composición de los recursos humanos, procesos productivos o de servicios y de tecnología, entre otros.
Geopolíticos	Se refieren a la amenaza del uso de la fuerza o su exceso para buscar cambios en la distribución de poder a nivel regional o del sistema internacional.
Ambiental	Posibilidad de que por una forma natural o por acción humana se produzca daño en el medio ambiente.

Tecnológico	Son los daños o pérdidas asociados a eventos del almacenamiento, producción, transformación o transporte de sustancias o residuos químicos peligrosos, radiactivos biológicos, líquidos inflamables, materiales combustibles, eléctricos, hidrocarburos, automatización de datos e información.
Sociales	Es el enfoque alternativo para evaluar y desarrollar instrumentos de protección social que prevengan la ocurrencia de situaciones negativas o que mitiguen sus efectos.
Técnicos	Son aquellos que involucran demoras por la no definición y bajo alcance de condiciones técnicas necesarias para el logro del objetivo del proyecto.
Tiempo (Programación)	Se miden en la programación de obra que va de la mano con la ejecución presupuestal del proyecto. Pueden materializarse debido a factores externos como la lluvia, sequía, altas o bajas temperaturas, que pueden ocasionar derrumbes, inundaciones, incendios, enfermedades del personal, etc.
Legales y Contractuales	Se pueden presentar desde el momento mismo de la oferta, firma del contrato, recibo y liquidación, se pueden materializar en todo el transcurso de la obra y es de los riesgos más frecuentes.
Operativos	Se refiere al riesgo asociado con las operaciones de una organización, siendo considerado como parte importante en el gobierno corporativo de la misma.
Físicos	Describe las distintas formas de energía que tienen la capacidad de causar daños en la salud y seguridad de los trabajadores (vibraciones, el ambiente térmico, las radiaciones ionizantes y las radiaciones no ionizantes).
Mecánicos	Conjunto de factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar o materiales proyectados, sólidos o fluidos.
Eléctricos	Está ocasionado por la interacción entre el trabajador y la energía eléctrica, su gravedad puede estar dada por la tensión, resistencia e intensidad de la corriente eléctrica o la exposición a la misma.
Químicos	Son agentes ambientales presentes en el aire, que ingresan al organismo por vía respiratoria, cutánea o digestiva. Los riesgos químicos se presentan

	en el ambiente en forma de polvos, vapores, líquidos, gases, humos, nieblas, disolventes, rocío, etc.
Ergonómicos	Son la probabilidad de desarrollar un trastorno musculoesquelético debido a el tipo e intensidad de la actividad física que se realiza en el trabajo.
Psicosociales	Son aquellas condiciones presentes en una situación laboral directamente relacionada con la organización del trabajo y su entorno social, con el contenido de trabajo y la realización de la tarea, que se presentan con capacidad para afectar el desarrollo del trabajo y la salud del trabajador.
Biológicos	Es la posibilidad de que un trabajador sufra un daño como consecuencia de la exposición o contacto con agentes biológicos durante la realización de su actividad laboral.
Humanos	Son actos inusuales en las personas que, por falta de seguridad, conocimiento o sentirse inseguros pueden desencadenar un accidente en su lugar de trabajo.

Fuente: León Ruiz (2017), Rubio Arechavaleta (2018), Peña Almaguer (2019), Vidal Riofrío (2020), Montenegro Enriquez (2020), Cárdenas Rico et al. (2020), Gómez Sabando (2021).

Anexo 3. Procedimientos para la Gestión de riesgo

Fuentes	Procedimientos
Bolaño Rodríguez et al. (2014)	Concientización y estudio de los riesgos
	Análisis y decisiones en torno a la integración de riesgos
	Diseño del plan de tratamiento de riesgos
	Implementación y control del plan de tratamiento de riesgos
Toro Díaz y Palomo Zurdo (2014)	Identificación y selección de riesgos
	Evaluación y medición de riesgos
	Establecimiento de límites de aceptación
	Selección e implementación de métodos de administración de riesgos
	Monitoreo y control
Galarza López y Almuiñas Rivero (2015)	Análisis del contexto y determinación de las amenazas
	Identificación de riesgos y vulnerabilidades
	Análisis y evaluación de riesgos
	Tratamiento de los riesgos
	Monitoreo y evaluación
ICHQ9 (2015)	Definir problema o riesgo y recopilar antecedentes
	Valoración del riesgo (identificación, análisis, evaluación)
	Control del riesgo (reducción o aceptación)
	Comunicación del riesgo
	Revisión del riesgo
Velásquez Restrepo et al. (2017)	Establecer el contexto
	Identificación del riesgo
	Evaluación de los riesgos
	Tratamiento de los riesgos
PMI (2017)	Planificar la gestión de los riesgos
	Identificar los riesgos
	Realizar el análisis cualitativo de los riesgos.
	Realizar el análisis cuantitativo de los riesgos.
	Planificar la respuesta a los riesgos
	Implementar las respuestas a los riesgos.
	Monitorear los riesgos.
Office (2017)	Identificar.

	Evaluar
	Planificación de las respuestas a los riesgos.
	Implementar las respuestas.
	Comunicar.
ISO:31000 (2018)	Comunicación y consulta.
	Alcance, contexto y criterios.
	Evaluación del riesgo.
	Tratamiento del riesgo.
	Seguimiento y revisión.
	Registro e informe.
CoEPM ² (2018)	Identificar los riesgos.
	Evaluación de riesgos.
	Desarrollo de respuesta a los riesgos.
	Control de Riesgos.
Vidal Riofrío (2020)	Prevención y reducción del riesgo
	Preparación, respuesta y rehabilitación
	Reconstrucción
Montenegro Enriquez (2020)	Planear: alcance, contexto, criterios, comunicación y consulta.
	Hacer: identificación, análisis y valoración del riesgo.
	Verificar: tratamiento, revisión y seguimiento del riesgo.
	Actuar: registro e informe
Cárdenas Rico et al. (2020)	Planificar los riesgos
	Identificar los riesgos
	Valoración de los riesgos
	Planificar la respuesta de los riesgos
	Controlar los riesgos
Meisel Lanner (2020)	Definir el contexto
	Identificar del riesgo
	Analizar el riesgo
	Manejar el riesgo
Pulido Rojano et al. (2020)	Identificación y descripción
	Implementación y clasificación
	Análisis

	Mitigación
	Monitoreo y revisión

Anexo 4. Herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación de riesgos					Subcláusula
	Identificación de riesgo	Análisis de riesgo			Riesgo evaluación	
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo		
ALARP, ALARA y SFAIRP	NA	NA	NA	NA	FA	B.8.2
Análisis bayesiano	NA	NA	FA	NA	NA	B.5.2
Redes bayesianas	NA	NA	FA	NA	FA	B.5.3
Análisis pajarita (bow tie)	A	FA	A	A	A	B.4.2
Lluvia de ideas	FA	A	NA	NA	NA	B.1.2
Análisis de Impacto del Negocio	A	FA	NA	NA	NA	B.5.4
Mapeo causal	A	A	NA	NA	NA	B.6.1
Análisis de causa-consecuencia	A	FA	FA	A	A	B.5.5
Listas de verificación, clasificaciones y taxonomías	FA	NA	NA	NA	NA	B.2.2
Enfoque Cindynic	FA	NA	NA	NA	NA	B.3.2
Matriz de consecuencias / probabilidades	NA	A	A	FA	A	B.10.3
Análisis coste-beneficio	NA	FA	NA	NA	FA	B.9.2
Análisis de impacto cruzado	NA	NA	FA	NA	NA	B.6.2
Análisis del árbol de decisiones	NA	FA	FA	A	A	B.9.3
Técnica Delphi	FA	NA	NA	NA	NA	B.1.3
Análisis de árbol de eventos	NA	FA	A	A	A	B.5.6
Análisis de modos y efectos de falla (AMFE)	FA	FA	NA	NA	NA	B.2.3
Modos y efectos de falla y análisis de criticidad (AMFEC)	FA	FA	FA	FA	FA	B.2.3
Análisis del árbol de fallos	A	NA	FA	A	A	B.5.7
Diagramas FN	A	FA	FA	A	FA	B.8.3
Teoría de juego	A	FA	NA	NA	FA	B.9.4
Estudios de peligrosidad y operatividad (HAZOP)	FA	A	NA	NA	NA	B.2.4
Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP)	FA	FA	NA	NA	FA	B.4.3
Análisis de la fiabilidad humana	FA	FA	FA	FA	A	B.5.8
Ishikawa (espina de pescado)	FA	A	NA	NA	NA	B.3.3
Análisis de protección de capa (LOPA)	A	FA	A	A	NA	B.4.4
Análisis de Markov	A	A	FA	NA	NA	B.5.9
Simulación del Monte Carlo	NA	A	A	A	FA	B.5.10
Análisis multicriterio (MCA)	A	NA	NA	NA	FA	B.9.5
Técnica de grupo nominal	FA	A	A	NA	NA	B.1.4
Gráficos de Pareto	NA	A	A	A	FA	B.8.4

