

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD (RCM) AL SISTEMA DE IZAJE
MINERAL, DE LA COMPAÑÍA MINERA MILPO, UNIDAD
“EL PORVENIR”**

TESIS

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
GERENCIA E INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

ELABORADO POR

ING.ELVIS DAVID PALOMARES QUINTANILLA

ASESOR

MG. VICTOR ORTIZ ALVAREZ

**LIMA – PERU
2015**

AGRADECIMIENTOS

A mi madre: Cristina por el enorme esfuerzo y sacrificio que hizo para estudiar y concluir la carrera de Ingeniería Mecánica, además por la confianza que me ha tenido siempre. También doy gracias a mi padre que Dios lo tenga en su gloria, quien fue la imagen para desarrollarme en el ámbito de la ingeniería mecánica.

Agradezco sinceramente a todos mis hermanos, que me han ayudado y acogido en los momentos difíciles, con ejemplos y valores que ayudaron a mi desarrollo.

Finalmente este trabajo va dedicado a Elida, que sin su ayuda no tendría ese empeño en superación y constancia en salir adelante y con su alegría llena mi vida de tanta felicidad.

RESUMEN

Tradicionalmente en las plantas de equipos estacionarios existen planes de mantenimiento basados en recomendaciones del fabricante, determinados en periodos fijos, basados en políticas internas de la planta o simplemente aplicando un mantenimiento correctivo, es decir, reparar hasta que falla. Sin embargo, el objetivo de toda jefatura del mantenimiento contemporánea es siempre el de mantener sus equipos o activos en la máxima disponibilidad y confiabilidad, a fin de poder garantizar una continua producción.

En la investigación se abordó el siguiente problema ¿Qué técnica y/o metodología se debe aplicar para mejorar el plan de mantenimiento del Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”? Participaron 18 técnicos pertenecientes al área de Mantenimiento de Izaje de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”, la Empresa Especializado Tiley de Canadá y la Empresa Especializa Peruvians Hydraulic SAC de Perú, se efectuó el desarrollo del plan a partir del 10 de enero del 2011 hasta el 31 diciembre del año 2011 en la Cía. Milpo Unidad: El Porvenir”. Allí se realizaron 6 reuniones presenciales y visitas a campo para finalmente llegar a culminar el plan de mantenimiento basado en la confianza. Se trató de una investigación cuantitativa, cuyas etapas fueron de recolección de datos, evaluación y elaboración del plan aplicando la metodología del RCM. Se ha empleado un análisis de riesgo, aplicando la metodología de análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA o AMFEC) con el objetivo de identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso rediseño de sistemas.

Dentro de esta evaluación se realizó la clasificación de los activos críticos, del sistema de Izaje para seleccionar los clases de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivos a ser aplicados por cada equipo que formar parte el Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”.

Luego de culminar esta aplicación del plan de mantenimiento elaborado por efecto del RCM, se ha mejorado los intervalos de mantenimiento programado, considerando que antes se intervenía 3 veces por semana y hoy solo se interviene 2 veces por semana. El detalle de esta reducción se sostiene en realizar actividades efectivas y necesarias para cada tipo de activos que conforma el Sistema de Izaje Mineral.

Palabras clave: Mantenimiento Basado en la Confianza (RCM), Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC), Plan de Mantenimiento, Criterios de Riesgo y Confiabilidad., Costo de Ciclo de vida de un activo (LCC).

ABSTRACT

Traditionally in plants stationary equipment maintenance plans are based on manufacturer recommendations, certain fixed periods, based on internal policies of the plant or simply applying corrective maintenance, ie repair until it fails. However, the goal of all contemporary head of maintenance is always to keep your equipment or assets in high availability and reliability, in order to ensure continuous production.

In the research the following problem what technical and / or methodology should be applied to improve the maintenance plan Hoist System Co. Ore addressed. Milpo, unit "El Porvenir". They included 18 technicians from the area Hoist Maintenance Cia. Milpo, unit "El Porvenir" Company Specialized Tiley in Canada and Peruavians Hydraulic Company Specializes in Peru SAC, plan development took place from 10 january 2011 until 31 december 2011 in the firm. Milpo Unit: El Porvenir ". There 6 face meetings and field visits were conducted to arrive finally finish the maintenance plan based on trust. It was a quantitative research, which steps were data collection, assessment and methodology of applying RCM plan. It has used a risk analysis, applying the methodology of analysis of failure modes, effects and criticality (FMECA or FMECA) in order to identify failure modes that represent a higher risk, and later select the best kind of maintenance either preventive, predictive, corrective or if system redesign.

Within this assessment classification of critical assets, Lifting system was performed to select the kinds of preventive, predictive and corrective measures to be applied by each team to join Hoist System Co. Ore maintenance. Milpo, unit "El Porvenir".

After completing this application maintenance plan prepared by RCM effect has been improved scheduled maintenance intervals, considering that formerly engaged 3 times a week and now intervenes only 2 times per week. The detail of this reduction is held in conduct effective and necessary for each type of asset that forms the Lifting System Mineral activities.

Keywords: Confidence Based Maintenance (RCM) Analysis of Failure Modes, Effects and Criticality (FMECA) Maintenance Plan Criteria Risk and Reliability, life cycle cost of an asset (LCC).

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
CAPÍTULO I	3
DESCRIPCIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1 Ámbito de desarrollo de la investigación	3
1.1.1 Política empresarial	5
1.2 Contexto operacional	8
1.2.1 Descripción	8
1.2.2 Niveles del sistema de Izaje	9
1.2.2.1 Nivel NV-1170	9
1.2.2.2 Nivel NV-1205	11
1.2.2.3 Pique vertical y equipos de Izaje	13
1.3 Antecedentes bibliográficos	14
1.4 Planteamiento y formulación del problema	35
1.4.1 Planteamiento del problema	35
1.4.2 Formulación del problema	37

1.5	Objetivos	37
1.6	Hipótesis	37
1.7	VARIABLES E INDICADORES	38
1.7.1	Variable independiente general	38
1.7.2	Variable dependiente general	38
1.7.3	Variable independiente específico	38
1.7.4	Variable dependiente específico	38
1.8	Metodología de la investigación	38
1.9	Tipo de estudio	40
1.10	Diseño de investigación	41
1.11	Periodo de investigación	42
1.12	Justificación e importancia de la investigación	42
CAPÍTULO II		43
MARCO TEORICO		43
2.1	Sistema de extracción vertical por piques	43
2.1.1	Tipo tracción	43
2.1.2	Número de elementos de transporte	45
2.1.3	Tipo de recipientes	47
2.1.4	Cables para el sistema	48
2.2	Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM	51

2.3 Efecto de la falla	58
2.4 Consecuencias de las fallas	59
2.4.1 Funciones ocultas y evidentes	60
2.4.2 Fallas ocultas y dispositivos de seguridad	60
2.4.3 Prevención de la falla oculta	61
2.5 Tareas proactivas	61
2.5.1 Factibilidad técnica	62
2.5.2 Fallas potenciales	63
2.5.3 El intervalo P-F	64
2.5.4 Intervalo P-F neto	64
2.5.5 Tareas de reacondicionamiento cíclico	65
2.5.6 Frecuencia de tareas de reacondicionamiento cíclico	65
2.5.7 Factibilidad técnica de tareas de reacondicionamiento cíclico	65
2.5.8 Efectividad de reacondicionamiento cíclico	66
2.5.9 Tareas de sustitución cíclica	66
2.5.10 Frecuencias de sustitución cíclica	66
2.5.11 Factibilidad técnica de la sustitución cíclica	67
2.6 Tareas de condición	67
2.7 Acciones a “falta de”	71
2.8 Ningún mantenimiento programado	72

2.9 Rediseño	73
2.10 Diagrama de flujo del RCM	73
2.11 Análisis de criticidad	74
2.11.1 Fundamentos del análisis de criticidad	75
2.11.2 Métodos para análisis de criticidad	76
2.12 Definiciones y conceptos del LCC	82
CAPITULO III	88
APLICACIÓN DEL RCM	88
3.1 Selección de activos críticos para la aplicación del RCM	88
3.1.1 Inventario de activos del sistema de izaje mineral	89
3.1.2 Evaluación de criticidad según el método del punto	90
3.1.3 Ciclo de vida de los activos críticos – tipo A	93
3.1.3.1 Faja principal	93
3.1.3.2 Loading Pocket	95
3.1.3.3 Skips	96
3.1.3.4 Winche	97
3.1.3.5 Polea	99
3.1.3.6 Scroll	100
3.1.4 Selección de activos críticos tipo “A”, luego del estudio del LCC	101
3.2 Aplicación del RCM utilizando el software 7PM	102

3.2.1 Introducción	102
3.2.2 Equipo de trabajo	102
3.2.3 Hoja de información	104
3.3 información para el proceso RCM 7PM	106
3.3.1 Panel de control	106
3.3.2 Pilar de confiabilidad	107
3.3.3 Proceso RCM	110
CAPITULO IV	116
RESULTADOS ALCANZADO LUEGO DE LA APLICACIÓN DEL RCM EN EL SISTEMA DE IZAJE	116
4.1 Resultados de costos de mantenimiento 2011 vs 2012	116
4.2 Resultados de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad (MTBF)	117
4.3 Resultados producción de izaje de mineral 2011 VS 2012	121
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
MATERIAL DE REFERENCIA	126
ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Descripción de la mina del Grupo Milpo	8
Tabla 1.2: Inventario de equipos Nivel -1170	10
Tabla 1.3: Inventario de equipos Nivel -1205	11
Tabla 1.4: Inventario de equipos izaje	13
Tabla 1.5: Indicadores de disponibilidad y gastos de inoperatividad	36
Tabla 3.1: Inventario de activos del sistema de izaje mineral	89
Tabla 3.2: Evaluación de criticidad según el método del punto	91
Tabla 3.3: Evaluación de la criticidad al inventario de equipos	92
Tabla 3.4: Ciclo de vida- faja principal	94
Tabla 3.5: Loading pocket	95
Tabla 3.6: Skips	96
Tabla 3.7: Winche de producción	98
Tabla 3.8: Poleas	99
Tabla 3.9: Scroll	100
Tabla 3.10: Activos críticos considerando el estado del LCC	101
Tabla 3.11: Aplicación del RCM	105
Tabla 4.1: Costo de mantenimiento 2011 vs 2012	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación unidad el porvenir	4
Figura 1.2: Zona de extracción	5
Figura 1.3: Flujo del proceso del nivel – 1170	10
Figura 1.4: Flujo del proceso del nivel – 1205	12
Figura 1.5: Flujo del proceso del Nv-1205	12
Figura 1.6: Flujo del proceso del sistema de izaje mineral	14
Figura 2.1: Tracción tipo tambor	44
Figura 2.2: Tracción tipo polea koepe	44
Figura 2.3: Diseño de sistema de tracción	45
Figura 2.4: Sistemas de emergencia para el frenado	46
Figura 2.5: Tipo de recipientes	47
Figura 2.6: Modelos de skips	48
Figura 2.7: Ligaduras de cables para el sistema	49
Figura 2.8: Velocidad y aceleración del sistema	50
Figura 2.9: Las 7 preguntas del RCM	52
Figura 2.10: Categorías de modos de falla	57

Figura 2.11: Curva e intervalo P-F	63
Figura 2.12: Intervalo P-F neto	64
Figura 2.13: Diagrama de Flujo del RCM	73
Figura 2.14: Matriz de criticidad	74
Figura 2.15: Matriz de criticidad	76
Figura 2.16: Metodología de análisis de criticidad de puntos	79
Figura 2.17: Metodología de Norsok Standard Z-008	81
Figura 2.18: Metodología de Norsok Standard Z-008	82
Figura 2.19: LCC de diferentes estrategias de mantenimiento	84
Figura 2.20: Costo anual equivalente	85
Figura 2.21: Costo anual equivalente - costo de utilización	85
Figura 2.22: Estructura de costos de los activos	86
Figura 2.23: Curva del presupuesto anual admisible	87
Figura 2.24: Interface LCC/ Mantenimiento	87
Figura 3.1: Proceso de mantenimiento de Cía. Minera Milpo, unidad “El Porvenir	88
Figura 3.2: Sistema de izaje mineral= Sistema mixto de activos	93
Figura 3.3: LCC- Faja principal	94

Figura 3.4: LCC- Loading pocket	95
Figura 3.5: LCC- Loading pocket	97
Figura 3.6: LCC- Winche mineral	98
Figura 3.7: LCC- Poleas	99
Figura 3.8: LCC- Poleas	100
Figura 3.9: Proceso RCM	103
Figura 3.10: Metodología RCM	103
Figura 3.11: Pantalla principal del programa 7pm	106
Figura 3.12: Pantalla principal del programa 7pm	106
Figura 3.13: Entorno del pilar de confiabilidad y los campo para su desarrollo	107
Figura 3.14: Inventario de equipos de los equipos que conforman el sistema de Izaje	107
Figura 3.15: Desarrollo de la evaluación de criticidad de los equipos	108
Figura 3.16: Resultado de la evaluación de la criticidad de los equipos y su clasificación(A, B y C)	109
Figura 3.17: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza el sistema y sub sistema	110

Figura 3.18: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza la funcional y falla	
Funcional	111
Figura 3.19: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza el modo y efectos	
de falla	112
Figura 3.20: Pantalla del proceso de RCM	113
Figura 3.21: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza las consecuencias	
y tareas a realizar	114
Figura 3.22: Pantalla del proceso de 7PM, desarrollo general y los 7	
campos que conforman el RCM	115
Figura 4.1: Costo de mantenimiento 2011 vs 2012	117
Figura 4.2: Disponibilidad del Sistema de Izaje Mineral de 2011 vs 2012	118
Figura 4.3: Resultados de confiabilidad weibull	119
Figura 4.4: Curva de confiabilidad	120
Figura 4.5: Resultado de MTBF 2011-2012	121
Figura 4.6: Resultado de la producción	122

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación explica el desarrollo del Plan de Mantenimiento Basado en la Confianza (RCM) para el Sistema de Izaje Mineral de Cia Milpo Unidad “El Porvenir”. El cual nace por la necesidad de mejorar la fiabilidad de los activos del Sistema de Izaje Mineral y se Justifica la Investigación en el Capítulo I.

En la investigación se elaboró una Planificación de Mantenimiento Basado en la Confianza para el Sistema de izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”, utilizando los criterios de valoración y técnicas del Mantenimiento Basado en la Confianza RCM.

En el Capítulo I: “Descripción y Aspectos Metodológicos de la Investigación”; se menciona la ubicación geográfica de Cia Milpo , Unidad “El Porvenir”, su política empresarial , también describo la construcción de la investigación identificando la categoría , subcategorías y su respectivo análisis para fundamentar el problema, objetivos, hipótesis, variables y la justificación. Descripción del Sistema de Izaje Mineral”; contiene el esquema de funcionamiento del Sistema de Izaje Mineral, flujo de proceso y los niveles de operación.

En el Capítulo II: “Marco Teórico y Marco Conceptual de la Investigación”; contiene la definición de la metodología del mantenimiento basado en la confianza(RCM), el proceso de la evaluación de los activos críticos y la definición e importancia del LCC (costo del ciclo de vida de un activo), para ayudar a identificar el activo crítico.

En el Capítulo III:” Aplicación Del RCM”; contiene la evaluación de criticidad de

los activos, aplicación del LCC para los activos críticos del tipo A y la elaboración del plan de mantenimiento del RCM. El plan de Mantenimiento de los Activos Críticos A”, contiene el plan desarrollado donde se describe las actividades a realizar, los tipos de mantenimientos y las frecuencias de mantenimientos.

En el Capítulo IV: “Resultados Alcanzado Luego de la Aplicación del RCM en el Sistema de Izaje”; en este capítulo se demuestra los resultados alcanzados luego de la implementación y verificación la hipótesis planteado en la investigación.

Finalmente el trabajo finaliza con las Conclusiones, Recomendaciones y Anexos, donde se encuentra el desarrollo del plan de mantenimiento, flujos de proceso del sistema de izaje, fichas técnicas de los activos del sistema de Izaje Mineral de Cia. Milpo Unidad El Porvenir y las evidencias de las reuniones que desarrollaron para culminar con la investigación efectuada.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Ámbito de desarrollo de la investigación

Desde 1949, MILPO es un grupo minero peruano dedicado al desarrollo y operación de minas medianas, productoras de cobre, zinc, plomo, plata y oro. Actualmente cuenta con cinco unidades operativas: la mina El Porvenir (Pasco), la mina Atacocha (Pasco) adquirida en noviembre de 2008, la mina y refinería Iván (Antofagasta – Chile), la Mina Chapí (Moquegua) y la Mina Cerro Lindo (en Ica) desde julio de 2007. Asimismo, el Grupo continúa priorizando su estrategia de crecimiento orientada a la construcción de nuevas unidades operativas, así como posibles adquisiciones. Para ello, se cuenta con una interesante cartera de proyectos, en diferentes estados de avance, en la que destacan los proyectos Hilarión y Pukaqaqa.

Unidad el Porvenir

Ubicada en Cerro de Pasco, Perú, a 4200 msnm y a 190 km en línea recta al noreste de Lima. El Porvenir, la primera mina de Milpo, es considerada la mina subterránea más profunda del Perú y una de las más profundas de Latinoamérica (Extracción a 1250 metros debajo de la superficie).

Su volumen de producción es de 5,600 toneladas por día.

Figura 1.1: Ubicación unidad el porvenir



Fuente: Grupo Milpo

Produce concentrados de zinc, plomo y cobre, con contenidos de oro y plata, a través de la flotación de mineral en su propia planta concentradora, la misma que tiene una capacidad instalada de 5,600 tpd

Figura 1.2: Zona de extracción



Fuente: Grupo Milpo

1.1.1 Política empresarial

El Grupo Milpo, líder en el Sector minero-metalúrgico, cree en la importancia de desarrollar su actividad minera de acuerdo con su Misión y estándares elevados en conservación del medio ambiente, calidad, seguridad y salud ocupacional y bienestar de las poblaciones situadas en el entorno de nuestras operaciones mineras

Estos principios se traducen en la presente POLITICA EMPRESARIAL y son la base del crecimiento sostenido del Grupo Milpo, lo que beneficia a sus accionistas, trabajadores y poblaciones del entorno.

1. Prevenir la contaminación, reducir los impactos ambientales, los riesgos de seguridad y salud ocupacional; protegiendo la vida y salud de los

trabajadores y de los pobladores que habitan en el entorno de nuestras operaciones.

2. Fomentar y difundir en todos los trabajadores del Grupo Milpo, visitantes y partes interesadas, nuestra cultura de respeto al ambiente, a la seguridad y salud del trabajador y a las poblaciones que habitan en el entorno de nuestras operaciones.
3. Capacitar y motivar a nuestros trabajadores para que desarrollen sus actividades con calidad, cuidado del ambiente, seguridad y respeto al entorno social.
4. Cuidar que todos los trabajadores reciban remuneraciones justas acorde con la labor que desarrollan, así como condiciones de trabajo dignas y orientadas a su desarrollo laboral y personal.
5. Desarrollar actividades a favor del bienestar de las poblaciones que habitan en el entorno de nuestras operaciones, respetando su cultura y tradiciones.
6. Promover el mejoramiento continuo de la eficacia del Sistema de Gestión Integrado, buscando superar el cumplimiento de las normas ambientales, de calidad, de seguridad y salud ocupacional, contenidos en los requisitos legales y otros aceptados por la organización.
7. Brindar un producto que satisfaga la calidad requerida por nuestros clientes, en forma oportuna, optimizando costos de producción y siendo competitivos internacionalmente.
8. Impulsar el uso de Tecnologías modernas, contar con la infraestructura adecuada que aseguren la calidad de los procesos, del

producto y servicio; libre de contaminantes y que brinden la seguridad y salud del trabajador.

9. Consecuentemente todos quienes integramos el Grupo Milpo, declaramos nuestro compromiso de cumplir con los principios contenidos en la presente POLÍTICA EMPRESARIAL, evaluando cada año su cumplimiento y los resultados obtenidos.

Visión

Alcanzar 1 millón de toneladas de concentrado y cien mil toneladas de finos de cobre, asegurando el bienestar de nuestros trabajadores y socios de negocio, manteniendo costos competitivos, ofreciendo productos de alta calidad, innovando permanentemente, alcanzado los más altos estándares de seguridad y medio ambiente y contribuyendo al desarrollo sostenible de las comunidades cercanas a nuestras operaciones.

Misión

Compañía Minera Milpo S.A.A y subsidiarias (Grupo Milpo) es un grupo líder en la concepción, ejecución y operación de proyectos minero-metalúrgicos que crean valor para sus accionistas, clientes, trabajadores, socios de negocio y comunidades.

Nos distinguimos por nuestra capacidad para identificar oportunidades que nos permiten incrementar recursos, reservas y realizar los proyectos que sean necesarios para mantener altas tasas de rentabilidad y crecimiento.

Valores

- **Solidez;** Buscar crecimiento sustentable con generación de valor.
- **Ética;** Actuar de forma responsable y transparente.
- **Respeto;** Respeto a las personas y disposiciones para aprender.
- **Espíritu Emprendedor;** Crecer con coraje para innovar e Invertir.
- **Unión;** El todo es más fuerte.

1.2 Contexto operacional

1.2.1 Descripción

El Porvenir, es la primera mina del Grupo Milpo, que se encuentra a 1250 metros de profundidad y es considerada la mina subterránea más profunda del Perú y una de las más profundas de Latinoamérica, el cual se describe en la tabla 1.1.

Tabla 1.1: Descripción de la mina del Grupo Milpo

Ubicación	Provincia de Cerro de Pasco, departamento de Pasco, a 321 km de Lima.
Altitud	4,200 msnm.
Inicio de Operaciones	Abril de 1949.
Características	Mina polimetálica subterránea. La extracción se realiza a 1,250 m de profundidad.
Producción	Produce concentrados de zinc, plomo, cobre con contenidos de plata y oro. A la fecha, se está realizando un proyecto de profundización de la mina en 02 etapas: Proyecto de profundización primera etapa llegará a los 1,370m. Proyecto de profundización segunda etapa llegará a los 1,570 m.
Volumen de Producción	La capacidad de producción instalada es 5,600 ton /día.

Fuente: Grupo Milpo

1.2.2 Niveles del sistema de Izaje

El sistema de Izaje mineral está constituido por 2 niveles de transporte de mineral en interior mina y por un sistema de transporte vertical de 1250 metros de profundidad. A continuación se menciona los niveles de producción y los equipos que lo conforman:

1. Nivel -1170
2. Nivel -1205
3. Pique vertical

1.2.2.1 Nivel NV-1170

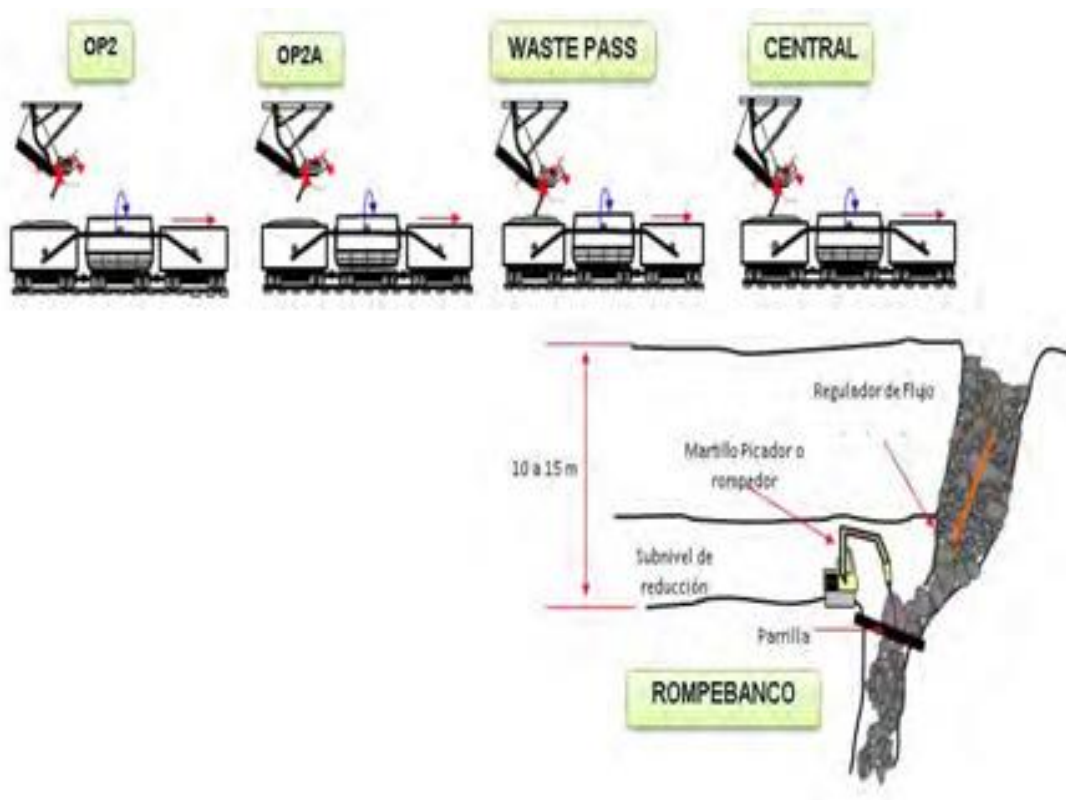
En este nivel llega el mineral extraído del ciclo de minado desarrollado en los niveles nv-970,-1000 y-1100, que por medio de chimeneas y echaderos llegan al nv-1170 para ser trasladados por medio de los siguientes equipos, el cual se describe en la tabla 1.2 y figura del flujo de proceso 1.3.

Tabla 1.2: Inventario de equipos Nivel -1170

ITEM	CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
10	TO-01	Tolva Central NV-1170
11	TO-02	Tolva Wass Pass NV- 1170
12	TO-03	Tolva OP2 A NV- 1170
13	TO-04	Tolva OP2 NV- 1170

Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

Figura 1.3: Flujo del proceso del nivel - 1170



Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

Las 4 tolvas electrohidráulicas(figura del flujo de proceso 1.3) ubicadas en el mismo nivel pero en distintos puntos, alimentan a los carros mineros y por medio de locomotoras eléctricas transportaran el mineral hasta descargar en una zaranda metálica donde también se encuentra un rompedor de rocas hidráulico , que segmentara en menor dimensión el mineral y por caída libre llegara al Nivel Nv-1205.

1.2.2.2 Nivel NV-1205

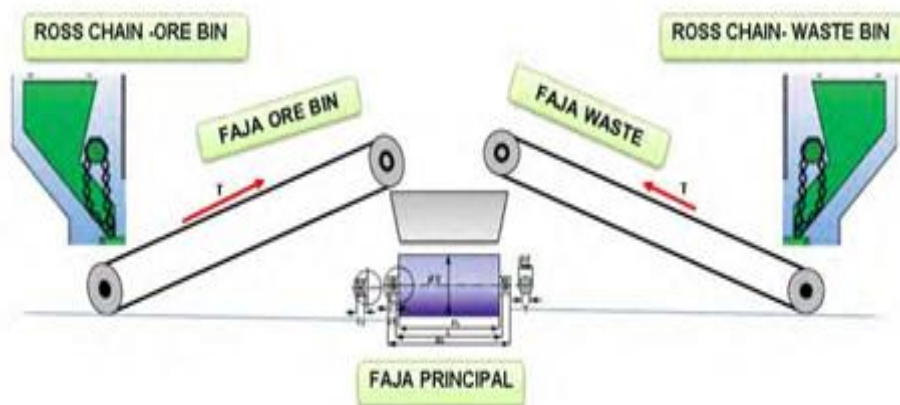
En este nivel llega el mineral segmentado del acarreo efectuado en el nv-1170 y por medio de los equipos electromecánicos totalmente automatizados, que se describe en la tabla 1. 3, servirán para alimentar el loading pocket, para luego ser descargados a los skips en el último nivel de la mina. Ver en el flujo de proceso figura 1.4-1.5.

Tabla 1.3: Inventario de equipos Nivel -1205

ITEM	CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
3	SKIP-01	SKIP 7
4	SKIP 02	SKIP 8
14	POCK-01	Loading Pocket NV-1205
15	TRAN-01	Transfer Car NV-1205
16	FA-01	Faja Ore Bin NV-1205
17	FA-02	Faja Waste Bin NV-1205
18	FA-03	FAJA PRINCIPAL NV-1205
19	ROSS-01	ROSS CHAIN- Ore Bin NV-1205
20	ROSS-02	ROSS CHAIN- Waste Bin NV-1205

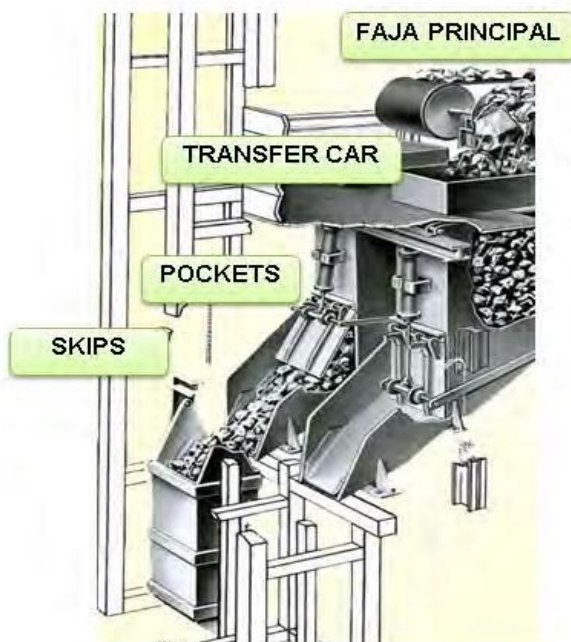
Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

Figura 1.4: Flujo del proceso del nivel - 1205



Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

Figura 1.5: Flujo del proceso del Nv-1205



Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

1.2.2.3 Pique vertical y equipos de Izaje

Es la estructura vertical y medio de transporte desde la parte inferior de la mina a superficie, siendo el uso de estos equipos de izaje el medio más seguro y rápido que existe en la actualidad en una minería subterránea. A continuación se describen los equipos que conforman el sistema de izaje mineral en la tabla 1.4 y en la figura 1.6 el flujo de proceso general del sistema de izaje de Cia Milpo – “El Porvenir”.

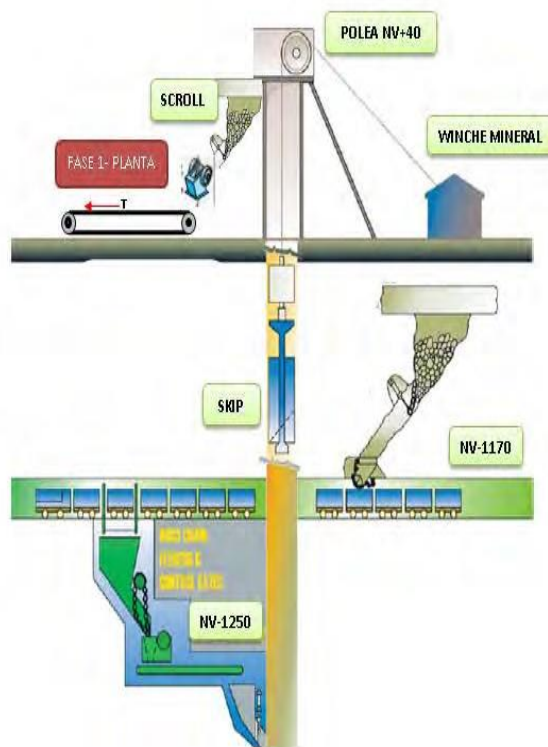
Tabla 1.4: Inventario de equipos izaje

ITEM	CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN
1	WP-01	WINCHE DE PRODUCCIÓN
5	SCR-01	SCROLL NV +18
7	PO-01	POLEA DERECHA NV+40- WINCHE PRODUCCIÓN
8	PO-02	POLEA IZQUIERDA NV+40- WINCHE PRODUCCIÓN

Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

Siendo la parte motriz y fundamental del sistema de izaje mineral el Winche de producción, el cual aunado a los skips transportan el mineral desde 1205 metros de profundidad a 2600 ft/min para luego ser descargados en el Scroll, los cuales direccionaran este mineral a la chancadora primaria de planta concentrador, siendo el objetivo final del Sistema de Izaje Mineral.

Figura 1.6: Flujo del proceso del sistema de izaje mineral



Fuente: Grupo Milpo- Unidad el porvenir

1.3 Antecedentes bibliográficos

Los antecedentes de investigación evidencian el interés tanto en el ámbito nacional como internacional al estudio de las variables presentadas. Al respecto, Rojas (2010, p.2) señala que se refiere a los estudios previos y tesis de grado relacionadas con el problema planteado, es decir, investigaciones realizadas anteriormente y que guardan alguna vinculación con el problema en estudio. Debe evitarse confundir los antecedentes de la investigación con la historia del objeto de estudio en cuestión. En este punto se deben señalar, además de los autores y el año en que se realizaron los estudios, los objetivos y principales hallazgos de los mismos. Aunque los antecedentes constituyen elementos teóricos, éstos pueden preceder a los objetivos, ya que su búsqueda es una de las primeras actividades que debe realizar el tesista, lo que le

permitirá precisar y delimitar el objeto de estudio y por consiguiente los propósitos de la investigación.

Se han podido establecer diversos antecedentes de investigación que guardan relación con el tema planteado, entre los antecedentes que más se aproximan. Los antecedentes que describen y ponen en práctica la aplicación e implantación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), así optimizar la producción en las unidades comerciales objeto de estudio, así como la disponibilidad de equipos. Cada uno de los estudios citados guarda relación con la presente investigación, ya que a partir del mantenimiento centrado en la confiabilidad se priorizará procesos, producción, disponibilidad, etc. Tal es el caso de la investigación que tiene como objetivo aumentar el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de los equipos que conforman el Sistema de Izaje Mineral.

Antecedentes nacionales

Córdova, R. (2005) presentó el estudio: *“Implantación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores Peirce Smith de la fundición de cobre de Southern Perú Copper Corporation”*. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Resumen:

El presente trabajo contempla el estudio y el uso efectivo de estrategias de mantenimiento propuestos por la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) aplicado a los Hornos Convertidores Peirce Smith de la Fundición de Cobre de Southern Perú.

Objetivo

Demostrar que la implantación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad como filosofía de mantenimiento incrementará el índice de disponibilidad de los Hornos Convertidores PS de la Fundición de Cobre de Southern Perú.

Conclusiones:

- La propuesta de reducción de tiempo del 50% del código de falla TATM de tapas de toberas, se justifica mediante el benchmarking realizado en la fundición de cobre de la compañía minera Codelco de Chile, mediante la operación de un nuevo diseño de toberas, el cual permitió la reducción del 50% de las fallas en los hornos convertidores PS.
- Para el año 2006, se propone la misma distribución de tiempos para los Hornos Convertidores PS; y para el año 2007, cuando comience a operar la nueva fundición el índice de disponibilidad será de aproximadamente 95.1%, incremento del 14.9%, debido a que se eliminará los tiempos por SCP.
- Mediante la jerarquización de equipos y la formulación de los criterios necesarios para el análisis, se incrementó la importancia de la seguridad operacional y la protección ambiental.
- La implantación del RCM, fomentó el trabajo en equipo, convirtiéndolo en algo rutinario; donde las reuniones fueron dinámicas, logrando sinergia al interior del grupo natural de trabajo y ayudando al personal.

Da Costa, M. (2010) presentó el estudio:” *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción*”. Tesis

para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica de Lima, Perú.

Resumen

El uso de la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM) contempla no solamente el estudio del equipo como tal sino de los subsistemas que lo conforman y la interacción con el entorno físico que lo rodea. En esta tesis primero se realizó una adecuada identificación de los problemas que nos dificultan la maximización de la función de los motores a gas de dos tiempos a través del Análisis de modo, fallas, causas y efectos (AMEF).

Al definirse los modos y las causas de las fallas se pudieron establecer la criticidad de cada una ellas y el impacto en las metas de producción, mantenimiento, salud y medio ambiente; así como su priorización. Mediante el desarrollo de la metodología a lo largo del desarrollo del tema se determinaron las siguientes estrategias de mantenimiento para la eliminación de las causas de las fallas identificadas:

- Optimización del mantenimiento preventivo.
- Implementación de mantenimiento predictivo.
- Optimización del cambio sistemático de componentes en función de la frecuencia de las fallas.
- Implementación de inspecciones sensoriales por parte de los operadores.
- Identificación de mejoras en las instalaciones a cargo de Ingeniería de Mantenimiento.
- Identificación de repuestos críticos.

- Como resultado de la aplicación de la metodología se espera lograr incrementar la vida útil de los componentes de los equipos, así como la disponibilidad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias, incrementando así, las ventas por la recuperación de petróleo crudo a un menor costo de mantenimiento.

Objetivos

- a) Calcular e identificar los valores numéricos de los parámetros característicos de los motores de combustión interna de dos tiempos, determinando así la etapa de la vida útil en que se encuentra cada equipo.
- b) Evaluar las condiciones de vida útil y la confiabilidad de los motores de dos tiempos desde su puesta en marcha hasta el 30 de noviembre del 2005 (fecha final del registro de la data), tanto de manera individual como del sistema, con la finalidad de realizar las mejoras de los mantenimientos preventivos y correctivos.
- c) Alcanzar la relación de subsistemas y partes críticas de los motores de dos tiempos, para realizar una mejor programación de la logística de repuestos y partes.
- d) Disminución del promedio anual de días de parada no programada.

Conclusiones:

- Mediante la determinación del Tiempo medio entre Falla (MTBF) nos permitió determinar la frecuencia óptima de intervención de cada uno de los motores analizados a través del método gráfico; esta etapa es de mucha importancia dado que influye directamente en la hoja de decisiones y en el establecimiento de las tareas de mantenimiento preventivo de cada uno de los motores.
- Teniendo en cuenta que el periodo de realización de mantenimiento mayor de los motores es de 3 años (1080 días); de los 4 equipos que se encuentran en su etapa de desgaste, 3 de ellos han llegado a este estado de manera prematura, ya que su periodo de operación no ha superado los 500 días (un periodo menor de año y medio).
- De los 17 equipos estudiados 8 de ellos presentan un $\beta < 1$, por tanto el equipo se presenta dentro de su etapa infantil de fallas nos, describe un problema de diseño, asentamiento o en el montaje del motor en la unidad de bombeo. Asimismo, se presentan 5 equipos que se encuentra dentro del periodo de vida útil ($0.98 \leq \beta \leq 1$) por tanto las fallas a presentarse serán del tipo aleatoria y solamente con la aplicación de un correcto monitoreo y mantenimiento preventivo serán las herramientas efectivas para optimizar e incrementar la operación del equipo en esta etapa de trabajo que presenta, garantizando así la disponibilidad de los mismos así como su confiabilidad.

Antecedentes internacionales

Vásquez, D. (2008) presentó el estudio: “*Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en Motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina*”. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Universidad Austral de Chile.

Resumen

Ésta tesis aplica un plan de mantenimiento denominado “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” en los motores de los grupos generadores de la planta de procesos en Codelco División Andina. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es un método desarrollado a comienzos de los años 60 en la industria aeronáutica para mejorar las técnicas de mantenimiento, ya sea preventivo, predictivo o correctivo.

Éste método es bastante sencillo y se enfoca en aplicar una táctica de mantenimiento a un modo de falla específico. Para el desarrollo de ésta tesis se trabajó desde el 1 de Marzo hasta el 31 de Septiembre del año 2005 en División Andina de Codelco. Allí se realizaron las reuniones y las visitas a terreno para finalmente llegar al análisis RCM. Antes de realizar el análisis se describe el proceso RCM paso a paso con toda la teoría necesaria para una correcta aplicación. Este trabajo describe el motor Detroit Diesel 16V-149TI y lo divide en subsistemas para así poder describir individualmente la falla de cada uno de ellos y cómo afecta al motor. Finalmente se entrega el análisis RCM, el cuál al terminar la práctica-tesis en la división será incluido en el Software RCM Toolkit, el cuál administra todos los análisis RCM que se han desarrollado en Codelco División Andina.

Objetivo general

Elaborar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM para aumentar la disponibilidad de los motores Detroit Diesel 16V-149TI, de la sala de generación de emergencia en Codelco División Andina.

Objetivos específicos

- Comprender el proceso productivo de División Andina. Identificar el equipo y los sistemas que lo componen. Comprender y aplicar el método RCM en el Motor Detroit Diesel 16V-149TI, definiendo funciones, fallas funcionales, modos de falla, efectos de las fallas y asignándole a cada una su tarea proactiva adecuada, todo esto dentro del contexto operacional del equipo.
- Desarrollar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en los Motores Detroit 16V-149TI, el que incluye: la Hoja de Información, Hoja de Decisión y Hoja de trabajo de RCM.

Conclusiones

- Al término de ésta tesis no se pudo cumplir su objetivo central, el cuál fue aplicar el RCM en los Motores 16V-149TI, ya que el período proporcionado por Andina para el desarrollo de esta tesis fue desde Febrero a Octubre del año 2005; el análisis se termina en Septiembre del mismo año, y desde este mes los equipos se utilizan solo para la generación de emergencia eléctrica. Por lo que no se pudo ver los resultados de este plan de mantenimiento. Sin embargo se realizó el análisis completo del motor y se ingresó al software RCM Toolkit

para su posterior aplicación por parte del Departamento de Mantenición.

- El equipo se dividió en subsistemas para un mayor detalle en la descripción de la función, en la falla funcional, en el modo de falla y en la consecuencia de la falla.
- El RCM se puede aplicar a cualquier equipo o conjunto de ellos. Lo fundamental es preparar una persona experta o facilitador en RCM y alimentarlo con el personal técnico, que es el que tiene los conocimientos de los activos, en cuanto a funcionamiento, operación, fallas, mantenciones, etc.
- Debido a que los procedimientos de mantenimiento de un equipo establecidos por los distribuidores, generalmente son efectivos hasta cierto punto, ya que no todos los equipos operan bajo los mismos parámetros de funcionamiento, o bajo el mismo contexto operacional, realizar un análisis RCM a un equipo nuevo o que lleve poco tiempo operando es de gran ayuda para el personal de mantenimiento, porque se pueden tomar decisiones más rápidas y más asertivas en cuanto a las posibles fallas y su respectiva tarea proactiva a realizar.

Cajas, C. (2009) presentó el estudio: “*Planificación de mantenimiento basado en el método de la confiabilidad RCM para motores estacionarios de la planta Termopichincha S.A*”. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

Resumen:

El presente proyecto se desarrolla una aplicación práctica del mantenimiento centrado en confiabilidad, basado en las Normas SAE JA1011 y SAE JA1012, sobre los motores estacionarios de la Central Termoeléctrica Guangopolo Termopichincha S.A.

Actualmente, el mantenimiento es uno de los pilares fundamentales de la industria junto con la calidad de los productos y servicios. Pero suele ser descuidado por las políticas administrativas y financieras e incluso puede llegar a ser considerado un gasto.

El Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad (RCM) evalúa las tareas de mantenimiento a través de las consecuencias de las fallas funcionales que se puedan producir, evitando de esta forma el sobre mantenimiento del bien, además incluye criterios de valoración como los daños al medio ambiente o a la seguridad industrial.

Para la aplicación del proceso RCM se ha recolectado datos de modos y efectos de falla de manuales, registros y del personal de mantenimiento. Se ha elaborado una base de datos que en adelante facilitara la recolección de este tipo de información. Para valorar las consecuencias de falla se ha programado un algoritmo que determina el tipo de tarea de mantenimiento a realizarse pero siempre la tarea como tal es elaborada por el ingeniero mecánico.

Conclusiones

- El mantenimiento centrado en la confiabilidad no es una política general de mantenimiento, es un criterio de valoración del mantenimiento aplicado, guiado por las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012 , que se muestra si una tarea de mantenimiento es adecuada para mitigar las consecuencias de falla de cada modo de falla.
- Los modos de falla de los motores Mitsubishi MAN v9v40/54 de la Central de Guangopolo perteneciente a la empresa Termopichincha S,A, fueron valorados por medio del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad basándose en la Normas SAE JA1011 y SAE JA 1012; el contexto operacional , las funciones y parámetros de prestación deseados para los cuatro motores en servicio son

similares de tal forma que se puedan tratar su información como una familia de sistemas.

- Una de las fuentes de información más adecuadas acerca de los modos y consecuencias de falla es el personal de mantenimiento y operación, que son las personas más cercanas al sistema.
- Los intervalos P-F para establecer el tiempo entre inspecciones predictivas pueden ser calculados mediante métodos estadísticos pero deben ser ajustados al contexto operacional mediante la información recogida de los usuarios del sistema, el gran problema de los métodos estadísticos es la integración de la información histórica de los sistemas.
- Después de pasar los modos de falla por el diagrama de decisión del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se determina que varios de estos son provocados por la misma ejecución del mantenimiento, de aquí, la importancia de evitar el sobre mantenimiento de los sistemas a través de la valoración de sus consecuencias.
- En el procedimiento de arranque de los motores, la mayoría de los modos de falla corresponden a tareas correctivas de mantenimiento, mientras que en operaciones la mayoría de modos de falla corresponde a tareas predictivas o preventivas.
- La importancia de los subsistemas de control (termómetros, manómetros y señales) radica en la posibilidad de que una falla funcional y sus modos de falla se hagan evidentes lo más pronto posible.
- Un error muy frecuente en las industrias es le forzar a las instalaciones a las nuevas demandas de los productos, lo que se traduce en una sobrecarga

deliberada del sistema y muy posiblemente en las fallas funcionales del sistema.

- Para que un activo físico se puede considerar mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del rango de su capacidad inicial, lógicamente los activos físicos deben estar diseñados bajo el mismo concepto.

Recomendaciones

- Se debe tener claro que ninguna tarea de mantenimiento pueda aumentar la confiabilidad de diseño de ninguna activo físico, de igual manera ninguna tarea de mantenimiento pueda lograr que un activo físico sobrepase su capacidad inicial de funcionamiento.
- El nivel de detalle con el que se especifique los modos pueda ser peligroso para, el mantener la información a un nivel muy superficial pueda ser peligroso para las instalaciones, pero de igual forma el detallar demasiado los modos de falla puede llevar a que el proceso RCM lleve mucho más tiempo del necesario y mayores costos, se debe tener el criterio adecuado para saber seleccionar los modos de falla donde profundizar debido a su severidad y por su probabilidad de que ocurra.
- Las políticas de mantenimiento predictivo y preventivo deben estar fundamentadas en las consecuencias de cada modo de falla, dependiendo de la función de cada activo físico y de su contexto operacional, adicionalmente, el mantenimiento centrado en la confiabilidad toma en cuenta factores antes evitados por las áreas de mantenimiento como la seguridad y las consecuencias al medio ambiente.

- Se debe garantizar que los dispositivos de medida (manómetro, termómetros, vatiómetros y señales) permanezcan siempre disponibles, lo que garantizará la detección a tiempo de un modo de falla.
- Se debe garantizar que los dispositivos de seguridad permanezcan en buen estado para evitar que el sistema caiga en una falla funcional múltiple.

Hernández, R. (2010) presentó el estudio: “Propuesta de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad”. Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ingeniería Aeronáutica en el Instituto Politécnico Nacional, México.

Resumen:

En los estudios de confiabilidad el tiempo de falla es la variable o característica de calidad que tiene especial interés. Los tiempos de falla suelen tener un comportamiento asimétrico, es por esto que las distribuciones de probabilidad más comunes para modelar tiempos de vida son como la de Weibull, log normal, exponencial y gamma, entre otras. Un programa de mejora de la confiabilidad ofrece una alternativa inteligente para mejorar la función de mantenimiento. Se deben mantener archivos históricos de los equipos críticos e importantes y hacer estimaciones del tiempo medio entre fallas. En el presente proyecto se aplica el modelo de distribución exponencial para los tiempos de falla con el fin obtener las funciones de Confiabilidad del Limitador de Carga de Batería (BCL: Battery Charge Limiter), para la realización del análisis que permita proponer un programa de mantenimiento preventivo y mantener la confiabilidad en niveles altos del BCL de la flota A320 de Mexicana de Aviación; así mismo se aplica el modelo de distribución exponencial para los tiempos de falla y se obtienen las funciones de Confiabilidad del

Concentrador del Sistema de Adquisición de Datos (SDAC: System Data Acquisition Concentrator) y además se propone un programa de mantenimiento preventivo que podría mejorar el nivel de confiabilidad del SDAC de la flota A320 de Mexicana de Aviación. Resultados Obtenidos: En la función de distribución acumulada, para el BCL se observó el aumento de la probabilidad de falla conforme aumenta el tiempo. Así mismo de la función de Confiabilidad para el BCL se puede apreciar la disminución de la probabilidad de que no ocurra falla, para volverse crítico para las 25000 horas de operación. En la función de distribución acumulada, para el SDAC se observa el aumento de la probabilidad de falla conforme aumenta el tiempo. Así mismo de la función de Confiabilidad para el SDAC se puede apreciar la disminución de la probabilidad de que no ocurra falla, para volverse crítico para las 35000 horas de operación. Este tipo de trabajo puede realizarse con otros componentes electrónicos o mecánicos que sean susceptibles de un mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad.

Antecedentes

El mantenimiento centrado en la confiabilidad fue desarrollado en United Airlines como encargo de la FAA, con un estudio sobre la eficiencia de las reparaciones generales, basadas en el tiempo; y en los componentes de los sistemas de las aeronaves. De aquí se pudo observar los patrones comunes de fallas. Durante la vida de los componentes, las fallas están relacionadas con eventos aleatorios que provocan un deterioro acelerado del funcionamiento del equipo, el cual se puede monitorear por medio de técnicas de mantenimiento preventivo. El RCM es un procedimiento para determinar las estrategias de mantenimiento basadas en técnicas de confiabilidad y

conlleven métodos de análisis bien conocidos tales como el efecto del tipo de falla y el análisis crítico. Los procedimientos del RCM toman en cuenta los objetivos primarios de un programa de mantenimiento: Minimizar costos, cumplir con los objetivos de seguridad y ambientales, cumplir con los objetivos operacionales.

Justificación

Se realizó el estudio de confiabilidad del BCL y del SDAC, como proyecto de tesis, para cumplir con parte de los requisitos para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería Aeronáutica, opción Mantenimiento y Producción de ESIME UPT.

Se aplicó el modelo de distribución de probabilidad exponencial ya que es el que más se adecua para estudios de componentes electrónicos de alta calidad. La metodología del presente estudio es aplicable a otros componentes susceptibles de mantenimiento preventivo, si se aplica, entonces se pueden obtener beneficios económicos importantes.

Objetivo

Aplicar los conceptos del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), utilizando el análisis para la distribución exponencial de dos unidades electrónicas (BCL y SDAC) de la flota A320 de Mexicana de Aviación. Se pretende con el presente proyecto aplicar el modelo de distribución exponencial para los tiempos de falla (ajustes electrónicos) y obtener las funciones de Confiabilidad del Limitador de Carga de Batería (BCL: Battery Charge Limiter), para así realizar el análisis que permita establecer un programa de mantenimiento preventivo y mantener la confiabilidad en niveles altos del BCL. Del mismo modo aplicar el modelo de distribución exponencial para los tiempos de falla (falla provocada por contaminación

por polvo) y obtener las funciones de Confiabilidad del Concentrador del Sistema de Adquisición de Datos (SDAC: System Data Acquisition Concentrator) y realizar el análisis para proponer un programa de mantenimiento preventivo para mejorar el nivel de confiabilidad del SDAC de la flota A320 de Mexicana de Aviación.

Metodología

Se siguió el modelo de distribución exponencial para los tiempos de falla de tipo ajuste para el BCL y de tipo contaminación por polvo, para el SDAC. Se aplicaron los modelos matemáticos dados para la distribución exponencial, se capturaron los datos utilizando Excel 2000 y se obtuvieron las funciones: de densidad, de distribución acumulada, de confiabilidad, de riesgo, de riesgo acumulado y cuantíl, así como la vida media, después se obtuvieron los gráficos de estas funciones y de esta manera se analizaron los datos para dar una recomendación del tiempo apropiado para un mantenimiento preventivo.

Conclusiones y recomendaciones

- En la función de distribución acumulada, para el BCL se observa el aumento de la probabilidad de falla conforme aumenta el tiempo.
- Así mismo de la función de Confiabilidad para el BCL se puede apreciar la disminución de la probabilidad de que no ocurra falla, para volverse crítico para las 25000 horas de operación.
- De acuerdo a lo anterior y las demás funciones obtenidas se sugiere que, para seguir manteniendo la confiabilidad de los BCL, se establezca un programa de mantenimiento preventivo de la siguiente forma:

- Considerando que la mayoría de las unidades electrónicas son removidas del avión durante el servicio C para la limpieza de las repisas, identificar los números de serie de los BCL#1 y BCL#2.
- Considerando que en promedio se dio mantenimiento de ajuste a los BCL a las 11645 hrs. de operación y en este periodo también se aplicaron 2 boletines de servicio que mejoraron la confiabilidad de los BCL. Si los números de serie del avión en servicio C tienen más de 25000 hrs. de operación deberán removerse.
- Se entregarían al Almacén de Rotables para hacerlos llegar al Taller ATEC para su revisión, limpieza y reajuste de acuerdo a sus PIT.
- Se entregarían nuevamente al Almacén de Rotables para ser instalados en el avión correspondiente en servicio C.
- Deberá darse seguimiento al comportamiento de las unidades para verificar si esta acción ha sido efectiva en mantener la confiabilidad y la estabilidad de operación de los BCL.

Rojas, R. (2010) presentó el estudio:” *Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos*”. Tesis para optar el grado académico de Master en Administración de proyectos en la Universidad Para La Cooperación Internacional, Costa Rica.

Resumen:

El Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, como uno de los principales centros de generación hidroeléctrica del país plantea dentro de sus objetivos suplir 134 megavatios de electricidad al Sistema Nacional Interconectado (SIN), así como desarrollar un Plan de

manejo de cuenca del río Pirrís. El ICE requiere para este tipo de obras de generación, equipos especiales que garanticen su realización. Dentro de este sinnúmero de equipos encontramos las plantas de concreto, las cuales pasan a ser vitales en las etapas finales de todo proyecto, ya que son las encargadas de producir el concreto requerido en las diferentes obras como túnel de conducción, presa, casa de máquinas etc. La confiabilidad en las plantas de concreto pasa a ser un factor determinante en el logro de los objetivos planteados por la organización. En la actualidad las técnicas de mantenimiento preventivo aplicadas a las plantas de concreto por el personal técnico especializado se vuelven más difíciles de realizar, debido a diseños más complejos en estos equipos. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) por sus siglas en inglés, como proceso sistemático moderno de mantenimiento, surge como una posible solución del departamento de mantenimiento y de la organización para solventar los problemas en la disponibilidad del equipo. El objetivo general de este documento es poder establecer un plan de implementación del RCM en una planta de concreto del P.H Pirrís, que sirva como guía a los demás proyectos que utilicen estos activos. En base a las nueve áreas de conocimiento que plantea el PMI, se establecen para el desarrollo de este plan, las áreas de alcance, tiempo, recursos humanos e integración. Para ello es necesario conformar un grupo de trabajo, el cual corresponde al equipo de proyecto, integrado por técnicos calificados eléctrico y mecánico, operadores de las plantas de concreto, ingeniero administrador del equipo, así como personal calificado de Servicios Técnicos (SETEC) y Maquinaria Equipo y Talleres (MET). Además de toda la información técnica del equipo, como diagramas, manuales, etc. y el juicio de expertos, los cuales serán factores claves de éxito del proyecto. En lo referente a los objetivos específicos, el plan busca que por medio del proceso de RCM aplicado a una

Planta de Concreto del P.H Pirrís, previamente seleccionada, se elabore un manual de implementación. El desarrollo del proyecto permitirá además poder aplicar con el grupo de trabajo un análisis de mejora a todos los sistemas de la Planta de Concreto. Posteriormente se debe evaluar el riesgo de falla de cada componente de los sistemas de la Planta de Concreto, en base a un análisis de modos de falla aplicado, y se debe buscar resolver la causa raíz en base a la optimización de los programas de mantenimiento.

Además el proyecto debe permitir la elaboración del manual de RCM, en donde se incluyan listas de chequeo diario para el operador, así como mejorar los instructivos de mantenimiento preventivo actuales, es necesario incluir listas de repuestos y consumibles requeridos en el proceso de RCM, a fin de garantizar que la planta continúe trabajando dentro de su contexto operacional actual.

Problemática

Para el proyecto Pirrís representa de gran importancia contar con plantas de concreto confiables en sus procesos de mezclado. Esta confiabilidad debe verse favorecida con adecuados procesos de mantenimiento aplicados a estos equipos, pero en la actualidad estos son poco efectivos.

Aunado a esto, no se ha optimizado la compra de repuestos y consumibles para estos equipos, debido principalmente a que no se ha desarrollado un buen plan de mantenimiento.

Justificación

Ante el escenario planteado, ésta propuesta busca desarrollar un plan de Implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en plantas de

concreto, que optimice el mantenimiento de los equipos, mejorando la confiabilidad de las plantas para minimizar paradas imprevistas que puedan provocar costos adicionales a las obras por el manejo de juntas frías en sus elementos. Este plan pretende servir de guía práctica al personal de mantenimiento de otros proyectos de generación del ICE que cuenten con este tipo de equipos.

Objetivo General

Desarrollar un plan para la implementación del proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en Plantas de Concreto en proyectos del ICE, con la finalidad de reducir el costo debido a mantenimiento y garantizar la confiabilidad del equipo dentro de su entorno operacional actual.

Objetivos Específicos

- Seleccionar una Planta de Concreto del P.H Pirrís a la cual se le va a aplicar el proceso de RCM.
- Aplicar con el grupo de trabajo un análisis de mejorabilidad a todos los sistemas de la Planta de Concreto, con la finalidad de determinar cuáles sistemas son más mejorables.
- Definir los roles y las responsabilidades que serán asignadas a cada uno de los miembros del Grupo Natural de Trabajo (GNT) y así establecer la matriz de responsabilidades.

- Evaluar el riesgo de falla de cada componente de los sistemas de la Planta de Concreto, en base a un análisis de modos de falla, y resolver la causa raíz en base a tareas de mantenimiento recomendadas.
- Elaborar el manual de RCM una vez concluido el proceso, con el fin que pueda servir de guía para la implementación y la optimización del mantenimiento en otros proyectos que cuenten con plantas de concreto.

Conclusiones

- La ejecución del proyecto plan para la implementación del RCM en plantas de concreto del ICE, debe servir de guía para poder desarrollar este tipo de procesos en otros equipos estratégicos en el desarrollo de proyectos de generación eléctrica del ICE.
- Al desarrollar este proyecto se afianza más el concepto que cada proyecto es único en términos de su tamaño, problemas, restricciones, diversidad y manejo de los recursos.
- El realizar adecuadamente la gestión del recurso humano en este proyecto, permitió agilizar la implementación del proceso de RCM en la Planta de concreto IME, donde además se pudo establecer el compromiso de las áreas involucradas en el Proyecto, y se elaboró estructuras que facilitaron la comunicación, el trabajo en equipo y la integración.
- El proyecto permitió desarrollar las áreas de conocimiento dentro del Grupo de Procesos de Ejecución, lo que permitió tener un resultado más tangible. Pero para garantizar plenamente el éxito del proyecto es requerido dar el adecuado seguimiento y control; para ello se recomienda realizar auditorías trimestrales

que permitan verificar el cumplimiento de las acciones proactivas recomendadas.

- Con la aplicación del RCM a la Planta de Concreto IME, se logró la optimización de las técnicas de mantenimiento aplicadas a las plantas de concreto en los proyectos constructivos del ICE, como son listas de chequeo de autónomo, manual de mantenimiento preventivo y predictivo, lo que a futuro debe garantizar confiabilidad, disponibilidad, seguridad y un mejor uso de repuestos y consumibles en estos equipos.
- Se utilizaron solo cuatro áreas de conocimiento de las nueve que establece el PMI, esto debido a la limitación de tiempo para desarrollar este proyecto. Para futuros planes de implementación de RCM en activos del ICE, se deben tener en cuenta las otras áreas no desarrolladas, con el fin de optimizar proyectos de esta índole.

1.4 Planteamiento y formulación del problema

1.4.1 Planteamiento del problema

El área de Mantenimiento Izaje de la Unidad Minera “El Porvenir” de Cia Milpo SAA. , fue creada el año 1975 y con más de 35 años, ha sido y es el soporte de la operación, para poder mantener la operatividad del Sistema de Izaje más profundo (1 250 metros) del lado Sur de América. Durante los últimos años la producción de esta mina ha incrementado de 3500 ton/día a 4500 ton/día y por ultimo 5500 ton/día a partir del año 2010, estos incrementos de producción hicieron que el Sistema de Izaje de Mineral cambie e incremente su capacidad de transportar mineral, para lograr un menor costo de producción.

En octubre del 2007 la falla del sistema de freno del Winche de Mineral, ocasionó daños importantes en los diversos equipos que conforman el Sistema de Izaje y debido a ello se paralizó 35 días el transporte de mineral a superficie, el cual ocasionó pérdidas económicas a la Unidad Minera “El Porvenir”.

Previo a la falla del Winche de Mineral, el Sistema de Izaje tenía los siguientes indicadores o KPIS; disponibilidad 85-88%, MTBF: 45-50 hr y MTTR: 10-12 hr, los cual mencionaban que por cada dos días había una falla y se demoraban en reparar medio día. En la tabla 1:5 muestra también los gastos que ocasionó la reparación de los equipos del Sistema de Izaje, costo de inoperatividad del Sistema de Izaje, el costo total de pérdidas por inoperatividad del Izaje y la paralización de planta por efecto de la falla del Winche de Izaje.

En vista de los indicadores no alentadores y las pérdidas que ocasionó la inoperatividad del Sistema de Izaje, surge la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento, cuyas actividades aseguren una confiabilidad acorde con las políticas. plan estratégico de la empresa y garanticen la continuidad de la operación, la seguridad del personal, así como la preservación del ambiente permitiendo reducir los costos, sin afectar el mantenimiento de los equipos que forman parte del Sistema de Izaje mineral.

Tabla 1:5: Indicadores de disponibilidad y gastos de inoperatividad

INDICADORES	
DISPONIBILIDAD	85-88%
MTBF	45-50HR
MTTR	10-12HR
COSTO REPARACION DEL EQUIPOS DEL SISTEMA DE IZAJE	\$1,520,000.00
COSTO POR INOPERATIVIDAD DEL SISTEMA X HORAS	150 \$/HR
COSTO DE INOPERATIVIDAD DEL SISTEMA DE IZAJE X 35 DIAS	\$126,000.00
COSTO POR PARALIZACION DE LA PLANTA X 10 DIAS	\$10,000,000.00
COSTO TOTAL DE PERDIDA POR FALLA DEL SISTEMA DE IZAJE	\$11,646,000.00

Fuente: Fuente: Grupo Milpo

1.4.2 Formulación del problema

Problema General

¿Qué metodología de mantenimiento debería aplicarse para reducir las fallas en el Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo Unidad “El Porvenir”?

Problema Específico

¿Cuáles son los equipos críticos del Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo Unidad “El Porvenir”, para aplicar una metodología de mantenimiento?

1.5 Objetivos

Objetivo General

Elaborar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para aumentar el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de los equipos que conforman el Sistema de Izaje Mineral.

Objetivos Específico

Identificar los activos críticos del Sistema de Izaje Mineral, para aplicar el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y reducir las frecuencias de intervención y costos de mantenimiento mensual.

1.6 Hipótesis

Hipótesis General

La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confianza (RCM), permitirá aumentar el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) de los equipos del Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”.

Hipótesis Específica

Con los activos críticos identificados e implementados el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), contribuirá a reducir las frecuencias y costos de mantenimiento mensual.

1.7 Variables e indicadores

1.7.1 Variable independiente general

Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

1.7.2 Variable dependiente general

Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

INDICADOR:

Y1: MTBF 100 a 120 horas

1.7.3 Variable independiente específico

Identificar los activos críticos del Sistema de Izaje Mineral

1.7.4 Variable dependiente específico

Reducir las frecuencias y costos de mantenimiento mensual.

INDICADOR:

Y1: 7- 8 intervenciones por mes.

Y2:\$ 20,000-\$ 30,000 por mes.

1.8 Metodología de la investigación

La investigación aplica diversos métodos de estudio, entre los que destaca el método observacional ya que a través de la observación directa se pudo recabar información

directa respecto a los problemas que se presenta en el sistema de izaje mineral. Según Peña (2011, p.28). La investigación observacional implica unas normas de registro y observación cuidadosamente definidas y generalmente traduce los resultados de dichas observaciones a términos cuantitativos. La investigación observacional es explícita en su propósito y éstos han de ser definidos para la recopilación de datos.

Asimismo, se utilizó el método documental, la cual sirvió para recabar información bibliográfica, utilizada posteriormente para diseñar el marco teórico- conceptual de la investigación, incidiendo en autores vigentes y que describían directamente las variables de estudio. Para Marín (2008, p.3) Es la que se realiza, apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es en documentos de cualquier especie tales como, las obtenidas a través de fuentes bibliográficas, hemerográficas o archivísticas; la primera se basa en la consulta de libros, la segunda en artículos o ensayos de revistas y periódicos, y la tercera en documentos que se encuentran en archivos como cartas oficios, circulares, expedientes, etcétera

Así también, se utilizó el método hipotético deductivo, debido a que se realizó una observación para determinar el problema de la investigación, el cual conllevó a la elaboración de la hipótesis. Por consiguiente, se realizó deducciones a partir del resultado de la hipótesis. Según Cegarra (2011, p.82). El método hipotético deductivo consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquéllas. Cuando el problema está próximo al nivel observacional, el caso más simple, las hipótesis se clasifican como empíricas, mientras que en los casos más complejos, sistemas teóricos, las hipótesis son de tipo abstracto.

De igual forma como parte de la metodología de campo, que tuvo su base en el objetivo general y específicos, procediendo ordenadamente en cada etapa de la tesis, lo cual sucedió de la siguiente forma, se comprendió el proceso productivo del Sistema de Izaje Mineral de la Unidad “El Porvenir” de Cía. Milpo; desde la etapa de extracción del mineral en la mina subterránea hasta el inicio de chancado primario de planta concentradora.

Mediante los manuales del Winche y visitas a terreno, se estudia el funcionamiento del Sistema de Izaje Mineral, los sistemas que lo componen y sus componentes individuales principales. Se reconocen las funciones de cada sistema, junto a parámetros de funcionamiento, comparándolos y adecuándolos a las condiciones de operación de la Unidad El Porvenir de Cía. Milpo.

Mediante bibliografía se estudia y comprende la teoría del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM. Junto al grupo de análisis, manuales técnicos, informes técnicos y literatura asociada, se establecen las funciones del equipo, sus fallas, modos de falla, sus efectos de las fallas y sus posibles tareas propuestas; y se elabora el plan de mantenimiento que incluye: las Hojas de Información, de Decisión y de Trabajo de RCM.

1.9 Tipo de estudio

El tipo de estudio corresponde al Aplicativo. Según Hernández, Sampieri, Collado, Baptista. (2008), indican que la investigación aplicada radica en utilizar los conocimientos obtenidos en las investigaciones en la práctica, y con ello traer beneficios a la sociedad o un problema específico (p.286).

1.10 Diseño de investigación

De acuerdo a la técnica de contrastación el estudio correspondió al pre- experimental que comprende tres pasos:

Una medición previa de la variable dependiente a ser estudiada (pre test).

Introducción o aplicación de la variable independiente o experimental X a los Sujetos Y

Una nueva medición de la variable dependiente en los sujetos (post test).

Esquema:

G: O₁ – X – O₂

G: El sujeto viene hacer el grupo que son asignados de manera intencional o por criterio.

O1: Se realiza una medición previa o pre – test de la variable dependiente (Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

X: Se realiza medición a la variable independiente es designado como experimental o variable independiente (Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

O2: Se hace una nueva evaluación o post-test de la variable dependiente (Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF)

Dónde:

O1: Pre-Test

X: Tratamiento

O2: Post-test

1.11 Periodo de investigación

Se efectuó el desarrollo a partir del 10 de enero del 2011 hasta el 31 diciembre del año 2011 en la Cía. Milpo Unidad: El Porvenir”. Se realizaron 6 reuniones presenciales y visitas a campo.

1.12 Justificación e importancia de la investigación

En el desarrollo de la investigación, la problemática general ¿Qué metodología de mantenimiento debería aplicarse para reducir las fallas en el Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo Unidad “El Porvenir”? La respuesta a esta interrogante permitirá reducir las fallas de los equipos que conformar el Sistema de Izaje Mineral de la Unidad “El Porvenir” de Cía. Milpo y contribuirá en no afectar con los objetivos de producción de la compañía.

La investigación es innovadora porque propone una metodología diferente y no convencional, que requiere necesariamente la participación activa de todo el personal (ingenieros, técnicos de mantenimiento, operadores y proveedores) involucrada directa e indirecta en la operación del Sistema de Izaje Mineral de Cía. Milpo, unidad “El Porvenir”.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Sistema de extracción vertical por piques

Según Le-feaux (2008, p.115) la extracción vertical, se utiliza en faenas cuya profundidad y ritmo de explotación, no permiten o no justifican una labor subterránea con transporte de mineral por rampas, por lo cual se requerirá subir el material explotado a la superficie a través de piques. A esto se le conoce como Sistema de Extracción Vertical por Piques.

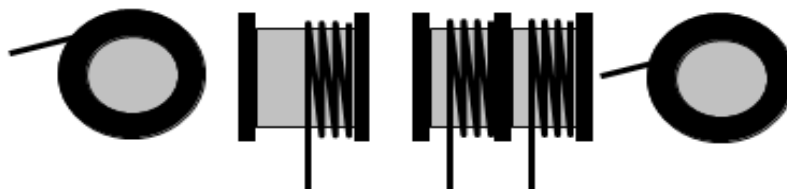
Los componentes de este sistema son los piques de Producción, Acceso o Ventilación, obviamente nos interesarán en este capítulo, la forma de producción por donde se extraerá el mineral. El sistema de transporte se clasifica por:

2.1.1 Tipo tracción

Elementos que permiten recoger o soltar el sistema de cables a medida que sube o baja el Skip o balde, permitiendo controlar su ascenso y descenso por el pique.

Tracción tipo Tambor, en el cual la polea sube y baja un solo elemento de transporte (Polea de tiro del Skip o Balde, puede ser Simple, Doble, Cilíndrico o Cónico).

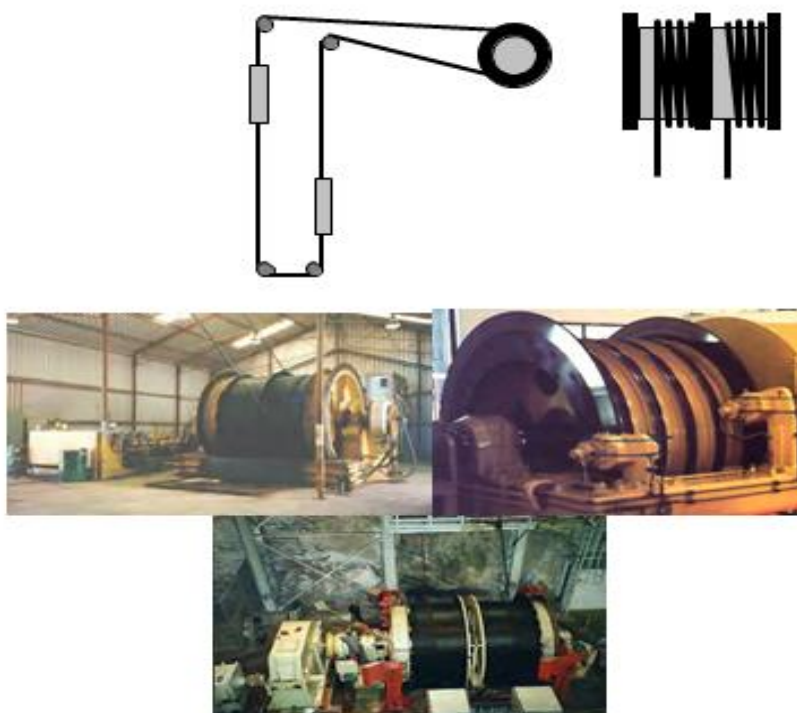
Figura 2.1: Tracción tipo tambor



Fuente: Le-feaux (2001) Manejo de materiales en explotaciones subterráneas

Tracción tipo Polea Koepe, en el cual la polea sube un elemento de transporte y a la vez baja otro o un contrapeso (se utiliza en minas de mayor producción).

Figura 2.2: Tracción tipo polea koepe



Fuente: Le-feaux (2001) Manejo de materiales en explotaciones subterráneas

Para diseñar el sistema de tracción debemos considerar lo siguiente:

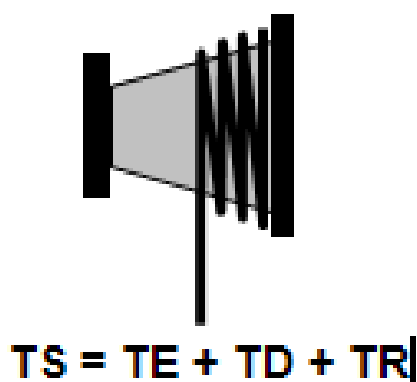
TS: Torque del sistema.

TE: Torque estático, evita la caída del elemento de transmisión

TD: Torque dinámico, que permite que el sistema se mueva.

TR: Torque de resistencia pasiva, para vencer roces como el aire, polea y cable.

Figura 2.3: Diseño de sistema de tracción



Fuente: Le-feaux (2001) Manejo de materiales en explotaciones subterráneas

2.1.2 Número de elementos de transporte

Según Sernageomin (2005, p.6) la cantidad de elementos que permiten transportar el mineral extraído:

- Con un elemento, por ejemplo un tambor con un balde.
- Con dos elementos, por ejemplo una polea Koepe con dos skips.
- Con un elemento y un contrapeso, por ejemplo una polea Koepe con un

skip y un contrapeso

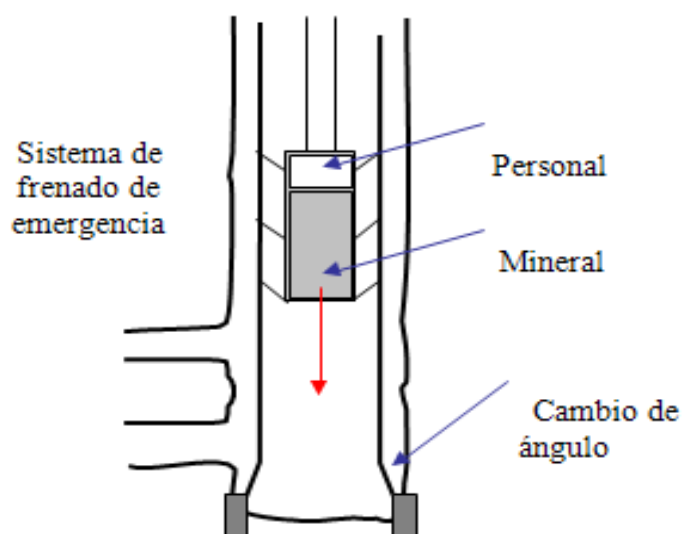
Tipo de guía y freno

Las guías son los elementos que permiten el desplazamiento vertical de los elementos de transporte a través de la excavación (pique) sin que estos choquen con las paredes. Los frenos son los que generarán el efecto contrario, es decir para detener el sistema.

- Guía de madera (desgaste rápido, frenos de mordaza).
- Guía metálica (frenos de balatas).
- Guía de cables (frenos de balatas especiales, más largas).

También debemos destacar los sistemas de emergencia para el frenado. Esto se describe en la figura 2.4.

Figura 2.4: Sistemas de emergencia para el frenado



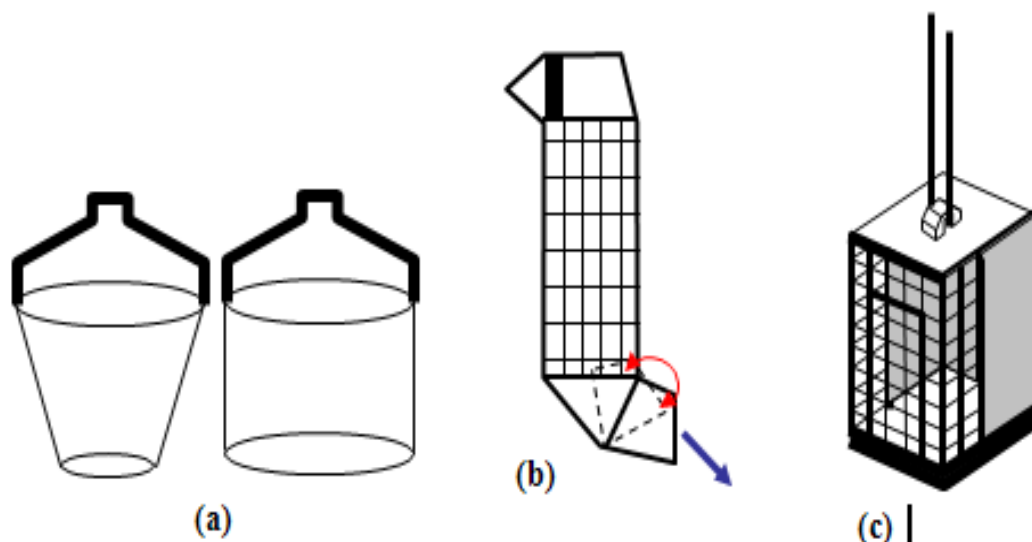
Fuente: Le-feaux (2001) Manejo de materiales en explotaciones subterráneas

2.1.3 Tipo de recipientes

Elemento en el cual se transporta el mineral extraído:

- a) Balde cónico o cilíndrico.
- b) Skip automático
- c) Jaula para transporte de personal

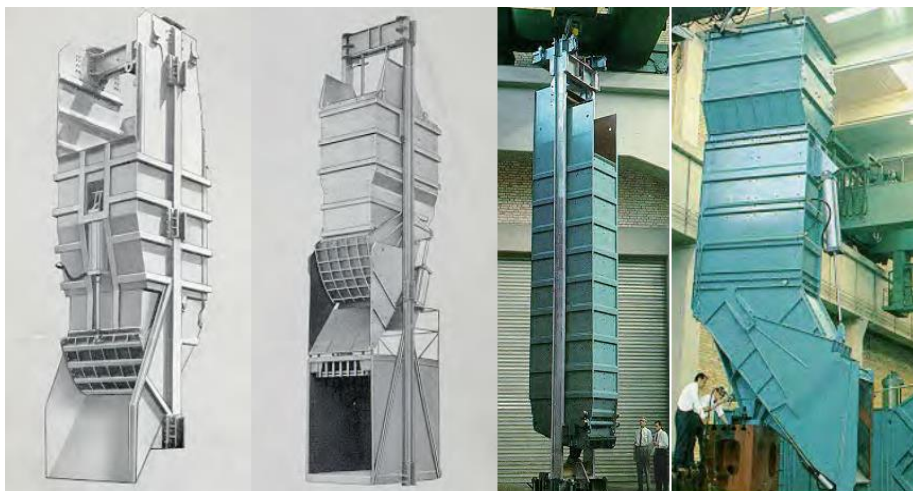
Figura 2.5: Tipo de recipientes



Fuente: Sernageomin (2005) proyectos de explotación y/o tratamiento de minerales bajo

El Skip se caracteriza principalmente por sus dimensiones y forma (para definir el espacio necesario en el pique), es decir su largo y sección, además nos importa el peso propio del skip, su capacidad, el sistema de frenos y el sistema y mecanismos de descarga. (Le-feaux, 2001, p.115).

Figura 2.6: Modelos de skips



Fuente: Le-feaux (2001) Manejo de materiales en explotaciones subterráneas

Los baldes se utilizan principalmente en pequeña minería y la utilización de jaulas es propia de casi todas las minas con este sistema de extracción (Le-feaux, 2001, p.120).

2.1.4 Cables para el sistema

Según Gonzáles (2007, p.15) un aspecto muy importante en el diseño y operación de este sistema son los elementos de transmisión de la energía desde el elemento de tracción al elemento de transporte, lo cual se logra utilizando cables especialmente diseñados para ello. Estos cables en su estructura, mantienen las mismas características mencionadas anteriormente, son altamente resistentes, cabe destacar que en este caso los cables poseen una coraza de trenzado especial para evitar su desgaste por roce en las poleas. En este sistema los cables se conectan entre sí por medio de pasadores especiales llamadas uniones o ligaduras, lo que se puede observar en la figura 2.7.

Figura 2.7: Ligaduras de cables para el sistema



Fuente: Gonzáles, F. (2007). Elementos de líneas de transmisión aéreas

Cable de acero

De acuerdo con Le-feaux (2001,p.36) las uniones y ligaduras son piezas de acero que le dan mayor flexibilidad a la disposición de los cables respecto al equipo de carga, pueden ser simples, dobles o múltiples, permiten ligar cables a cables y a los skips o baldes, lo importante de estas uniones es que el ensamblaje debe ser muy bien controlado para que puedan cumplir con las exigencias y rangos de

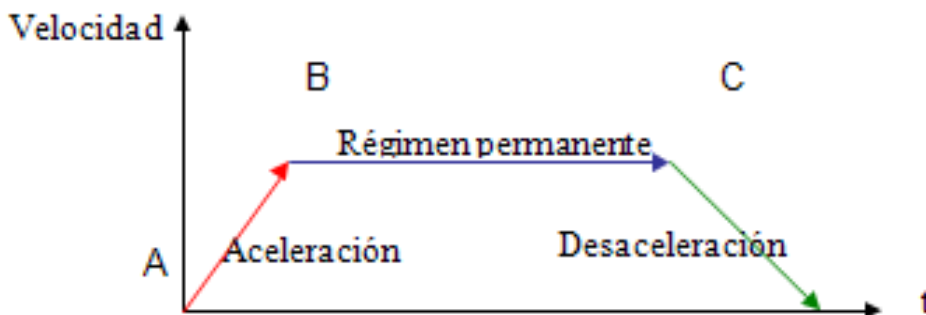
operación para los cuales fueron diseñadas. El proceso de unión se realiza al calor, se abren los alambres del cable y se hace un trenzado especial al cual se le adiciona acero fundido para darle firmeza y así no permitir que el cable resbale y se salga de la unión, la idea es que al aplicar el calor el cable no pierda sus propiedades en ese punto, y así la unión forme parte de él. Exigencias de seguridad para los cables:

Peso Cable + Peso Jaula + Carga Máxima $7 \times$ Resistencia Cable \times N° de Cables (para personas)

Peso Cable + Peso Jaula + Carga Máxima $5 \times$ Resistencia Cable \times N° de Cables (para mineral)

Debemos considerar también la dinámica del sistema, es decir la velocidad y aceleración que experimenta el sistema, la cual debe ser resistida por una persona (Máxima $1,2 \text{ m/s}^2$, lo normal es $0,5 \text{ m/s}^2$). Ver figura 2.8

Figura 2.8: Velocidad y aceleración del sistema



Fuente: Le-feaux (2001) Manejo de materiales en explotaciones subterráneas

Ciclo del sistema

El tiempo del ciclo del sistema considera los siguientes datos:

T_{AB}: Tiempo de aceleración en bajada (minutos).

T_{VB}: Tiempo de viaje en bajada (minutos).

T_{DB}: Tiempo de desaceleración en bajada (minutos).

T_C: Tiempo de carga (minutos).

T_{AS}: Tiempo de aceleración con carga en subida (minutos).

T_{VS}: Tiempo de viaje con carga en subida (minutos).

T_{DS}: Tiempo de desaceleración con carga en subida (minutos).

T_D: Tiempo de descarga (minutos).

T_E: Tiempo de espera general (minutos).

$$\mathbf{T_{CICLO} = T_{AB} + T_{VB} + T_{DB} + T_C + T_{AS} + T_{VS} + T_{DS} + T_D + T_E}$$

[minutos] Ciclos por hora = 60 / T_{CICLO}

Si se tiene un sistema con dos skips, los tiempos de subida son iguales a los de bajada y el tiempo de carga de uno es el mismo de descarga del otro. (Lefaux, 2001, p.41).

$$\mathbf{T_{CICLO\ CADA\ SKIP} = 2 \times T_{AB} + 2 \times T_{VB} + 2 \times T_{DB} + 2 \times T_C + T_E}$$

[minutos] Ciclos por hora = 60 / T_{CICLO GLOBAL}

$$\mathbf{T_{CICLO\ GLOBAL} = T_{AB} + T_{VB} + T_{DB} + T_C + (T_E / 2)}$$

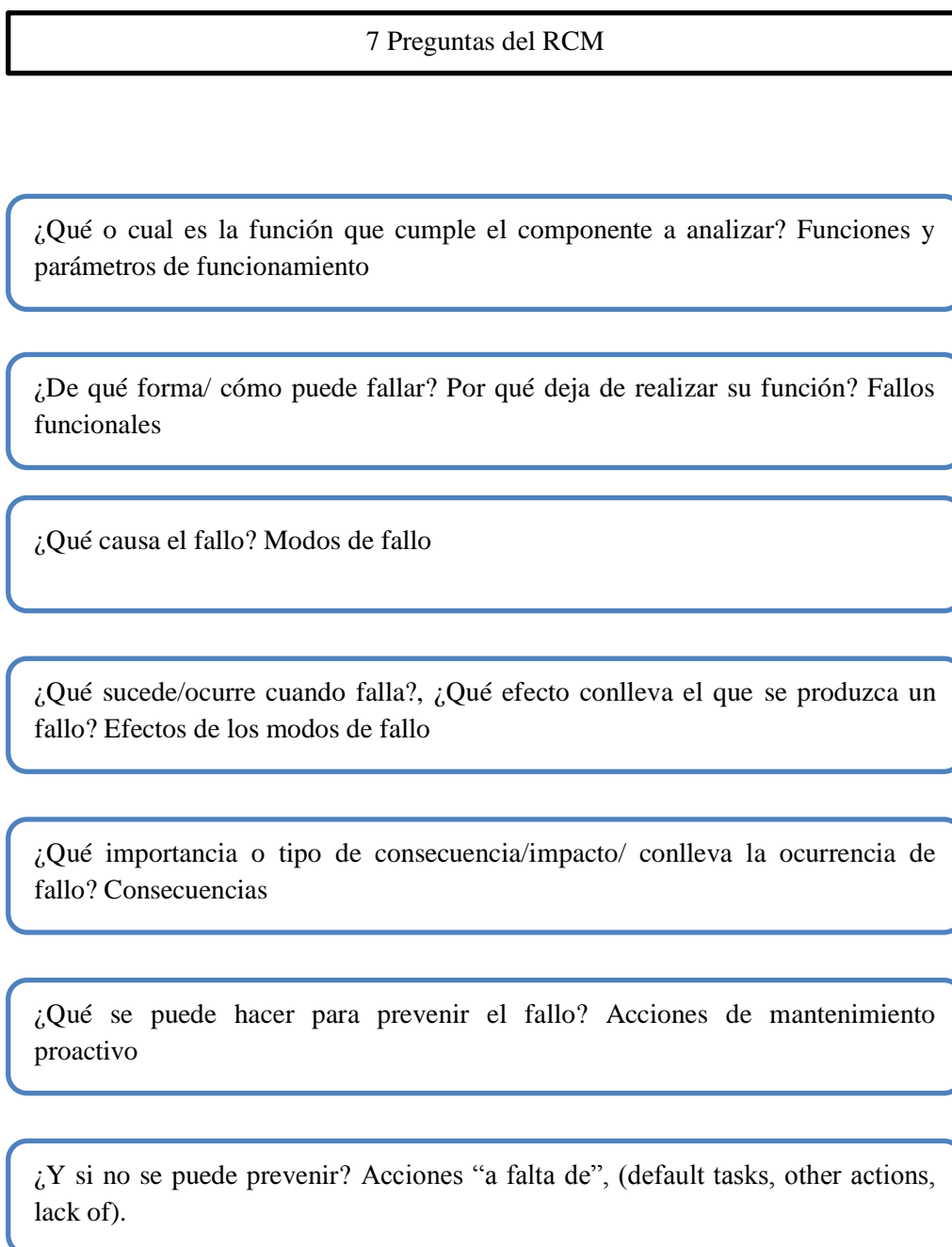
[minutos]

2.2 Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM

Desde el punto de vista de la Ingeniería hay dos elementos que hacen al manejo de cualquier activo: debe ser mantenido y de un tiempo determinado también

debe ser modificado. Esto indica que “mantenimiento” significa preservar algo y modificarlo es cambiarlo de alguna manera. Por ello una definición de mantenimiento sería: “asegurar que los activos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan”. (Ardila y Mantilla, 2008, p.32). Por otra parte Moubray (1997, p.8) refiere que El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa, y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de revisión del RCM. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe de realizar un registro de equipos completo si no existe ya uno. Más adelante, RCM hace una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, como se describe en la figura 2.9.

Figura 2.9: Las 7 preguntas del RCM



Fuente: Ardila y Mantilla. (2008). Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en RCM

Llevar acabo lo anterior el RC M emplea técnicas de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Los siete puntos anteriores son detallados a continuación. Ardila y Mantilla (2008, p.36) hacen una descripción de las siete preguntas del RCM:

Funciones

La descripción de la función de un activo debe consistir de un verbo, un objeto y un parámetro de funcionamiento deseado, los que deben ser descritos tomando en cuenta el contexto operacional del activo.

Todo activo físico tiene más de una función, frecuentemente varias, y todas ellas deben ser identificadas junto con sus parámetros de funcionamiento específicos.

Las funciones se dividen en dos categorías principales: funciones primarias y secundarias.

Funciones primarias

Son la razón principal de porque es adquirido y existe el activo, por eso se debe cuidar de definir las tan precisamente como sea posible. Las funciones primarias son fáciles de reconocer, de hecho el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria.

Funciones secundarias

Se pretende que la mayoría de los activos cumplan una o más funciones además de la primaria, las cuales se conocen como funciones secundarias. La función o funciones secundarias son menos obvias que la principal, pero a veces requieren mayor atención y las consecuencias de falla de estas pueden ser de mayor

gravedad que las primarias, por lo que deben ser claramente identificadas.

Parámetros de funcionamiento

El objetivo del mantenimiento es asegurarse de que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, lo que puede definirse como parámetro mínimo de funcionamiento.

Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos formas:

- **Funcionamiento deseado:** lo que el usuario quiere que haga.
- **Capacidad inicial:** lo que puede hacer.

Cuando cualquier activo es puesto en funcionamiento, debe ser capaz de rendir más que el parámetro mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Los parámetros de funcionamiento los podemos subdividir en diferentes categorías:

- **Parámetros de funcionamiento múltiple:** muchas descripciones de funciones incorporan generalmente varios parámetros de funcionamiento.
- **Parámetros de funcionamiento cuantitativos:** Deben ser cuantificados cuando fuese posible, ya que éstos pueden medirse (Ej.: temperatura, presión, velocidad, etc.).
- **Parámetros de funcionamiento absolutos:** Una descripción que no indica ningún parámetro de funcionamiento, por lo general implica que se trata de un absoluto (Ej.: contener un fluido).

Fallas funcionales

Un activo falla cuando no hace lo que el usuario desea que haga. Una falla funcional puede ser una pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos. Cada activo tiene más de una función, por lo tanto al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “pérdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: “la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario” (Moubray, 1997, p.18).

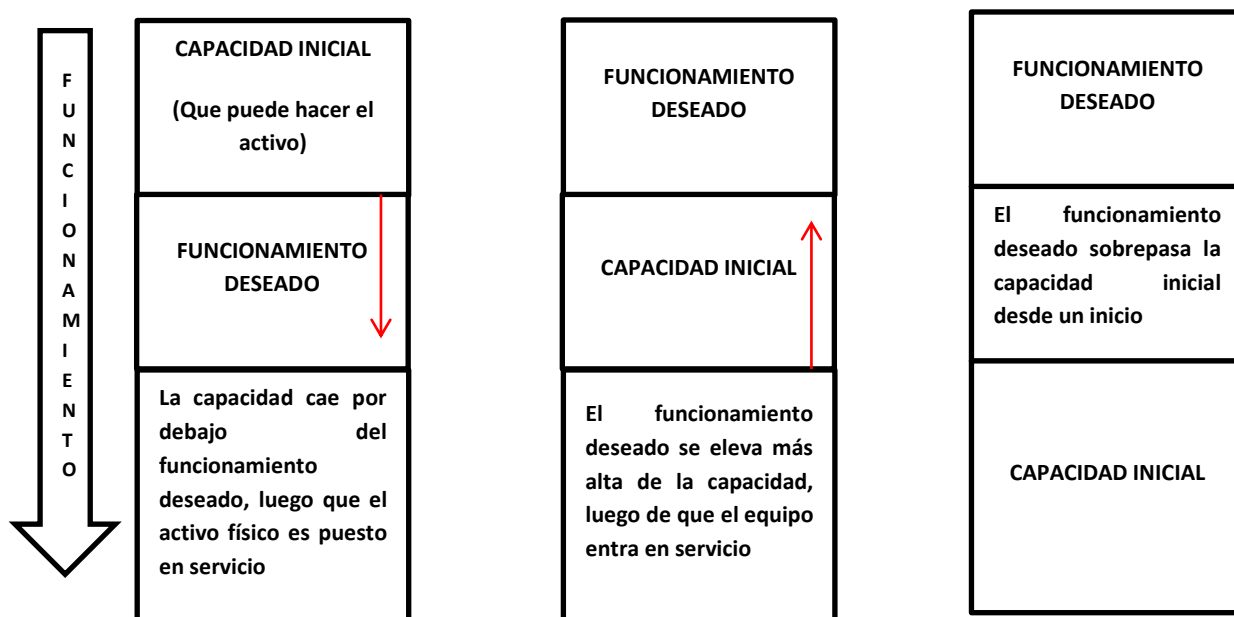
Modos de falla

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa una falla funcional. La descripción correcta de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo.

- **Categorías de modos de falla**

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera.

Figura 2.10: Categorías de modos de falla



Fuente: Adaptado de Moubray (1997). Manual de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM

- **Capacidad bajo el funcionamiento deseado:** Deterioro (fatiga, corrosión, abrasión, erosión, evaporación, degradación, etc.), fallas de lubricación (falta y falla del lubricante), polvo o suciedad, desarme (falla en: soldaduras, uniones, remaches, bulones, conexiones, etc.), errores humanos (reducción de capacidad).
- **Capacidad por sobre el funcionamiento deseado:** El funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo no puede responder, el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo se torna tan poco confiable que deja de ser útil.
- **Capacidad Inicial fuera del rango desde el inicio:** A veces surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera del rango de capacidad inicial desde el comienzo.

Cantidad de detalle

El nivel de detalle afecta profundamente la validez del análisis de modos de falla y la cantidad de tiempo que requiere hacerlo. La escasez de detalles y/o modos de falla puede llevar a un análisis superficial y hasta peligroso. Por el contrario demasiados modos de falla o demasiado detalle hacen que todo el proceso RCM lleve mucho más tiempo que el necesario. Esto significa que es esencial tratar de lograr un equilibrio correcto.

2.3 Efecto de la falla

Según el estudio de Vásquez (2008, p.63) en el proceso de implementación de RCM hay que hacer una lista de lo que sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de falla. Al describir los efectos de una falla, debemos incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas y debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia de que se ha producido una falla: Debe permitir a los operarios si la falla será evidente para ellos en el desempeño de sus tareas normales. También debe indicar si va precedida por: ruidos, fuego, humo, fugas de fluidos, si se detiene el equipo, etc. Si se tratase de dispositivos de seguridad, debe detallarse que sucedería si fallase el dispositivo protegido mientras el dispositivo de seguridad se encuentra en estado de falla.
- En que forma la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente: Debe señalarse la manera en que pueda lesionarse o morir alguna persona o infringir alguna normativa o reglamento relativo al medio ambiente como consecuencia de una falla.

- Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones: Debe indicarse cómo y cuánto afecta, ya sea por parada de máquina o varias de ellas, interrupción líneas de proceso, etc.
- Los daños físicos causados por la falla: Cuantificar los daños.
- Que debe hacerse para reparar la falla: Cuales son las medidas correctivas a tomar para repararla.

Fuentes de información sobre modos y efectos

Las fuentes de información más comunes acerca de modos de falla y sus efectos son las siguientes:

- El fabricante o proveedor del equipo.
- Otros usuarios de la misma maquinaria.
- Personal de mantención.
- Operadores del equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.

Las fuentes de información anteriores, son importantísimas a la hora de establecer un análisis RCM, pero no deben ser absolutas ni las únicas, ya que no siempre se adecuarán a las funciones, parámetros de funcionamiento y contexto operacional del activo a analizar.

2.4 Consecuencias de las fallas

Según Milanese (2013, p.69) las consecuencias de las fallas se clasifican en cuatro categorías de importancia decreciente de la siguiente manera:

- **Consecuencias del Fallo Oculto:** Un modo de falla tiene consecuencias por fallas ocultas si la pérdida de función causada por este modo de fallo actuando por sí solo en circunstancias normales es evidente a los operarios.
- **Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente:** Un modo de falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente si causa una pérdida de función y produce daños que pudieran lesionar o matar a alguien; o infringir cualquier normativa o reglamento ambiental conocido.
- **Consecuencias operacionales:** Un modo de falla tiene consecuencias operacionales si tiene un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional afectando: el volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o incrementar el costo operacional.
- **Consecuencias no operacionales:** No ejercen un efecto adverso directo sobre la seguridad, el medio ambiente o la capacidad operacional, sólo tiene consecuencias en los costos directos de reparación.

2.4.1 Funciones ocultas y evidentes

Una función evidente es aquella cuya falla finalmente es inevitablemente será evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca alguna otra falla. Esto significa que una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola. (Milanese, 2013, p.81).

2.4.2 Fallas ocultas y dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad o de protección funcionan de una de cinco maneras:

- Alertar ante condiciones anormales de funcionamiento.
- Parar el equipo en caso de falla.
- Eliminar o aliviar las condiciones anormales originadas por una falla y de que otra manera podrían causar daños más serios.
- Asumir control de una función que ha fallado. (Milanese, 2013, p.83).

2.4.3 Prevención de la falla oculta

Para prevenir una falla múltiple, debemos asegurar que la función oculta no se encuentre en estado de falla y si cuando falla la función protegida. Hay que dar la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable, entonces: "Para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple a un nivel tolerable. Si no es posible encontrar una manera adecuada de prevenir una falla oculta, todavía es posible reducir el riesgo de una falla múltiple revisando la función oculta periódicamente para saber si sigue funcionando. Si ésta revisión es llevada a cabo a intervalos adecuados y si la función es restaurada en cuánto se descubre que está defectuosa, todavía es posible asegurar altos niveles de disponibilidad. "(Moubray, 1997, p.114).

2.5 Tareas proactivas

Dentro de la concepción general del RCM se consideran diferentes tipos de formas de enfrentar los diversos modos de fallos. En lo fundamental a estas formas de enfrentamiento a las consecuencias de los modos de fallos se dividen en tareas proactivas y alternativas. Dentro de las tareas proactivas se encuentran la predictiva, según la condición y preventiva. Esta última considera a su vez dos variantes que son

la sustitución cíclica y la restauración cíclica. Como parte de las tareas alternativas se cuenta con el trabajo hasta el fallo, la modificación y la búsqueda de fallos. Es importante destacar que la modificación puede ser física en el sistema o cambios en los procedimientos de operación y/o mantenimiento. Por otro lado, la búsqueda de fallos es una tarea cuyo sentido se destina a los denominados fallos ocultos, presentes fundamentalmente en los dispositivos que cumplen funciones de protección. (Sexto, 2001, p.8).

2.5.1 Factibilidad técnica

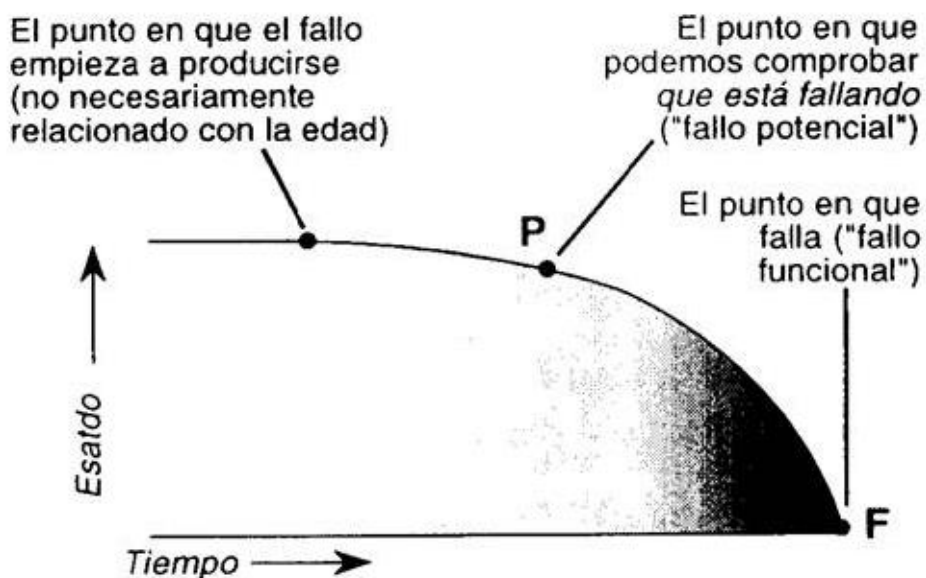
EL RCM trabaja el mantenimiento a nivel de modos de fallos y consecuencias. Este enfoque detallista puede resultar muy útil cuando está bien orientado; también inútil si divaga y no aprende a discernir lo relevante de lo irrelevante. Tan dañino sería identificar y tratar de establecer tareas para cientos, o miles, de modos de fallos cuyas consecuencias o probabilidad de ocurrencia sea baja o remota; como sólo dar crédito a unos pocos, por subestimar al resto, y no poder evitar las consecuencias de fallos de tipo crítico o catastrófico —o, quizás, de tipo marginal con alta frecuencia e incontables pérdidas. No existe impedimento alguno, relacionado con la tecnología misma del RCM, para fusionarse con otras tecnologías aplicadas al manejo del mantenimiento en la empresa. De hecho, haciendo un análisis de puntos comunes, prácticamente todas las tecnologías de mantenimiento se orientan a poder lograr la planificación, ejecución, control y mejora de las funciones que realizan los activos y las personas relacionadas. (Sexto, 2001, p.7).

2.5.2 Fallas potenciales

La fig. 2.11 ilustra lo que sucede en los estados finales de la falla. Se llama curva P-F, porque muestra como comienza la falla, como se deteriora al punto en que puede ser detectada (P) y luego, si no es detectada corregida, continúa deteriorándose, generalmente muy rápido, hasta que llega al punto de falla funcional (F).

El punto en el proceso de la falla en el que es posible detectar si la falla está ocurriendo o si está a punto de ocurrir se conoce como falla potencial. En otras palabras una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir o en el proceso de ocurrir.

Figura 2.11: Curva e intervalo P-F



Fuente: Moubray, 1997. Manual de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM

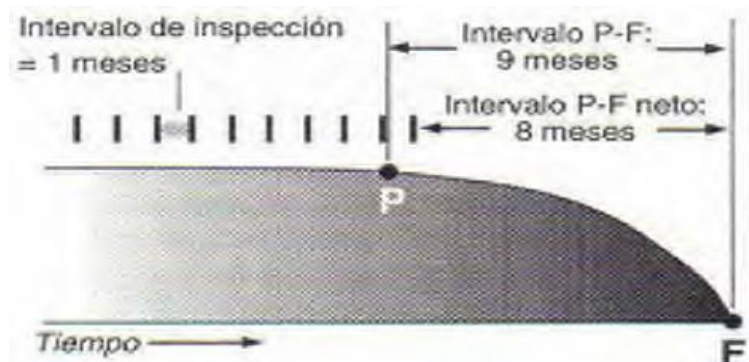
2.5.3 El intervalo P-F

Además de la falla potencial en sí misma, necesitamos considerar la cantidad de tiempo que transcurre entre el punto en el que ocurre una falla potencial y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Como lo muestra la fig. 2.11 este rango se conoce como el intervalo P-F. El intervalo P-F nos permite decir con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición. Si queremos detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo P-F. En la práctica generalmente basta con seleccionar una frecuencia de tarea igual a la mitad del intervalo P-F. Esto lleva al concepto de intervalo P-F neto. (Grosso, 2004, p.47).

2.5.4 Intervalo P-F neto

El intervalo P-F es el mínimo intervalo que es probable que transcurra entre el descubrimiento de una falla potencial y la ocurrencia de la falla funcional. Esto se ilustra en la fig. 2.12, la que muestra una falla con un intervalo P - F de nueve meses, lo que indica que si el elemento es inspeccionado mensualmente, el intervalo P-F es de 8 meses. (Grosso, 2004, p.48).

Figura 2.12: Intervalo P-F neto



Fuente: Moubray, 1997. Manual de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM

Ahora las tareas a condición consisten en revisar si hay fallas potenciales, que permitan actuar para prevenir la falla funcional o evitar las consecuencias de la falla funcional.

2.5.5 Tareas de reacondicionamiento cíclico

El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar periódicamente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente. Una definición específica sería: “El reacondicionamiento cíclico consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto ensamble completo antes de, o en el límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento” (Moubray, 1997, p.44).

2.5.6 Frecuencia de tareas de reacondicionamiento cíclico

La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está gobernada por la edad de la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. Las tareas de reacondicionamiento cíclico son satisfactoriamente determinadas sobre la base de antecedentes históricos confiables. . (Grosso, 2004, p.51).

2.5.7 Factibilidad técnica de tareas de reacondicionamiento cíclico

Según Vázquez (2008, p.114) las tareas de reacondicionamiento cíclico son técnicamente factibles si:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- Que la mayoría de las piezas sobrevivan a ésta edad.

- Se restaura la resistencia original de la pieza a la falla.

2.5.8 Efectividad de reacondicionamiento cíclico

Aunque sea técnicamente factible, puede que no merezca la pena el reacondicionamiento cíclico porque puede que otras tareas sean aún más efectivas. Algunas de las razones por las que no vale la pena realizar reacondicionamiento cíclico son:

- Una reducción en el número de fallas no es suficiente si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, porque queremos eliminar totalmente estas fallas.
- Si las consecuencias son económicas, necesitamos estar seguros de que a lo largo de un período de tiempo, el costo de realizar la tarea de reacondicionamiento cíclico es menor al costo de permitir que ocurra la falla. (Vázquez 2008, p.116).

2.5.9 Tareas de sustitución cíclica

Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento componente antes del límite de edad específico, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es reemplazar la parte usada por una nueva, la que restaurará a su condición original. (Vázquez 2008, p.116).

2.5.10 Frecuencias de sustitución cíclica

Al igual que las tareas de reacondicionamiento cíclico, la frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la edad a la que la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla. (Vázquez 2008, p.117).

2.5.11 Factibilidad técnica de la sustitución cíclica

Las tareas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles bajo las siguientes circunstancias:

- Hay una edad identificable en la que la pieza muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.
- La mayoría de los elementos sobreviven a esta edad. (Vázquez 2008, p.117).

2.6 Tareas de condición

Se realiza después de verificar “en qué condición está”, y sólo si dicha condición indica que la reparación es necesaria. En ambos casos, se busca Restaurar o Cambiar el elemento que produce el modo de fallo, antes de que ese modo de fallo produzca el fallo funcional. Con esto evitamos las consecuencias que el fallo funcional traería consigo si lo dejamos ocurrir, es decir evitamos “esperar el fallo” para corregirlo sólo después de ocurrido”. Nótese que no se evitará la reparación ni el costo que ocasionará dicha reparación. Pero SÍ evitaremos las consecuencias que tendríamos si dejamos que el fallo ocurra (consecuencias que pueden afectar a la seguridad, al medio ambiente o a la economía operativa). Entonces, el Mantenimiento Predictivo o Basado en la Condición, consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según su condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas dentro del proceso de decisión, y en el marco de las estrategias de Mantenimiento Proactivo posibles. (Sueiro, 2005, p.14).

Al respecto, Vázquez (2008, p.121) hace una descripción de las diversas tareas y categorías relacionadas con las tareas de condición:

Factibilidad técnica de tareas a condición

Las tareas a condición son técnicamente factibles si:

- Es posible definir una condición clara de falla potencial.
- El intervalo P-F es razonablemente consistente.
- Resulta práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F.
- El intervalo P-F neto es lo suficientemente largo como para ser de alguna utilidad, o lo suficientemente largo como para actuar a fin de reducir o eliminar las consecuencias de la falla funcional.

Categorías de técnicas a condición

Las cuatro categorías principales de técnicas a condición son las siguientes:

- Técnicas de monitoreo de condición: implica el uso de algún equipo especializado para monitorear el estado de otros equipos y sus fallas potenciales. Algunas de ellas son clasificadas como de efectos: dinámicos, de partículas, químicas, físicas, de temperatura, eléctricas, etc.
- Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto.
- Técnicas de monitoreo de los efectos primarios: que implican el uso inteligente de indicadores existentes y equipo de monitoreo de procesos.
- Técnicas de inspección basadas en los sentidos humanos.

Realización de tareas de condición

Las tareas a condición deben satisfacer los siguientes criterios para que justifique su ejecución:

- Si una falla es oculta, no tiene consecuencias directas: Entonces una tarea a condición cuya intención es prevenir una falla oculta, debe reducir el riesgo de una falla múltiple a un nivel aceptablemente bajo. En la práctica, debido a que la función es oculta, muchas de las fallas potenciales que normalmente afectan a las evidentes también serán ocultas.
- Si la falla tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente: sólo merece la pena realizar una tarea a condición si fiablemente da suficiente advertencia de la falla como para que se pueda actuar a tiempo para evitar las consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.

Selección de tareas proactivas

Muchas veces es difícil decidir si una tarea proactiva es técnicamente factible. Las características de la falla rigen esta decisión, y generalmente son lo suficientemente claras como para que la decisión sea simplemente cuestión de sí o no, ahora decidir si merece la pena ser realizadas suele requerir más deliberación. El orden básico de preferencia para seleccionar tareas proactivas es el siguiente.

Tareas a condición

Las tareas a condición son consideradas primero en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

Generalmente son realizadas sin desplazar el activo físico de su ubicación y normalmente mientras funciona: Rara vez interfieren en el proceso de producción y

son fáciles de organizar.

Identifican condiciones específicas de falla potencial: de modo que se puede definir claramente la acción correctiva antes de que comience el trabajo, lo que reduce la cantidad de trabajos de reparación, y hace posible realizarlos más rápidamente.

El identificar el punto de falla potencial en los equipos: les permite cumplir con casi toda su vida útil.

Tareas de reacondicionamiento cíclico

Si no puede encontrarse una tarea a condición apropiada para una falla en particular, la opción siguiente es una tarea de reacondicionamiento cíclico. Ésta también debe ser técnicamente factible, por lo que las fallas deben estar concentradas alrededor de una edad promedio. Si lo están, el reacondicionamiento cíclico antes de esta edad puede reducir la incidencia de fallas funcionales. Algunas de las ventajas del reacondicionamiento cíclico son:

- Solamente pueden realizarse deteniendo el activo y enviándolo al taller: por lo que estas tareas de alguna manera afectan a la producción.
- El límite de edad se aplica a todos los elementos: entonces muchos elementos o componentes que podrían haber sobrevivido más tiempo serán removidos.
- Las tareas de reacondicionamiento involucran trabajos de taller: por lo que generan una carga mucho mayor que las tareas a condición.

Tareas de sustitución cíclica

La sustitución cíclica normalmente es la menos eficaz en cuanto a costos de las tres tareas proactivas. Sin embargo cuando es técnicamente factible, posee algunas

características deseables. Puede ocurrir que la sustitución de un elemento sea capaz de prevenir ciertas fallas que no estaban consideradas o se pasaron por alto críticas.

Combinación de tareas

Para algunos modos de falla con consecuencias para la seguridad o el medio ambiente, no se puede encontrar una tarea que por sí sola reduzca el riesgo de falla a un nivel tolerablemente bajo, ni tampoco un rediseño adecuado. En estos casos a veces es posible encontrar una combinación de tareas, generalmente de dos categorías de tareas diferentes, lo que reduce el riesgo de falla a un nivel tolerable. Cada tarea es llevada a cabo con frecuencia propia.

2.7 Acciones a “falta de”

Este ítem señala que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva óptima. Ello comienza con la revisión de tareas de búsqueda de falla y luego considera el rediseño.

Al respecto, Ardila y Mantilla (2008, p.63), describen las diversas acciones a tomar en cuenta en el mantenimiento centrado:

Búsqueda de falla y fallas múltiples

Una falla múltiple ocurre cuando falla una función protegida mientras un dispositivo de protección se encuentra en estado de falla. La probabilidad de una falla puede ser reducida aumentando la disponibilidad del dispositivo de seguridad.

Tiempo medio entre falla (MTBF)

Este indicador permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos.

$$\text{MTBF} = \frac{\# \text{Equipos} \times \text{Tiempo operativo}}{\# \text{De fallas}}$$

Disponibilidad (DISP)

La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden considerarse en horas, días, etc.

$$\text{DISP} = \frac{\text{Tiempo de Operación} - \text{Tiempo de Parada}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

2.8 Ningún mantenimiento programado

Es válido cuando:

- No puede encontrarse una tarea cíclica apropiada para una función oculta, y la falla múltiple asociada no tiene consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.
- No puede encontrarse una tarea proactiva que sea eficaz en cuanto a costos para fallas que tienen consecuencias operacionales o no operacionales. (Zúñiga, 2013, p.56).

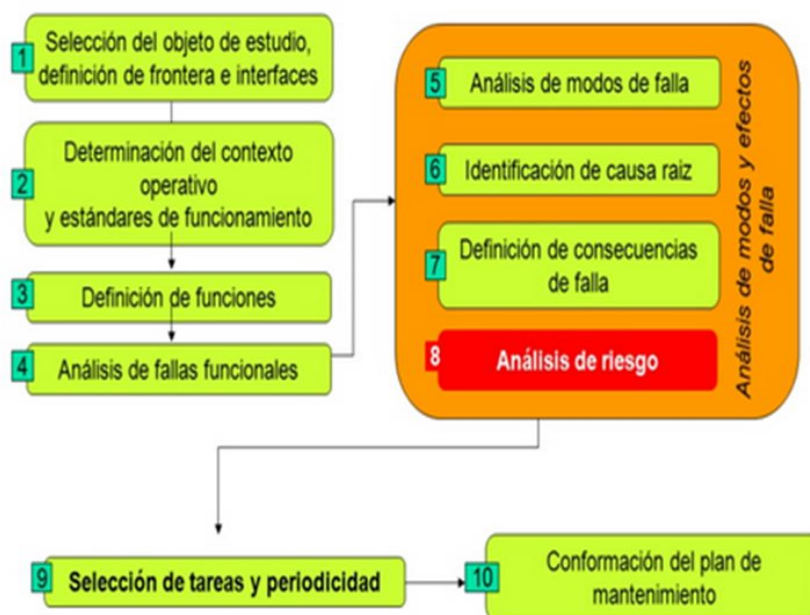
2.9 Rediseño

Se refiere a cualquier cambio en la especificación de cualquier componente de un equipo. Esto significa cualquier acción que implique un cambio en un plano o una lista de piezas. Incluye una modificación en la especificación de un componente, el agregado de un elemento nuevo, la sustitución de una máquina entera por una diferente, o el cambio de lugar de una máquina. (Zúñiga, 2013, p.57).

2.10 Diagrama de flujo del RCM

La fig. 2.13 ilustra la primera parte del proceso RCM, que consta de la identificación del sistema, la definición de funciones, las fallas y los modos de falla, la identificación de las consecuencias de las fallas y selección de tareas con las frecuencias. Con todos estos se obtendrá la planta de mantenimiento basado en la confianza.

Figura 2.13: Diagrama de Flujo del RCM



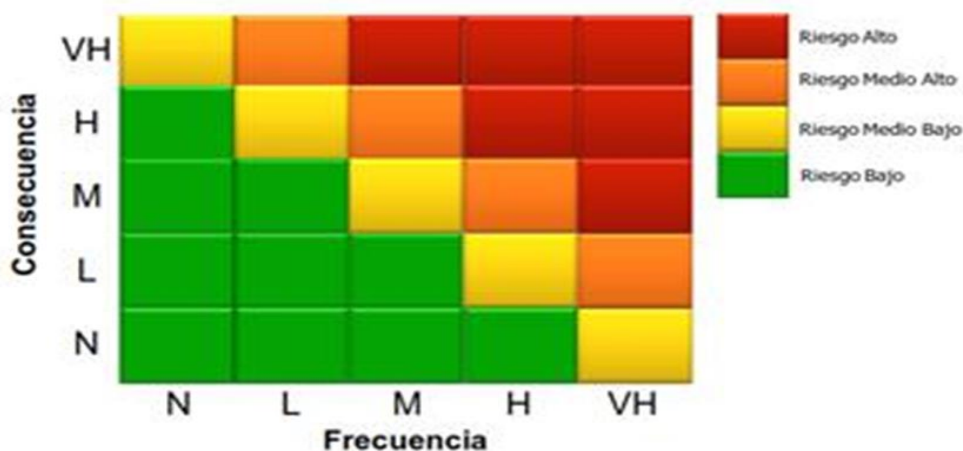
Fuente: Ortiz (2007). Memorias curso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad-RCM

2.11 Análisis de criticidad

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos, de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo” creando una estructura que facilita la toma de decisiones y el direccionamiento del esfuerzo y los recursos hacia las áreas, de acuerdo con su impacto en el negocio.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la Instalación, Sistema, Equipo o Dispositivo (ISED) bajo análisis, tal como se ilustra en la figura 2.14. (Gutiérrez y Agüero, 2007, p.2).

Figura 2.14: Matriz de criticidad



Fuente: Gutiérrez, E. Agüero, M. (2007). Indicadores de gestión

Los productos del Análisis de Criticidad son:

- Lista jerarquizada por “criticidad” de los ISED’s (instalaciones, sistemas, equipos o dispositivos) bajo análisis.
- Matriz de criticidad con la calificación del riesgo asociado.

2.11.1 Fundamentos del análisis de criticidad

El Análisis de Criticidad (AC) es una metodología “semi-cuantitativa” para dimensionar el riesgo que permite establecer jerarquías o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos (ISED’S), de acuerdo a una figura de mérito llamada “Criticidad”; que es proporcional al “Riesgo”: La Criticidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Impacto}$$

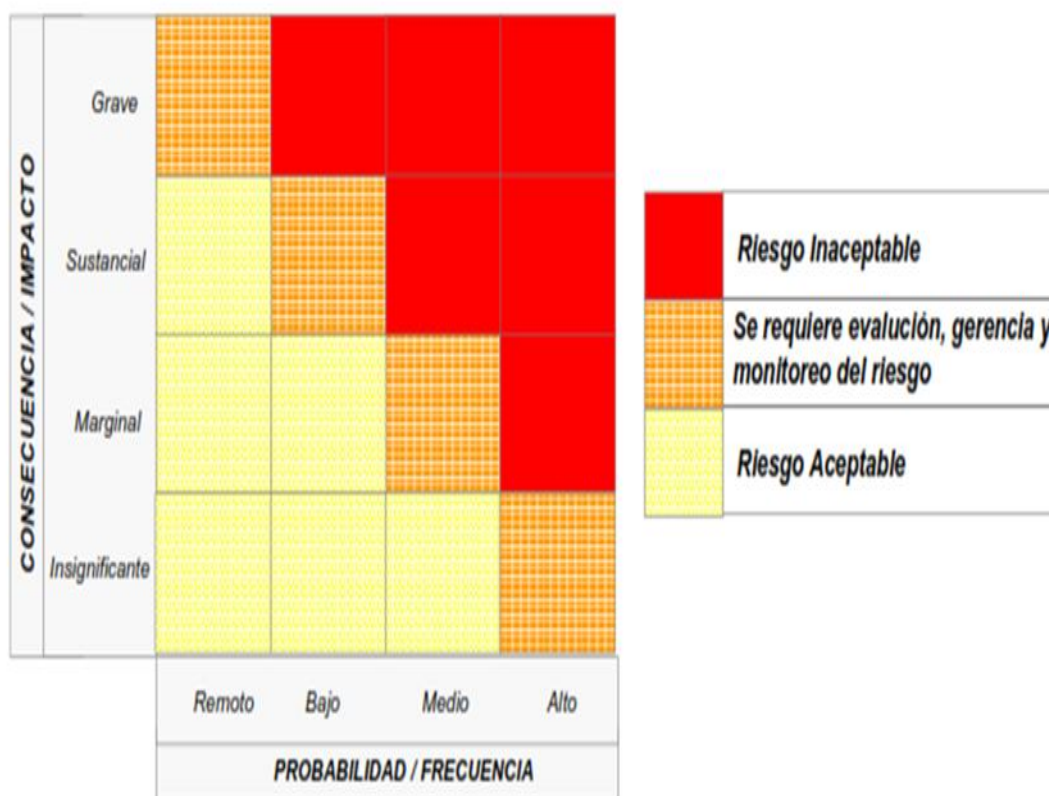
La cual es proporcional a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{RIESGO} = \text{Prob. Falla} \times \text{Consecuencia}$$

La Frecuencia de Falla es proporcional a la probabilidad de falla y el Impacto es proporcional a la Consecuencia de una falla; en consecuencia; CRITICIDAD es Proporcional al RIESGO. El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias. Ambas magnitudes; frecuencias e impactos; se llevan entonces a una matriz; como la mostrada en la figura 2.2.6 que tiene un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo

análisis (Gutiérrez, 2007, p.5).

Figura 2.15: Matriz de criticidad



Fuente: Gutiérrez (2007). Indicadores de gestión

2.11.2 Métodos para análisis de criticidad

Durante el proceso de concepción y diseño de una estructura de criticidad para un sistema, proceso o negocio en particular, debe tomarse en cuenta tres grandes tareas:

- Realizar un exhaustivo análisis estadístico de eventos de falla y de su impacto global en el negocio, para establecer rangos relativos para las

frecuencias de falla y para los impactos o consecuencias de falla.

- Establecer claramente lo que se considerará como riesgo intolerable y lo que se considerará como riesgo tolerable; lo cual implica un extenso análisis de “tolerabilidad del riesgo” en toda la organización, y la revisión de normas, estándares y regulaciones vigentes por tipo de proceso.
- Lograr un “gran acuerdo” aceptado a todos los niveles de la organización o proceso donde se utilizará la estructura de criticidad y unificar criterios para su interpretación y correcta utilización.

Las tareas previamente expuestas son seguramente posibles, pero también implican un considerable esfuerzo de análisis y el consumo de recursos y tiempo; por esta razón, muchas organizaciones deciden buscar entre las estructuras de criticidad ya diseñadas y probadas para adoptar una de estas metodologías (la que mejor se adecue a la naturaleza del proceso o negocio bajo análisis). (Gutiérrez, 2007, p.7). A continuación se describen brevemente algunas de las metodologías de criticidad de más amplia aceptación en la industria de procesos:

Metodología de análisis de criticidad de los puntos

Las estructuras de criticidad que provee la llamada “metodología de los puntos” tienen su origen en el movimiento de mejora de la confiabilidad de los procesos productivos que se inició en la industria petrolera del Mar del Norte en la década del 90 [manual de criticidad de PDVSA - CIED] y hoy es ampliamente utilizada en la industria petrolera.

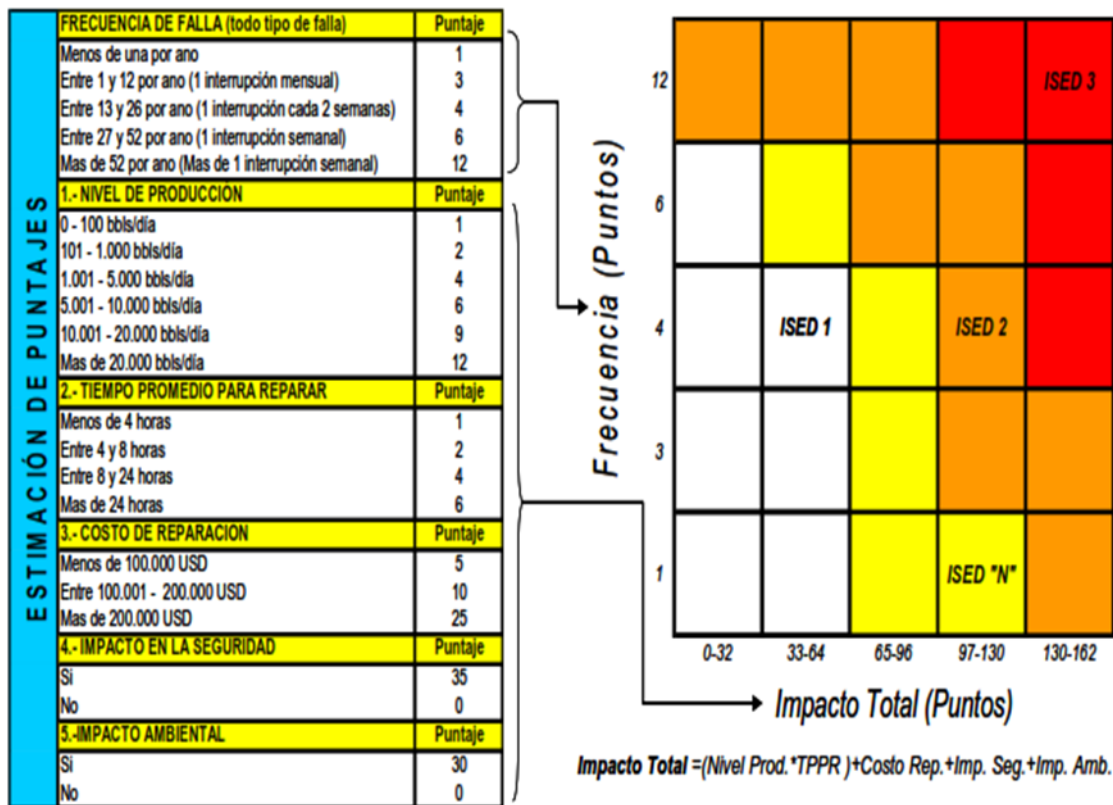
La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos” (Gutiérrez, 2007, p.7).

La ecuación base para el cálculo de criticidad en esta metodología es la siguiente:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de Fallas} \times [(\text{Nivel de Producción} \times \% \text{ Impacto} \times \text{TPPR}) + \text{Costo Rep.} + \text{Imp. Seg.} + \text{Imp. Amb}].$$

La figura 2.16 muestra la tabla para estimación de puntajes y la matriz de riesgo que propone la metodología. Su uso es intuitivo, de fácil manejo y rápida aplicación. Como todo análisis semi-cuantitativo, puede ser altamente impactado por la subjetividad en su aplicación, por lo que es recomendable el estudio de las bases o premisas que sustentan el diseño de la matriz de riesgo y la “clara definición” de cada uno de los términos de la ecuación de criticidad para evitar dualidad en la interpretación. Adicionalmente, se recomienda la participación de “equipos naturales de trabajo” en la valoración de la criticidad para minimizar el sesgo y la subjetividad.

Figura 2.16: Metodología de análisis de criticidad de puntos



Fuente: Gutiérrez (2007). Indicadores de gestión

Análisis de criticidad para propósitos de mantenimiento - Norsok Standard Z-008

En este punto describiremos brevemente uno de los más utilizados estándares en la industria del gas y del petróleo; el Estándar NORSOK Z-008; pero para profundizar en su entendimiento y aplicaciones se recomienda a los lectores consultar la referencia. El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho más amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un

procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma Norsok es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevas y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes, considerando los riesgos relacionados con:

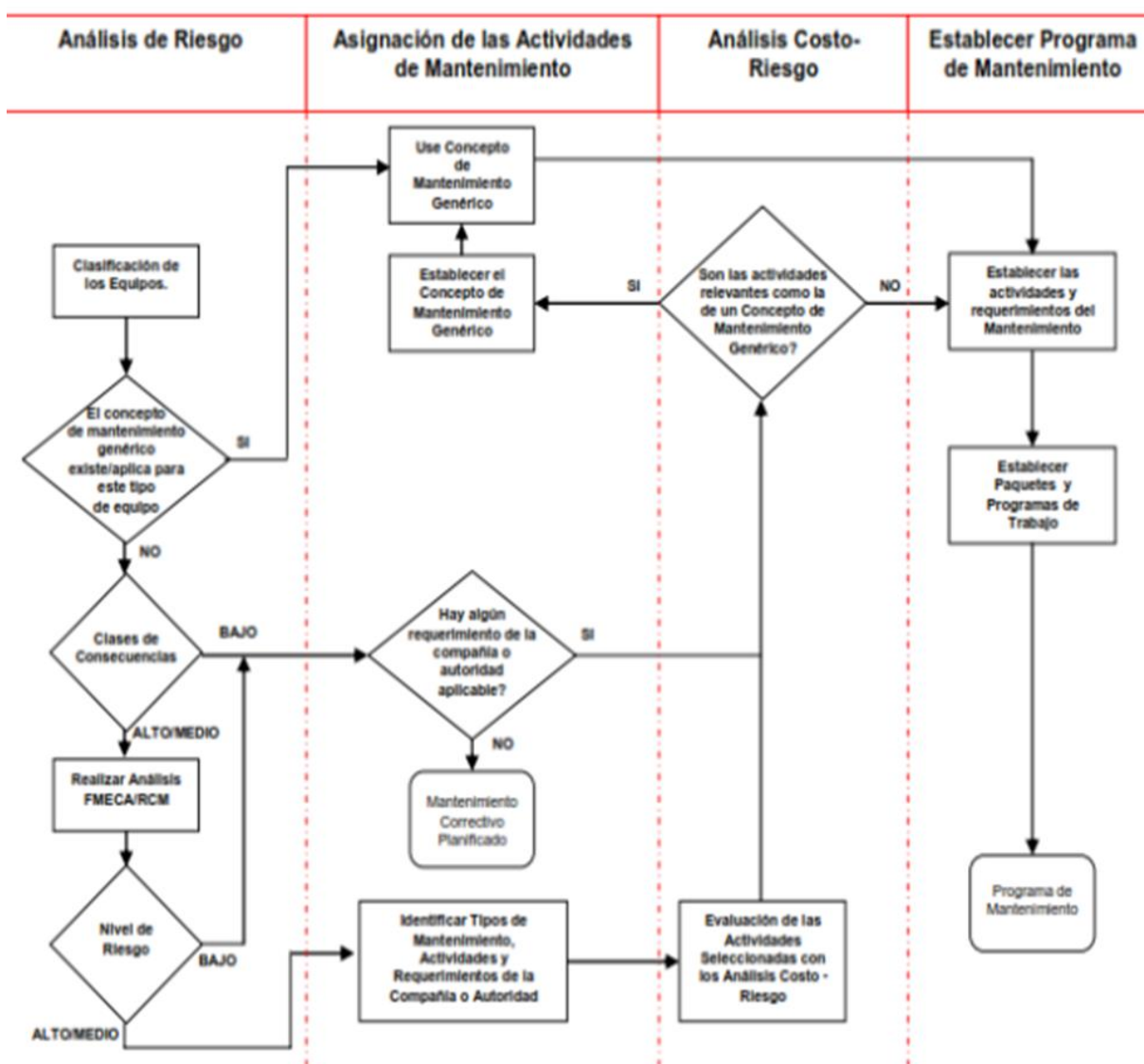
- Personal
- Ambiente
- Pérdida de producción.
- Costos Económicos Directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El estándar Norsok Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidos del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras flotantes, Raisers y gasoductos/oleoductos, este estándar Norsok es aplicable para los propósitos diferentes como:

Fase de Diseño. (Determinar los requerimientos iniciales de mantenimiento, identifica fallas ocultas de equipos críticos escondidos sobre equipo crítico y selección de partes y repuestos). Preparación para la operación. Desarrollo de

programas de mantenimiento iniciales para la puesta en funcionamiento de sistemas y selección de piezas de repuesto corrientes. Fase Operacional. (Optimización de programas de mantenimiento existentes y como guía para priorizar ordenes de trabajo). Para la determinación de la criticidad de los activos según esta norma se emplea el siguiente flujograma en la siguiente figura 2.17.

Figura 2.17: Metodología de Norsok Standard Z-008



Fuente: Gutiérrez (2007). Indicadores de gestión

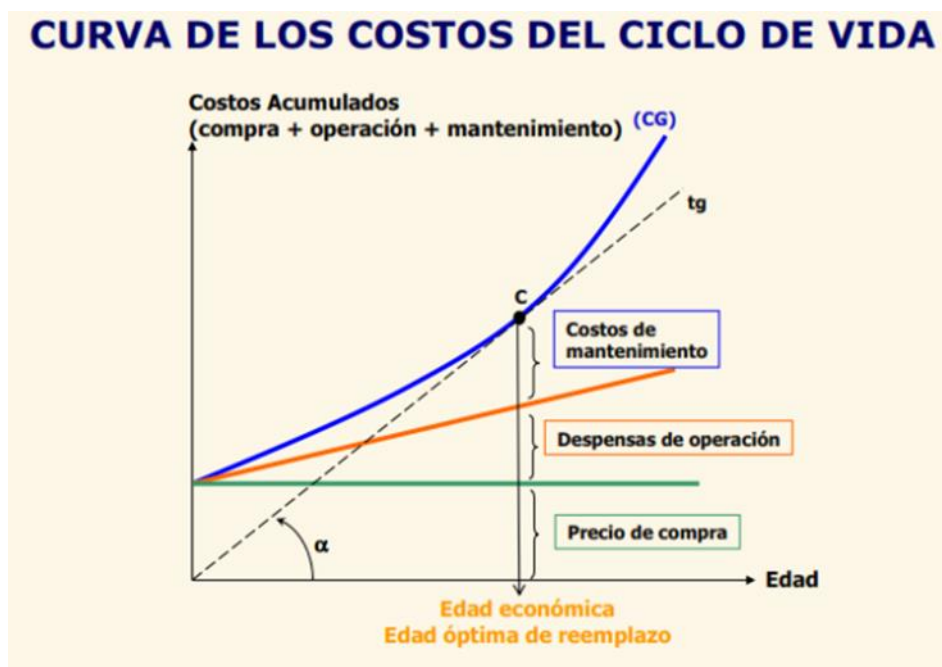
2.12 Definiciones y conceptos del LCC

La suma de los costos de adquisición, operación y mantenimiento durante toda la vida útil, revenda, reforma y destrucción del equipo o de la instalación, describe la curva del LCC según la figura 2.18.

El análisis que tiene en cuenta el factor tiempo, ligado a los costos de utilización de un equipo o de una instalación, indicara el tiempo propicio para pensar en un recambio a largo y corto plazo de activo fijo.

La evolución del design-to-cost (USA), restringido a los objetivos de costos ligados a la concepción (sustituido por LCC en 76/77). (Gutiérrez, 2007, p.9).

Figura 2.18: Metodología de Norsok Standard Z-008



Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

Intereses de la aplicación del LCC

Es para los operadores, mantenedores y gerentes de operación, que utilizan equipos para generar ingresos para la empresa y para cual es importante controlar los costos de utilización sobrepasan el costo inicial de compra.

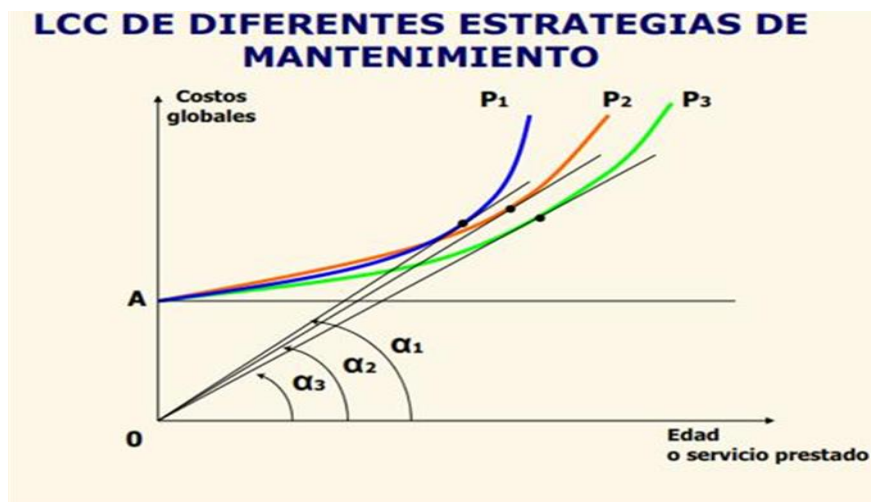
La posibilidad de integrar en la estrategia de mantenimiento, la noción de equilibrio entre los costos de utilización y el capital invertido y tiene la posibilidad para el operador de comprender mejor el nivel de influencia de los costos de mantenimiento en el valor total de los gastos de operación.

También es importante colocar en evidencia las repercusiones económicas a largo plazo resultando de la confiabilidad de la operación del equipo y/o del mantenimiento practicado (evitar el efecto perverso «bomba reloj»). (Gutiérrez, 2007, p.9).

Modalidades de la aplicación del LCC

- La comparación entre varias estrategias de mantenimiento, es importante para analizar las mejores decisiones y cambios para el futuro. Como se puede verificar en la figura 2.19.
- La planificación y la definición presupuestaria en largo plazo.
- El Auxilio en la decisión cerca del momento de reemplazo del equipo (vida económica).
- La evaluación del impacto de las múltiples modificaciones de un equipo durante su vida útil (gestión económica de la configuración). (Gutiérrez, 2007, p.10).

Figura 2.19: LCC de diferentes estrategias de mantenimiento



Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

Ventajas de la aplicación del LCC

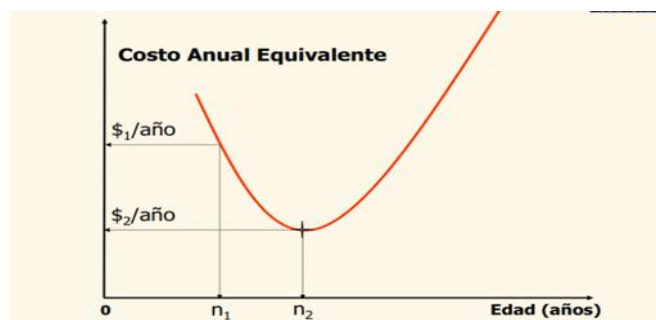
- Identificar los equipos para los cuales los costos de utilización exceden el costo de compra.
- Posibilidad de integrar, en la estrategia de mantenimiento, la idea de equilibrio entre los costos de utilización y el capital invertido.
- Comprender el nivel de influencia de los costos de mantenimiento en valor total de los gastos de operación.
- Poner en evidencia las repercusiones económicas en largo plazo, resultando la confiabilidad de la operación del equipo y /o da mantenimiento practicada (evitar lo efecto perverso “bomba reloj”).

Costo anual equivalente

El Costo Anual Equivalente (C.A.E) es la media anual de los costos de un equipo (costo de la compra, operación y mantenimiento) en el momento del análisis.

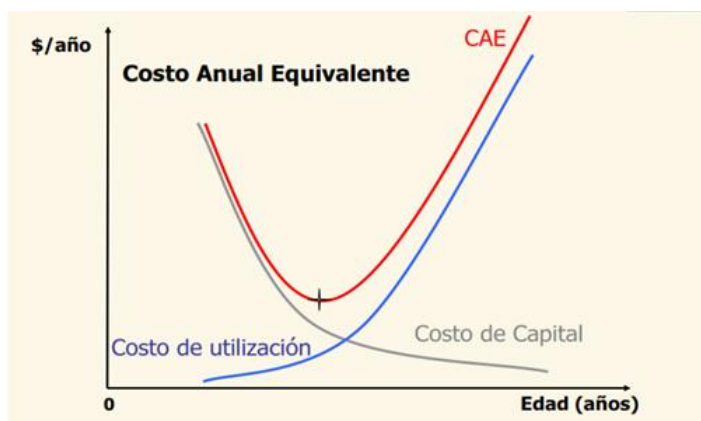
Significado de una curva de CAE: Si, en el año n , se decide reemplazar el equipo, él costará, en media, el valor dólares CAE en el año n , por año. Según se puede ver en las figuras 2.20 y 2.21.

Figura 2.20: Costo anual equivalente



Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

Figura 2.21: Costo anual equivalente - costo de utilización



Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

En la siguiente figura, vemos los diferentes costos de las etapas del ciclo de vida de un activo, diferenciados por costos de operación (OPEX) y Costos de Capital (CAPEX). Ver la figura 2.22.

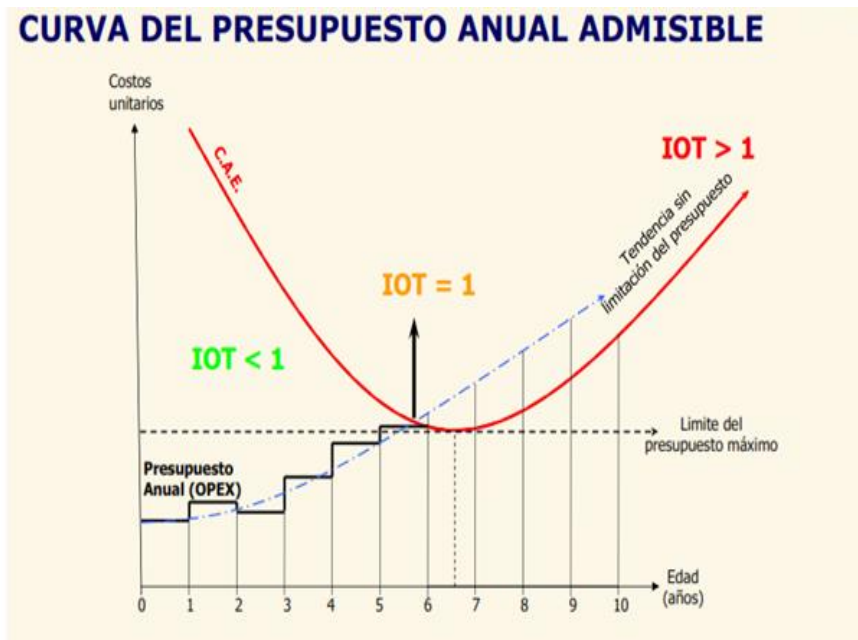
Figura 2.22: Estructura de costos de los activos



Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

Tomando como referencia las figuras 2.21 y 2.22, se puede indicar que todo ciclo de vida tiene una índice presupuestario de tolerancias (IOT) o punto de declive, donde se podría indicar analizar que el costo de vida de un equipo puede tender a subir y por ende considerar su posible recambio en caso sea necesario, como se puede ver en figura 2.23 y definió en la figura 2.24.

Figura 2.23: Curva del presupuesto anual admisible



Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

Figura 2.24: Interface LCC/ Mantenimiento

INTERFACE LCC / MANTENIMIENTO

Concepto del Presupuesto Anual Admisible de mantenimiento:

- Superposición de las curvas de costo anual unitario (presupuesto) e de costo anual equivalente
- IOT - Índice Presupuestario de Tolerancia:

IOT=	OPEX
	CAPEX

Fuente: ASSETSMAN –Azevedo (2012)

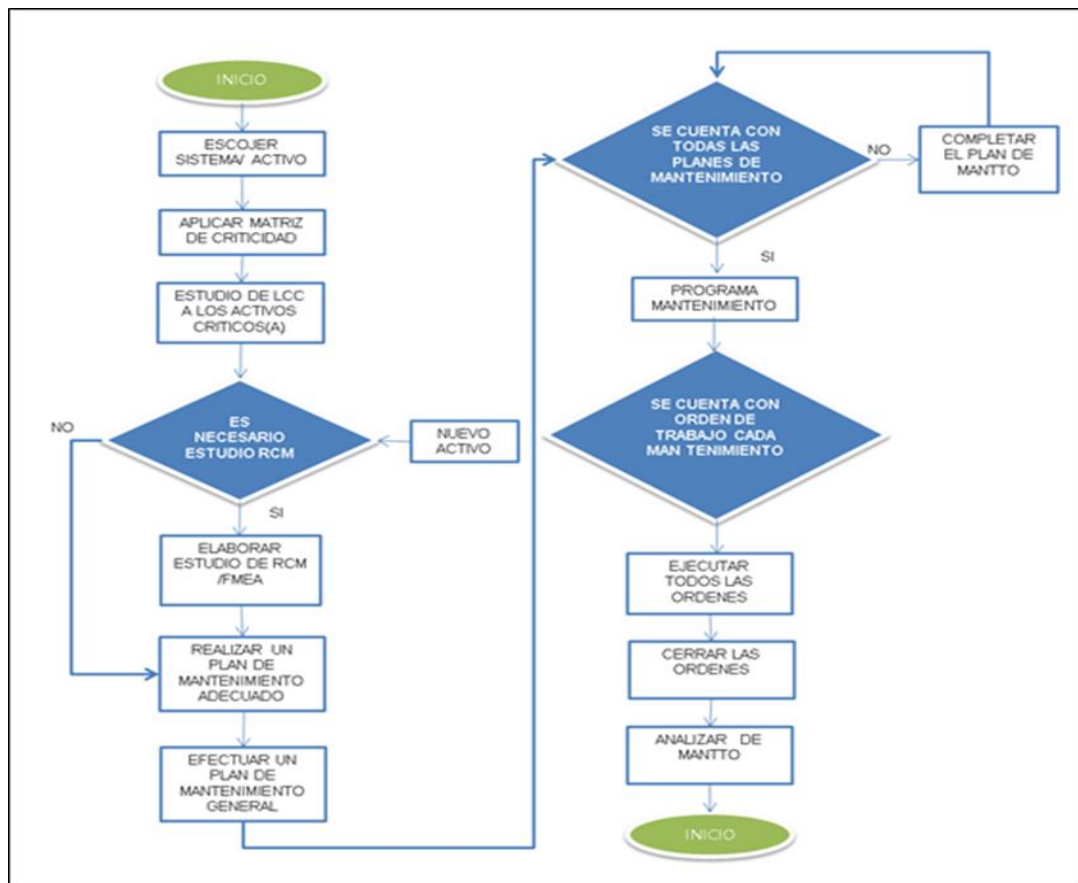
CAPITULO III

APLICACIÓN DEL RCM

3.1 Selección de activos críticos para la aplicación del RCM

En función al siguiente diagrama de flujo 3.1 se implementado el desarrollo del proceso de mantenimiento de la Cía. Minera Milpo, unidad “El Porvenir”, donde se menciona los pasos para aplicar el RCM a los equipos críticos y los no críticos.

Figura 3.1: Proceso de mantenimiento de Cía. Minera Milpo, unidad “El Porvenir




Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir”

3.1.1 Inventario de activos del sistema de izaje mineral

A continuación se describirá el inventario de los 12 activos o equipos que conforma el sistema de izaje mineral. Este sistema de producción se considera un sistema mixto, debido a la existencia de sistemas de equipos en serie y equipos en paralelo o redundantes. Ver tabla 3.2.

Tabla 3.2: Inventario de activos del sistema de izaje mineral

		VM Documento de Datos Matriz de Clasificación de Equipos		
INVENTARIO DEL SISTEMA DE IZAJE MINERAL				
ITEM	CÓDIGO DEL EQUIP	DESCRIPCIÓN	EJECUTANTE	FECHA
1	WP-01	WINCHE DE PRODUCCION	EPALOMARES	12/05/2012
2	SKIP-01	SKIP 7	EPALOMARES	12/05/2012
3	SKIP02	SKIP8	EPALOMARES	12/05/2012
4	SCR-01	SCROLL NV+18	EPALOMARES	12/05/2012
5	PO-01	POLEA DERECHA NV+40- WINCHE PRODUCCION	EPALOMARES	12/05/2012
6	PO-02	POLEA IZQUIERDA NV+40- WINCHE PRODUCCION	EPALOMARES	12/05/2012
7	POCK-01	LOADING POCKET NV-1205	EPALOMARES	12/05/2012
8	FA-01	FAJA PRINCIPAL NV-1205	EPALOMARES	12/05/2012
9	FA-02	FAJA ORE BIN NV-1205	EPALOMARES	12/05/2012
10	FA-03	FAJA WASTE BIN NV-1205	EPALOMARES	12/05/2012
11	ROSS-01	ROSS FEEDERS DEL ORE BIN NV-1205	EPALOMARES	12/05/2012
12	ROSS-02	ROSS FEEDERS DEL WASTE BIN NV-1205	EPALOMARES	12/05/2012

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

3.1.2 Evaluación de criticidad según el método del punto

Esta metodología permite jerarquizar los sistemas, instalaciones y equipos, en función al impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. La evaluación de criticidad está en función a la frecuencia y la consecuencia que tiene impacto en operación, costos por mantenimiento, seguridad y medio ambiente. En función a lo descrito se estableció la siguiente tabla 3.1.2 para realizar un análisis de criticidad a nuestros activos.

Tabla 3.2: Evaluación de criticidad según el método del punto

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE CRITICIDAD DE EQUIPOS																	
S - SEVERIDAD										G - GRAVEDAD		O - "OCURRENCIA" = INCIDENCIA		C - COMPLEJIDAD			
"QUALIDADE" - CALIDAD (Q)		COSTO (C)		ATENCIÓN (A)		MEDIO AMBIENTE (MA)		SEGURIDAD (S)						TECNOLÓGICA	MATERIAL	LOGÍSTICA	
Efectuar de la indisponibilidad del equipo sobre la calidad de las productur		Corte anual de mantenimiento del equipo (R\$)		Disponibilidad de equipos accesorios al cumplimiento de planes de producción.		Efectuar de la indisponibilidad del equipo sobre el medio ambiente		Efectuar de la indisponibilidad del equipo sobre la seguridad personal y patrimonial		Evaluar el conocimiento de la indisponibilidad del equipo con respecto a la parada asociada de otras unidades de producción y/o implicaciones relativas al restablecimiento de la operación.		Tasa o probabilidad de incidencia de paradas del equipo o la larga de su vida útil		Evaluar el grado de dificultad para el Mantenimiento en función de tecnología y/o Know-How y/o disponibilidad de recursos específicos del equipo	Evaluar el impacto de la indisponibilidad del equipo con respecto al grado de dificultad asociada a la obtención de repuestos por el Mantenimiento	Evaluar el impacto de indisponibilidad del equipo referente al grado de dificultad para el Mantenimiento con respecto al acceso y ubicación de recursos logísticos accesorios e intervenciones	
10	Crítica para la calidad de las productur	10	Elevado (Costo > 300.000)	10	Disponibilidad accesorios > 95%	10	La indisponibilidad del equipo ocasionará impacto catastrófico, requiere acciones legales y/o afectar negativamente a la imagen de la empresa.	10	La indisponibilidad del equipo podrá ocasionar daños catastróficos y/o accidentes en masa.	10	Alta	10	Alta > 100/año	10	Alta	10	Alta
9		9		9		9		9		9		9					
8		8		8		8		8		8		8					
7	Afecta la calidad de las productur	7	Moderado (Costo > 100.000 < 300.000)	7	Disponibilidad accesorios entre 85% y 95%	7	La indisponibilidad del equipo ocasionará impacto moderado requiriendo acciones correctivas significativas y/o de mediano plazo.	7	La indisponibilidad del equipo podrá ocasionar daños o lesiones del equipo y/o personal.	7	Medio	7	Medio > 10 x 100/año	7	Medio	7	Medio
6		6		6		6		6		6		6					
5		5		5		5		5		5		5					
4	No causa impacto en la calidad de las productur	4	Bajo (Costo < 100.000)	4	Disponibilidad accesorios < 85%	4	La indisponibilidad del equipo no resultará en impacto ambiental.	4	La indisponibilidad del equipo no tiene ningún impacto sobre la seguridad personal y/o patrimonial.	4	Baja	4	Baja < 10/año	4	Baja	4	Baja
3		3		3		3		3		3		3					
2		2		2		2		2		2		2					
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

FACTOR DE PRIORIZACIÓN DE CRITICIDAD

FPCE = ((2*Q)+(3*C)+(3*A)+(3*MA)+(3*S)+(3*G)+(2*O)+(T)+(M)+(L));

Donde: Q = Calidad; C = Costo; A = Atención; MA = Medio Ambiente; S= Seguridad; G = Gravedad; O = Incidencia; T = Tecnología; M = Material; L = Logística

OBS: Caso la puntuación referente a los criterios de Medio Ambiente y Seguridad sean superior o igual a 8, los equipos deberán tener un tratamiento diferenciado en cuanto a la estrategia de mantenimiento.

CRITERIOS DE DETERMINACIÓN DE CRITICIDAD:

FPCE de X1 a X2 - Criticidad BAJA (Clase C)

X2 < FPCE < X3 - Criticidad MEDIA (Clase B)

FPCE >= X3 - Criticidad ALTA (Clase A);

Obs.: X1, X2 y X3 se deben ajustar de acuerdo con proceso de cada unidad, de tal forma que atienda los siguientes criterios: 5% - Clase A; 15% - Clase B y 80% - Clase C.

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Luego de aplicar la evaluación de la criticidad al inventario de equipos que conformar el sistema de izaje, se tuvo los siguientes resultados y clasificación final, como se puede describir en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Evaluación de la criticidad al inventario de equipos

ITEM	CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN	FPCE	CRITICIDAD	EJECUTANTE
1	WP-01	WINCHE DE PRODUCCION	137	A	E.PALOMARES
2	SKIP-01	SKIP 7	131	A	E.PALOMARES
3	SKIP02	SKIP 8	131	A	E.PALOMARES
4	SCR-01	SCROLL NV+18	131	A	E.PALOMARES
5	PO-01	POLEA DERECHA NV+40	122	A	E.PALOMARES
6	PO-02	POLEA IZQUIERDA NV+40	122	A	E.PALOMARES
7	POCK-01	LOADING POCKET NV-1205	122	A	E.PALOMARES
8	FA-03	FAJA PRINCIPAL NV-1205	122	A	E.PALOMARES
ITEM	CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN	FPCE	CRITICIDAD	EJECUTANTE
12	ROSS-02	ROSS CHAIN- WASTE BIN NV-1205	92	B	E.PALOMARES
11	ROSS-01	ROSS CHAIN - ORE BIN NV-1205	92	B	E.PALOMARES
10	FA-02	FAJA WASTE BIN NV-1205	89	B	E.PALOMARES
9	FA-01	FAJA ORE BIN NV-1205	89	B	E.PALOMARES

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Según la evaluación de criticidad se puede verificar que los activos críticos del tipo A son 8 activos en serie y los activos del tipo B son 4 activos en paralelo según la figura 3.1.2 del flujo de procesos. Según la matriz de criticidad de la tabla 3.2, con la finalidad de clasificar los activos en categorías A (critico), B (medio) y C (bajo), con la finalidad determinar las clases de mantenimiento e importancias de que se debe aplicar a los activos según su clasificación.

Figura 3.2: Sistema de izaje mineral= Sistema mixto de activos



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Cabe señalar que la aplicación del RCM esta direccionada a los equipos críticos del tipo A debido a la importancia que es para la operación y costo que embarga la implementación del RCM. Por otro lado es necesario afinar esta selección de activos crítico, para ello es necesario aplicar la técnica del LCC (costo del ciclo de vida) de cada activo del tipo A.

3.1.3 Ciclo de vida de los activos críticos – tipo A

3.1.3.1 Faja principal

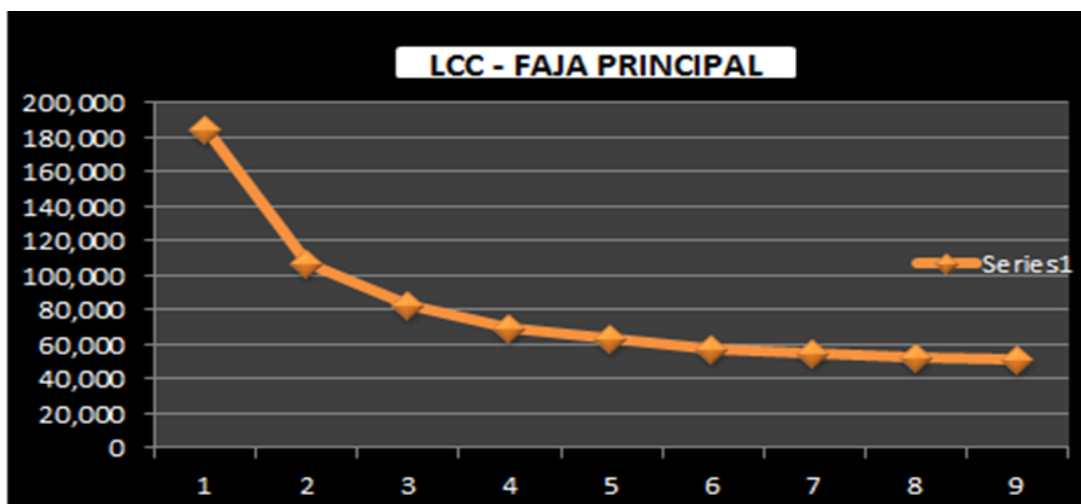
Tiene la función de transportar mineral a una velocidad constante (3.5 m/s) y se apagara una vez alcance transportar 10 toneladas de minera primario. Este equipo viene operando desde 2004.

Tabla 3.4: Ciclo de vida- faja principal

FAJA PRINCIPAL						
Años	Inversiones \$	OPEX	LCC	CAE	IOT	
	0	150.000				
2004	1		35.000	185.000	185.000	0,19
2005	2		30.000	215.000	107.500	0,28
2006	3		32.000	247.000	82.333	0,39
2007	4		30.000	277.000	69.250	0,43
2008	5		38.000	315.000	63.000	0,60
2009	6		32.000	347.000	57.833	0,55
2010	7		38.000	385.000	55.000	0,69
2011	8		40.000	425.000	53.125	0,75
2012	9		36.000	461.000	51.222	0,70

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.3: LCC- Faja principal



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Según el cálculo mostrado en la tabla 3.4 y la figura 3.3, el activo ya cuenta con 9 años de vida útil y el factor IOT a partir del año 5 está tendiendo a subir ($IOT > 0.5$), considerando que el equipo está comenzado incrementar los costos anualmente. Por estas condiciones se podría considerar activo crítico.

3.1.3.2 Loading Pocket

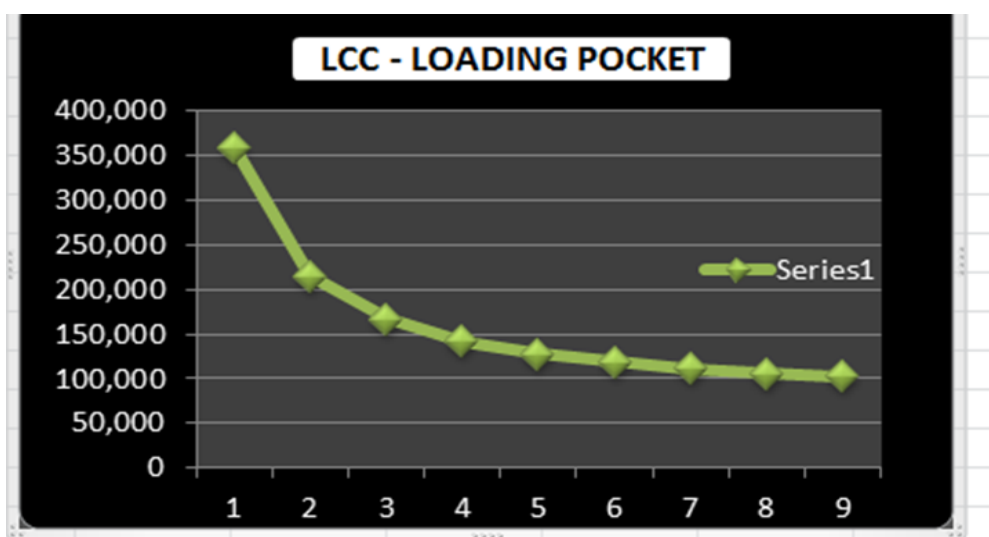
Su función es de captar un total de 10 toneladas de mineral y una vez alcanzado procederá a descargar a los Skips.

Tabla 3.5: Loading pocket

LOADING POCKET						
Años	Inversiones \$	OPEX	LCC	CAE	IOT	
	0	280.000				
2004	1		80.000	360.000	360.000	0,22
2005	2		70.000	430.000	215.000	0,33
2006	3		72.000	502.000	167.333	0,43
2007	4		65.000	567.000	141.750	0,46
2008	5		70.000	637.000	127.400	0,55
2009	6		75.000	712.000	118.667	0,63
2010	7		65.000	777.000	111.000	0,59
2011	8		70.000	847.000	105.875	0,66
2012	9		80.000	927.000	103.000	0,78

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.4: LCC- Loading pocket



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Según el cálculo mostrado en la tabla 3.5 y la figura 3.4, el activo ya cuenta con 9 años de vida útil y el factor IOT a partir del año 6 está tendiendo a subir ($IOT > 0.5$), considerando que el equipo está comenzado incrementar los costos anualmente. Por estas condiciones se podría considerar activo crítico.

3.1.3.3 Skips

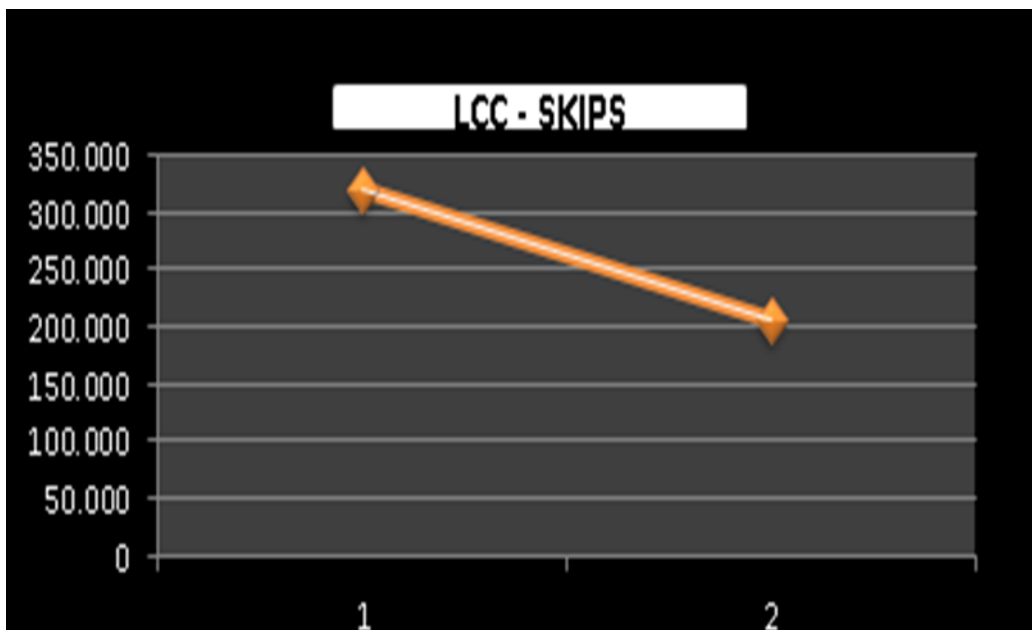
Su función es recepcionar el mineral una vez que los pockets del Nv-1205 apertura las 10 toneladas y una vez llegue a superficie (nv+18) descarguen así los silos de planta concentradora. Estos skips fueron instalados a mediados del 2011 y viene operando a la fecha.

Tabla 3.6: Skips

SKIPS					
Años	Inversiones	OPEX	LCC	CAE	IOT
	0	250.000			
2011	1		70.000	320.000	0.22
2012	2		90.000	410.000	0.44

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir”

Figura 3.5: LCC- Loading pocket



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Como se puede verificar en la tabla 3.6 y en la figura 3.5 el CAE se encuentra con tendencia a seguir descendiendo y IOT se encuentra en 0.44 y podríamos indicar que el activo se encuentra a la mitad de su vida útil. No podríamos considerarlo como activo crítico.

3.1.3.4 Winche

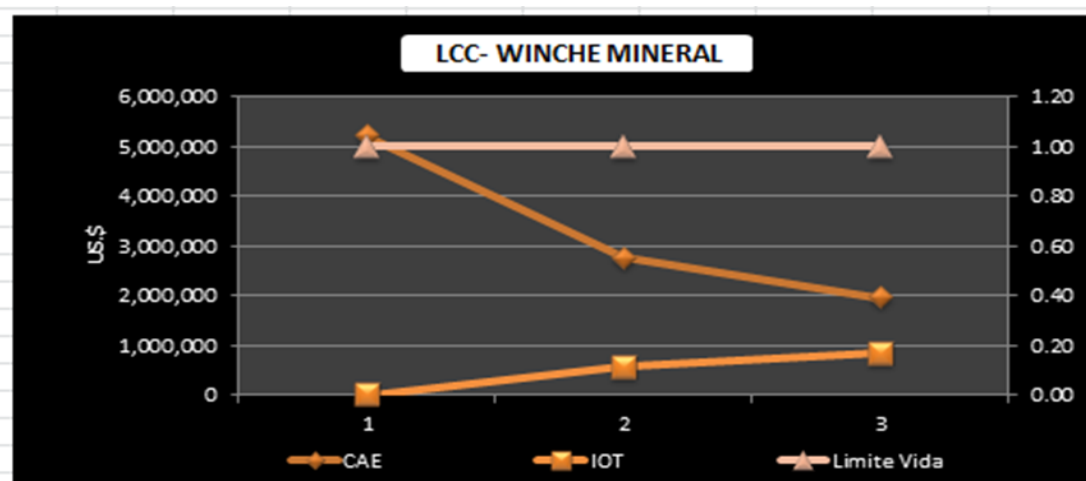
Su función es generar la fuerza motriz del sistema de izaje, mueve los skips desde el nivel inferior y superior a una velocidad máxima de 2600 ft/min, el cual recorre 1250 metros en solo 2.45 minutos llevando 10 toneladas de carga en cada viaje. El presente activo viene operando desde 2011 siendo considerado el activo más costoso de la unidad minera.

Tabla 3.7: Winche de producción

WINCHE DE PRODUCCION							
Años	Inversiones \$	OPEX	LCC	CAE	IOT	Limite Vida	
	0	5.218.500					
2010	1	5.218.500	1.188	5.219.688	5.219.688	0,00	1
2011	2	5.218.500	317.104	5.536.792	2.768.396	0,11	1
2012	3	5.218.500	324.618	5.861.410	1.953.803	0,17	1

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.6: LCC- Winche mineral



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

De la tabla 3.7 y la figura 3.6 se puede ver que la curva se encuentra en inicio y el IOT se encuentra 0.17 con lo cual podemos indicar que el equipo es nuevo y se encuentra en desarrollo. Como responsable del desarrollo de la implementación del rcm en este sistema de izaje, seleccionaremos este activo como crítico por ser un activo de alto valor y por ser la fuerza motriz del sistema de izaje.

3.1.3.5 Polea

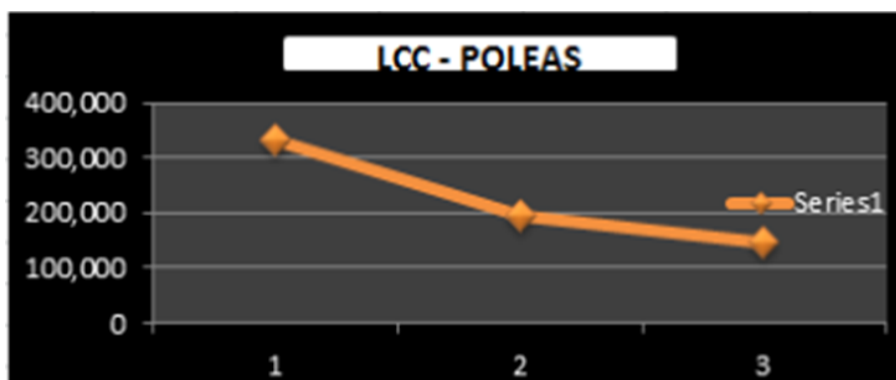
Es guía del cable de acero del Winche de Mineral para no crear restricción al momento de subir o bajar los skips. Este equipo al igual que el Winche es nuevo y viene operando desde 2011.

Tabla 3.8: Poleas

POLEAS						
Años		Inversiones	OPEX	LCC	CAE	IOT
	0	250.000				
2010	1		80.000	330.000	330.00	0.24
2011	2		60.000	390.000	195.00	0.31
2012	3		50.000	146.667	146.667	0.34

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.7: LCC- Poleas



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Como se puede verificar en la tabla 3.8 y en la figura 3.7 el CAE se encuentra con tendencia a seguir descendiendo y IOT se encuentra en 0.34 y podríamos indicar que el activo se encuentra ni a la mitad de su vida útil. No podríamos considerar como activo crítico.

3.1.3.6 Scroll

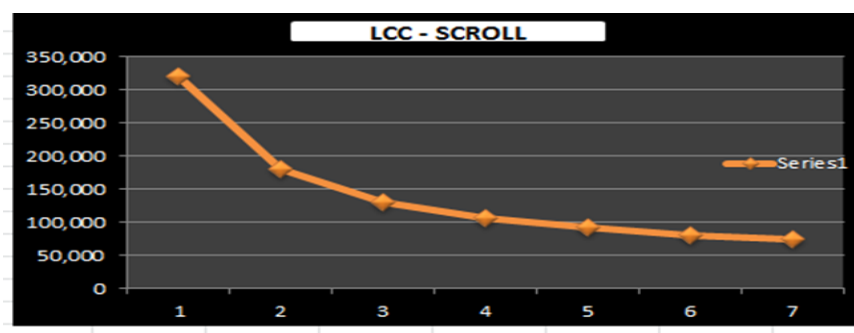
Su función es descargar las 10 toneladas que transporta cada skips. Este equipo es el último del proceso de extracción de mineral y alimenta a la Fase I de planta concentradora. Este activo viene funcionando desde 2006 hasta la actualidad.

Tabla 3.9: Scroll

SCROLL						
Años	Inversiones \$	OPEX	LCC	CAE	IOT	
	0	280.000				
2006	1		40.000	320.000	320.000	0,13
2007	2		39.000	359.000	179.500	0,22
2008	3		33.000	392.000	130.667	0,25
2009	4		34.000	426.000	106.500	0,32
2010	5		32.000	458.000	91.600	0,35
2011	6		30.000	488.000	81.333	0,37
2012	7		35.000	523.000	74.714	0,47

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.8: LCC- Poleas



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Como se puede verificar en la tabla 3.9 y en la figura 3.8 el CAE se encuentra con tendencia a seguir descendiendo y IOT se encuentra en 0.47 y podríamos indicar que el activo se encuentra ni a la mitad de su vida útil. No podríamos considerar como activo crítico.

3.1.4 Selección de activos críticos tipo “A”, luego del estudio del LLC

Por lo expuesto en el capítulo 3.1.2 y 3.1.3, a continuación se describe el nuevo listado de los activos críticos considerando el estado del LCC de cada activo, donde el valor IOT mayor al 0.5 o 50% considera que el equipo se encuentra en la curva ascendente con posibilidad a ser reemplazado.

Tabla 3.10: Activos críticos considerando el estado del LCC

ITE	CÓDIGO DEL EQUIPO	DESCRIPCIÓN	FPCE	CRITICIDAD	EJECUTAN
1	WP-01	WINCHE DE PRODUCCION	137	A	E.PALOMARES
7	POCK-01	LOADING POCKET NV-1205	122	A	E.PALOMARES
8	FA-03	FAJA PRINCIPAL NV-1205	122	A	E.PALOMARES

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

En este listado de la tabla 3.10, no se considera a las Poleas Nv+40, skips y scroll Nv18, debido a que el valor del IOT es menor al 0.5 o 50%, pero si se el Winche de Producción a pesar de tener un valor IOT menor de 0.5 o 50%, pero se justifica por representar el mayor costo de inversión durante adquisición, como también haber fallado años atrás, provocando pérdidas significativas a la empresa.

3.2 Aplicación del RCM utilizando el software 7PM

3.2.1 Introducción

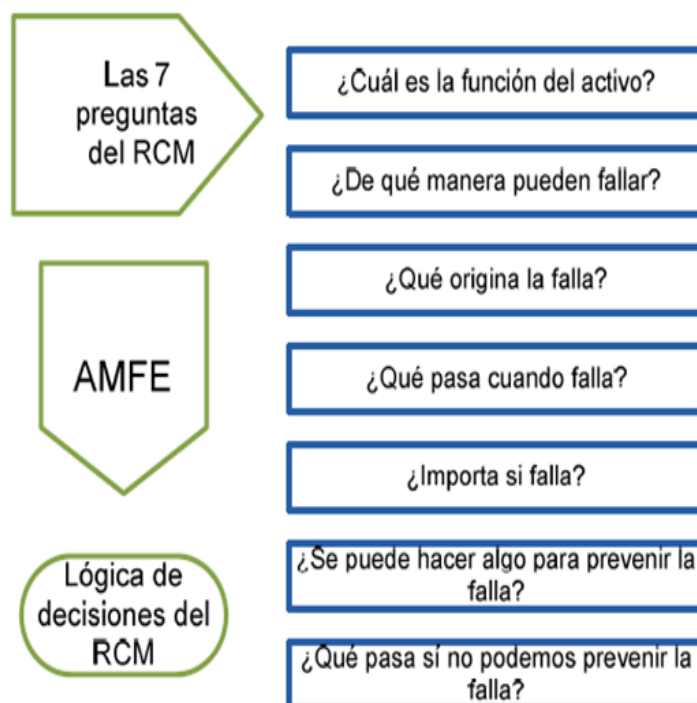
El RCM comienza el proceso de selección de tareas de mantenimiento asignado los efectos de cada modo de falla y clasificándolos dentro de una de las cuatro categorías definidas por el RCM. El software 7PM desarrollado por personal de Cía. Milpo, bajo los estándares y normas SAE JA 1011 y JA1012, tiene como objetivo facilitar el desarrollo del plan de mantenimiento usando la metodología del RCM.

El próximo paso es encontrar una tarea proactiva adecuada, que sea factible y permita realizar tareas que reduzca las consecuencias de falla al nivel que sea tolerable.

3.2.2 Equipo de trabajo

Para realizar la implementación del RCM fue necesario contar con un grupo de trabajo, que conozcan previamente la metodología de aplicación del proceso RCM. El grupo debía contestar las siete preguntas básicas del RCM, por medio del análisis y el consenso entre los miembros del grupo, como se describe en la figura 3.2.1 y 3.2.2.

Figura 3.9: Proceso RCM



Fuente: Ardila y Mantilla. (2008). Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en RCM

Figura 3.10: Metodología RCM



Fuente: Ardila y Mantilla. (2008). Diseño del mantenimiento basada en RCM

3.2.3 Hoja de información

La hoja de información para proceso RCM y para el análisis es el formato de la recopilación de los datos que nos llevaran a poder tener la información necesaria y bien administrada para poder analizar las consecuencias de falla y finalmente conseguir una buena selección y administración de las tareas de mantenimiento para el sistema.

Posiblemente la forma más acertada de iniciar la recolección de datos y su administración deba ser comenzando por definir las funciones y niveles de funcionamiento sin detallar con mucha profundidad, de forma que no se haga difícil el poder conceptualizar dichos estándares.

A continuación en la Tabla 3.11 se presentara los campos y descripciones solicitadas para efectuar el desarrollo del RCM.

Tabla 3.11: Aplicación del RCM

HOJA DE INFORMACIÓN RCMII							
SISTEMA	MOTOR DE UNIDAD GENERADORA			Código	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
SUBSISTEMA	TURBO CARGADOR			Código	Auditor:	Fecha:	de
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (Pérdida de función)	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA (Qué sucede cuando se produce una falla)				

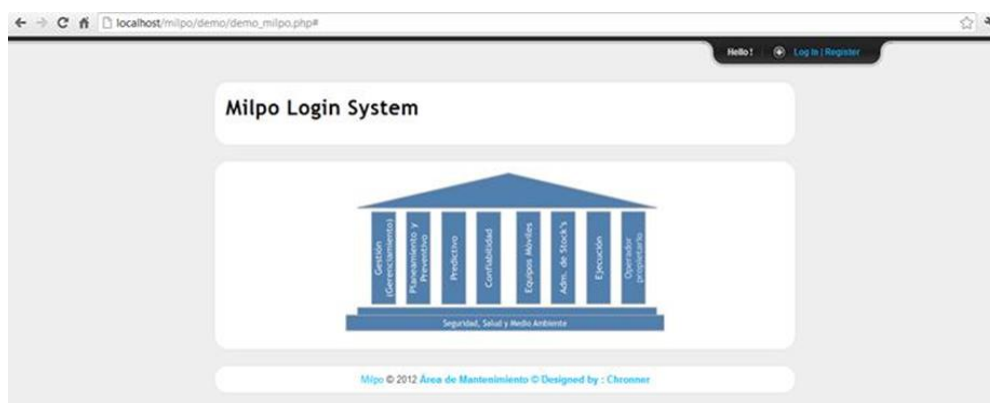
Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

3.3 información para el proceso RCM 7PM

3.3.1 Panel de control

Es ingreso al programa de mantenimiento 7pm, desarrollado en el área de mantenimiento con los principios del SAE 1011 Y 1012. En la figura 3.11 se puede ver la pantalla principal, en la figura 3.12 se verifica el entorno con los 7 pilares de mantenimiento, donde también encontramos el desarrollo del RCM (circulo amarillo).

Figura 3.11: Pantalla principal del programa 7pm



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir”

Figura 3.12: Pantalla principal del programa 7pm



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir”

3.3.2 Pilar de confiabilidad

El pilar de confiabilidad inicia con la descripción del activo o equipo, luego se procede a evaluar la criticidad con la finalidad de identificar el nivel de criticidad(A, B y C) y con esta selección de activos críticos se procede a elaborar el RCM de cada equipo. Ver Figuras: 3.13 y 3.14.

Figura 3.13: Entorno del pilar de confiabilidad y los campo para su desarrollo



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.14: Inventario de equipos de los equipos que conforman el sistema de izaje

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	SERIE	AÑO	
WP-01	WINCHE DE PRODUCCION	MA	MD	123B	2013	[edit] [delete]
TO-04	TOLVA OP2 NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]
POCK-01	LOADING POCKET NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]
TRAN-01	TRANSFER CAR NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]
FA-01	FAJA ORE BIN NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]
FA-02	FAJA WASTE BIN NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]
FA-03	FAJA PRINCIPAL NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]
ROSS-01	ROSS CHAIN - ORE BIN NV-1205	Marca	modelo	serie	2013	[edit] [delete]

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

En las siguientes fig.3.15 se ve el entorno de la evaluación del activo y en la fig. 3.16 el resultado final, donde puede notar la clasificación A, B y C, de cada activo.

Figura 3.15: Desarrollo de la evaluación de criticidad de los equipos

Nivel de Criticidad

ÁREA DE MANTENIMIENTO

Listado de EQUIPOS															
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Q	C	A	MA	S	S	G	T	M	L	FPCR	CRITICIDAD	EJECUTANTE	FECHA
ROSS-02	ROSS CHAIN- WASTE BIN NV-1205	3	3	5	4	4	6	4	4	4	4	92	B	Julio Casas	2012-09-05 17:15:51

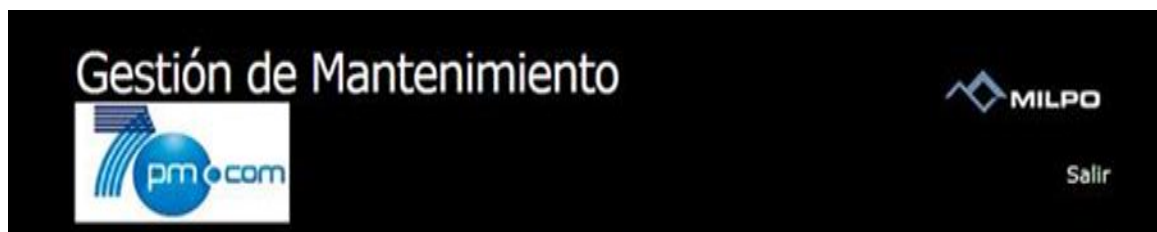
CALIDAD (Q)

Efectos de la indisponibilidad del equipo sobre la calidad de los productos.

CRITERIO DE EVALUACIÓN									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Crítico para la calidad de los productos			Afecta la calidad de los productos				No causa impacto en la calidad de los productos		

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.16: Resultado de la evaluación de la criticidad de los equipos y su clasificación(A, B y C)



Listado de EQUIPOS																
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	Q	C	A	MA	S	G	O	T	M	L	FPCR	CRITICIDAD	EJECUTANTE	FECHA	OPCIONES
F3 MP 268	Molino 8x10	6	3	8	2	2	7	4	4	5	5	100	B	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 267	Hidrociclones	6	4	5	2	2	5	4	5	4	5	88	B	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 266	COMPRESORA ATLAS COPCO SILO 1 - 2	2	3	4	5	2	3	3	4	4	4	73	C	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 265	Silo 1 y 2	2	3	4	5	2	3	3	4	4	4	73	C	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 264	BOMBA WARMAN 10' x 8" N° 95	2	3	4	5	2	3	3	4	4	4	73	C	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 263	RELLENO HIDRAULICO SILO	2	3	6	5	2	5	4	5	5	5	90	B	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 258	SOPLADOR CONTINENTAL	2	8	9	2	2	8	5	5	7	7	120	A	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 257	SOPLADOR CONTINENTAL	2	8	9	2	2	8	5	5	7	7	120	A	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 256	SOPLADOR SPENCER 3000 CFM	2	2	6	7	2	1	4	5	5	5	81	C	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 255	BOMBA DENVER 5' x 4' (PREP. CALIB)	2	3	8	2	3	7	4	6	5	5	97	B	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 254	BOMBA DENVER 5' x 4' (PREP. CALJA)	2	3	8	2	3	7	4	6	5	5	97	B	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 253	PUNTE GRUA DE REACTIVOS	1	2	3	1	8	4	3	5	5	5	77	C	Max García	2012-10-01 00:00:00	
F3 MP 252	EQUIPO REACTIVO	5	3	7	5	5	6	5	5	5	5	113	B	Max García	2012-10-01 00:00:00	

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

3.3.3 Proceso RCM

El desarrollo del RCM se efecto a todos los equipos donde su evaluación alcanzaba un valoración crítico A. El nivel de criticidad A indica un activo altamente importante para nuestra línea de producción y su inoperatividad producirá pérdidas en el proceso, por esta razón se tendrá que aplicar todos los tipos de mantenimiento (preventivo, predictivo y correctivo programado) para mantener e incrementar su confiabilidad durante el proceso de producción. El desarrollo está en base a los principios del SAE 1011 y 1012. Ver figuras 3.17, 3.18 ,3.19, 3.20 y 3.21.

Figura 3.17: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza el sistema y sub sistema

The screenshot displays the 'Gestión de Mantenimiento' interface. At the top, there are logos for 'pmocom' and 'MILPO', along with a 'Salir' button. The main content area shows a form with the following fields:

- SISTEMA:** Scissor
- CÓDIGO:** EQM-EP-SL-149
- SUB SISTEMA:** NOMBRE SUB SISTEMA A1
- CÓDIGO:** EQM-EP-SL-149-S1

Below this is a section titled 'NUEVAS FUNCIONES' with a table for adding new functions:

Código	Descripción
EQM-EP-SL-149-S1-F3	

There is an 'Aceptar' button below the table. At the bottom, there is another table with two rows of function data:

ITEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	EQM-EP-SL-149-S1-F1	FUNCIÓN 1A_1
2	EQM-EP-SL-149-S1-F2	FUNCIÓN 1A_2

Below this table is another 'Aceptar' button and a green circular arrow icon.

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.18: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza la funcional y falla funcional



Gestión de Mantenimiento



Salir

SISTEMA	Scissor
CÓDIGO	EQM-EP-SL-149
SUB SISTEMA	NOMBRE SUB SISTEMA A1
CÓDIGO	EQM-EP-SL-149-S1
FUNCION	FUNCION 1A_1
CÓDIGO	EQM-EP-SL-149-S1-F1


NUEVAS FALLAS FUNCIONALES		
Código	Descripción	
EQM-EP-SL-149-S1-F1-FF4		
		

ITEM	código	DESCRIPCIÓN	
1	EQM-EP-SL-149-S1-F1-FF1	FALLAS 1A_1	
2	EQM-EP-SL-149-S1-F1-FF2	FALLAS 1A_2	
3	EQM-EP-SL-149-S1-F1-FF3	FALLAS 1A_3	



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.19: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza el modo y efectos de falla

Gestión de Mantenimiento

Salir

Tareas de Mantenimiento

RCM
Evaluación
2012

Información para la valoración

SISTEMA:	EQM-EP-SL-149
	Scissor
SUB-SISTEMA:	EQM-EP-SL-149-S1
	NOMBRE SUB SISTEMA A1
FUNCIÓN:	EQM-EP-SL-149-S1-F1
	FUNCIÓN 1A_1
FALLA:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-
	FALLAS 1A_1
MODO:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-M1
	MODO 1A_1
EFECTO:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-M1-EF58
	EFECTO DE MODO 1A_1
CONSECUENCIA:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-M1-EF58-CS42
	CONSECUENCIA DE EFECTO 1A_1

EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

H	¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?
<input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	

©2012 All Rights Reserved. • Designed by Chronos - Área de Mantenimiento.

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.20: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza la hoja de decisión, es la selección de las consecuencias de los modos de falla identificando los ámbitos que son afectados

Gestión de Mantenimiento



Salir



SISTEMA	Scissor
CÓDIGO	EQMEP-SL-149
SUB-SISTEMA	NOMBRE SUB SISTEMA A1
CÓDIGO	EQMEP-SL-149-S1
FUNCION	FUNCION 1A_1
CÓDIGO	EQMEP-SL-149-S1-F1
FALLAS	FALLAS 1A_1
CÓDIGO	EQMEP-SL-149-S1-F1-
MODOS DE FALLA	MODOS 1A_1
CÓDIGO	EQMEP-SL-149-S1-F1-M1
EFFECTOS DE LAS FALLAS	EFFECTO DE MODOS 1A_1
CÓDIGO	EQMEP-SL-149-S1-F1-M1-EF58

Lista de CONSECUENCIAS


CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
EQMEP-SL-149-S1-F1-M1-EF58-CS42	CONSECUENCIA DE EFFECTO 1A_1




Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 3.21: Pantalla del proceso de RCM, se visualiza las consecuencias y tareas a realizar mencionando las frecuencias de intervención.

Gestión de Mantenimiento


Salir

Tareas de Mantenimiento



Proceso RCM
Mantenimiento centrado en confiabilidad

Información para la valoración

SISTEMA:	EQM-EP-SL-149
	Scissor
SUB-SISTEMA:	EQM-EP-SL-149-S1
	NOMBRE SUB SISTEMA A1
FUNCIÓN:	EQM-EP-SL-149-S1-F1
	FUNCIÓN 1A_1
FALLA:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-
	FALLAS 1A_1
MODO:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-M1
	MODO 1A_1
EFEECTO:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-M1-EF58
	EFEECTO DE MODO 1A_1
CONSECUENCIA:	EQM-EP-SL-149-S1-F1-M1-EF58-CS42
	CONSECUENCIA DE EFECTO 1A_1


DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM


Tarea a Condición


H1-->Tarea a condición

NUEVAS TAREAS

Código	TA-69	Descripción	
Intervalo			
Fecha Inicio-Fin	De		



#	TAREA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	INTERVALO	F_INICIO	
1	Preventivo	TA-67	DESCRIPCIÓN TAREA 1A	SEMANAL	2012/10/25	
2	Preventivo	TA-68	DESCRIPCIÓN TAREA 1A_2	DIARIA	2012/10/31	




©2012 All Rights Reserved. • Designed by Chrosener - Área de Mantenimiento.


Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Luego de culminar con el proceso del llenado de los campos del RCM del software 7pm, se obtienen la descripción de las actividades que se deberán realizar para cada equipo o activos, con las frecuencias y tipo de mantenimiento. Ver figura 3.22.

Figura 3.22: Pantalla del proceso de 7PM, desarrollo general y los 7 campos que conforman el RCM

Gestión de Mantenimiento






salir


HOJA DE INFORMACIÓN RCM II

SISTEMA	WINCHE DE PRODUCCION	AUTOR	Julio Casas	FECHA	28-09-2012 21:55:22
SUBSISTEMA	TRANSMISION DE VELOCIDAD POR REDUCTOR				


Tareas de Mantenimiento

FUNCION	FALLAS	MODOS	EFECTO	CONSECUENCIA	C	TAREA	INTERVALO
FA-03 -S4-F1 TRANSPORTAR Y SOPORTAR 132 KG METRO A UNA VELOCIDAD CONSTANTE DE 5 M/S	FA-03 -S4-F1 -FF2 LA CAPACIDAD DE TRANSPORTE ES MENOR QUE 132 KG/M Y MAAYOR QUE 0 KG/M	FA-03 -S4-F1 -FF2 - M1 ROTURA DE LA FAJA TRANSPORTADORA	ACCIONA EL SWITCH DE LA FAJA TRANSPORTADORA	PARALIZACION DE LA PRODUCCION	02	INSPECCION	DIARIA
FA-03 -S4-F1 TRANSPORTAR Y SOPORTAR 132 KG METRO A UNA VELOCIDAD CONSTANTE DE 5 M/S	FA-03 -S4-F1 -FF1 LA VELOCIDAD ES 5M/S PERO NO ES CONSTANTE EN EL TIEMPO DE OPERACION	FA-03 -S4-F1 -FF1 - M3 FALLA DE LA CAMA DE IMPACTO	ACUMULACION DE CARGA Y DESALINEAMIENTO DE LA FAJA TRANSPORTADORA	PARALIZACION	03	CAMBIO DE LA CAMA DE IMPACTO	20 000 HRAS
FA-03 -S4-F1 TRANSPORTAR Y SOPORTAR 132 KG METRO A UNA VELOCIDAD CONSTANTE DE 5 M/S	FA-03 -S4-F1 -FF1 LA VELOCIDAD ES 5M/S PERO NO ES CONSTANTE EN EL TIEMPO DE OPERACION	FA-03 -S4-F1 -FF1 - M2 FALLA DEL POLIN DE IMPACTO	ACUMULACION DE CARGA Y DESALINEAMIENTO DE LA FAJA TRANSPORTADORA	PARALIZACION DE LA PRODUCCION	03	CAMBIO DEL RODILLO DE IMPACTO	10 000 HRAS
FA-03 -S4-F1 TRANSPORTAR Y SOPORTAR 132 KG METRO A UNA VELOCIDAD CONSTANTE DE 5 M/S	FA-03 -S4-F1 -FF1 LA VELOCIDAD ES 5M/S PERO NO ES CONSTANTE EN EL TIEMPO DE OPERACION	FA-03 -S4-F1 -FF1 - M1 FALLA DE RASPADOR PRIMARIO	ATASCAMIENTO DE LA CARGA AL MOMENTO DE DESCARGAR A LOS POCKETS	PARALIZACION	03	CAMBIO O REINGENIERIA	INMEDIATO
FA-03 -S3-F1 REDUCIR LA VELOCIDAD DE 340 RPM A 36 RPM	FA-03 -S3-F1 -FF2 LA VELOCIDAD DE INGRESO ES IGUAL A 340 RPM PERO LA SALIDA ES MAYOR A 36 RPM	FA-03 -S3-F1 -FF2 - M1 DESGASTE DE LOS COMPONENTES INTERNOS DE TRANSMISION	DEMORA EN ALCANZAR LAS 10 TN DE CARGA	DEMORA EN EL PROCESO	H3	CAMBIO DE LA CAJA DE REDUCCION	20 000 HRAS
FA-03 -S3-F1 REDUCIR LA VELOCIDAD DE 340 RPM A 36 RPM	FA-03 -S3-F1 -FF1 VELOCIDAD DE SALIDA ES CERO RPM	FA-03 -S3-F1 -FF1 - M2 ROTURA DEL EJE DEL REDUCTO	PERDIDA DEL MOVIMIENTO DE LA FAJA TRANSPORTADORA PERO EL MOTOR ELECTRICO SIGUE FUNCIONANDO	PARALIZACION DE LA PRODUCCION	02	ENGRASE DEL EJE PRINCIPAL DEL REDUCTOR	SEMANAL
FA-03 -S3-F1 REDUCIR LA VELOCIDAD DE 340 RPM A 36 RPM	FA-03 -S3-F1 -FF1 VELOCIDAD DE SALIDA ES CERO RPM	FA-03 -S3-F1 -FF1 - M1 CAJA REDUCTORA PERDE MOVIMIENTO	PERDIDA DE MOVIMIENTO DE LA FAJA TRANSPORTADORA, PERO EL MOTOR ELECTRICO Y EL SUBSISTEMA DE REDUCCION DE POLEAS FUNCIONAN CORRECTAMENTE	PARALIZACION DE LA PRODUCCION	01	MECCION DEL RPM DE INGRESO Y SALIDA	SEMANAL
FA-03 -S2-F1 REDUCIR LA VELOCIDAD DE 1800 RPM A 340 RPM QUE SERA LA VELOCIDAD QUE SE TRANSMITE AL REDUCTOR.	FA-03 -S2-F1 -FF2 LA VELOCIDAD QUE SE TRANSMITE ES MENOR QUE 340 RPM Y MAAYOR QUE CERO (0) RPM	FA-03 -S2-F1 -FF2 - M1 DEFICIENTE TEMPLADO DE FAJA DE TRANSMISION	VELOCIDAD IRREGULAR DE LA FAJA TRANSPORTADORA Y DEMORA EN ALCANZAR LAS 10 TN DE CARGA	DEMORA EN EL PROCESO	H2	REVISION Y AJUSTE DEL TEMPLADO DE LA FAJA DE TRANSMISION	SEMANAL
FA-03 -S2-F1 REDUCIR LA VELOCIDAD DE 1800 RPM A 340 RPM QUE SERA LA VELOCIDAD QUE SE TRANSMITE AL REDUCTOR.	FA-03 -S2-F1 -FF1 LA VELOCIDAD QUE SE TRANSMITE AL REDUCTOR ES IGUAL A CERO (0) RPM	FA-03 -S2-F1 -FF1 - M2 ROTURA DEL EJE DE LA POLEA DE MAYOR DIAMETRO	PERDIDA DE MOVIMIENTO DE LA FAJA TRANSPORTADORA PERO EL MOTOR ELECTRICO SIGUE FUNCIONANDO	PARALIZACION DE LA PRODUCCION	02	INSPECCION SENSITIVA	DIARIO
FA-03 -S2-F1 REDUCIR LA VELOCIDAD DE 1800 RPM A 340 RPM QUE SERA LA VELOCIDAD QUE SE TRANSMITE AL REDUCTOR.	FA-03 -S2-F1 -FF1 LA VELOCIDAD QUE SE TRANSMITE AL REDUCTOR ES IGUAL A CERO (0) RPM	FA-03 -S2-F1 -FF1 - M1 ROTURA DE LA FAJA DE TRANSMISION	PERDIDA MOVIMIENTO DE LA FAJA TRANSPORTADORA PERO EL MOTOR ELECTRICO SIGUE FUNCIONANDO	PARALIZACION DE LA PRODUCCION	02	REALIZAR INSPECCIONES	DIARIA
FA-03 -S1-F1 DESC FUN PA	FA-03 -S1-F1 -FF1 DESC FALLA PA	FA-03 -S1-F1 -FF1 - M1 DESC MODO PA	DESC EFECTO PA	DESC CONSE PA	H2	DESC TAREA PA	TEMPO PA






IMPRIMIR



VOLVER A CUESTIONARIO



CONTINUAR

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

CAPITULO IV

RESULTADOS ALCANZADO LUEGO DE LA APLICACIÓN DEL RCM EN EL SISTEMA DE IZAJE

Luego de haber aplicado la metodología del RCM, al sistema de izaje de la unidad minera “El Porvenir”, se logró los siguientes:

4.1 Resultados de costos de mantenimiento 2011 vs 2012

Información obtenida por el área de planeamiento y mantenimiento de la unidad” El Porvenir “, referente al costo de mantenimiento y una comparación del año 2011 en proceso de implementación (\$ 397,380) y del año 2012 (\$270,663) ya en proceso de aplicación . Según la tabla 4.1 podemos mencionar un reducción de \$ 126, 717.00 durante el primer años de uso del plan de mantenimiento.

Tabla 4.1: Costo de mantenimiento 2011 vs 2012

COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE IZAJE MINERAL														
Resultados sistema izaje 2011														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Prom mens
Ross Feeder	0	220	1,569	0	0	1,000	29	1,194	1,006	417	466	0	5,900	492
Loading Pocket	2,335	3,778	7,425	1,540	888	4,905	3,658	1,981	4,244	5,056	4,993	3,856	44,657	3,721
Winche	9,162	25,498	8,905	12,148	14,985	40,577	28,687	48,385	30,536	19,378	56,388	52,175	346,823	28,902
TOTAL	11,496	29,495	17,898	13,688	15,873	46,482	32,374	51,561	35,786	24,850	61,846	56,031	397,380	33,115
Resultados sistema izaje 2012														
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total	Prom mens
Ross Feeder	279	257	0	267	0	5,487	0	990	3,929	0	338	0	11,547	962
Loading Pocket	2,274	3,900	1,238	2,101	3,768	1,477	3,930	5,479	5,095	6,846	6,136	12,144	54,389	4,532
Winche	34,765	15,786	31,371	22,193	17,072	9,728	14,213	20,535	8,139	9,427	9,705	11,795	204,727	17,061
TOTAL	37,319	19,942	32,609	24,561	20,840	16,692	18,144	27,004	17,163	16,273	16,179	23,939	270,663	22,555

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 4.1: Costo de mantenimiento 2011 vs 2012

RESUMEN DE COSTOS 2011 VS 2012			
Sist.	2,011	2,012	Variación
Ross Feeder	492	962	471
Loading Pocket	3,721	4,532	811
Winche	28,902	16,977	-11,925
TOTAL	33,115	22,472	-10,643
Reducción de costo de por mes US.\$: -10,643			
Reducción de costo de por año US.\$ -127,717			

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir”

En la figura 4.1 describe los costos de mantenimiento del sistema de izaje del año 2011 - 2012 y la variación obtenida luego del periodo de implementación del RCM al Sistema de Izaje Mineral de la unidad “El Porvenir” de Cía. Milpo.

4.2 Resultados de los indicadores de disponibilidad y confiabilidad (MTBF)

Se describe a continuación los cuadros de comparación de las disponibilidades del Sistema de Izaje Mineral de todo el 2011 y 2012, donde se verifica un incremento significativo de la disponibilidad 2.1%, solo habiendo una caída al 88% en marzo del 2012 ,debido a un mantenimiento correctivo programado ya presupuestado para ese año.

Figura 4.2: Disponibilidad del Sistema de Izaje Mineral de 2011 vs 2012

DISPONIBILIDADXMES	2011	2012
%DISP-ENERO	85.0%	94.1%
%DISP-FEBRERO	84.0%	93.5%
%DISP-MARZO	90.0%	88%
%DISP-ABRIL	90.0%	94%
%DISP-MAYO	91.0%	93.9%
%DISP-JUNIO	90.0%	93.0%
%DISP-JULIO	93.0%	94.3%
%DISP-AGOSTO	96.0%	95.3%
%DISP-SETIEMBRE	90.3%	92.66%
%DISP-OCTUBRE	93.6%	90.00%
%DISP-NOVIEMBRE	94.5%	93%
%DISP-DICIEMBRE	92.1%	90.65%
MEDIA	90.60%	92.7%

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

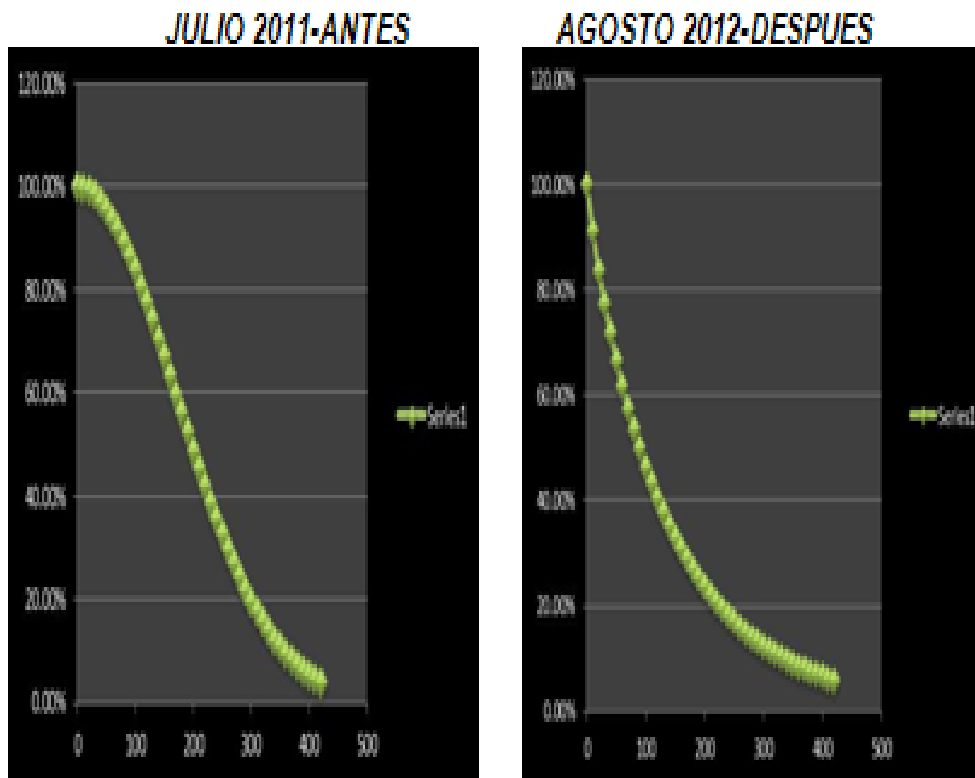
También se realizó la medición del tiempo medio entre fallas (MTBF) antes y después de la implementación, mostrando resultados (figura 4.3) que indica el incremento de las horas de confianza del sistema de izaje de 60(2011) a 90(2012) horas en un balance semanal y teniendo como límite máximo de confianza de 80(2011) a 130(2012) horas. En la figura 4.4 muestra las curvas de weibull del año 2011 que es una curva cerrada debido a las frecuencias de fallas y del 2012 una curva más amplia por la reducción de fallas.

Figura 4.3: Resultados de confiabilidad weibull

JULIO 2011-ANTES		AGOSTO 2012-DESPUES	
TIEMPO	CONFIABILIDAD WEIBULL	TIEMPO	CONFIABILIDAD WEIBULL
0	100.00%	0	100.00%
10	80.83%	10	91.04%
20	69.06%	20	83.81%
30	59.94%	30	77.44%
40	52.52%	40	71.73%
50	46.31%	50	66.54%
60	41.05%	60	61.82%
70	36.53%	70	57.49%
80	32.61%	80	53.51%
90	29.20%	90	49.85%
100	26.21%	100	46.47%
110	23.57%	110	43.35%
120	21.24%	120	40.46%
130	19.18%	130	37.78%
140	17.34%	140	35.29%
150	15.70%	150	32.98%
160	14.24%	160	30.84%
170	12.92%	170	28.84%
180	11.75%	180	26.99%
190	10.69%	190	25.26%
200	9.73%	200	23.65%
210	8.87%	210	22.15%
220	8.09%	220	20.75%
230	7.39%	230	19.44%
240	6.75%	240	18.22%
250	6.18%	250	17.08%
260	5.65%	260	16.02%

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

Figura 4.4: Curva de confiabilidad



Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

En la figura. 4.5 se muestra una comparación del cálculo MTBF de julio de ambos años, donde se aprecia que el tiempo medio entre falla fue 78.69 (2011) y 139.88 (2012) horas, el cual se ajusta al valor anual que se obtuvo de los referidos años mostrados en la figura 4.3.

Figura 4.5: Resultado de MTBF 2011-2012

JULIO 2011-ANTES		AGOSTO 2012- DESPUES	
INTERCEPTO	-3.39	INTERCEPTO	-4.465
BETA	0.8	BETA	0.911
ALFA	69.38	ALFA	133.89
MTBF	78.69	MTBF	139.88

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

4.3 Resultados producción de izaje de mineral 2011 VS 2012

Luego de alcanzar los objetivos de la investigación, también se ha podido observar resultados positivos para la operación, donde se detalla un incremento producción obtenida durante los años 2011 y 2012, con una variación positiva de 103, 786.00 toneladas de concentrado anuales. Ver figura 4.6.

Figura 4.6: Resultado de la producción

MINERAL EXTRAIDO 2011				MINERAL EXTRAIDO 2012			
SUPERIOR	REPULP	IZAJE(TON)	TOTAL	SUPERIOR	REPULP	IZAJE(TON)	TOTAL
7,794	7,256	4,396	Ene	9,172	4,580	35,865	Ene
45,749		8,258		9,625		72,517	
		30,651		3,402			
		53,217					
53,543	7,256	96,522	157,321	22,199	4,580	108,382	135,161
35,928	5,891	20,750	Feb	8,770	4,872	39,170	Feb
5,658		31,058		16,301		80,822	
		2,767		3,422			
		570					
		2224					
41,586	5,891	57,369	104,846	28,493	4,872	119,992	153,357
33,193	7,448	70,829	Mar	21,664	5,301	67,609	Mar
10,652		33,344		10,349		40,936	
1,636		3,629		9,738			
2,233							
47,714	7,448	107,802	162,964	41,751	5,301	108,545	155,597
11,676	6,044	63,299		12,256	4,633	31,459	Abr
23,913		47,627		20,349		73,580	
205		3,997		11,475			
		114					
35,794	6,044	115,037	156,875	44,080	4,633	105,039	153,752
23,755	6,117	46,112	May	2,693	3,746	69,816	May
5,991		67,975		20,932		38,404	
		3,229		11,637			
		5,767					
29,746	6,117	123,083	158,946	35,262	3,746	108,220	147,228
36,440	6,292	40,531	Jun	4,857	4,092	39,388	Jun
2,151		52,015		11,461		59,769	
		6,151		2,505		3,729	
38,591	6,292	98,697	143,580	18,823	4,092	102,886	125,801
5,872	6,118	44,350	Jul	16,618	5,910	33,072	Jul
26,859		78,518		15,939		90,116	
		1,390		481		2,218	
32,731	6,118	124,258	163,107	33,038	5,910	125,406	164,354
9,617	4,673	45,229	Ago	28,354	4,724	36,174	Ago
18,795		85,898		3,194		96,796	
		2,469				5,279	
						2,936	
28,412	4,673	133,596	166,681	31,548	4,724	141,185	177,457
16,754	4,675	31,589	Set	12,274	4,762	41,190	Set
7,320		52,663		10,589		74,075	
202		469				1,207	
		1,784				6,157	
24,276	4,675	86,505	115,456	22,863	4,762	122,629	150,254
18,756	6,086	32,493	Oct	562	2,813	86,787	Oct
5,540		65,777		17,878		36,715	
		3,931		8,346		6,257	
		423				2,453	
24,296	6,086	102,624	133,006	26,786	2,813	139,201	168,800
23,208	6,250	41,510	Nov	397	4,235	3,681	Nov
9,666		78,612		16,919		102,682	
1,822		1,264		11,610		1,432	
		1,872				1,748	
		1,641				4,462	
34,696	6,250	124,899	165,845	28,926	4,235	114,005	147,166
12,676	6,161	40,690	Dic	11,510	2,622	96,953	Dic
3,613		82,766		11,540		9,753	
4,489		8,618		6,915		1,179	
						2,877	
20,778	6,161	132,074	159,013	29,965	2,622	110,762	143,349
	TOTAL	1,302,466		TOTAL	1,406,252		

RESUMEN DE PRODUCCION 2011 VS 2012			
PRODUCCION	2011	2012	VARIACION
TON X AÑO	1,302,466	1,406,252	103,786
VARIACION DE PRODUCCION (4.95%/TON)			\$508,551.40

Fuente: Área Mantenimiento – Milpo “El Porvenir

CONCLUSIONES

- La confiabilidad del Sistema de Izaje logró alcanzar el objetivo de incrementar el MTBF entre 100-120 horas sin fallas en el Sistema de Izaje y encontrando una frecuencia adecuada para realizar el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivos programados de los equipos.
- Luego de haber realizado el análisis de criticidad en los activos que conforman el sistema de izaje mineral, se identificó 8 activos críticos del tipo A y 4 activos de criticidad media del tipo B. Ya con los activos del tipo A identificados, se aplicó el estudio del LCC y solo 3 activos se encontraban altamente críticos y en función a estos se desarrolló el RCM. Es necesario mencionar que el costo de realizar RCM en activos es altamente costoso a comparación de un mantenimiento convencional, por ello se cumple el objetivo de encontrar solo los activos altamente críticos.
- El plan de mantenimiento desarrollado en base al RCM, ha mejorado el intervalo de mantenimiento programado, considerando que antes se intervenía 3 veces por semana y hoy solo se interviene 2 veces por semana. El detalle de esta reducción se sostiene en realizar actividades efectivas y necesarias para cada tipo(A, B y C) de activos que conforma el sistema de izaje mineral.
- Luego de una año (2012) de aplicación del RCM se verifico que los costos de mantenimiento se redujo de \$33000 a \$22000 por mes (ver figura 4:1), con lo cual se alcanzó el objetivo específico de la investigación.

- Luego de aplicar el RCM se viene obteniendo a la fecha 8648.33 toneladas de mineral adicional por mes en comparación de años anteriores a la implementación de la técnica. Esto se debe al incremento del MTBF, el cual es directamente proporcional a la producción (ver figura 4:6). Es necesario mencionar que el \$/ton en Cía. Minera Milpo Unidad “El Porvenir” se encuentra en 4.90 \$/ton, de donde se viene ahorrando \$42 379 mensuales y un acumulado anual de \$ 508,551 en sobre producción. Esto se logró por efecto de la aplicación del RCM al Sistema de Izaje Mineral, el cual no es un objetivo de la investigación, pero es un logro indirecto por efecto de la investigación realizada.
- Es fundamental compartir ideas de mejora continua con el personal técnico y operador, debido que la implementación, sostenibilidad y mantenimiento de lo planteado y ejecutado, fue manejable pues se les veía motivados, escuchados, se sentían parte de la solución por la experiencia que tienen y esto incrementaba el compromiso de los acuerdo y avances que se sostenía con ellos.
- Las reuniones con las empresas especializadas en forma directa, vía telefónica y video conferencias, marco un avance significativo, por ser los representantes de la marcas de los equipos y recomendaban los mantenimiento correctivos y experiencias que habían tenido con sus máquinas en otras partes del país y del mundo. Esto aunado con las reuniones operativa ayudaron a mejorar nuestro plan de mantenimiento basado en la confianza.

RECOMENDACIONES

- Revisar y mejorar el plan de mantenimiento RCM, con una frecuencia de un año para obtener mejores resultados.
- Seguir utilizando el software de 7PM desarrollado para efectuar la técnica de RCM en forma dinámica , en los demás activos y/o sistemas de activos de Cía. Milpo “El Porvenir”
- Capacitación continua al personal técnico, ingenieros de mantenimientos y de operaciones de Cía. Milpo Unidad “El Porvenir” en la metodología del Mantenimiento Centrado en la Confianza RCM.
- Implementar el departamento de confiabilidad en el área de mantenimiento y aplicar las mejores prácticas de mantenimiento en los diversos activos críticos de Cía. Milpo Unidad “El Porvenir”.
- Implementar equipamiento predictivos online para los activos del tipo A, con la finalidad de lograr mayor seguimiento de los parámetros de funcionamiento (Temperatura, presión, amperaje, voltaje, etc.) y reducir fallas imprevistas en operación.
- Implementar letreros que identifiquen los activos críticos y no críticos, en toda la unidad, con el objetivo de dotar de información para todo el personal de Cía. Minera Milpo, personal de Empresa Especialidad y visitante.
- Realizar estudios de Causa raíz de cada falla en activos, que tuviera mayor de 3 horas de paralización y pérdida de producción, con el objetivo de verificar si estuvo dentro del estudio del RCM efectuado, caso contrario incluirlo con sus respectivos planes de acción.

MATERIAL DE REFERENCIA

- Ardila, G. Mantilla, J. (2008). Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en RCM para bombas centrífugas y reciprocantes, compresores y motores de combustión interna de la planta de inyección de agua casabe, planta de reinyección de agua residual Cantagallo y estación 2 de recolección y tratamiento de crudo casabe de la Superintendencia del rio de Ecopetrol S.A. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
- Cegarra, J. (2011). Metodología de la investigación científica y tecnológica. España: Díaz de Santos.
- Córdova, R. (2005). Implantación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) a los hornos convertidores Peirce Smith de la fundición de cobre de Southern Perú Copper Corporation. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Cajas, C. (2009). Planificación de mantenimiento basado en el método de la confiabilidad RCM para motores estacionarios de la planta Termopichincha S.A. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Da Costa, M. (2010). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad

Católica de Lima, Perú.

González, F. (2007). Elementos de líneas de transmisión aéreas. Información extraída de:

http://fglongatt.org/OLD/Archivos/Archivos/LT_1/Cap1LT1-2007.pdf

Grosso, J. (2004). Programa de mantenimiento basado en RCM para los hidrogeneradores de la Central la Guaca. Tesis para optar el grado académico de Especialista en Gerencia de Mantenimiento en la Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Gutiérrez, E. Agüero, M. (2007). Indicadores de gestión. México: Unam.

Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill.

Hernández, R. (2010). Propuesta de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad. Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ingeniería Aeronáutica en el Instituto Politécnico Nacional, México.

Le-feaux, R. (2001). Manejo de materiales en explotaciones subterráneas. Chile: UNCH.

Marín, A. (2008). Clasificación de la investigación. Colombia. Información extraída de:

<http://www.encyclopedia.humanet.com.co/dic/clasifimethodo.htm>

Milanese, Ch. (2013). Diseño de un plan preventivo basado en el mantenimiento

centrado en la confiabilidad en la máquina papelera. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Moubray, R. (1997). Manual de mantenimiento basado en la confiabilidad RCM 2. Chile: Minech.

Rojas, E. (2010). Metodología de la investigación. Colombia: Unefa.

Rojas, R. (2010). Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos. Tesis para optar el grado académico de Master en Administración de proyectos en la Universidad Para La Cooperación Internacional, Costa Rica.

Sexto, L. (2001). La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Información extraída de:

http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/rcm_sesto_mm20.pdf

Sernageomin (2005). Proyectos de explotación y/o tratamiento de minerales bajo 500 TPM. Chile: Sernageomin.

Sueiro, G. (2005). Mantenimiento basado en la condición. Información extraída de:

<http://www.lezgon.com/pdf/IB00000013/14%2016%20TECNOLOGIA%20Mant.pdf>

Peña, B. (2011). Métodos científicos de observación en educación. España: Editorial Visión libros.

Vásquez, D. (2008). Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en Motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en la Universidad Austral de Chile.

Zúñiga, Z. (2013). Programa piloto de mantenimiento preventivo para máquinas envasadoras en una empresa de producción de botanas. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Mecánico en el Instituto Politécnico Nacional, México.

ANEXOS


 Registro : 1 894-P-12-4
 Actualización : 04/07/2012

Rev : 02

LISTA DE ASISTENCIA

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Implementación del RCM al sistema de Gestión Mineral		
TIPO DE ACTIVIDAD	Inducción ()	Capacitación ()	Reunión (✓)
TEMAS DESARROLLADOS	1. Uso del FPM al Plan RCM		
	2. Importancia FPM (Software de RCM)		
	3. Conclusiones.		
	4.		
PROGRAMACION	Fecha : 01/12/2011	Lugar: sala Reuniones Mantto	
	Hora inicio: 8:00am	Hora final: 10:00am	Duración: 2 horas

APELLIDOS Y NOMBRES	UM/SEDE/ECCC	ÁREA	FIRMA
1. Faustino Colque M		MTC Pisco	[Firma]
2. LEÓN HUARICAPCHA Rolando	CA MILPO	MANTTO MEC.	[Firma]
3. DAMASO RIVERA Ricardo	" "	" "	[Firma]
4. MELQUIMDES DUEÑAS T	" "	" "	[Firma]
5. CORDOVA VERA ALVARO	" "	" "	[Firma]
6. W. Deutor A	CA MILPO	MANTTO MEC.	[Firma]
7. TUCTO BENITES David	CA MILPO	MANTTO MEC. IZAPA	[Firma]
8. Antonio Osamu Capcha	CA MILPO	MANTTO MEC.	[Firma]
9. BRAN BARBERA, LUIS	CA MILPO	" "	[Firma]
10. ADRIANO CONDOR Rutino	" "	" "	[Firma]
11. RUBÉN SOLÍS S	" "	" "	[Firma]
12. ESPINOSA VÍTOR LUCIO.	CA MILPO	" "	[Firma]
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			

CAPACITADOR / ORGANIZADOR	FIRMA
1. Elmo Palomeras	[Firma]
2. SATUENINO DABA ESPINOSA	[Firma]
3. Lucio Espinosa Vitor	[Firma]


 Registro : RH-P-13.4
 Actualización : 09/07/2012

Rev : 03

LISTA DE ASISTENCIA

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Implementación del RCM al sistema de Tzuc Mineral			
TIPO DE ACTIVIDAD	Inducción ()	Capacitación ()	Reunión ()	Otros:
TEMAS DESARROLLADOS	1. Que es confiabilidad			
	2. Que es efectividad			
	3. Costo del Plan de Mantenimiento RCM			
	4.			
PROGRAMACIÓN	Fecha:	02/10/2011	Lugar:	Sala de Reunión
	Hora inicio:	8:00h	Hora final:	10:00h
			Duración:	2 horas

APellidos y Nombres	UM/SEDE/ECCC	ÁREA	FIRMA
1. COBOVA JERA ALVARO	CIA MILPO	MANTO PIZ ABU	[Firma]
2. ESPINOSA VITOR LUCIO	CIA MILPO	" " "	[Firma]
3. TUETO BENITES DAVID	CIA MILPO	" " "	[Firma]
4. OZCICIO FELIX CRISTIAN	" "	" " "	[Firma]
5. CACERES CAPCHA ANTONIO	" "	" " "	[Firma]
6. ZEDO HUARICAPCHA ROLANDO	" "	" " "	[Firma]
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			
CAPACITADOR / ORGANIZADOR			FIRMA
1. ELVIS PALAMUNO QUINZANILLA			[Firma]
2.			
3.			

MILPO

Registro : III-0-13-4
Actualización : 00/07/2012

Rev: 02

LISTA DE ASISTENCIA			
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Implementación del PCM al sistema de Ejeje Municipal		
TIPO DE ACTIVIDAD	Inducción ()	Capacitación ()	Reunión (X) Otros:
TEMAS DESARROLLADOS	1. Que es MTBF y MTTR 2. Que es Disponibilidad 3. Desarrollo del Plan PCM 4.		
PROGRAMACIÓN	Fecha: 03/08/2011	Lugar: Sala de Reunión	
	Hora inicio: 8:00am	Hora final: 10:00am	Duración: 2 horas

APELLIDOS Y NOMBRES	UMSEDE/ECCG	AREA	FIRMA
1. TUCTO BENITES David	CIA	MANTEN MEC. P/BUE	[Firma]
2. SOLIS SOLAZAR RUBEN	11	11 11	[Firma]
3. REGUI SANCHEZ SOCRATES	11	11 11 11	[Firma]
4. RIVERO CONDOR RUFINO	11	11 11 11	[Firma]
5. MARTIN BLAZQUEZ NERVI	11	11 11 11	[Firma]
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			

CAPACITADOR / ORGANIZADOR	FIRMA
1. Lucio Espinoza	[Firma]
2. Elvio Palomares	
3.	


 Registro : RII P-13-4
 Actualización : 06/07/2012

Rev : 02

LISTA DE ASISTENCIA			
NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Implementación del PCM al sistema de Geos		
TIPO DE ACTIVIDAD	Inducción ()	Capacitación ()	Reunión <input checked="" type="checkbox"/> Otros:
TEMAS DESARROLLADOS	1. Costo de Mantenimiento		
	2. Otro Casos		
	3. Falta, Modo, causa y Efecto		
	4.		
PROGRAMACIÓN	Fecha: 05/06/2011	Lugar: Sala de Reuniones	
	Hora Inicio: 8:00am	Hora final: 10:00am	Duración: 2 horas
APELLIDOS Y NOMBRES	UM/SE/DE/ECC	ÁREA	FIRMA
1. OSORIO FELIX, EFRAIN	"EL PORVENIR"	MAOTTA Mec. Pique	
2. Faustino Caspasi M	"	" " "	
3. LEON HUARICACHA Robalo	"	" " "	
4. Antonio Gauras Caspasi	"	" " "	
5. CORDOVA VERA ALVARO	"	" " "	
6. ESPANOLA VITCE LUCIO.	"	" " "	
7.			
8.			
9.			
10.			
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			
CAPACITADOR / ORGANIZADOR		FIRMA	
1.	Felipe Padomares Acurtunilla		
2.			
3.			


 Registro : RH-P-12-4
 Actualización : 05/07/2012

Rev : 03

LISTA DE ASISTENCIA

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Implementación del RCM al Sistema de "Buzo Mineral"		
TIPO DE ACTIVIDAD	Inducción ()	Capacitación ()	Reunión (✓)
TEMAS DESARROLLADOS	1. Equipos críticos		
	2. Qué es RCM		
	3. Tipos de Mantenimiento		
	4.		
PROGRAMACIÓN	Fecha: 03/03/2011	Lugar: Sala Reuniones	
	Hora inicio: 8:00am	Hora final: 10:00am	Duración: 2 horas

ABRIL LINEA Y NOMBRE	PRESENCIA	AREA	FIRMA
1 CALLEDE LOYOLA. EPIFANIO	PRVENIR	PIQUE MINA	
2 LUIS ESPINOSA VÍTOR.	11	11 11	
3 CRISTÓBAL JESÚS ALBERTO	11	11 11	
4 LEÓN HUACIAPACHA. RONALDO	11	11 11	
5 OSORIO FELIX, EFRAIN	11	MANTTO. Mec. Pique	
6 JAMES RODRÍGUEZ PABLO	11	11 11 11	
7 DUEÑAS TRAVEZANO MELQUIADES.	11	11 11 11	
8 DAMASO RIVERA RICARDO J.	11	11 11 11	
9 TUCTO. BENITES. DAVID.	11	11 11 11	
10 DUEÑA ESPINOZA SATURNINO	11	11 11 11	
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			
16.			
17.			
18.			
19.			
20.			

CAPACITADOR / ORGANIZADOR	FIRMA
1. Félix Polanco Quintanilla	
2.	
3.	


 Registro : RH-P-12-4
 Actualización : 06/07/2012

Rev: 03

LISTA DE ASISTENCIA

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD	Implementación del RCM al sistema de Trabajo Mineral		
TIP'S DE ACTIVIDAD	Inducción ()	Organización ()	Reunión (p) / Otros.
TEMAS DESARROLLADOS	1. Importancia 2. Plan y proceso 3. Capuzos críticos 4.		
PROGRAMACIÓN	Fecha: 01/01/2011	Lugar: Sala Reuniones Maullto	
	Hora Inicio: 08:00	Hora Final: 10:00	Duración: 2 horas

APELLIDOS Y NOMBRES	UMSEDE/ECCC	ÁREA			FIRMA
1. TUOTO BENITES, David	CIA	MENTO	MEC.	IZAJE	
2. Torres Andrade Pablo	"	"	"	"	
3. Cáceres - Capcha Antonio	"	"	"	"	
4. Rivera Vicente Daniel	"	"	"	"	
5. CALLUPE LOYOLA EPIFANIO	"	"	"	"	
6. León Huancayán Felipe	"	"	"	"	
7. Espinosa Víctor Hugo	"	"	"	"	
8. JARAMA RIVERA RIESZOS J.	"	"	"	"	
9. DAGA ESPINOZA SATURNINO	"	"	"	"	
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					
16.					
17.					
18.					
19.					
20.					
CAPACITADOR / ORGANIZADOR		FIRMA			
1. J. Iván Palomares Quintanilla					
2.					
3.					



RECONOCIMIENTO DE GESTION

El Ing. JULIO CASAS TORRES, identificado con DNI N° 06952523, Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Unidad Minera EL Porvenir, Cia. Minera MILPO S.A.A., con RUC 20100110313.

CERTIFICA:

Al Ing. Elvis David Palomares Quintanilla, identificado con DNI N° 41151436, ha laborado en nuestra empresa como JEFE DE MANTENIMIENTO SISTEMA DE IZAJE y durante su gestión logro implementar el MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIANZA (RCM) en el área de Mantenimiento Winches, en el periodo comprendido desde el 11/12/2011 hasta el 01/12/2012.

Lográndose con esta gestión un ahorro significativo en operación y alargando la vida útil de los activos que forman parte del Sistema de izaje del Pique Piccaso.

Se expide el presente Certificado a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

Milpo, Enero del 2013



CIA MINERA MILPO S.A.A.
JULIO CASAS TORRES
JEFE DE MANTENIMIENTO
U.M. "El Porvenir"

Compañía Minera Milpo S.A.A.
 Av. San Borja Norte 523, San Borja,
 Lima 41 - Perú
 t (51 1) 710 5500
 f (51 1) 710 5500 Anexo 4491
 www.milpo.com



**EL GERENTE GENERAL
 DE LA COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.A.
 Unidad Minera "El Porvenir"**

con RUC N° 20100110513

y domicilio en el campamento minero Milpo, Distrito de San Francisco de Asís de Yarusyacan, Provincia y Departamento de Pasco,

CERTIFICA

Que don:

ELVIS DAVID PALOMARES QUINTANILLA



Identificado con DNI. 41151456 ha laborado al servicio de nuestra representada entre el 14 de Diciembre de 2010 al 30 de Junio de 2013, que se ha desempeñado como **Jefe de Mantenimiento Izaje**, de esta Unidad Minera.

Se expide el presente Certificado, a solicitud de parte y para los fines que estime conveniente el interesado.

Cerro de Pasco; Junio 30 del 2013



COMPAÑÍA MINERA MILPO S.A.A.

LENIN SALAZAR DULANTO
 GERENTE GENERAL
 U.M. "EL PORVENIR"