

MODELO DE ADMINISTRACION DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA
GESTION DE EQUIPOS CRITICOS ORIENTADO A LA EFECTIVIDAD RIESGO-
COSTO

José de Jesús Ricardo Otero

Ricardo Enrique Mejía Barrios

Julio 2017

Tutor

Alfredo Borrero Páez

Universidad del Norte

División de Ingenierías

Maestría en Ingeniería Administrativa

TABLA DE CONTENIDO	Página
i. Resumen	5
ii. Planteamiento del Problema	7
iii. Objetivo General	9
iv. Objetivos Específicos	9
v. Metodología	9
vi. Marco Conceptual	11
1. Marco Teórico	15
1.1 Los Riesgos como Elemento Inherente a los Negocios.	15
1.2 La Organización de Mantenimiento.	19
1.2.1 La Pirámide de Gestión de Mantenimiento.	19
1.2.2 Los Subprocesos Fundamentales de Mantenimiento.	22
1.3 Los sistemas de Gestión de Mantenimiento	25
1.4 Equipos Críticos.	27
2. Conjunción de la Planeación Estratégica, la Gestión de Mantenimiento y la Priorización.	34
3. Conclusiones.	42
Anexo 1.	44
4. Lista de Referencias	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva histórica de precios del níquel, London Metal Exchange.

Figura 2. Las fuentes de erogaciones del mantenimiento.

Figura 3. Riesgo vs Rendimiento.

Figura 4. La Pirámide del Mantenimiento de Clase Mundial.

Figura 5. Ciclo PHVA de Deming o Shewhart.

Figura 6. Subprocesos Fundamentales del mantenimiento.

Figura 7. La Estrategia y su despliegue.

Figura 8. Estructura Jerárquica.

Figura 9. Conjunción Planeación Estratégica y Gestiones de Mantenimiento y equipos Críticos.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Impacto del mantenimiento en el EBIT.

Tabla 2. Ejemplo de categorías del riesgo y niveles de consecuencia.

Tabla 3. Ejemplos de probabilidad de la consecuencia y condición de equipos o sistemas.

Tabla 4. Ejemplo de evaluación de equipos críticos.

Tabla 5. Fase 1, despliegue de actividades.

Tabla 6. Fase 2, despliegue de actividades.

Tabla 7. Fases 3 y 4, despliegue de actividades.

LISTA DE ANEXOS

Anexo1. Integridad del Activo (Asset Integrity)

i. RESUMEN

El presente documento propone la importancia de la priorización del mantenimiento, tomando como eje la criticidad de los equipos. La metodología propuesta surge de la necesidad de lograr resultados en producción, minimizando el costo y manteniendo el control de los riesgos asociados a los equipos.

En Colombia, la minería ha sido practicada ancestralmente desde tiempos indígenas, pero a pesar de que tenemos tradición minera, actualmente los que quieren hacer minería legal padecen por la deficiencia administrativa gubernamental. Según la ANDI, en su primera edición del libro Minería moderna para el progreso de Colombia, en Colombia no se han sentado las bases para el ordenamiento del sector ni para un régimen regulatorio moderno, técnico y abierto a la inversión. Se expresa además que la legislación ambiental no es clara, precisa y oportuna, y que la reforma al Sistema General de Regalías no está debidamente acompañada de los organismos de control, que garanticen que los recursos de la minería financien las obras que las comunidades tanto necesitan. También allí está consignado que los factores de riesgo inherentes a la actividad minera son altos, por el bajo porcentaje de éxito de los procesos exploratorios, por los efectos de los ciclos impredecibles de los precios, por los largos periodos de maduración y largos periodos de construcción antes de iniciar operaciones, por las altas inversiones con periodos de retornos en un plazo largo, pudiéndose afectar la ecuación económica con cualquier cambio en las reglas de juego establecidas. Los trámites de licencias tardan entre 35 y 78 meses, teniendo que hacerse alrededor de treinta procesos, soportados en catorce diferentes normas, ante siete entidades, puntualiza el mismo documento. Todo este entorno regulatorio y falta de control, en especial el control de las regalías, desestimulan la inversión minera en Colombia y a la vez les da mala imagen a los proyectos existentes, porque las comunidades vecinas de los proyectos no ven inversión, a pesar de que

el estado recibe las regalías. Además del marco regulatorio y la deficiencia administrativa del estado, a los proyectos mineros los ha afectado los precios internacionales, producto de la desaceleración de la economía china (FMI, 2016, Informe sobre la estabilidad financiera mundial de abril de 2016).

En Colombia, para el caso específico de la minería de Níquel, con los niveles de precios actuales más bajos de los últimos diez años (London Metal Exchange, www.lme.com) como se muestra en la figura 1, y el panorama minero del país, proponer a partir de la gestión del mantenimiento métodos que contribuyan a su ecuación rentable, son medidas que contribuyen a alivianar la situación de crisis actual.

Conceptos básicos de administración, como el de los pocos críticos o ley de Pareto (Joseph Juran, Manual de control de la calidad, 1983), los ejercicios de planeación estratégica y la necesidad de mantenerse en el mercado motivan al establecimiento de un modelo de administración de mantenimiento que permita combinar la gestión de mantenimiento y la gestión de riesgos, aplicando el criterio de priorización del trabajo a partir de la gestión de la criticidad de los equipos. El modelo propone un enfoque en prioridades en el cual los recursos se aplican de igual manera, pretendiéndose una efectividad integral en la gestión del mantenimiento. El proyecto tiene como punto de partida la gestión existente del mantenimiento y un ejercicio de priorización de los equipos según la calificación del riesgo. El modelo podría ser aplicado a cualquier gestión de mantenimiento existente y su utilidad se potencializa en los entornos de crisis como una medida que permita hacer frente a las difíciles condiciones de mercado y los costos a los cuales se ven enfrentados los negocios.

ii. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

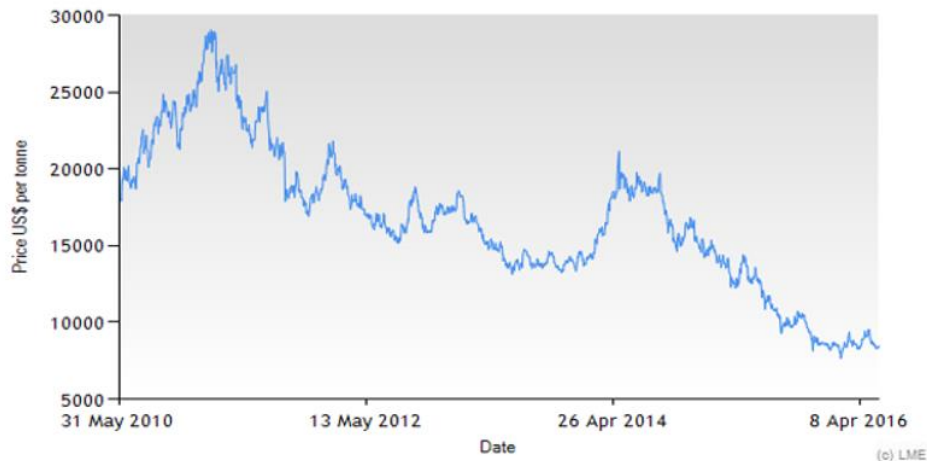
Los complejos mineros que implican extracción y planta de procesamiento son generalmente proyectos que involucran mucha inversión de capital con retornos en el largo plazo (Minería moderna para el progreso de Colombia, ANDI, 2014). Son apuestas basadas en una estimación de reservas, un nivel de precios y un marco geográfico, temporal, político y legislativo para su desarrollo. Cualquier desbalance o alteración en alguno de estos elementos puede desequilibrar los flujos de caja afectando considerablemente los niveles de ingresos y la sostenibilidad. Cuando el proceso implica una planta de procesamiento, la minería además de tener que cumplir altos estándares regulatorios, requiere altas inversiones en maquinaria y equipo. Las plantas de procesamiento pirometalúrgicas, como las de producción de ferroníquel, adicionalmente a lo mencionado, son energéticamente intensivas, y la relación energía por unidad producida crece en la medida que el yacimiento se empobrece. Producir ferroníquel a partir de óxidos metálicos necesita de altas temperaturas para reducirlos y llevarlos al punto de fusión ($> 1400^{\circ}\text{C}$), y para ello se requiere de altas densidades de energía en los hornos secadores, calcinadores y de fundición. La energía en este tipo de procesos (electricidad y gas o carbón) generalmente oscila alrededor del 50% de los costos de producción (Mukesh Ranhan Behera, Nickel Ore Processing, 2016).

Lo expresado en el párrafo anterior ha obligado a que la producción de ferroníquel en Colombia se haya visto obligada a tomar decisiones en cuanto a: renegociación de contratos de servicios, búsqueda de proveedores alternos, reformulación de procesos e incluso reducción de nómina. La ausencia de flujo de caja positivo ha atentado en contra de su sostenibilidad, y en un negocio de un solo producto, el cual es un commodity, donde las opciones de diversificación

y diferenciación son nulas, las alternativas se centran en la búsqueda de la efectividad de los procesos internos.

El proceso de mantenimiento en la ecuación financiera de los negocios se consigna en los costos de producción y en momentos de crisis suele mirársele como un gasto. Una forma ligera para reducir los costos que a menudo toman las empresas, es reducir el mantenimiento como resultado de una decisión netamente administrativa, sin un previo análisis. Esto puede tener un resultado favorable en los costos en el corto plazo, pero en el mediano y largo plazo, los recortes de pupitre en el mantenimiento se devuelven como el boomerang, repercutiendo en el desempeño de los equipos y en su estado de deterioro, con el consecuente incremento en los riesgos de HSE y los de no cumplir metas de producción. Hacer mantenimiento tiene un costo, y no hacerlo tiene un riesgo. Este juego de palabras, mantenimiento, costos, desempeño y riesgos están relacionados y hacen parte de la ecuación rentable del negocio. La relación entre ellas no es sencilla, por ejemplo, reducir el costo de mantenimiento podría incrementar los riesgos asociados a los equipos y aumentarlo no necesariamente disminuye los riesgos. De igual manera ocurre con el desempeño vs costos. ¿Pero entonces, desde el mantenimiento, qué hacer para reducir costos sin sacrificar desempeño e incrementar los riesgos? La respuesta es el objeto del presente proyecto: la priorización basada en los equipos críticos.

Historical price graph for Nickel



*Figura 1. Precios históricos del níquel.
Fuente: London Metal Exchange.*

iii. OBJETIVO GENERAL

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un modelo de administración basado en la gestión de equipos críticos con el fin de reducir los costos de mantenimiento, sin afectar negativamente el desempeño de los equipos y los riesgos asociados a ellos.

iv. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Fundamentar la metodología de la gestión de equipos críticos en las teorías de administración y las necesidades del negocio.
- Definir un método para determinar la criticidad de los equipos.
- Establecer los subprocesos y tareas fundamentales del mantenimiento y sus interacciones con el filtro basado en equipos críticos.
- Proponer un proceso de toma de decisiones bajo el filtro de criticidad de equipos.

v. METODOLOGIA

Para el desarrollo de este trabajo, se han tenido en cuenta las siguientes fases:

a. Revisión de bibliografía:

- Modelos de gestión de mantenimiento.

- Metodologías para la evaluación de riesgos.

- Evaluación de ciclo de vida de los activos.

b. Análisis de diferentes sistemas de gestión de mantenimiento.

c. Desarrollo de un marco teórico específico para la gestión del mantenimiento basado en la probabilidad de ocurrencia de fallas en equipos o sistemas

d. Conclusiones.

vi. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, una serie de definiciones relacionadas con la gestión de mantenimiento.

- **Mantenimiento:** la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a restaurarlo a un estado en el que puede realizar la función para la que es requerido dentro de un contexto operacional (W.M.J Geraerds, 1985).
- **Equipo Crítico:** Aquel equipo del cual no se puede prescindir, es decir, es esencial para el proceso productivo al que pertenece, y en caso de falla ocasionará pérdidas en producción, o en HSEC, o incumplimiento de requisitos legales. (Herrera Jerez, Alexander. 2005)
- **Riesgo:** La probabilidad de que un peligro (causa inminente de pérdida) asociado a una actividad determinada, ocasione un incidente con consecuencias factibles de ser estimadas. Es inevitable en toda decisión. (Rodney Turner. 2014).
- **Costo:** Conjunto de erogaciones en que se incurre para producir un bien o servicio, como lo son la materia prima, insumos, mano de obra, energía, etc.
- **Yacimiento:** Lugar en el que se encuentran de forma natural minerales, rocas o fósiles, especialmente cuando pueden ser objeto de explotación. Ejemplo: yacimiento acuífero, yacimiento de carbón, etc. (Ariosa Iznaga. José. 1977)
- **Óxido:** combinación que resulta de la unión de un elemento metálico o no metálico con el oxígeno. Generalmente resultan de la exposición prolongada al aire. Muchos metales se encuentran en la naturaleza en forma de óxidos.
- **Pirometalurgia:** Rama de la metalurgia extractiva en la que se emplea el calor, como por ejemplo en la fundición. Es la técnica más antigua para extracción de metales. (Notas de la Asignatura Pirometalurgia, Instituto de Minerales Cimex, Escuelas de Mineral, Facultad de Minas, Sede Medellín, Universidad de Nacional, 2008).

- **Ferroníquel:** Aleación de hierro y níquel. La compatibilidad de estos metales (características químicas similares) permite que se mezclen de manera homogénea al aplicar calor. (Viloria de la Hoz, J. 2009).
- **HSEC:** Término proveniente de una sigla del idioma inglés “Health, Safety, Environment and Community”, cuyo significado en español es Salud, Seguridad, Medio Ambiente y Comunidad. (Inginas. 2016).
- **Priorización:** Colocar en orden de importancia de acuerdo con uno o varios criterios. (ISO 31000).
- **Proceso:** Conjunto de actividades mutuamente relacionadas, o que interactúan, que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto.
- **OPEX:** Abreviatura del inglés “Operational Expenditure”, cuyo significado en español es Gastos de Operación, aquellos necesarios para el funcionamiento y la producción, como combustibles, insumos, arriendos, etc. (Castillo López, V. 2011).
- **CAPEX:** Abreviatura del inglés “Capital Expenditure”, cuyo significado en español es Gastos de Capital, aquellos empleados en la adquisición o mejoramiento a largo plazo de los bienes de capital de una empresa, como terrenos, edificios, maquinaria, software de funcionamiento y producción, etc. (Castillo López, V. 2011).
- **HH:** Sigla que significa horas hombre.
- **ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO:** Estructuración del mantenimiento planificado. Se condensan aquí las actividades de mantenimiento requeridas junto con sus frecuencias o disparadores de ejecución. Las actividades y los ciclos de mantenimiento o los disparadores del mantenimiento generalmente son producto de análisis provenientes de investigaciones de eventos tipo RCA; análisis RCM, PMO, etc. (BHP Billiton. 2008).

- **RCA:** Análisis de Causa Raíz. RCA por sus siglas en inglés. Metodología ampliamente usada para determinar la causa primaria de eventos recurrentes o de alto impacto en el mantenimiento pudiendo generar modificaciones en las estrategias de mantenimiento. Generalmente basa su proceso en la estructuración de causas y consecuencias en un árbol de causalidad o espina de pescado. (BHP Billiton. 2008).
- **RCM:** Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. RCM por sus siglas en inglés. Metodología sistemática y detallada que considera las funciones de un equipo o sistema y su contexto operacional. Parte desde los desempeños esperados de las funciones de los equipos o sistemas, siguiendo por las posibles fallas funcionales, los modos de fallas, los efectos de las fallas, sus consecuencias, las políticas para el manejo de las fallas y la relación costo beneficio de las posibles acciones para determinar las tareas de mantenimiento preventivo con sus estrategias. (Moubray, J. 2001).
- **PMO:** Optimización del Mantenimiento Planeado. PMO por sus siglas en inglés. Metodología para la revisión de las tareas de mantenimiento preventivo junto con sus estrategias. Parte de la revisión de tareas y estrategias existentes, el historial de fallas y la información técnica disponible de los equipos o sistemas. (Moubray, J. 2001).
- **PHVA:** Sigla que significa Planear, Hacer, Verificar, Actuar y que se asocia al ciclo de trabajo del mejoramiento continuo y es una de sus mejores herramientas. Fue dada a conocer al público por Edwards Deming en los años 50. (Cerro Matoso S.A. 1994).
- **Overhaul o overhauling:** Nombre que se le da a las reparaciones mayores de plantas, en la que normalmente se hace la intervención de uno o más activos mayor, compuesto por un conjunto de sistemas o equipos, para llevarlo nuevamente a su condición de diseño. (BHP Billiton. 2006).
- **Taxonomía:** clasificación sistemática en grupos basados en factores comunes (ej. Ubicación, uso, equipo, subdivisión, etc.). (Norma ISO 14224).

- **Shutdown:** Se refiere las paradas programadas de una planta de proceso. (BHP Billiton. 2006).
- **TPM:** Mantenimiento Productivo Total. (Tomlison, Paul D. 1994).
- **MFL:** Siglas en inglés de Máxima Pérdida Posible.
- **Asset Integrity:** Integridad del Activo. Se hace referencia a esto en las evaluaciones de plantas de proceso. (South32. 2015)
- **Benchmarking:** Proceso en el que se compara el desempeño de planta de proceso similares. (BHP Billiton. 2006)

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Los riesgos como elemento inherente a los negocios.

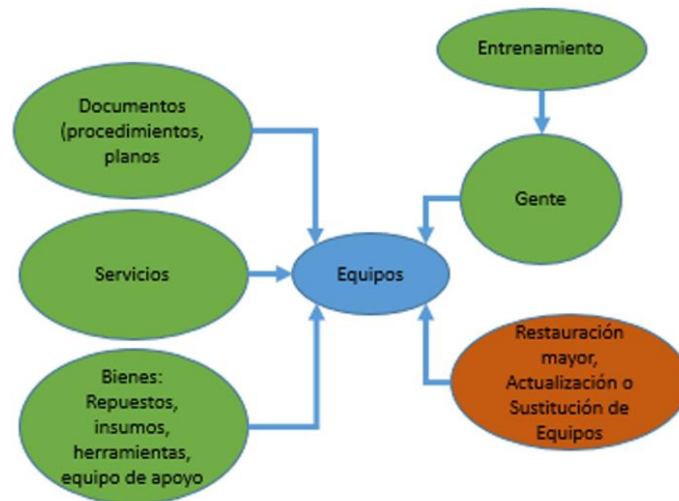
Las organizaciones privadas casi en su totalidad son concebidas para generar dinero, y dentro del portafolio de oportunidades de un inversionista, vienen a ser una alternativa más con un retorno frente a otras. Muchas organizaciones con la misma tecnología y procesos productivos aún con entornos más adversos que su competencia resultan ser más exitosas. Todas pueden acceder a las teorías de administración, las certificaciones ISO, etc., sin embargo, pueden tener desempeños diferentes. Los modelos de administración y gestión generalmente son especificados en términos muy generales, y aunque las teorías y certificaciones propongan esquemas basados en ciclos de mejoramiento continuo, mucho queda por fuera de los detalles que sólo se logran con un conocimiento minucioso de los negocios. El desconocimiento de los detalles operacionales puede implicar decisiones a nivel macro como por ejemplo llegar a determinar la compra de un activo que puede convertirse en una inversión inútil.

Las decisiones estratégicas sirven para dar direccionamiento y establecer rutas de crecimiento. En entornos adversos, llenos de amenazas y escasos de oportunidades, de lo único que se puede recoger cosecha es de las debilidades y las fortalezas, y para explotarlas hay que buscar al interior de los procesos. Esto requiere, además de un conocimiento detallado, escudriñar. Buscar con lupa al interior de los procesos no es nada nuevo, desde comienzos del siglo XX se establecieron métodos para afinar los procesos y corregirle sus desviaciones. Personajes como Joseph Juran, Edwards Deming, Kaoru Ishikawa, entre otros, aportaron a construir lo que hoy se conoce como Calidad, pilar de lo que se convirtió en la cultura Six-Sigma y Lean. Estas teorías con su portafolio de herramientas tienen demostrado su potencial, ayudaron en la calidad y capacidad de fabricación de EEUU durante la segunda guerra mundial

y ayudaron a Japón en su recuperación económica postguerra (Vélez Bedoya, Los clásicos de la gerencia, 2009).

¿Qué teoría usar, qué herramienta usar, cuándo y dónde?, el presente proyecto es una iniciativa a partir de la gestión de mantenimiento. Se basa en la eliminación de desperdicios aplicando el concepto de los pocos críticos o de Pareto (Joseph Juran, Manual de control de la calidad, 1983). Usando el filtro de la criticidad en la toma de decisiones, se busca hacer lo pertinente para obtener resultados deseados reduciendo el uso de recursos.

“El Riesgo es una parte inevitable de toda decisión”. El hecho de que exista una empresa cualquiera como Cerro Matoso, Cerrejón, u otra; fue resultado de una toma de decisiones, y desde sus orígenes han estado ligadas al riesgo. La decisión de montar una empresa resulta de decidir que a pesar de que existe un riesgo, vale la pena la inversión. Para el caso específico de la minería se hacen estudios previos acerca del yacimiento, la tecnología extractiva, la licencia para operar, el entorno, la capacidad financiera, la legislación de impuestos y regalías del país, los riesgos y el retorno esperado entre otros (Minería moderna para el progreso de Colombia, ANDI, 2014). La tecnología define la maquinaria e infraestructura del proceso productivo y junto con el contexto operacional, definen el mantenimiento. Mantenimiento es la combinación de acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un equipo o sistema, destinada a conservarlo o restaurarlo a un estado en el que pueda desempeñar una función requerida (Geraerds, W.M.J, 1985). Es un subproceso dentro de la gestión de activos de una organización y generalmente se entiende va dirigido a activos físicos. El mantenimiento existe para garantizar el desempeño (la función) de los equipos y para tener en control riesgos de HSEC asociados a ellos.



*Figura 2. Las fuentes de erogaciones del mantenimiento.
Fuente: Propia.*

La figura anterior muestra de manera simplificada los flujos hacia los equipos que no son más que erogaciones. Los equipos para funcionar necesitan gastos de operación (OPEX) que están representados por los flujos proveniente de los óvalos color verde, los cuales son: el entrenamiento que requieren los mantenedores y que está asociado al tipo de tecnología; el recurso humano que se asigna a las órdenes de trabajo, la elaboración de manuales, procedimientos de trabajo y planos; la compra de servicios requeridos para el mantenimiento como el monitoreo de equipos, limpiezas especiales, mantenimientos que requieren especialistas; compra de bienes como repuestos, herramientas, lubricantes, limpiadores y otros insumos; etc. Los gastos de capital (CAPEX) correspondientes al óvalo de color naranja, son los gastos para sostenimiento de la infraestructura productiva que en mantenimiento están asociados generalmente a restauraciones mayores, actualizaciones o reemplazo de equipos de la línea de producción. Estas erogaciones pueden ser efectivas o no al momento de aportar al propósito del mantenimiento si no se efectúan adecuadamente. Cada flecha azul del diagrama además de ser una erogación requiere toma de decisiones. En el presente proyecto se propone

mediante el filtro de los equipos críticos, apoyar estas decisiones cada vez que se genere un flujo.

Los negocios en esencia se crean con el fin de generar valor a los inversionistas (Oscar León García, Administración Financiera, cuarta edición). Para ello hay que hacer inversiones y convivir con los riesgos. Ellos siempre estarán presentes en cualquier actividad, pueden generar consecuencias desde insignificantes hasta catastróficas y por consiguiente, la administración de negocios debe considerar en los aspectos administrativos, financieros, sociales, económicos y técnicos al riesgo. Los negocios con mayores rendimientos llevan asociados mayores riesgos (ver figura a continuación), y la administración mirando los negocios de forma global, debe de alguna manera enfocar las inversiones y los esfuerzos, para que, con un manejo adecuado del riesgo, las eficiencias sean mejores y por consiguiente obtener mejores retornos. Ese enfoque sugiere que el dinero y el esfuerzo no pueden ser administrados de manera arbitraria, sino que, deben ser administrados siguiendo un direccionamiento y una priorización para que generen rendimientos.

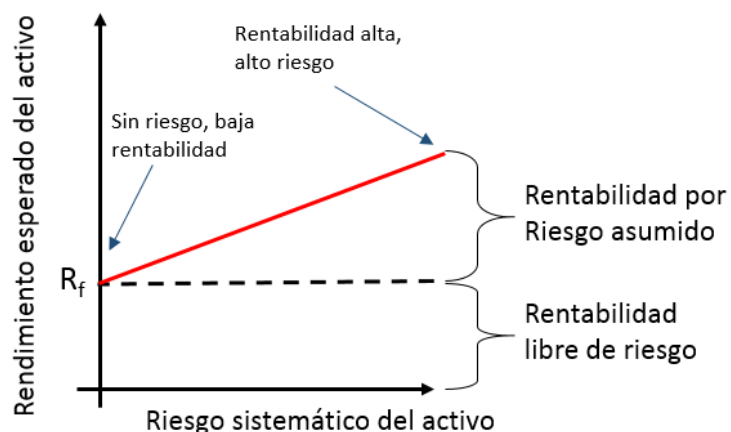


Figura 3. Riesgo vs Rendimiento.

Elaboración propia adaptada del libro Fundamentos de Finanzas Corporativas –novena edición.

1.2 La Organización del Mantenimiento

1.2.1 La Pirámide de gestión del Mantenimiento

Es importante entender que en la vida de las empresas sus procesos administrativos, productivos y de soporte, si así podemos describirlos, pasan por diferentes cambios que dependen mucho de la evolución y comportamiento del sector y de la etapa productiva en que estas se encuentran. Cuando hablamos de empresas del sector minero, esta influencia es mucho más marcada, ya que explotan recursos no renovables, que impactan directamente los resultados del negocio, dependiendo en que parte de la curva de producción se encuentran. Esto nos lleva a tener claro que la gestión de mantenimiento, para empresas del sector minero, no es algo estático que permanece inamovible en el tiempo, si no que por el contrario es un proceso dinámico que debe adaptarse a las circunstancias y requerimientos de la organización y puede ir desde lo básico y estrictamente necesario del mantenimiento hasta la cúspide del mantenimiento de clase mundial. En momentos de cambio, cuando la disminución en los ingresos afecta las asignaciones presupuestales para la ejecución del mantenimiento, es importante asegurar que sus subprocesos se definan y se consoliden desde lo básico. BHP Billiton hace una década, estableció para sus operaciones, las cuatro fases para alcanzar el mantenimiento de clase mundial y las organizó de manera piramidal (BHP Billiton, El camino hacia un mantenimiento de clase mundial, 2005).

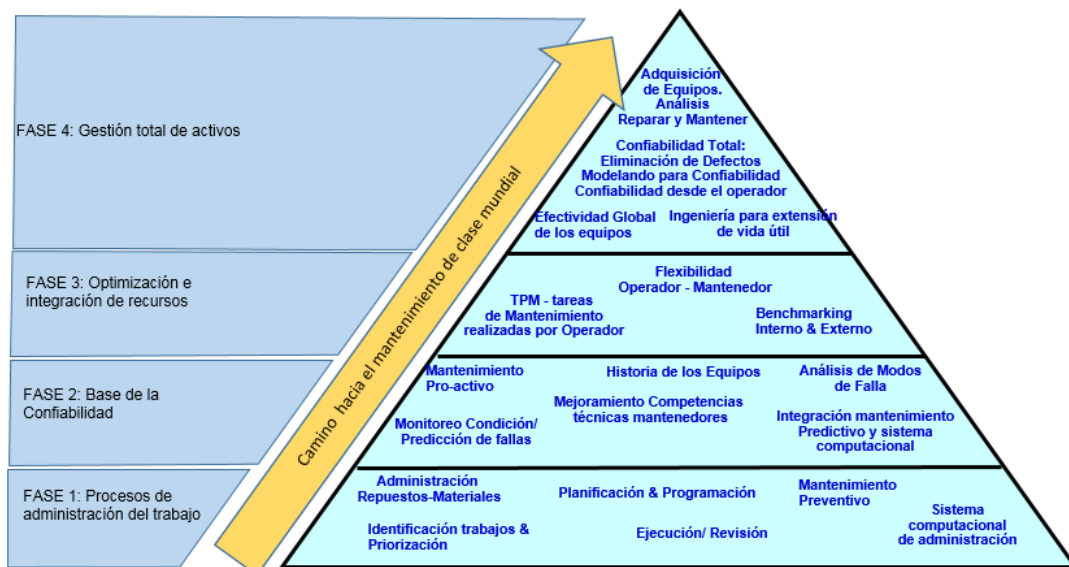
La base de la pirámide fue denominada el nivel de los procesos de administración del trabajo (ver siguiente figura). Es la fase del mantenimiento programado por frecuencias o intervalos predefinidos. Es la fase más básica del mantenimiento. En este nivel se establecen

las bases de datos de las órdenes de mantenimiento con sus procedimientos, las frecuencias de ejecución de ellas, los listados básicos de repuestos, los grupos de planeación y ejecución de mantenimiento, así como también el software para la administración de los trabajos, el recurso y los repuestos. La base de la pirámide es la base del mantenimiento, y unos cimientos bien fundamentados son esenciales para construir los siguientes niveles.

En el segundo nivel de la pirámide la adecuada integración del mantenimiento predictivo, con el mantenimiento preventivo ya establecido en el primer nivel, fundamentan el mantenimiento basado en la confiabilidad. En ese nivel llevar la historia del mantenimiento se hace imprescindible, ya que sin historia no hay mantenimiento basado en condición, el mantenimiento que ayuda a predecir y prevenir fallas en los equipos. Con la historia del mantenimiento, también se pueden hacer los análisis de modo de fallas de los equipos, básicos para mejorar la confiabilidad de los equipos, siendo por esto que el segundo nivel lo denominan la base de la confiabilidad.

En el tercer nivel de la pirámide de mantenimiento se fundamenta la gestión de optimización y gestión de recursos. Es una fase de madurez del mantenimiento para establecer una gestión de clase mundial. Aquí la gestión trasciende del nivel operativo del área de influencia del mantenimiento a la gestión integral de recursos de manera corporativa. Esto se logra con el compromiso de la dirección, ya que se requiere que se rompan paradigmas administrativos por el bien general, los logros locales no aseguran el logro del todo. El fortalecimiento de las competencias técnicas del personal es fundamental para alcanzar la flexibilización de la mano de obra y un desempeño óptimo, que permita asegurar la confiabilidad y operación de equipos y proceso.

En la cúspide de la pirámide se encuentra el enfoque del mantenimiento como un elemento de la cadena de valor en la gestión total de los activos de la organización, donde desde el proceso de selección del activo (equipo o sistema) y la ingeniería e inversión que ello conlleva, pasando por los costos de operación y mantenimiento hasta llegar a su disposición final, en lo que se denomina Costo de Ciclo de Vida del Activo (LCC por sus siglas en inglés), son vistos como parte del flujo de caja global del negocio. La gestión total de activos o Asset Management, según el Handbook of Corrosion Engineering, segunda edición, tiene como objetivo maximizar el retorno de la inversión de activos, entre ellos los equipos y sistemas de una industria, y el énfasis no está en los costos a corto plazo, sino en el valor total (rendimiento) durante toda su vida.



*Figura 4. La Pirámide del Mantenimiento de Clase Mundial.
Fuente: El camino hacia un mantenimiento de clase mundial. BHP Billiton.*

El gráfico anterior ilustra la pirámide del mantenimiento de clase mundial con sus diferentes fases y el flujo lógico desde lo fundamental hasta la cúspide. Como se mencionó en los párrafos anteriores, escalar para alcanzar la cúspide, requiere ir escalando nivel por nivel.

1.2.2 Subprocesos Fundamentales del Proceso de Mantenimiento

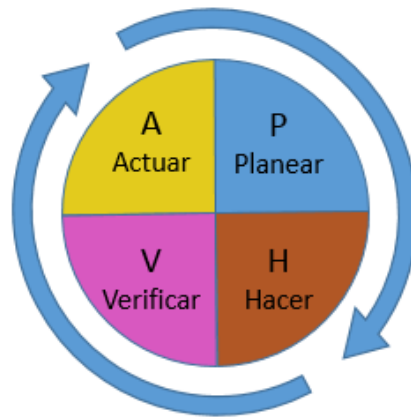
Los negocios son el motor de la economía. Las utilidades se logran con una buena gestión desde la propia base de los negocios, desde el nivel operativo. Allí se inicia la génesis del EBIT. Aunque la parte operativa sin una buena gestión estratégica y táctica no es nada, es el despliegue y la esencia del negocio. El proceso de mantenimiento se concentra en el nivel operativo, y desde ese nivel, asegura que los equipos estén disponibles cuando la operación los requiera contribuyendo de esta manera a que se logren las metas de producción y se aseguren los volúmenes de ventas, primer ingrediente de la ecuación del EBIT. Por otro lado, a nivel operativo también se gestiona la eficiencia del uso de muchos recursos de una compañía; recurso humano, tiempo, servicios, repuestos, insumos, combustibles, etc.; que bien administrados se convierten en arma poderosa para reducir los costos, el otro ingrediente del EBIT. El mantenimiento entonces contribuye al EBIT garantizando la disponibilidad de los equipos para lograr los volúmenes de ventas y con el uso eficiente y eficaz de sus recursos para disminuir los costos. En el cuadro a continuación se ilustra de mejor manera.

Gestión Financiera		Gestión del Negocio	Gestión Operativa del Mantenimiento
EBIT	Ingresos	Utilización	Equipos disponibles para su uso productivo
		Productividad	Equipos con su capacidad total de uso
	Costos	Depreciación	Ciclo de vida de equipos
		Bienes	Administración de Inventarios
			Duración de repuestos/componentes
			Administración de consumibles
		Servicios	Administración y calidad de servicios
		Trabajo y recursos	Distribución y asignación del trabajo
Calidad del trabajo			
		Administración del tiempo, trabajo, recursos	

Tabla 1. Impacto del mantenimiento en el EBIT.

Elaboración propia adaptada de R2R El Camino a la Confiabilidad – BHP Billiton

Los ciclos de vida de los yacimientos, al igual que los ciclos del mercado de materias primas moldean la dinámica de los procesos de mantenimiento en los negocios de minería. Procesos dinámicos requieren ciclos dinámicos, de lo contrario serian procesos condenados a la reactividad. Para que un proceso de mantenimiento no funcione reactivamente, debe garantizar que en su estructura se garanticen las posiciones y las funciones que permitan realizar un ciclo PHVA.



*Figura 5. Ciclo PHVA de Deming o Shewhart.
Fuente: La Ruta de La Calidad – Cerro Matoso - 1994*

El ciclo PHVA es una de las herramientas del mejoramiento continuo. Tan simple de aplicar, pero con tremendo potencial. Su vigencia y su potencia radican en sus buenos resultados cuando se aplica con disciplina. Si una operación minera está cerca de su curva de descenso, donde el tenor del yacimiento hace que cada vez sea más costosa operarla, el mantenimiento juega un factor importante en garantizar el volumen de producción asegurando disponibilidad y capacidad de equipos, y hacer que no se vea el mantenimiento como un gasto sino como un contribuidor al incremento del EBIT requiere creatividad y mejoramiento continuo. En momentos de crisis generalmente se simplifican las estructuras y muchas

funciones desaparecen, y pretender tener todas las funciones de una organización de mantenimiento de clase mundial no sería sensato, pero se debe asegurar que se haga lo básico de la mejor manera posible. Mantener un proceso en momentos de crisis con lo básico, requiere mantenerlo con lo fundamental, es decir con lo imprescindible para que siga funcionando sin que se desarticule.

Según BHP Billiton, en el documento R2R el Camino a la Confiabilidad, para una adecuada gestión de mantenimiento se requieren tres subprocesos a los que denominó fundamentales: el subproceso de Desarrollo de Estrategias de los Equipos, el subproceso de Administración del Trabajo y el Subproceso de Mejoramiento Continuo. En el desarrollo de las estrategias de los equipos se establecen las tareas de mantenimiento, se redactan consignándoles los recursos, se agrupan en planes, y se les asignan las frecuencias, conformando lo que se denomina la base de datos del mantenimiento preventivo. El subproceso de la administración del trabajo es el proceso donde se hace el mayor despliegue de las actividades de mantenimiento, el proceso donde el tiempo de muchos, y el uso de recursos depende de las decisiones de pocos; inicia con la revisión de la carga de trabajo pendiente, los recursos disponibles, la coordinación de actividades, la coordinación de recursos, y concluye con la realización de los trabajos y su retroalimentación. En el subproceso del mejoramiento continuo del mantenimiento, mediante el buen uso y análisis de la información, se retroalimentan los diferentes subprocesos y etapas del proceso de mantenimiento con el propósito de tomar acción e irlos afinando. Es el subproceso que cierra el ciclo del mejoramiento, el ciclo PHVA. Gráficamente pueden verse los subprocesos fundamentales del mantenimiento en la siguiente figura.

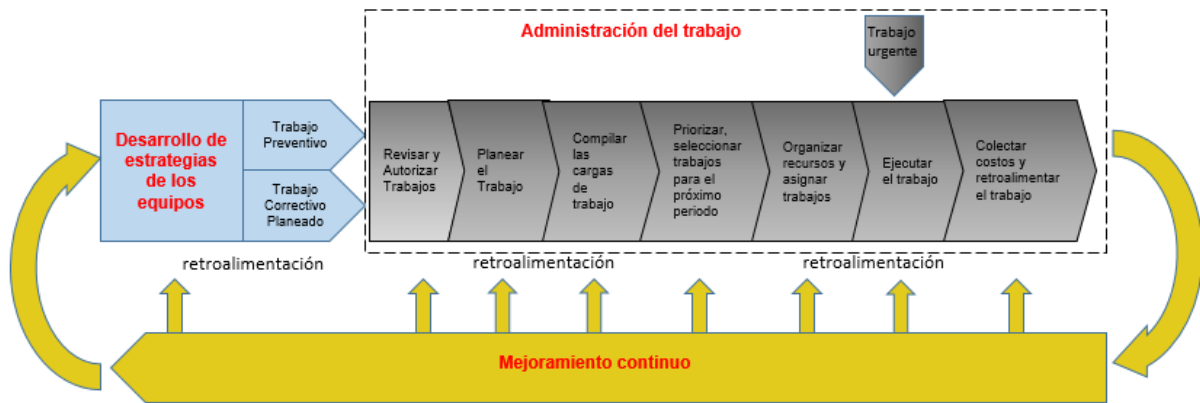


Figura 6. Subprocesos Fundamentales del mantenimiento.
Fuente: R2R El Camino a la Confiabilidad. BHP Billiton.

1.3. Los Sistemas de Gestión

Las organizaciones deben definir un rumbo o norte hacia dónde polarizar los esfuerzos. Una compañía sin norte va a la deriva y sus buenos o malos resultados dependerán del azar. El saber a dónde ir demarca un derrotero para cada uno de sus miembros y por consiguiente establece una meta en el mañana. Es el primer paso para planear y soñar en un estado futuro. El propósito o razón de ser de una compañía debe estar definido y ser tan claro e internalizado a todos los niveles para que se alineen todos los esfuerzos y recursos, y el navegar hacia él sea menos adverso. Es muy importante esto porque muchas veces las organizaciones se mueren por el enemigo interno de no tener un rumbo claro. Con el propósito definido, los valores enmarcan el actuar de la organización, estableciendo los límites inviolables que terminan asimilándose como políticas, principios, costumbres, normas, hasta impregnarse en el ADN de la organización y moldear su cultura. La estrategia corporativa establece la manera de avanzar al estado futuro, definiendo en términos macro el plan, al conjugar el entorno interno y externo (análisis DOFA) con el propósito. La estrategia corporativa en tiempos de crisis, con entornos adversos, no debe ser ajena a la situación, y dentro de ella deben contenerse lineamientos que desplieguen metas y objetivos que le apunten a la racionalidad y priorización del uso de los

recursos para afianzar un blindaje desde los niveles operativos en procura de una mejor relación costo-beneficio de las erogaciones y un menor desperdicio.



*Figura 7. La Estrategia y su despliegue.
Fuente: Propia.*

Desde los sistemas de gestión, las organizaciones hacen que estrategias como las de priorización de recursos queden arraigadas y se perpetúen cíclicamente navegando en los ciclos PHVA del mejoramiento continuo. Las gerencias de mantenimiento de negocios en crisis deben asegurarse de que en los ejercicios de planeación estratégica incluyan el tema de priorización para que no sea sólo una moda de momento.

1.4. Equipos críticos

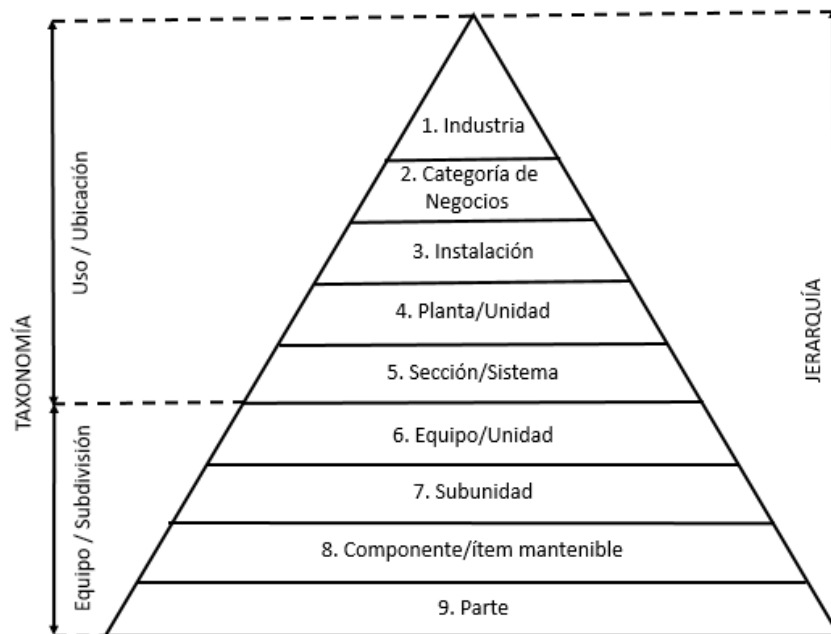
Las bases de la priorización están establecidas en el principio de Pareto o de los pocos críticos, donde se consigna que la mayoría de los problemas tiene su origen en pocas causas (Joseph Juran, Manual de control de la calidad, 1983). Este principio tiene mucha aplicabilidad en muchos campos, específicamente, en una fábrica o planta de producción, nos dice que la mayoría de los problemas se concentran en menos de la mitad de los equipos, por lo que las inversiones y los esfuerzos no pueden hacerse en todos los equipos con el mismo grado de intensidad.

El mantenimiento existe porque hay equipos a los que se les debe asegurar un nivel de desempeño, para que los negocios productivos a los que pertenecen tengan retorno de la inversión. Si ellos son el porqué del mantenimiento, entonces priorizarlos es el punto de partida de su gestión. El establecer los Equipos Críticos es ese punto de partida.

En el presente documento ponemos a consideración una manera de clasificar la criticidad de los equipos, producto de las diversas teorías existentes, mezcladas con las conclusiones de los autores del presente trabajo, originadas por la experiencia de más de veinte años en el área de mantenimiento.

La norma ISO 31000 al ser una guía de gestión de riesgos, es una buena guía para el proceso de identificación de equipos críticos. El primer paso para organizar a los equipos basados en su criticidad es organizarlos en una estructura jerárquica, en lo posible ciñéndose a

una taxonomía. La norma ISO 14224 es una buena guía de apoyo para realizar la organización. Ella debe tener un nivel de detalle razonable en el sentido que si es muy general no permitirá análisis profundos, pero si tiene demasiado desglose generará excesivo trabajo demorando los resultados y generando un nivel de detalle que en mucho de los casos no sea necesario. Cada planta o fábrica tiene su grado de complejidad en sus instalaciones y de igual manera su jerarquía lo será.



*Figura 8. Estructura Jerárquica.
Fuente: ISO 14224.*

El segundo paso es establecer las categorías de las consecuencias del riesgo. La norma ISO 31000, Gestión de Riesgos, menciona que generalmente estas categorías incluyen: impacto financiero; impacto en la capacidad operativa; impacto en la reputación; impacto en las obligaciones legales y reglamentarias; y el impacto en los productos o resultados. Dentro de la categoría impacto en las obligaciones legales y reglamentarias, se encuentran las de HSEC. Asociados a las categorías se desarrolla una escala de niveles de consecuencias que permitirá

valorarlas. La escala de consecuencias debe cumplir el rango completo, desde ninguna o insignificante consecuencia hasta consecuencia extrema, que afecte permanentemente al negocio. La escala de niveles de las consecuencias debe ser única para todas las categorías, es decir, si la categoría de consecuencias financieras tiene una escala de niveles del uno al seis, las otras categorías también tendrán la misma escala del uno al seis. Es muy importante que la escala de niveles sea aprobada por la alta gerencia del negocio, ya que ella determina los escalones o niveles de importancia en repercusión o impacto, o niveles de gravedad, a partir de los cuales, una compañía está dispuesta a tolerarlos o no y en consecuencia a tomar acción o no.

		NIVEL DE CONSECUENCIA				
		(Criterios de valoración de las categorías del Riesgo)				
		1 (Bajo)	2 (Menor)	3 (Medio)	4 (Alto)	5 (Muy Alto)
CATEGORÍAS DE LAS CONSECUENCIAS DEL RIESGO	Legal	Incumplimiento con multa menor que USD 300	Incumplimiento con multa entre USD 300 y USD 3000	Incumplimiento con multa entre USD 3000 y USD 30000	Incumplimiento legal con cese de operaciones menor a un mes	Incumplimiento legal con cese de operaciones mayor a un mes
	Salud	Sin efecto	Atención médica primaria	Incapacidad temporal	Incapacidad parcial permanente	Incapacidad total permanente
	Seguridad	Primeros auxilios	Lesión con atención médica no incapacitante	Lesión moderada y/o incapacitante temporal	Lesión con incapacidad permanente	Lesión con fatalidad
	Ambiente	Impacto ambiental insignificante reversible. Remediación menor que USD 300	Impacto ambiental menor reversible. Remediación entre USD 300 y USD 3000	Impacto ambiental medio reversible con efectos en el corto plazo. Remediación entre USD 3000 y USD 30000	Impacto ambiental serio con efectos a mediano plazo. Remediación entre USD 30000 y USD 100000	Impacto ambiental severo reversible con efectos a largo plazo. Remediación mayor que USD 100000
	Operacional	Parada del 100% de la producción menor de 4 horas	Parada del 100% entre 4 horas y un día	Parada del 100% de la producción entre un día y tres días	Parada del 100% de la producción entre tres días y un mes	Parada del 100% de la producción mayor que un mes
	No Operacional (costo de alternativa de solución, costo de reparación, otros costos)	Menor de USD 300	Entre USD 300 y USD 3000	Entre USD 3000 y USD 30000	Entre USD 30000 y USD 100000	Mayor de USD 100000

*Tabla 2. Ejemplo de categorías del riesgo y niveles de consecuencia.
Elaboración propia adaptada ISO 31000 – Gestión de Riesgos.*

El paso por seguir, según ISO 31000, es establecer la escala de probabilidad con la que se van a evaluar las consecuencias identificadas. Esta escala va asociada a la frecuencia en el

tiempo con la que eventos similares se han materializado en la organización a analizar o en industrias similares. Esta escala determina un factor de probabilidad histórico.

Tomando como guía la norma API 580, Inspección Basada en el Riesgo, se incluirá un factor de condición del equipo, a semejanza del factor de daño que cita la norma. Esta valoración se determina teniendo en cuenta la condición real del estado del equipo y la disponibilidad del último año de funcionamiento y su estado dentro del ciclo de vida de producción del fabricante.

Valoración de la probabilidad de la consecuencia		Valoración de la condición del equipo o sistema			
Frecuencia de ocurrencia	Valor	Estado o condición del equipo o sistema	Ciclo de Vida	Disponibilidad	Valor
Sucede varias veces al año	5	Daño o desgaste extremo	Obsoleto	menor que 70%	5
Sucede una vez al año	4	En condición seria de desgaste por el uso o falta de mantenimiento	Limitado	70% - 75%	4
Ha ocurrido en este tipo de industrias	3	En condición de desgaste normal por el uso	Clásico	75% - 80%	3
Ha ocurrido en otro tipo de industrias	2	En buena condición	Activo	85% - 90%	2
Nunca ha ocurrido	1	En excelente condición o nuevo	Último modelo	mayor que 90%	1

Tabla 3. Ejemplos de probabilidad de la consecuencia y condición de equipos o sistemas. Elaboración propia adaptada de API 580 ISO 31000 – Gestión de Riesgos.

Con el listado de equipos organizado jerárquicamente, las categorías de las consecuencias del riesgo con sus niveles de consecuencia definidos y las escalas de probabilidad de ocurrencia y de condición de los equipos establecida, se debe conformar un grupo interdisciplinario con experiencia y conocimiento de los equipos a evaluar. Las disciplinas de los participantes deben abarcar generalmente las disciplinas eléctrica, mecánica, operativa, instrumentación y control, principalmente, pero si existe alguna disciplina adicional que lo amerite debe incluirse. Es posible que se pueda escindir de alguna de ellas si el conjunto de equipos a analizar no la incluye, por ejemplo, en un conjunto de equipos donde todo es electrónico, es posible que la disciplina mecánica no aplique. La experiencia y conocimiento de los equipos en el área es indispensable, de lo contrario el ejercicio no quedará bien elaborado

y se perderá el tiempo y el esfuerzo. Esto es muy importante, porque la selección de los equipos críticos es la brújula que marcará el rumbo de muchos procesos en el mantenimiento. El personal seleccionado debe documentarse de los equipos que se van a analizar, buscando planos, manuales, teoría, historial de fallas, accidentes y eventos asociados con ellos dentro de la planta o fábrica, o en industrias similares, en fin, toda la información posible que permita hacer un buen ejercicio de determinación de los equipos críticos.

El ejercicio se realiza navegando por la estructura jerárquica, al tiempo que el grupo de expertos va asociando a los equipos o sistemas cada uno de ellos eventos o fallas técnicamente posibles, que pudieran generar algún o algunos impactos adversos en cualquiera de las categorías de las consecuencias del riesgo previamente establecidas. El énfasis en técnicamente posible se refiere a que los eventos relacionados en el ejercicio deben ser basados en la historia de la industria en general y la de la organización propia o que exista una posibilidad que algo que no haya ocurrido con justificación técnica pueda materializarse, esto con el fin de evitar consignar eventos producto de imaginación fantástica que no serían factibles de ocurrir en la realidad y que le restan tiempo valioso al ejercicio para analizar eventos realmente factibles de ocurrir. Simultáneamente con los eventos o fallas factibles de ocurrir asociados a los equipos o sistemas, se evalúan sus impactos, sus probabilidades de ocurrencia y la condición del equipo o sistema.

Como se mencionó anteriormente, identificar equipos críticos es similar a identificar riesgos. Según la ISO 31000, la identificación de riesgos es uno de los elementos más críticos de la gestión de riesgos (de igual manera para la gestión basada en equipos críticos) y a menudo es incompleto o inadecuado. Se lleva a cabo para desarrollar una comprensión completa de las incertidumbres que pueden mejorar o limitar la capacidad de una organización a lograr sus

objetivos. En la norma ISO 31000, anexo A.3, se mencionan trece técnicas de evaluación de riesgos.

Consecutivo	Sistema	Equipo	Descripción equipo	Evento o falla posible	Salud	Seguridad	Ambiente	Operacional	No operacional	Criticidad inherente	Probabilidad de ocurrencia	Condición de equipo/sistema	Probabilidad de materialización	Nivel de Preocupación
17	Molienda	ML03	Molino de bolas ML03	Daño estructural en molino por fractura en pernos de trunion	1	5	1	5	5	5	3	2	6	30
18	Molienda	ML03	Molino de bolas ML03	Daño en rodamiento de trunion por falla en sistema de lubricación	1	1	1	4	3	4	3	4	12	48
19	Molienda	ML03A	Motor molino de bolas ML03	Cortocircuito en bobinado de estator	1	1	1	4	4	4	3	1	3	12
20	Molienda	FL17	Flujo de recirculación de molino ML02	Daño de blindaje de celda radioactiva	5	1	4	3	5	5	3	1	3	15
21	Clasificación	CY03	Batería de ciclones CY03	Rotura por abrasión de tubo de alimentación	1	3	1	2	3	3	4	3	12	36

*Tabla 4. Ejemplo de evaluación de equipos críticos.
Elaboración propia adaptada de API 580 e ISO 31000.*

En la figura anterior, se observa un ejemplo de un ejercicio de evaluación de equipos críticos. Las tres primeras columnas corresponden a la organización taxonómica y jerárquica. La cuarta columna corresponde a la descripción del equipo a analizar. La quinta columna corresponde a los diferentes eventos o fallas posibles que puedan materializarse; para el ejemplo se describieron sólo dos eventos posibles a materializar en el molino de bolas ML03, pero en un ejercicio real pueden ser más. Las columnas seis hasta la diez corresponden a las categorías de las consecuencias del riesgo a evaluar; el valor máximo de estas cinco columnas se escribe en la columna once, denominada Criticidad Inherente (ISO 31000). Se denomina “Criticidad Inherente” porque es la criticidad per se del equipo, inherente a él, debido a que es factible de que ocurra porque la historia así lo ha dicho o porque técnicamente puede ser posible. La columna once es la que determina el orden de criticidad, siendo más críticos los equipos con mayor valoración. Las columnas doce y trece son las que de cierta manera

establecen numéricamente la posibilidad de materialización del evento de su respectiva fila, por ejemplo, para el caso del consecutivo 18, correspondiente al evento “daño en rodamiento de trunion por falla en sistema de lubricación”, con una criticidad inherente de 4 (el mayor valor entre todas las dimensiones del riesgo que para este caso es el riesgo operacional), tiene una probabilidad de materialización 3 porque es un evento que ya ha ocurrido en ese tipo industrias para el ejemplo, y tiene una condición de equipo 4, por una condición seria de desgaste en la bomba hidráulica, y la multiplicación de estos dos valores, 3×4 igual a 12, significa la probabilidad de materialización del evento, que es el valor que se consigna en la columna catorce. La columna quince es la que resulta de multiplicar la criticidad inherente (columna 11) con la probabilidad de materialización (columna 14), es decir, para el ejemplo del consecutivo 18, 4×12 igual a 48, que es la valoración del nivel de preocupación.

Resumiendo el tema de los equipos críticos, se puede decir, que un equipo o sistema es crítico per se, o tiene una criticidad inherente, dada por la potencialidad que exista de materializarse un evento, y esta condición siempre permanecerá independiente de la probabilidad de materializarse (ISO 31000), a menos que exista un cambio de tecnología, procedimental, etc., que cambie esta condición. La probabilidad de materializarse el evento es el resultado de la combinación entre la probabilidad de ocurrencia dada por la historia y la condición del equipo. El nivel de preocupación de la materialización de un evento o falla asociado a un equipo o sistema, es el resultado de multiplicar la criticidad inherente con la probabilidad de materialización.

2. Conjunción de la Planeación Estratégica, la Gestión de Mantenimiento y la Priorización

La figura a continuación muestra la intersección entre la planeación estratégica y las gestiones de mantenimiento y equipos críticos. La conjunción de planeación estratégica y gestión de equipos críticos propone la inclusión de la gestión de equipos críticos, como elemento importante, en el direccionamiento de recursos, elevándola a la categoría de política corporativa. Adicionalmente, la gestión de equipos críticos en conjunción con la gestión de mantenimiento, converge en la propuesta de una disciplina de priorización en procura de un direccionamiento adecuado de los recursos.



*Figura 9. Conjunción Planeación Estratégica y Gestiones de Mantenimiento y equipos Críticos.
Fuente propia.*

La conjunción de la planeación estratégica con las gestiones de mantenimiento y de equipos críticos no son objeto detallado del presente proyecto, pero durante el desarrollo se ha mencionado que son importantes, y es fundamental que los administradores del área de mantenimiento participen activamente en los ciclos de revisión de la planeación estratégica

para que periódicamente se revise la gestión del mantenimiento se y logren consolidar políticas de priorización de recursos.

Los procesos disciplinados de priorización basados en equipos críticos en la gestión de mantenimiento son el foco del presente trabajo. En esta conjunción se mezclan la metodología para determinar los equipos críticos y los procesos fundamentales del mantenimiento referenciados en los capítulos anteriores. La intersección entre la pirámide de la gestión del mantenimiento y los subprocesos fundamentales del mantenimiento despliegan las actividades principales de este proceso. Para la fase uno del mantenimiento la intersección junto con su despliegue general básico se aprecia en el siguiente cuadro:

		SUBPROCESOS FUNDAMENTALES DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO			
		Desarrollo de Estrategia de los equipos	Administración del trabajo	Mejoramiento Continuo	
FASES DEL MANTENIMIENTO	FASE 1: Procesos de administración del trabajo	Identificación trabajos y priorización		Revisar y autorizar trabajos	
		Planificación y programación		Planear el trabajo	
		Ejecución y revisión		Compilar las cargas de trabajo	
				Organizar recursos y asignar trabajos	
				Ejecutar trabajo programado	
			Ejecutar trabajo de emergencia	Revisión de la efectividad de las estrategias de mantenimiento, identificación de nuevos modos de falla	
			Retroalimentar el trabajo		
		Mantenimiento preventivo	Desarrollo de las estrategias de mantenimiento preventivo - Elaboración del presupuesto de mantenimiento preventivo programático	Uso de las órdenes de trabajo - Retroalimentación de las estrategias de mantenimiento. Asignar personal para revisión de estrategias de mantenimiento	Revisión de la efectividad de las estrategias de mantenimiento
Sistema computacional (CMMS)	Inclusión en el sistema computacional las estrategias de mantenimiento				
Administración repuestos y materiales	Creación-eliminación-actualización de items de stock y nivel de aprovisionamiento - Elaboración de presupuesto de consumo de repuestos	Uso de repuestos y materiales. Documentar repuestos sin existencia	Análisis de inventarios - Costos - Optimización de inventarios		

Tabla 5. Fase 1, despliegue de actividades.

Fuente: Propia.

A continuación, se muestra en el siguiente cuadro el despliegue de las actividades principales para la fase dos:

		SUBPROCESOS FUNDAMENTALES DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO		
		Desarrollo de Estrategia de los equipos	Administración del trabajo	Mejoramiento Continuo
FASES DEL MANTENIMIENTO	FASE 2: Base de la confiabilidad	Monitoreo de condición y predicción de fallas	Desarrollo de las estrategias de mantenimiento basadas en condición - Elaboración del presupuesto de mantenimiento basado en condición	Identificación de las técnicas de monitoreo de condición apropiadas a la base instalada de equipos
		Historia de los equipos		Alimentar la historia del mantenimiento
		Mejoramiento competencias técnicas de mantenedores		Asignar personal para asistir a entrenamiento
		Análisis de modos de fallas		Recolección de evidencias de las fallas. Asignar personal para efectuar análisis de modos de fallas
		Integración sistema predictivo y sistema computacional (CMMS)		
			Creación de tendencias de monitoreo de condición - análisis - anticipación a fallas - retroalimentación de las estrategias de mantenimiento	

Tabla 6. Fase 2, despliegue de actividades.
Fuente: Propia.

El despliegue de las fases tres y cuatro se desarrolló así:

		SUBPROCESOS FUNDAMENTALES DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO			
		Desarrollo de Estrategia de los equipos	Administración del trabajo	Mejoramiento Continuo	
FASES DEL MANTENIMIENTO	FASE 3: Optimización e integración de recursos	Flexibilidad operador-Mantenedor			
		TPM- tareas realizadas por operadores			
		Benchmarking Interno-Externo	Consignar en las estrategias de mantenimiento las mejores prácticas internas	Benchmarking aplicado a la mejora de procesos operativos	Promover el benchmarking como estrategia para el mejoramiento continuo de la gestión de mantenimiento
	FASE 4: Gestión total de activos	Adquisición de equipos. Análisis Reparar - Mantener - Cambiar	Desarrollo de estrategias de mantenimiento: -Por adquisición de nuevos equipos -Por resultado de análisis de eliminación de defectos		Elaboración y revisión del listado de equipos críticos -Análisis de ciclo de vida de los equipos - Presupuesto CAPEX y OPEX de intervenciones mayores
		Ingeniería para extensión de vida útil			Programa de eliminación de defectos
Confiabilidad total: Eliminación de defectos				Los equipos como un activo de la compañía y su aporte al EBIT	
	Efectividad Global de los equipos				

Tabla 7. Fases 3 y 4, despliegue de actividades.
Fuente: Propia.

Lo planteado en este documento no es un tratado del mantenimiento, y con seguridad hay muchas otras actividades que comprende el proceso de mantenimiento, pero para el objetivo del planteamiento, se procuró colocar lo mínimo básico e importante que compete a la combinación de gestión de mantenimiento y gestión de equipos críticos.

Aunque en los despliegues anteriores, el proceso de elaboración del listado priorizado de equipos por criticidad se muestra en la fase cuatro, como una actividad del proceso de gestión de activos, su ubicación aquí se hace más por tratar de ubicar en el área más indicada el ejercicio de priorización como tarea, resaltando que esta tarea tiene su impacto en el resto del despliegue de todas las fases. Como se ha mencionado en el desarrollo de este documento, el mantenimiento existe porque hay equipos, los cuales son activos físicos, y partiendo desde ese concepto, la gestión de mantenimiento es una gestión de activos, y su priorización se considera fundamental en ella. También se tomó la decisión de especificarla como tarea, en la fase cuatro y en el subproceso de mejoramiento continuo, para resaltar que esta tarea de la gestión de activos del mantenimiento debe ser liderada por el área de mejoramiento de manera cíclica, con un periodo de actualización por lo menos anual.

Partiendo entonces por la tarea de elaboración del listado de equipos críticos, y cuya metodología ya fue desarrollada en capítulos anteriores, si nos remitimos a ella, del ejercicio resultan dos columnas importantes, la columna denominada criticidad inherente y la columna denominada nivel de preocupación. La criticidad inherente o per se, como se mencionó es inherente al equipo, y podría decirse que casi invariable, a menos que se descubra un nuevo o nuevos eventos o modos de fallas que cambien el puntaje de los equipos, o que haya una sustitución tecnológica de equipos, o cambio de productos o procesos que también afecten los puntajes de la criticidad inherente. Al ser casi invariable, esta columna relaciona en orden de importancia de mayor a menor, según el puntaje, los equipos críticos per se. Estos equipos son los que, en caso de no tomarse los controles adecuados, desencadenarán las consecuencias más nocivas o incluso desastrosas para el negocio. Dada la significancia de la criticidad inherente, los subprocesos de desarrollo de estrategias de los equipos y de administración del trabajo, que

son los que centran sus actividades en la base de la pirámide del mantenimiento, actividades consideradas básicas, deben enfocarse en los equipos, según el criterio de la criticidad inherente en orden descendente de calificación. En otras palabras, a los equipos en orden de importancia (de mayor a menor según la criticidad inherente) y hasta donde haya recursos, se les debe ejecutar su mantenimiento preventivo sagradamente, al igual que darles prioridad a las emergencias que les ocurran. De no hacer esto, las consecuencias establecidas en la columna criticidad inherente podrían materializarse.

Entre los subprocesos de administración del trabajo y desarrollo de estrategias de equipos, el primero es el mayor consumidor de recursos, de hecho, es el subproceso que consume el alrededor del 90% de los presupuestos OPEX de mantenimiento, sin embargo, es un proceso de ejecución, y como tal, sus actividades planeadas, que generalmente son el 80% o más, dependen del mantenimiento planeado que está definido en las estrategias de los equipos. Lo anterior significa, que el éxito de la gestión de recursos para el sostenimiento de las funciones de los equipos inherentemente críticos en orden de importancia se centra en una adecuada gestión de estrategias de equipos, es decir, las estrategias de los equipos deben tener la lupa, o el foco, en los equipos críticos per se, y el desarrollo de ellas define en gran medida el presupuesto OPEX.

La gestión de repuestos y materiales para el mantenimiento planeado, que también se hace en el subproceso de desarrollo de estrategias de equipos, debe enfocarse de igual manera en la priorización por criticidad inherente, para asegurar los stocks críticos que minimizarían los impactos potencialmente más adversos. Esta actividad influye de manera considerable en los costos de las empresas porque está directamente ligada al manejo de inventarios.

El subproceso de administración del trabajo, que es el encargado de la ejecución final de las tareas de mantenimiento en los equipos, durante su rutina diaria debe asumir los trabajos no planeados que resultan de emergencias. Trabajos de emergencia y trabajos planeados en el día a día, también compiten por recursos, porque, así como surgen tareas de emergencia, también ocurren las novedades en los recursos (un ejemplo puede ser una incapacidad de un mantenedor o el daño en una grúa móvil) y de manera similar, la ejecución debe aplicar el mismo filtro de equipos críticos, para la priorización de sus actividades en caso de escasez de recursos o exceso de trabajo de último momento.

Las actividades del subproceso de mejoramiento continuo en las fases uno y dos de la pirámide de gestión del mantenimiento van dirigidas a afinar la gestión del mantenimiento preventivo, mediante la implementación y sostenimiento de la base de la confiabilidad, labor que hace con el análisis de desviaciones, y los análisis de información. En estas dos fases, el mejoramiento continuo impacta el subproceso de desarrollo de estrategias de equipos, mediante los ajustes en los planes de mantenimiento, la gestión de repuestos y las necesidades de entrenamiento. De igual manera, como estas actividades se encuentran en las fases uno y dos de la pirámide, la priorización debería hacerse teniendo en cuenta la prioridad establecida en la columna de criticidad inherente o per se.

Hasta el momento en el desarrollo del presente documento, del ejercicio de evaluación de equipos críticos, sólo se ha tenido en cuenta la criticidad inherente o per se. Ha llegado el momento de mencionar la columna denominada nivel de preocupación. Como se había explicado, el nivel de preocupación es un valor que se obtiene de la multiplicación de la criticidad inherente por la probabilidad de materialización. La probabilidad de materialización a su vez es un valor que se obtiene multiplicando la probabilidad de ocurrencia por la condición

de equipo/sistema. Tratando de llevar a palabras todas estas multiplicaciones de factores, se puede decir que el nivel de preocupación es alto cuando la combinación criticidad inherente y probabilidad de materialización es alta, y esto ocurre cuando equipos críticos inherentemente tienen una historia reciente de fallas repetitivas o tienen una condición seria de deterioro, o se encuentran cerca de su ciclo de vida, o se encuentran en estado de obsolescencia. La combinación de criticidad inherente con probabilidad de materialización es la priorización de equipos críticos teniendo en cuenta su condición de momento, y un valor alto en el nivel de preocupación es significado que algo grave es muy probable que ocurra. Como el nivel de preocupación tiene en su cálculo la situación temporal de los equipos, su actualización tiene que ser dinámica, en lo posible generada por las actividades de ejecución del día a día que se hayan descrita en el subproceso de administración del trabajo. El ingeniero del área de mejoramiento continuo debe asegurar que la información que impacte la condición temporal de los equipos inherentemente críticos sea consolidada en lo posible mensualmente.

El nivel de preocupación, al ser proporcional a la potencial gravedad de materialización de eventos, es un criterio de priorización de planes de acción orientados a la restauración de la condición temporal de los equipos/sistemas inherentemente críticos, y por consiguiente, es el criterio adecuado para el portafolio de planes de sustitución de equipos y planes de reparaciones mayores, que son los responsables de la elaboración de los presupuestos por sustitución o reparaciones mayores de equipos (overhauling) y de la elaboración de presupuestos de paradas mayores (shutdown) que dependiendo de la naturaleza del activo (haciendo referencia al equipo/sistema) y de la duración de la restauración o reemplazo se considerará CAPEX u OPEX. El nivel de preocupación mide la condición de integridad de los equipos o sistemas (activos físicos) y es lo que usualmente se denomina como evaluación de la integridad del activo o Asset Integrity (ver anexo 1). La temporalidad de los valores del nivel de preocupación

se asocia a la temporalidad de los portafolios de planes de sustitución y reparaciones mayores de equipos, que, así como el nivel de preocupación se debe actualizar por lo menos una vez al año, los portafolios de planes de sustitución y reparaciones mayores también deben serlo.

En el presente trabajo, de la fase tres de la pirámide de la gestión del mantenimiento, sólo se ha hecho referencia al benchmarking en el cuadro de despliegue de actividades. Si bien es cierto que la integración y optimización de recursos que plantea es importante al momento de buscar alternativas que generen ahorros en costos, al interior del proceso de mantenimiento y su gestión, lo viable es el benchmarking. Filosofías como el TPM, que involucran operadores en el mantenimiento y la flexibilidad mantenedor-operador, involucran otras áreas administrativas diferentes al mantenimiento, que se salen del objeto de los planteamientos aquí propuestos. No obstante, se menciona para recordar que es una alternativa más a explorar.

Para resumir, en este capítulo, el que integra las gestiones de mantenimiento y equipos críticos, se condensan las rutinas que deben establecerse como procesos disciplinados para que la gestión de equipos críticos sea un éxito. El ejercicio de elaboración del listado de equipos críticos concluye en una tabla como la que se aprecia en la tabla 4. De ella se resaltan dos columnas, la once (criticidad inherente) y la quince (nivel de preocupación). La columna criticidad inherente prioriza de mayor a menor los procesos rutinarios del mantenimiento como son, la elaboración de estrategias de mantenimiento, la planeación y ejecución de las tareas de mantenimiento, así como la gestión rutinaria de confiabilidad, relacionada con el análisis de información y las desviaciones en el proceso de mantenimiento. Es la priorización del trabajo preventivo de los equipos inherentemente críticos para que no se salgan de control. Las actividades direccionadas por la columna once son actividades que van al OPEX.

La columna quince, la del nivel de preocupación, prioriza de mayor a menor los equipos que tienen posibilidad de materializar las consecuencias de los riesgos asociados a ellos. La combinación de consecuencia con probabilidad de materialización resulta en un número que, en orden de mayor a menor, prioriza las actividades de mantenimiento no rutinarias relacionadas con la condición temporal de los equipos. De la columna quince se obtienen los planes de restauración y sustitución de equipos. Generalmente estas actividades alargan la vida de los equipos y en su mayoría van al CAPEX. La columna quince genera el plan de CAPEX de mantenimiento de largo plazo.

3. CONCLUSIONES

La administración de mantenimiento basado en la gestión de equipos críticos, como se plantea en este proyecto, es un método estructurado para desarrollar un análisis que combina los subprocesos fundamentales del mantenimiento con un análisis de criticidad basado en los riesgos inherentes asociados a los equipos y/o instalaciones y la probabilidad de materialización asociada con su historia y condición. Como es una propuesta basada en prioridades, se espera que se incremente la relación beneficio-costos, contribuyendo a mejorar el EBIT.

La gestión de mantenimiento basada en equipos críticos, al integrarse al proceso de mantenimiento, se fusiona con sus subprocesos fundamentales, e inmerso en ellos cierra el ciclo del mejoramiento continuo.

El ejercicio de valoración de los equipos, al ser un ejercicio que aplica sistemáticamente una metodología de consenso, es una propuesta estructurada que le da equilibrio a la toma de decisiones, haciéndolo más robusto.

La gestión de mantenimiento basada en equipos críticos propone los elementos para la elaboración de los presupuestos de OPEX y CAPEX basados en las prioridades de la criticidad inherente y el nivel de preocupación respectivamente.

La gestión de mantenimiento basada en equipos críticos propuesta en el presente documento involucra al mantenimiento de una manera integral, lo que la hace universal y no meramente una labor del área de confiabilidad o mejoramiento continuo.

Beneficios adicionales como consecuencia de mantener o incrementar la confiabilidad y la capacidad de procesamiento, son que no se requieran inversiones adicionales para expansiones, mejorando el retorno sobre la inversión en los activos (ROI).

La gestión de mantenimiento basada en equipos críticos, al ser una gestión universal en el proceso de mantenimiento. Necesita un despliegue liderado de arriba hacia abajo para garantizar su arraigo y la disciplina que requiere.

Las políticas de priorización de recursos son punto de apoyo fundamental para el éxito de sistemas de gestión como el basado en equipos críticos. La participación del área de mantenimiento en los ciclos de planeación estratégica es fundamental para impulsar estas políticas.

Anexo 1. Integridad del Activo (Asset Integrity)

En el presente anexo, por su estrecha relación con el ejercicio de equipos críticos, se hace una introducción de la evaluación de la integridad del activo, basada en los textos de las normas ISO 31000, API 580 y en el Draft 116901 de la OGP. La evaluación de la integridad del activo proporciona un aporte clave para el proceso de proyectos de capital basado en riesgos con el fin de definir las prioridades, ajuste de presupuesto, etc. Impacta el ejercicio de presupuesto influyendo en la asignación de recursos para las actividades de sostenimiento de los activos de una empresa y para las actividades de mediano plazo en el ciclo de vida del negocio. Es una actividad que se encuentra en la cúspide de la pirámide del mantenimiento de clase mundial (ver figura 4).

El objetivo de la evaluación de la integridad del activo es identificar sus áreas de preocupación, teniendo en cuenta impacto, cumplimiento de los estándares de diseño y las estrategias de mantenimiento, así como la condición propia de los activos. Con esto se busca tener una visión más profunda del perfil de condición y riesgo del activo (áreas, sistemas, equipos y componentes) con el fin de desplegar un plan para el resto de su vida. Esta perspectiva orienta a asegurar que las plantas de producción y la vida de sus equipos están ligadas al proceso de capital.

Con la identificación de las áreas de preocupación que se encuentran en el activo objeto de análisis, se procede a la alineación del portafolio de capital, ubicando las asignaciones correspondientes en la línea de tiempo de los presupuestos de los años siguientes según la prioridad.

Aunque este análisis está principalmente relacionado con las fallas potenciales que pueden generar una parada del proceso productivo, también se tiene en cuenta el impacto potencial sobre las personas y otros aspectos financieros o reglamentarios con el fin de mantener una visión integral total del activo. Es una técnica de evaluación cuantitativa que requiere participación multidisciplinaria de expertos, lo que le da un enfoque global en vez de individual, de la que se espera permita una mejor gestión y beneficios económicos. El uso de los estándares de diseño, planos de montaje, construcción son un punto de partida necesario, acompañado de plantillas para el registro de las evaluaciones a realizar.

Para la valoración del impacto se tiene en cuenta la pérdida en que se incurre debido a la falla que genere el paro del proceso productivo, el tiempo que se demora la reparación de la falla, los tiempos medios entre fallas (MTTR por sus siglas en inglés), teniendo en cuenta que el impacto se valora como si ocurriese una sola vez, y no se tiene en cuenta el número de veces en que está repite en la operación. Es importante que se asocien las consecuencias posibles a la falla presentada. También deben ser considerados todos los costos que potencialmente se presentaran en caso de materializarse la falla, incluyendo los costos de llevar nuevamente el equipo a su operación normal.

La evaluación del mantenimiento y cumplimiento del diseño de los equipos se hace teniendo en cuenta su desempeño de acuerdo con la función que cumple en el proceso y para la lo que fue diseñado. Es una observación de parte de mantenimiento, donde además es tenido en cuenta el funcionamiento histórico complementado con la revisión documental y el marco teórico, que valora la condición del equipo y su instalación y uso de acuerdo con el diseño.

El Riesgo de Integridad Total, que es el dato cuantitativo que arroja la evaluación de integridad, permite establecer el orden de prioridades de las áreas de preocupación y por consiguiente permite priorizar los presupuestos. Con las evaluaciones recopiladas se puede determinar el riesgo total de la integridad usando la siguiente fórmula (API 580):

Riesgo de Integridad Total = Impacto en Negocio x Probabilidad x Cumplimiento del Diseño x Observación de Mto

4. LISTA DE REFERENCIAS

- American Petroleum Institute. (2002). API 580 – Risk-based Inspection.
- ANDI. (2014). Minería moderna para el progreso de Colombia.
- Ariosa Iznaga, José. (1977). Curso de Yacimiento Minerales Metálicos. Tipos Genéticos.
- BHP Billiton. (2005). El camino hacia un mantenimiento de clase mundial.
- BHP Billiton. (2003). R2R El Camino a la Confiabilidad.
- BHP Billiton (2008). Stainless Steel Materials Excelencia en Solución de Problemas. Taller de solución de problemas en equipo.
- BHP Billiton. (2011). Work Management Process Steps Detail.
- Castillo López, César. (2011). Indicadores para la gestión: CAPEX y OPEX.
- Cerro Matoso. (1994). La Ruta de la Calidad.
- European Commission Leonardo Da Vinci Programme - State Scholarships Foundation of Greece. European Commission. (2008). Training Material in Maintenance Management Handbook.
- FMI. (2016). Informe sobre la estabilidad financiera mundial de abril de 2016
- Geraerds, W.M.J (1985). The cost of downtime for maintenance: preliminary considerations.
- Gil Juez, J.M. (2004) Técnicas de Mantenimiento Industrial.
- International Association of Oil and Gas Producers OGP. (2013). OGP Draft 116901, Guidance on performing risk assessment in the design of onshore LNG installations including the ship/shore interface.
- International Organization for Standardization ISO. (2008). ISO 14224 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
- International Organization for Standardization ISO. (2015). ISO9000 - Quality management.
- International Organization for Standardization ISO. (2009). ISO 31000 - Risk management.
- Juran, Joseph. (1983). Manual de control de la calidad.
- London Metal Exchange. <https://www.lme.com/metals/non-ferrous/nickel>.
- Roberge, Pierre. (2012). Handbook of Corrosion Engineering, second edition.

Ross, S. Westerfield, R. Jordan, B. (2010). Fundamentos de Finanzas Corporativas, novena edición.

South32. 2015. Plant and Equipment Integrity Review.

Tomlison, Paul D. (1994). Mine Maintenance Management.

Turner, R. (2014). Handbook of Project-Based Management: Leading Strategic Change in Organizations, fourth Edition.

Vélez Bedoya, Ángel. (2009). Los clásicos de la Gerencia.

Viloria de la Hoz, Joaquín. El ferroníquel de Cerro Matoso: aspectos económicos de Montelíbano y el Alto San Jorge. (2009).