

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Diseño de un plan de mantenimiento para el molino
Comesa 8'x10' usando la metodología RCM**

Alfredo Chura Marca

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2019

Repositorio Institucional Continental

Trabajo de Investigación



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Jonathan Alain Sanchez Paredes

Agradecimiento

Agradezco a Dios en primer lugar; a mis padres por su ejemplo; A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Continental por todos los conocimientos impartidos durante toda mi formación profesional, al asesor Mg. Jhonatan Sánchez por su apoyo incondicional.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mi Esposa Lidia, mis hijas Karen y Dayana y mis padres Lorenzo y Valeriana porque ellos han contribuido en el cumplimiento de este objetivo.

INDICE

AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
INDICE DE CONTENIDOS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCION.....	XII
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento del problema y formulación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema general.....	1
1.1.3. Formulación del problema específico	1
1.2. Objetivos de la investigación	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Justificación de la investigación.....	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1. Antecedentes de la investigación	3
2.2. Rcm, Aplicaciones y Resultados.....	4

2.3.	Bases teóricas	4
2.3.1.	RCM (Reability Centered Maintenance)	4
2.3.2.	RCM: 7 preguntas básicas.....	5
2.3.3.	Funciones y parámetros RCM	5
2.3.4.	Fallas funcionales	6
2.3.5.	Modo de Falla	6
2.3.6.	Efectos de falla.....	7
2.3.7.	Consecuencia de la falla	7
2.3.8.	Procesos de selección de tareas de RCM	9
2.3.9.	Que lograra el RCM	11
2.3.10.	Que es gestión de mantenimiento	13
2.3.11.	Que es productividad	14
2.4.	Definición de términos básicos	15
2.4.1.	Fiabilidad de mantenimiento	15
2.4.2.	Confiabilidad en mantenimiento.....	15
2.4.3.	Análisis RAM.....	15
2.4.4.	Disponibilidad en mantenimiento	15
2.4.5.	Mantenibilidad	16
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		17
3.1.	Método y nivel de investigación	17
3.1.1.	Método de investigación	17
3.1.2.	Nivel de investigación	17
3.2.	Diseño de investigación	17
3.3.	Tipo de investigación	17
3.4.	Población y muestra	17
3.5.	Técnicas de recolección de datos y procesamiento de datos	18
3.6.	Pasos a seguir para el análisis y diseño de la solución	18
3.6.1.	Análisis de criticidad y jerarquía de sistemas	18
3.6.2.	Listado de sistema, equipos, componentes priorizados, críticos	18
3.6.3.	Análisis FMCEA del molino Comesa	18
3.6.4.	Análisis costo riesgo beneficio (BRCA/ACRB).....	18
3.6.5.	Listado de tareas recomendadas (análisis RCM/MCC)	19
3.6.6.	Listado de Repuestos Críticos	19

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION	20
4.1. Desarrollo del análisis y diseño de la solución	20
4.1.1. Análisis de Criticidad/Jerarquización de Sistema/Equipos	20
4.1.2. Listado de Sistema/Equipos/Componentes Priorizados/Críticos	27
4.1.3. Análisis FMECA del Molino Comesa	31
4.1.4. Análisis de Costo Riesgo Beneficio ACRB	37
4.2. Diseño	40
4.2.1. Listado de Tareas Recomendadas RCM	40
4.2.2. Listado de Repuestos Críticos	41
4.2.3. Comparativo de resultados obtenidos luego de la aplicación de RCM al Molino Comesa	45
4.3. Análisis de datos	50
4.3.1. Paso 1: Redacción de la hipótesis	50
4.3.2. Paso 2: Identificación de la significancia	50
4.3.3. Paso 3: Pruebas a escoger	50
4.3.4. Paso 4: Análisis estadístico	50
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1. Conclusiones	53
5.2. Recomendaciones	53
CAPÍTULO VI: TRABAJOS FUTUROS	54
BIBLIOGRAFÍA	55

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Asignación de sistemas y subsistemas	20
Tabla 2: Historial de tiempos de parada del Molino Comesa 8' X 10'	21
Tabla 3: Hora de falla y porcentajes ponderada y acumulada	25
Tabla 4: Asignación y Codificación de subsistema Frame 3000	27
Tabla 5: Historial de tiempos de parada del sistema Frame 3000	27
Tabla 6: Horas y porcentajes ponderados y acumulados de subsistema Frame 3000	30
Tabla 7: Análisis FMECA.....	33
Tabla 8: Determinación de las tareas preliminares de inspección/intervención	36
Tabla 9: Análisis de costo riesgo beneficio ACRB.....	38
Tabla 10: Lista de tareas recomendadas	40
Tabla 11: Listado de repuestos críticos propuesto	43
Tabla 12: Historial de tiempos de parada del Molino Comesa 8' X 10 antes y después de la aplicación de RCM.....	45
Tabla 13: Análisis de beneficios obtenidos luego de la aplicación de RCM.....	49
Tabla 14: Prueba T-student para muestras relacionadas.....	51
Tabla 15: Media, desviación estándar y error promedio.....	51
Tabla 16: Decisión estadística.....	52

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Diagrama Pareto	26
Ilustración 2: Molino Comesa	26
Ilustración 3: Diagrama horas de falla del subsistema Frame 3000	31
Ilustración 4: Matriz de criticidad FMECA	32

RESUMEN

Actualmente existen muchas metodologías de gestión de mantenimiento y cada vez la reducción de costos en todo sentido es el principal factor preponderante para poder mantenerse en un mercado tan competitivo, frente a esto una de las alternativas de mejora para la gestión de mantenimiento se basa en la metodología RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad).

En tal sentido en este estudio se muestran las etapas a seguir para poder implementar esta metodología en un Molino de Bolas. Se ha seleccionado y trabajado con los historiales de actividades de mantenimiento realizados en un determinado periodo de tiempo.

Finalmente se concluye indicando; que factores se debería de mejorar para poder incrementar en 2% la disponibilidad de este equipo, a la vez indicamos el listado de repuestos críticos y las nuevas frecuencias que debemos de actualizar para mejorar la gestión de mantenimiento de este equipo.

ABSTRACT

Currently there are many maintenance management methodologies and each time the cost reduction in every way is the main preponderant factor to be able to stay in such a competitive market, compared to this is one of the improvement alternatives for maintenance management is based in the RCM methodology or Reliability Centered Maintenance, (Reliability / Reliability Centered Maintenance).

In this sense, this study details the steps to follow in order to implement this methodology in a Ball Mill. It has been selected and worked with the historical maintenance activities carried out in a given period.

Finally, it is concluded indicating; what factors should be improved in order to increase the availability of this equipment by 2%, at the same time it indicates the list of critical spare parts and the new frequencies that we must update to improve the maintenance management of this equipment.

INTRODUCCION

Este trabajo de investigación surge por la necesidad de incrementar la disponibilidad del Molino Comesa 8' X 10' que es uno de los equipos más importantes de la planta concentradora y que en un determinado momento las fallas del mismo provocaban paradas imprevistas y esto perjudicaba a la meta de producción establecidas. Esta necesidad nos llevó a ver qué condiciones debemos mejorar para evitar paradas imprevistas del equipo. Después de revisar las metodologías de gestión de mantenimiento vi por conveniente aplicar la metodología RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) porque esta nos puede ayudar a mejorar la gestión de mantenimiento de este equipo e incrementar en 2% la disponibilidad del mismo..

Este trabajo muestra los pasos a seguir de acuerdo a la metodología RCM para poder mejorar la gestión de mantenimiento de este determinado equipo. El mismo que se desarrolla en base a un historial inicial obtenido en campo, el cual nos sirve para poder determinar los sistemas de mayor incidencia de falla.

Finalmente mostramos los cambios que debemos de realizar en la gestión de mantenimiento para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema y formulación del problema

1.1.1. Descripción del problema

Actualmente existen muchas metodologías de gestión de mantenimiento y cada vez la reducción de costos en todo sentido es el principal factor preponderante para poder mantenerse en un mercado tan competitivo, frente a esto una de las alternativas de mejora para la gestión de mantenimiento se basa en la metodología RCM o Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad).

Actualmente este Molino cuenta con un plan de mantenimiento básico y cuenta con una disponibilidad que oscila entre el 90 y 95%.

1.1.2. Formulación del problema general

- ¿Diseñando un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM es posible optimizar y mejorar la gestión de mantenimiento del molino Comesa?

1.1.3. Formulación del problema específico

- ¿Es posible Incrementar la disponibilidad del molino Comesa en 2 puntos porcentuales (de 95 a 97%)?
- ¿Es posible actualizar el listado de repuestos críticos del molino Comesa y sus frecuencias de cambio?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

- El presente trabajo se pretende diseñar un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM de tal forma que podamos optimizar la gestión de mantenimiento.

1.2.2. Objetivos específicos

- Incrementar la disponibilidad del molino Comesa en 2 puntos porcentuales (de 95% a 97%)
- Actualizar el listado de repuestos críticos del molino Comesa y sus frecuencias de cambio.

1.3. Justificación de la investigación

Es importante porque los resultados van a servir para que los responsables de la gestión de mantenimiento mejoren la disponibilidad de este equipo en un 2%. Por consiguiente, incrementaremos la producción y reduciremos los costos asociados por paradas imprevistas no planeadas.

También es importante porque adaptara la metodología RCM a nuestra realidad y esto nos ayudara a solucionar los problemas en la gestión de mantenimiento.

Actualmente la planta concentradora deja de procesar 4,893.75 TM durante este periodo de tiempo debido a los mantenimientos no programados.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Antecedentes de la investigación

Soto JeanPierre (2016) en su tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, titulada “Mantenimiento Basado en la Confiabilidad para el mejoramiento de la Disponibilidad mecánica de los Volquetes FAW en GyM S.A.” Huancayo-Perú, Universidad Nacional del Centro, facultad de Ingeniería Mecánica, 2016; detalla lo siguiente:

“El objetivo general del investigador es Aplicar el mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los volquetes FAW CA3256 en la empresa GyM S.A, mediante el RCM.

Una de las conclusiones indica que con esta aplicación de RCM se logró incrementar en 1.84% la disponibilidad mecánica de los volquetes Faw CA3256. La disponibilidad inicial era de 90.14% y luego de la aplicación de RCM se logró una disponibilidad del 92.034%.” (pp. 1-80)

Palomares Quintanilla Elvis (2015) en su tesis para optar el grado académico de Maestro en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento titulada “Implementación del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al Sistema de Izaje Mineral, de la Compañía Milpo, Unidad el Porvenir” Lima-Peru, Universidad nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, detalla lo siguiente:

“El objetivo general del investigador es 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. Y como Objetivo Especifico; Identificar los sistemas críticos del sistema de izaje de mineral, para aplicar el Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (RCM) y reducir las frecuencias de intervención y costos de mantenimiento mensual.

Dentro del capítulo IV muestra los resultados obtenidos y en el punto 4.2 muestra los resultados de disponibilidad donde se observa el incremento del 2.1% luego de la aplicación de RCM.” (pp. 2-154)

2.2. Rcm, Aplicaciones y Resultados

“Esta metodología nace en los años 60 y 70 y esta se documentó desde 1978 por los Ing. Howard Heap y Stanley Nowlan de United Airlines.

La primera versión del RCM conocida fue: MSG-1, se le atribuye haber reducido la cantidad de horas hombre de mantenimiento a los aviones Boeing 747 en un 85% en comparación con el modelo 707, a pesar de ser un avión mucho más espacioso que su antecesor.

Al mismo tiempo la cantidad de accidentes aéreos se redujeron dramáticamente (60 vs <2 por 1,000.000 de despegues) luego de la implantación del RCM.

En el mundo existen muchas aplicaciones que han dado resultado y aplicaciones que no han dado resultados.”(Techusa, 2017)

Los resultados obtenidos se muestran en:

- “Incremento de la disponibilidad de los equipos.
- Reducción de labores de mantenimiento correctivo.
- Disminución de eventos no deseables en seguridad y medio ambiente.
- Incremento de productividad.
- Incremento de la vida útil de los componentes y por consiguiente equipos.
- Reducción de stock de inventarios (repuestos).” (Techusa, 2017)

2.3. Bases teóricas

2.3.1. RCM (Reability Centered Maintenance)

Estas iniciales significan en Ingles Reability Centered Maintenance y en castellano significa mantenimiento basado en Fiabilidad.

“A lo largo del tiempo se ha visto la necesidad de la creación e implementación de nuevas metodologías de gestión de mantenimiento, pero esta metodología fue reconocida por la Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices en 1999 donde se publica la norma SAE Standar JA1011Ñ Criterios de evaluación para los procesos de mantenimiento centrado en la garantía de funcionamiento” (RENOVETEC, 2016)

2.3.2. RCM: 7 preguntas básicas

Según MOURBRAY (2004) para poder implementar este sistema de gestión necesitamos respondernos las 7 preguntas:

- “¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien actualmente?”
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué provoca cada falla funcional?
- ¿Qué pasa cuando se produce una deficiencia en particular?
- ¿De qué modo afecta cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada deficiencia?
- ¿Cómo se debería actuar si no se encuentra el plan de acción apropiado?” (p. 7)

2.3.3. Funciones y parámetros RCM

Mantilla (2006) comenta que “antes de poder aplicar un proceso para determinar que debe de hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, necesitamos hacer dos cosas”:

- “Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga”

“Por eso el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías”:

- “Funciones primarias, que en primera instancia resumen el porqué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje, calidad de producto y servicio al cliente.
- Funciones secundarias, la cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir las funciones primarias. Los usuarios también tiene expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta de apariencia del activo.” (Mantilla 2006)

“Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor posición por lejos para saber exactamente que contribuciones físicas y financieras hace el activo para el bienestar

de la organización como un todo. Por ello es esencial que estén involucrados en el proceso RCM desde el comienzo.

Si es hecho correctamente, este paso toma alrededor de un tercio del tiempo que implica un análisis RCM completo. Además hace que el grupo que realiza el análisis logre un aprendizaje considerable ‘muchas veces una cantidad alarmante 333’ acerca de la forma en que realmente funciona el equipo.” (Mourbray, 2004 p. 8)

2.3.4. Fallas funcionales

“Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Pero, ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?”

“El único hecho se puede hacer que un activo no puede desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de su falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación aplicada de herramientas para el manejo de una falla, necesitamos identificar que fallas pueden ocurrir.” (RENOVETEC, 2016)

El proceso del RCM lo hace en dos niveles:

- “En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle.

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.” (Moreno, 2013)

“Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo” (Mourbray, 2004 p. 9)

2.3.5. Modo de Falla

Como se mencionó anteriormente, una vez que se haya identificado cada falla funcional, el próximo paso “es tratar de identificar todos los hechos que de manera razonable posible puedan haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla.

Los modos de falla razonablemente posible incluye aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como las fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.” (Mantilla 2008)

“La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento), y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales. Por otro lado es igualmente importante asegurarse de no malgastar el tiempo en el análisis mismo al concentrarse demasiado en los detalles.” (Mourbray, 2004 p. 9)

2.3.6. Efectos de falla

El cuarto paso en el proceso de RCM tiene que ver con hacer un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- “Que evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa)
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones (si las afecta)
- Que daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla
- Que debe hacerse para reparar la falla”

“El proceso de identificar funciones, fallas funcionales, modos de falla, y efectos de falla trae asombrosas y muchas veces apasionantes oportunidades de mejorar el rendimiento y la seguridad, así como también de eliminar el desperdicio.” (Mourbray, 2004 p. 10)

2.3.7. Consecuencia de la falla

“Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones.

También pueden afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente. Todas para ser reparadas tomaran tiempo y costaran dinero.

Son estas consecuencias las que más influncian el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, haremos un gran esfuerzo para intentar evitarla. Por otro lado, si no se tiene consecuencias o tiene consecuencias leves, quizás decidamos no hacer el mantenimiento de rutina en una simple limpieza y lubricación básica.” (Sigenza, 2013)

“Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas.” (Mourbray, 2004)

Según Mourbray (2004) El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

- “Consecuencia de fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (la mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente)”
- “Consecuencias ambientales y para la seguridad: una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.”
- “Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación).”
- “Consecuencias No-Operacionales: Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, solo implican el costo directo de la reparación.”
- “El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia a aquellas que tienen escaso resultado. También nos alienta a pensar de una manera más amplia acerca de

diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenir fallas. Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías”:

- ✓ “Tareas proactivas: Estas tareas se emprenden antes de que ocurra la falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento predictivo o preventivo.
- ✓ Acciones a la falta de: Estas tratan directamente con el estado de falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño, y mantenimiento a rotura.” (p. 11)

2.3.8. Procesos de selección de tareas de RCM

“Un punto fuerte de RCM es la manera en que se provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto operacional dado (si existe alguna), y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencia.” (Mourbray, 2004)

“Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por las características técnicas de la tarea y de la falla que pretende prevenir. Si vale la pena hacerlo o no depende de la manera en que se maneja las consecuencias de la falla. De no hallarse una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, entonces debe tomarse una acción a falta de adecuada. La esencia del proceso de selección de tareas es la siguiente:” (Mantilla, 2008)

- “Para fallas ocultas, la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla múltiple asociado con esta función a un nivel tolerablemente bajo. Si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla. De no hallarse una tarea de búsqueda de falla que sea adecuada, la decisión a falta de secundaria indicara que el componente pueda ser rediseñado (dependiendo de las consecuencias de falla múltiple).”
- “Para las fallas como consecuencias ambientales o para la seguridad, una tarea proactiva solo vale la pena si por si sola reduce el riesgo de la falla a un nivel muy bajo, o directamente lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo el riesgo a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.”

- “Si la falla tiene consecuencias operacionales, una tarea proactiva solo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un cierto periodo de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo periodo de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es ningún mantenimiento programado. (si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo inaceptables, entonces la decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño).”
- “Si una falla tiene consecuencias no operacionales solo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un periodo de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también deben tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.” (Mourbray, 2004)

“Este enfoque significa que las tareas proactivas son solo definitivas para la falla que realmente lo necesitan, lo que a su vez lleva a reducciones sustanciales en cargas de trabajo de rutina también significa que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto sumado a la eliminación de tareas contraproducentes, lleva a un mantenimiento más efectivo.

Comparemos esto con el enfoque tradicional usado para el desarrollo de políticas de mantenimiento. Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada activo son definidos en términos de sus características técnicas reales o asumidas, sin considerar las consecuencias de la falla. El programa resultante es utilizado para todos los activos similares, nuevamente sin considerar que se aplican a diferentes consecuencias en diferentes contextos operacionales. Esto tiene como resultado un gran número de programas desperdiciados, no porque estén ‘mal’ en el sentido técnico, sino porque no logran ningún resultado.” (Moreno, 2013)

“Debemos notar además que el proceso de RCM considera los requerimientos de mantenimiento de cada activo antes de preguntarse si sería necesario reconsiderar el diseño. Esto es así simplemente porque el ingeniero de mantenimiento que está a cargo hoy tiene que mantener el equipo tal como está hoy, y no pensando en lo que quizás

sea en algún otro momento en el futuro. Esta es una descripción de los Procesos de selección de Tareas de RCM” (Mourbray, 2004 pp. 15,16)

2.3.9. Que lograra el RCM

“Por más atractivos que sean, los resultados enunciados anteriormente solo deberían ser vistos como medios para un fin. Específicamente deberían permitir que las funciones de mantenimiento satisfagas las expectativas de la tercera generación de mantenimiento:

- Mayor disponibilidad y confiabilidad de planta
 - Mayor seguridad
 - Mejor calidad del producto
 - Ningún daño al medio ambiente
 - Mayor vida de los equipos
 - Mayor costo-eficacia” (Mantilla, 2008)
- “Mayor seguridad e integridad ambiental: RCM considera las implicancias ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en las operaciones. Esto significa que se actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el ambiente. Al incorporar la seguridad a la toma de decisiones de mantenimiento, el RCM también mejora la actitud de las personas en relación con este tema.” (Mantilla, 2008)
- “Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente): RCM reconoce que todos los tipos de mantenimiento tiene algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. De esta manera se asegura que solo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico, y que se tomaran las medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda ayudar. Este esfuerzo es ajustar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos existentes donde se las requiere.

RCM fue desarrollado para ayudar a las aerolíneas para diseñar los programas de mantenimiento para nuevos tipos de aeronaves antes que entraran en servicio. Por lo tanto resulta ser una manera ideal de desarrollar programas de este tipo para nuevos activos físicos, especialmente equipos complejos para los que no existe información histórica disponible. Esto ahorra mucho de la prueba y error que tan frecuentemente forma parte del desarrollo de nuevos programas de mantenimiento;

pruebas que son frustrantes, demandan tiempo y producen errores que pueden ser muy costosos.” (Mantilla, 2008)

- “Mayor costo-eficacia del mantenimiento: RCM continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierta en las áreas en las que pueda tener los mejores resultados.

Además, si RCM es aplicado correctamente a los sistemas de mantenimiento ya existentes, reduce la cantidad de trabajo de rutina (en otras palabras las tareas de mantenimiento hechas cíclicamente) de cada periodo, habitualmente entre un 40 y un 70%. Por otro lado, si RCM se utiliza para desarrollar un programa de mantenimiento nuevo, la carga de trabajo resultante es mucho más baja que si el programa es desarrollado con los métodos tradicionales.” (Mantilla, 2008)

- “Mayor vida útil de componentes costosos: debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento a condición.” (Mantilla, 2008)

- “Una base de datos global: una revisión de RCM finaliza con un registro global y extensivamente documentado de los requerimientos de mantenimiento de todos los activos físicos utilizados por la organización. Esto posibilita la adaptación a circunstancias cambiantes (como cambios de modelos o aparición de nuevas tecnologías) sin tener que reconsiderar todas las políticas de mantenimiento desde un comienzo. También permiten a quienes utilizan el equipo demostrar que sus programas de mantenimiento están contruidos sobre la base racional (la traza de auditoria requerida por cada vez más organismos de regulación). Finalmente, la información almacenada en las hojas de trabajo de RCM reduce los efectos de rotación de personal y la perdida de experiencia que esto provoca.

Una revisión RCM sobre los requerimientos de mantenimiento de cada activo físico a su vez provee una clara visión de las habilidades necesarias para mantener cada activo físico, y para decidir que repuestos deben tenerse en stock. Un producto secundario valioso es la mejora de planes y manuales.” (Mantilla, 2008)

- “Mayor motivación del personal: Especialmente las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un ‘sentido de pertenencia’ más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones. También aumenta la posibilidad de que las soluciones perduren.” (Mantilla, 2008)

- “Mejor trabajo en equipo: RCM provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. Esto da al

personal de mantenimiento y operaciones un mejor entendimiento de lo que el mantenimiento puede (y de lo que no puede) lograr, y que debe hacerse para lograrlo.” (Mantilla, 2008)

“Todos estos temas son parte central de la administración del mantenimiento y muchos ya son los objetivos de los programas de mejora. Un rasgo importante en RCM es que provee un encuadre efectivo y paso a paso para tratar a todos ellos al mismo tiempo, y para involucrar a todos aquellos que tengan relación con el equipo y con el proceso del que forman parte.” (Mourbray, 2004)

“RCM da resultados rápidamente. De hecho, si son enfocadas y aplicadas correctamente, las revisiones de RCM se repagan en cuestión de meses y hasta semanas. Estas revisiones transforman tanto la percepción de los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos utilizados por la organización y la manera en que es percibida la función de mantenimiento como un todo. El resultado es un mantenimiento más costo-eficaz, más armonioso y más exitoso. Este es el enfoque que da con respecto a que logra el mantenimiento.” (Mourbray, 2004 pp. 19- 21)

2.3.10. Que es gestión de mantenimiento

“Es el conjunto de técnicas que se realizan para conservar instalaciones y equipos que están en operación y obtener el mayor tiempo posible en operación con el objetivo de tener la máxima disponibilidad y rendimiento.

Todas las acciones determinan los objetivos de mantenimiento, las estrategias y responsabilidades, y las realizan por medio de la planificación del mantenimiento, control y la supervisión del mantenimiento, mejora de los métodos en la organización incluyendo todos los aspectos.” (Castillo, 2014)

“Actualmente debido a la competitividad del mercado, el mantenimiento se encuentra en un estado de búsqueda de la Excelencia que finalmente es considerada parte del producto, por ello la gestión de mantenimiento tiene una función importante de apoyo a la Producción, y por consiguiente es una parte importante de la Organización Empresarial. Hoy en día la mayoría de empresas buscan incrementar su productividad y el aliado perfecto para conseguir mejores resultados es el área de mantenimiento.” (Castillo, 2014)

“Es un hecho que, en los escenarios de hoy, las Empresas se juegan su capacidad competitiva por la cantidad y calidad de los recursos que se comprometen en el área de Mantenimiento, debido a la capacidad de ésta para generar beneficios a su más inmediato

grupo de interés como es, el área de Producción. La principal ventaja que ofrece el Mantenimiento, reside en la consecución de que los “Sistemas Productivos” (SP) continúen desempeñando las funciones deseadas y de esta forma contribuir a conservar las actividades productivas, de las cuáles la empresa obtiene las utilidades económicas (produciendo su sostenibilidad en un Negocio particular).“ (Becerra, 2006)

“Aunado a ello, se encuentran las ventajas de obtener mayor utilidad económica para la empresa, al disminuir los costos de mantenimiento por pérdidas (sobre mantenimiento, indisponibilidad de los SP, entre otros), con lo cual se podría aumentar el margen potencial de ganancias, al sostener la influencia del costo del mantenimiento, en el costo final del producto, dentro del rango del 5 al 12%.” (Becerra, 2006)

La Gestión del Mantenimiento es orientada a la búsqueda de metas comunes que deben ser desarrolladas y entendidas con el fin de reducir los cuellos de botella. Manejando bien un sistema de gestión de mantenimiento el resultado contribuirá al éxito de la Empresa.

2.3.11. Que es productividad

“Productividad puede definirse como la relación entre la calidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

En la fabricación, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las maquinas, los equipos de trabajo y los empleados.

Productividad en términos empleados es sinónimo de rendimiento. En un enfoque sistemático decimos que algo o alguien es productivo cuando con una cantidad de recursos (insumos) en un periodo de tiempo dado obtiene el máximo de los productos.

La productividad en las máquinas y equipos está dada como parte de sus características técnicas. No así con el recurso humano o los trabajadores. Deben de considerarse factores que influyen.

Además de la relación de cantidad producida por recursos utilizados, en la productividad entran a juego otros aspectos muy importantes como:

Calidad: Velocidad a la cual los bienes y servicios se producen especialmente por unidad de labor i trabajo.” (Cortiñas, 2013)

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Fiabilidad de mantenimiento

“Para poder conocer la fiabilidad de una pieza o instalación es necesario definir perfectamente la falla que estamos evaluando y controlar las condiciones de trabajo en que se desarrolla el ensayo. Debemos establecer también la duración del intervalo de tiempo que puede ser expresado en número de ciclos u operaciones que efectúa el sistema, y finalmente es conveniente contar con un modelo matemático para poder analizarla.” (Torres, 2010 p. 57)

“Es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en un entorno para el que ha sido diseñado.” (Torres, 2010 p. 92)

2.4.2. Confiabilidad en mantenimiento

“La confiabilidad puede ser definida como la “confianza” que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definida.” (Lafraia, 2001)

2.4.3. Análisis RAM

Estas iniciales en inglés significa: Reability, Availability, Maintainability (RAM). En español significaría Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad (CMD).

2.4.4. Disponibilidad en mantenimiento

“Es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado. La disponibilidad depende de:

- La frecuencia de fallas
- El tiempo que nos demande reanudar el servicio

Por su puesto que no están comprendidos, en el tiempo de paradas aquellas que se producen por problemas de huelgas, o suspensión de la producción por caída en la demanda.” (Torres, 2010 p. 20)

2.4.5. Mantenibilidad

“Es la probabilidad de que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición específica en un periodo de tiempo dado, en tanto su mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad.

La mantenibilidad es la cualidad que caracteriza una máquina, equipo o sistema en cuanto a su facilidad a realizarle mantenimiento, depende del diseño y pueden ser expresados en términos de frecuencia, duración y costo.” (Torres, 2010 p. 20)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método y nivel de investigación

3.1.1. Método de investigación

El método a utilizar en esta investigación es el método tecnológico. Porque nos ayudara a descubrir y aplicar nuevos conocimientos para resolver el problema planteado.

3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de alcance que se utilizaremos en esta investigación será exploratorio; debido a que con el estudio realizado encontraremos una solución a un problema que no fue tomado en cuenta anteriormente y porque aplicaremos los nuevos conocimientos obtenidos de RCM.

3.2. Diseño de investigación

Nos basaremos en el diseño Tecnológico debido a que aprovecharemos la eficacia de la metodología RCM.

3.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación será Tecnológica, porque tendrá por finalidad de mejorar la gestión de mantenimiento incrementando la disponibilidad de 95 a 97%.

3.4. Población y muestra

Para esta investigación utilizaremos una población finita porque utilizaremos datos obtenidos en un determinado tiempo.

El tipo de muestra utilizada será por muestreo accidental o consecutivo, porque se seleccionó directamente un solo equipo de manera casual. Este tipo de muestreo se fundamenta en reclutar casos hasta que se completa el número de sujetos necesarios para completar el tamaño de muestra deseado. (Monterola, y otros, 2017)

3.5. Técnicas de recolección de datos y procesamiento de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos es la observación sistemática porque se utilizarán fichas de observación y cuadernos de campo para la toma de los historiales del equipo a investigar.

3.6. Pasos a seguir para el análisis y diseño de la solución

3.6.1. Análisis de criticidad y jerarquía de sistemas

De acuerdo al status QO existente no se cuenta con un listado de repuestos críticos ni menos catalogado por sistemas. En base a esto en este paso inicial asignaremos los sistemas y subsistemas de acuerdo a eso se codificara para una correcta evaluación. Según se muestra en la tabla 2.

Luego de catalogar y asignar sistemas se realizara el análisis histórico de detenciones o fallas y luego se realizara el análisis de Pareto para determinar los sistemas que cuentan con la mayor cantidad de fallas (80%).

3.6.2. Listado de sistema, equipos, componentes priorizados, críticos

Del análisis Pareto seleccionamos el subsistema o los sistemas que sumados nos dan el 80% de las fallas totales del equipo, estos serían los sistemas más críticos y a estos realizaremos RCM.

En seguida realizaremos una nueva codificación de los subsistemas críticos seleccionados y finalmente realizaremos un nuevo análisis Pareto para determinar el nuevo 80% de los más críticos.

3.6.3. Análisis FMCEA del molino Comesa

En esta parte, a los sistemas críticos seleccionados en el punto 4.1.2 le realizaremos el análisis FMECA con la ayuda de la matriz de criticidad obtendremos el "Risk Priority Number" con el cual valoraremos la categoría de riesgo en base a la escala.

En esta parte obtendremos la hoja de información y decisión y las tareas preliminares de inspección o intervención.

3.6.4. Análisis costo riesgo beneficio (BRCA/ACRB)

Con la información obtenida en el análisis FMECA, del cuadro de tareas preliminares de inspección e intervención obtenidas seleccionamos las de nivel medio y en base a estas determinaremos:

- Frecuencia optima de inspección
- Horas de falla inevitable
- Tarea propuesta

3.6.5. Listado de tareas recomendadas (análisis RCM/MCC)

En esta parte seleccionamos del análisis costo riesgo beneficio (ACRB) el listado de tareas recomendadas para que estas sean incluidas en el plan de mantenimiento actualizado.

3.6.6. Listado de Repuestos Críticos

De la misma forma del análisis de costo riesgo beneficio (ACRB) seleccionamos el listado de repuestos críticos para que estos sean incluidos en el listado de repuestos críticos actualizados.

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCION

4.1. Desarrollo del análisis y diseño de la solución

4.1.1. Análisis de Criticidad/Jerarquización de Sistema/Equipos

El molino Comesa 8' X 10' es un molino de bolas (fabricado por COMESA S. A. Perú) del circuito primario de molienda por ser este el de mayor capacidad es un equipo critico dentro de la línea de producción, para poder realizar el análisis de criticidad asignaremos los siguientes sistemas:

Tabla 1: Asignación de sistemas y subsistemas

Sistema	Subsistema	Codificación
	Lubricación	1000
	Transmisión	2000
Molino	Frame	3000
	Eléctrico	4000
	Mantenimiento Preventivo	5000

Fuente: Elaboración propia

- Análisis Histórico de Detenciones/Fallas/F(t)R(t) en este mostramos los datos históricos obtenidos en un determinado periodo de tiempo, estos nos servirán para realizar un primer análisis. En la tabla 2 se muestra la información obtenida de campo ordenados, catalogados y con los respectivos sistemas asignados

Tabla 2: Historial de tiempos de parada del Molino Comesa 8' X 10'

Ítem	Año	Mes	Sistema	Descripción de trabajos	Horas
1	1	Enero	3000	Cambio de forros cilindro y tapa carga	20
2	1	Julio	3000	Reparación de chute de carga.	3
3	1	Agosto	3000	Cambio de un forro tapa lado carga	4
4	1		5000	Inspección de forros de cilindro y tapas	
		Agosto			4
5	1		3000	Ajuste de pernos de Trunion de descarga.	
		Agosto			4
6	1		3000	Cambio de 2 forros de cilindro.	
		Agosto			4.5
7	1		3000	Cambio de 1 forro de tapa lado carga y ajuste respectivo.	
		Agosto			3.5
8	1		3000	Cambio de 2 forros de tapa lado carga	
		Agosto			4.5
9	1	Setiembre	3000	Cambio 2 forros cilindro y 1 forro de tapa de entrada.	4.5
10	1	Setiembre	3000	Se cambia 2 forros de tapa ingreso,1 forro de cilindro.	3.5
11	1	Setiembre	3000	Se cambia 1 forro de cilindro y 2 forros de tapa de carga.	4
12	1	Setiembre	3000	Se cambió forros lados tapa carga y forros lado cilindro(con contratista)	20
13	1	Setiembre	3000	Estopado de partes vacías de forros.	

					3
14	1	Setiembre	3000	Se repara Spout Feeder (agujero)	4
15	1	Octubre	3000	Reparación de tromel	3
16	1	Octubre	3000	Reparación de chute de carga	2
17	1	Octubre	5000	Inspección de forros	2
18	1	Noviembre	3000	Se reforzó chute de carga	4
19	1	Noviembre	3000	Se refuerza Spout Feeder por desgaste	3
20	1	Noviembre	3000	Se repara chute de carga.	3
21	1	Diciembre	3000	Se reparó Spout feeder (perforación)	10
22	1	Diciembre	3000	Reparación de Spout Feeder	2.5
23	1	Diciembre	3000	Reparación de Chute de carga	2
24	1	Diciembre	1000	Cambio de retenes de muñones de molino	5
25	1	Diciembre	1000	Cambio de aceite a los muñones,5.5 galones a cada lado	4
26	1	Diciembre	3000	Reparación de tromel de descarga	3
27	1	Diciembre	4000	Cambio de motor, desmontaje y montaje	10
28	1	Diciembre	2000	Alineamiento de reductor y motor	5
29	2	Enero	3000	Se cambió brida de tromel del Trunnion de salida.	5

30	2	Enero	3000	Se reforzó interior de Spout Feeder(se colocó billas y posterior recubrimiento con Termobacking esto para evitar desgaste por abrasión)	5
31	2	Enero	3000	Se cambió 8 espárragos de forro Trunion de carga este por desgaste.	2
32	2	Enero	3000	Se modificó chute de carga para poder instalar raspador.	3
33	2	Enero	1000	Se cambió grasa a chumaceras de contraeje	3.5
34	2	Enero	5000	Se realizó inspección de Lubricación	1
35	2	Enero	1000	Lubricación de catalinas	1.5
36	2	Marzo	5000	Se inspecciono forros de cilindro y tapa	1.5
37	2	Marzo	3000	Se reparó Spout Feeder	3.5
38	2	Marzo	3000	Reajuste pernos de Trunion carga	3
39	2	Marzo	2000	Reajuste pernos de reductor y acoplamientos	2.5
40	2	Marzo	5000	Se inspecciono Tromel	1
41	2	Marzo	5000	Se inspecciono forros de cilindro y tapas de acuerdo a esta inspección se determina próximo cambio forros en abril.	1.5
42	2	Marzo	5000	Se inspecciono forros del Molino (se observó lo siguiente; forros de cilindro los de menor espesor tienen 17mm y el mayor espesor tiene 20 mm)	1.5

43	2	Abril	3000	Reparación Spout Feeder	2.5
44	2	Abril	3000	Reajuste y cambio algunos pernos de forros de cilindro	2.5
45	2	Mayo	3000	Se reparó Spout Feeder	2
46	2	Mayo	3000	Se reparó chute de carga.	2
47	2	Mayo	3000	Cambio de forros cilindro, tapa carga y tapa descarga	2.5
48	2	Mayo	3000	Cambio de forros del cilindro y dos tapas completo hodómetro 1550	18
49	2	Mayo	3000	Se cambió Tromel	2
50	2	Mayo	5000	Se inspecciono lubricación de molino	1
51	2	Mayo	3000	Se acercó Spout Feeder	1
52	2	Junio	3000	Reparación del Spout Feeder	2.5
53	2	Junio	3000	Reparación chute de carga	2
54	2	Junio	3000	Reajuste de pernos de Forro Trunnion carga	2
55	2	Junio	5000	Reajusto pernos de Trunnion carga de molino Comesa, esto por mantenimiento preventivo	1.7
56	2	Julio	1000	Se cambia aceite del reductor 15 Galones SAE 151	3
57	2	Agosto	3000	Se realizó reparación de forro Trunnion de descarga (detectando rajaduras en los pernos del forro, se forro con termobaking	

				parte desgastada se colocó un suple al cono)	4.5
58	2	Agosto	1000	Se realizó lubricación de catalina	1.2

Fuente: Elaboración propia

- Luego de elaborar la tabla 2 que nos sirve como base a esta le realizamos un Análisis Pareto y/o Matriz de Criticidad, Con este determinaremos cuáles son los sistemas que tiene mayor cantidad de fallas. El único objetivo de este análisis es obtener el sistema que tiene o se acerca al 80% del total de las fallas que registra el equipo en este determinado periodo de tiempo.

Tabla 3: Hora de falla y porcentajes ponderada y acumulada

Sistema	Horas	%	% Acumulado
3000 Frame	180	78%	78%
1000 Lubricación	18.2	8%	86%
5000 Mantenimiento Preventivo	15.2	7%	92%
4000 Eléctrico	10	4%	97%
2000 Transmisión	7.5	3%	100%

Fuente: Elaboración propia

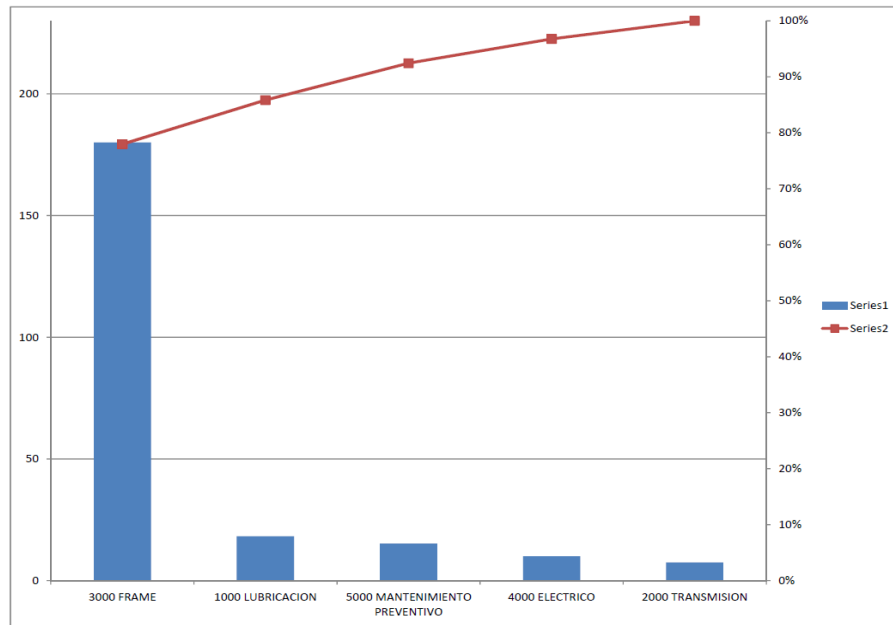


Ilustración 1: Diagrama Pareto

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 1 el Item Frame (3000) es el sistema donde se genera el mayor tiempo de parada casi el 80% del tiempo inoperativo y que afecta a la disponibilidad del equipo. En vista de esto realizaremos el análisis RCM para este sistema que según el análisis es el más crítico.

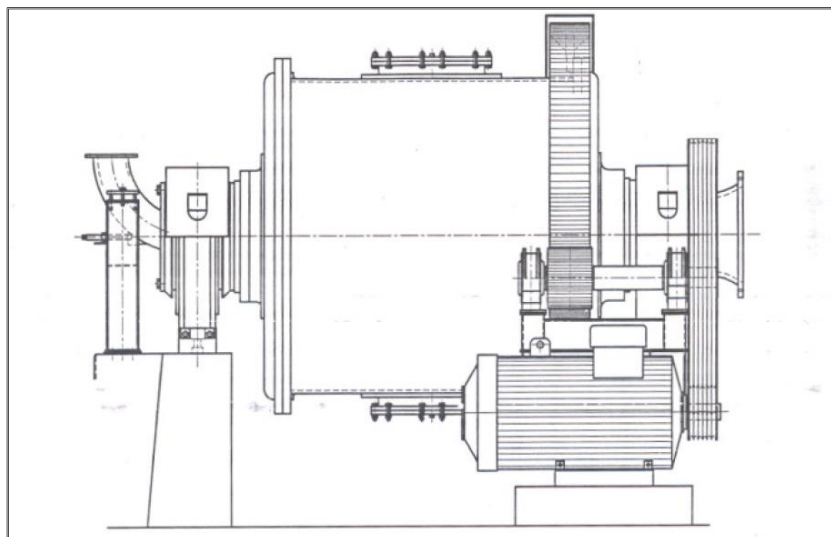


Ilustración 2: Molino Comesa

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Listado de Sistema/Equipos/Componentes Priorizados/Críticos

Para poder realizar el análisis al sistema FRAME que es el más crítico. Procederemos inicialmente a revisar las fallas de este sistema y en seguida podremos definir en cuantos sub-sistemas podríamos clasificar el tipo de fallas de este sistema. Lugo de hacer el análisis hemos definido asignar 6 sub-sistemas los cuales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Asignación y Codificación de subsistema Frame 3000

Sistema	Subsistema	Codificación
	Forro de cilindro y tapa	3001
	Chute de carga	3002
Frame 3000	Spout Feeder	3003
	Tromel	3004
	Trunnion de descarga	3005
	Trunnion de carga	3006

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se muestra todas las fallas del sistema FRAME con sus respectivos subsistemas. Esta tabla nos servirá para poder realizar el nuevo análisis Pareto al sub-sistema más crítico.

Tabla 5: Historial de tiempos de parada del sistema Frame 3000

Ítem	Año	Mes	Sub-sistema	Descripción de trabajos	Horas
1	1	Enero	3001	Cambio de forros cilindro y tapa carga	20
2	1	Julio	3002	Reparación de chute de carga.	3
3	1	Agosto	3001	Cambio de un forro tapa lado carga	4
4	1	Agosto	3005	Ajuste de pernos de Trunnion de descarga.	4

5	1		3001	Cambio de 2 forros de cilindro.	
		Agosto			4.5
6	1		3001	Cambio de 1 forro de tapa lado carga y ajuste respectivo.	
		Agosto			3.5
7	1		3001	Cambio de 2 forros de tapa lado carga	
		Agosto			4.5
8	1	Setiembre	3001	Cambio 2 forros cilindro y 1 forro de tapa de entrada.	4.5
9	1	Setiembre	3001	Se cambia 2 forros de tapa ingreso, 1 forro de cilindro.	3.5
10	1	Setiembre	3001	Se cambia 1 forro de cilindro y 2 forros de tapa de carga.	4
11	1	Setiembre	3001	Se cambi3 forros lados tapa carga y forros lado cilindro	20
12	1	Setiembre	3001	Estopado de partes vac3as de forros.	3
13	1	Setiembre	3003	Se repara Spout Feeder (agujero)	4
14	1	Octubre	3004	Reparaci3n de tromel	3
15	1	Octubre	3002	Reparaci3n de chute de carga	2
16	1	Noviembre	3002	Se reforz3 chute de carga	4
17	1	Noviembre	3003	Se refuerza Spout Feeder por desgaste	3
18	1	Noviembre	3002	Se repara chute de carga.	3
19	1	Diciembre	3003	Se repar3 Spout feeder (perforaci3n)	10
20	1	Diciembre	3003	Reparaci3n de Spout Feeder	

					2.5
21	1	Diciembre	3002	Reparación de Chute de carga	2
22	1	Diciembre	3004	Reparación de tromel de descarga	3
23	2	Enero	3004	Se cambió brida de tromel del Trunnion de salida.	5
24	2	Enero	3003	Se reforzó interior de Spout Feeder(se colocó billas y posterior recubrimiento con Termobacking esto para evitar desgaste por abrasión)	5
25	2	Enero	3006	Se cambió 8 espárragos de forro Trunnion de carga este por desgaste.	2
26	2	Enero	3002	Se modificó chute de carga para poder instalar raspador.	3
27	2	Marzo	3003	Se reparó Spout Feeder	3.5
28	2	Marzo	3006	Reajuste pernos de Trunnion carga	3
29	2	Abril	3003	Reparación Spout Feeder	2.5
30	2	Abril	3001	Reajuste y cambio algunos pernos de forros de cilindro	2.5
31	2	Mayo	3003	Se reparó Spout Feeder	2
32	2	Mayo	3002	Se reparó chute de carga.	2
33	2	Mayo	3001	Cambio de forros cilindro, tapa carga y tapa descarga	2.5
34	2	Mayo	3001	Cambio de forros del cilindro y dos tapas completo	18

35	2	Mayo	3004	Se cambió Tromel	2
36	2	Mayo	3003	Se acercó Spout Feeder	1
37	2	Junio	3003	Reparación del Spout Feeder	2.5
38	2	Junio	3002	Reparación chute de carga	2
39	2	Junio	3006	Reajuste de pernos de Forro Trunnion carga	2
40	2	Agosto	3005	Se realizó reparación de forro Trunnion de descarga (detectando rajaduras en los pernos del forro, se forro con termobaking parte desgastada se colocó un suple al cono)	4.5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 podemos observar el resumen de las horas de fallas por cada uno de los subsistemas y los porcentajes ponderados de los mismos, esto nos ayudara a seleccionar y a realizar el nuevo Pareto para el sistema más crítico.

Tabla 6: Horas y porcentajes ponderados y acumulados de subsistema Frame 3000

Sub sistema Frame 3000	Horas	%	% Acumulado
3001 Forro de cilindro y tapa	94.5	53%	53%
3003 Spout feeder	36	20%	73%
3002 Chute de carga	21	12%	85%
3004 Tromel	13	7%	92%
3005 Trunnion de descarga	8.5	5%	97%
3006 Trunnion carga	7	3%	100%

Fuente: Elaboración propia

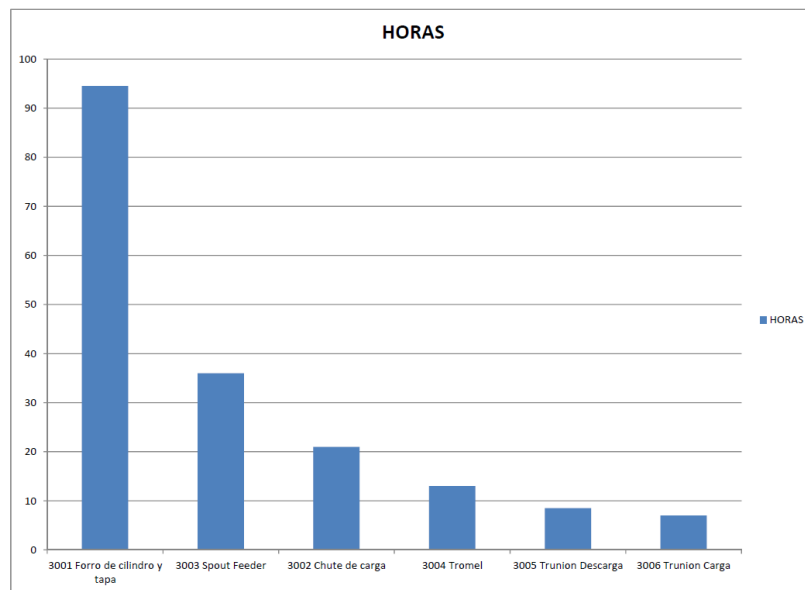


Ilustración 3: Diagrama horas de falla del subsistema Frame 3000

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 6 seleccionamos los subsistemas más críticos en este caso tenemos a los subsistemas 3001 y 3003 que acumulados nos da un 73% estos 2 serían los subsistemas más críticos y realizaremos los análisis:

- FMECA
- Costo riesgo beneficio ACRB

4.1.3. Análisis FMECA del Molino Comesa

En la tabla 7 desarrollamos el análisis FMECA para cada uno de los subsistemas más críticos y con la ayuda de la figura 3 obtenemos el Risk Priority Number con lo cual valoramos la categoría del riesgo.

		SS	MA	CMNT	PRO	CAL	MTRR						
RPN	Categorización	5	5	5	5	5	5	30	CrI 30	CrI 120	CrI 270	CrI 480	CrI 750
		4	4	4	4	4	4	24	CrI 24	CrI 96	CrI 216	CrI 384	CrI 600
		3	3	3	3	3	3	18	CrI 18	CrI 72	CrI 162	CrI 288	CrI 450
		2	2	2	2	2	2	12	CrI 12	CrI 48	CrI 108	CrI 192	CrI 300
		1	1	1	1	1	1	6	CrI 6	CrI 24	CrI 54	CrI 96	CrI 150
EFFECTO								1	4	9	16	25	
								Oc	1	2	3	4	5
								Det	1	2	3	4	5
								FRECUENCIA					

Ilustración 4: Matriz de criticidad FMECA

Fuente: Miño, Melania 2015

Tabla 7: Análisis FMECA

Sistema	Sub sistema	Componente	Función	Falla Funcional	Consecuencia	Causa Potencial	Ocurrencia	Designación correcta de controles	Detectabilidad	Seguridad	Medio ambiente	Costo de repuesto	Producción	Calidad	MTTR	Total	Risk Priority Number	Categoría
3001 Forros de cilindro y tapa	Cilindro de molino	Forro de cilindro	Evitar desgaste interno de cilindro de molino	No se tiene protección de cilindro de	Desgaste de parte interna de cilindro	Desgaste de forro de cilindro	3	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	1	2	2	5	4	5	19	162	Medio
	Tapa de entrada de molino	Forro de tapa de entrada	Evitar desgaste interno de tapa de entrada	No se tiene protección de tapa de entrada	Desgaste de parte interna de tapa de entrada	Desgaste de forro de tapa de entrada	2	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	1	2	2	5	4	5	19	95	Medio
	Tapa de salida de molino	Forro de tapa de salida	Evitar desgaste en tapa de salida	No se tiene protección de tapa de salida	Desgaste de parte interna de tapa de salida	Desgaste de forro de tapa de salida	3	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	1	2	2	5	4	5	14	162	Medio

	Elemento de fijación	Perno	Sujeción de forro cilindro tapas	de de tapa y o cilindro	Caída de forro de tapa	de Desgaste de parte interna de cilindro y tapas	Desgaste de pernos	2	Programar cambio en el plan de mantenimiento	2	2	3	1	3	4	2	15	60	Bajo	
		Tuerca	Sujeción de forros cilindro tapas	de de forro y de cilindro	Caída de forro de tapa de cilindro	de Desgaste de parte interna de cilindro y tapa	Desgaste de tuercas	2	Programar cambio en el plan de mantenimiento	2	2	3	1	3	4	2	15	60	Bajo	
	Sellado	Sogilla		Ingreso de material entre el forro y el cilindro y tapa	de de forro y tapa	Desgaste de parte interna de cilindro y tapa	Inspección inadecuada	3	Inspección y monitoreo	3	1	1	1	1	4	1	9	54	Bajo	
3003	Spout Feeder	Spout feeder	Spout feeder	Permitir ingreso mineral molino	el de al feeder	Perforación de Spout feeder	Derrame de material/reducción de cap. De molino	Desgaste de Spout feeder	5	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	2	2	2	1	4	3	14	210	Medio
	Elementos de fijación	Pernos	Sujeción de Spout feeder	de de Spout feeder	Caída de Spout feeder	de Parada de producción	Desgaste de pernos	2	Programar cambio en el plan de mantenimiento	2	3	3	1	3	4	1	15	60	Bajo	

	Tuercas	Sujeción de Spout feeder	Caida de Spout feeder	Parada de producción	Desgaste de pernos	2	Programar cambio en el plan de mantenimiento	2	3	3	1	3	4	1	15	60	Bajo
Protección	Resina anti abrasiva	Evitar desgaste en zona de contacto de mineral	Perforación de Spout feeder	Desgaste de Spout feeder	Desgaste de resina	3	Inspección y monitoreo	2	1	1	1	1	4	3	11	66	Bajo

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de FMECA, en la tabla 8 determinación de las tareas preliminares de inspección/Intervención en base a los modos de falla a estos se le asigna una acción correctiva y el tipo de mantenimiento a realizar para poder evitar cualquier falla.

Tabla 8: Determinación de las tareas preliminares de inspección/intervención

Sistema	Sub sistema	Componente	Modo de falla	de	Acción correctiva	Tipo de mantenimiento	de	Categoría
3001 Forro de cilindro y tapa	Cilindro de molino	Forro de cilindro	Desgaste de parte interna de cilindro	de	Modificar frecuencia de mantenimient o e inspección	Preventivo, predictivo	de	Medio
	Tapa de entrada de molino	Forro de tapa de entrada	Desgaste de parte interna de tapa de entrada	de	Modificar frecuencia de mantenimient o e inspección	Preventivo, predictivo	de	Medio
	Tapa de salida de molino	Forro de tapa de salida	Desgaste de parte interna de tapa de salida	de	Modificar frecuencia de mantenimient o e inspección	Preventivo, predictivo	de	Medio
	Elemento de fijación	Perno	Desgaste de parte interna de cilindro y tapas	de	Modificar frecuencia de inspección y	Preventivo	de	Bajo
		Tuerca	Desgaste de parte interna de cilindro y tapas	de	Modificar frecuencia de inspección y	Preventivo	de	Bajo

	Sellado	Empaquetadura	Desgaste de parte interna de cilindro y tapas	Modificar frecuencia de inspección	Preventivo	Bajo
3003 Spout feeder feeder	Spout feeder	Spout feeder	Derrame de material reducción de Cap. De Molino	Modificar frecuencia de inspección	Preventivo	Medio
	Elemento de fijación	Pernos	Parada de producción	Modificar frecuencia de inspección	Preventivo	Bajo
		Tuercas	Parada de producción	Modificar frecuencia de inspección	Preventivo	Bajo
	Protección	Resina anti abrasiva	Desgaste de Spout feeder	Modificar frecuencia de inspección	Preventivo	Bajo

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Análisis de Costo Riesgo Beneficio ACRB

En la tabla 9 realizamos el análisis y realizamos el ACRB de los sub sistemas con RPN (Risk Priority Number) medio. A los cuales les asignamos:

- Frecuencia optima de inspección
- Horas de falla inevitable
- Tarea propuesta

Tabla 9: Análisis de costo riesgo beneficio ACRB

Sistema	Sub sistema	Componente	Función	Falla funcional	Consecuencia	Causa potencial	Ocurrencia	Designación correcta de controles	Detectabilidad	Categoría	Frecuencia optima de inspección	Horas de falla inevitable	Tarea propuesta
3001 Forros de cilindro y tapa	Cilindro de molino	Forro de cilindro	Evitar el desgaste interno del molino	No se tiene protección del cilindro	Desgaste de parte interna de cilindro	Desgaste de forro de cilindro	3	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	Medio	Cada 3000	5000	Preventivo, monitorear y verificar los espesores de los forros
	Tapa de entrada de molino	Forro de tapa de entrada	Evitar desgaste interno de tapa de entrada	No se tiene protección en tapa de entrada	Desgaste de parte interna de tapa de entrada	Desgaste de forro de tapa de entrada	2	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	Medio	Cada 4000	5000	Preventivo, monitorear y verificar los espesores de los forros
	Tapa de salida de molino	Forro de tapa de salida	Evitar desgaste de tapa de salida	No se tiene protección de tapa de salida	Desgaste de parte interna de tapa de salida	Desgaste de forro de tapa de salida	3	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	Medio	Cada 3000	5000	Preventivo, monitorear y verificar los espesores de los forros

3003	Spout feeder	Spout feeder	Permite el ingreso de mineral al molino	el Perforación de Spout feeder	Derrame de material/reducción de capacidad del molino	de Spout feeder	Desgaste de Spout feeder	5	Programar cambio en el plan de mantenimiento	3	Medio	Cada 168	480	Preventivo, verificar y monitorear los espesores del Spout feeder en la zona de desgaste
-------------	--------------	--------------	---	--------------------------------	---	-----------------	--------------------------	---	--	---	-------	----------	-----	--

Fuente: Elaboración propia

4.2. Diseño

4.2.1. Listado de Tareas Recomendadas RCM

Utilizando los cuatro sub sistemas anteriormente seleccionados en la tabla 9. En la tabla 10 recomendamos las tareas de mantenimiento a implementar, las frecuencias optimas de inspección y el tipo de mantenimiento propuesto, con el único objetivo de mejorar la gestión de mantenimiento y llegar a cumplir con nuestro objetivo que es incrementar la disponibilidad en 2%

Tabla 10: Lista de tareas recomendadas

Ítem	Componente	Tareas de mantenimiento	de	Frecuencia optima inspección	Tarea de propuesta
1	Forro de cilindro	-Cumplir con las frecuencias de inspección. -Establecer puntos de inspección representativos definidos. -Actualizar el plan de mantenimiento preventivo con las nuevas frecuencias de inspección.	con	las Cada 3000 de	Preventivo
2	Forro de tapa de entrada	-Cumplir con las frecuencias de inspección. -Establecer puntos de inspección representativos definidos. -Actualizar el plan de mantenimiento preventivo	con	las Cada 4000 de	Preventivo

		con las nuevas frecuencias de inspección.			
3	Forro de tapa de salida	-Cumplir con las frecuencias de inspección. -Establecer puntos de inspección representativos definidos. -Actualizar el plan de mantenimiento preventivo con las nuevas frecuencias de inspección.	con las	Cada 3000	Preventivo
4	Spout feeder	-Programar las inspecciones de acuerdo a la frecuencia optima establecida. -Solicitud de un nuevo Spout Feeder de stand by. -Cumplimiento de las frecuencias de inspección.	las	Cada 168	Preventivo

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Listado de Repuestos Críticos

En tabla 11 he realizado un análisis de costos en base a los repuestos críticos obtenidos de la tabla 10. En este listado propuesto se incrementa el costo repuestos en \$ 5608.18 (35%) con este incremento en el costo de los repuestos estaríamos asegurando el incremento en la disponibilidad requerida en uno de los objetivos específicos.

Tabla 11: Listado de repuestos críticos propuesto

Ítem	Compo nente	Descripción	Numero de parte	Can.	Costo unitario en \$	Costo total en \$	Stock actual	Stock mín. sugerido	Costo actual \$	Costo sugerido \$
1	Forro de cilindro	Forro cilindro-AMC- 28/1113-171C	3001-1	28	273.7	8223.6	28	31	8223.6	9104.7
		Forro cilindro-AMC- 28/1113-152C	3001-2	16	100.04	1600.67	16	18	1600.67	1800.75
		Forro cilindro-AMC- 28/1113-172C	3001-3	2	904.59	1809.19	2	3	1809.19	2713.78
		Forro cilindro-AMC- 28/1113-173C	3001-4	2	897.25	1794.51	2	3	1794.51	2691.76
		Forro cilindro-AMC- 28/1113-164C	3001-5	2	78.46	156.92	2	3	156.92	235.38
2	Forro de tapa de entrada	Forro de man hole de entrada	3001-6	16	75.3	1204.8	16	18	1204.8	1355.4

3	Forro de tapa de salida	Forro de man hole de salida	3001-7	16	75.3	1204.8	16	18	1204.8	1355.4
4	Spout feeder	Spout feeder	3003-1	1	2345	2345	0	1	0	2345
									\$ 15994.49	\$21,602.18

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Comparativo de resultados obtenidos luego de la aplicación de RCM al Molino Comesa

Como se puede observar en la tabla 12 en la columna horas después, podemos observar la reducción de horas inoperativas por mantenimientos no programados. Cabe señalar que antes de la aplicación teníamos un total de 230.9 H inoperativas y después de la aplicación de RCM tenemos 98.4 H inoperativas

Tabla 12: Historial de tiempos de parada del Molino Comesa 8' X 10 antes y después de la aplicación de RCM

Ítem	Año	Mes	Sistema	Descripción de trabajos	Horas Antes	Horas después
1	1	Enero	3000	Cambio de forros cilindro y tapa carga	20	
2	1	Julio	3000	Reparación de chute de carga.	3	3
3	1	Agosto	3000	Cambio de un forro tapa lado carga	4	
4	1	Agosto	5000	Inspección de forros de cilindro y tapas	4	4
5	1		3000	Ajuste de pernos de Trunion de descarga.		
		Agosto			4	4
6	1		3000	Cambio de 2 forros de cilindro.		
		Agosto			4.5	
7	1		3000	Cambio de 1 forro de tapa lado carga y ajuste respectivo.	3.5	
		Agosto				
8	1		3000	Cambio de 2 forros de tapa lado carga		
		Agosto			4.5	
9	1	Setiem	3000	Cambio 2 forros cilindro y 1 forro de bre	4.5	
				tapa de entrada.		
10	1	Setiem	3000	Se cambia 2 forros de tapa ingreso,1 bre	3.5	
				forro de cilindro.		
11	1	Setiem	3000	Se cambia 1 forro de cilindro y 2 forros de bre	4	
				tapa de carga.		
12	1	Setiem	3000	Se cambió forros lados tapa carga y bre	20	
				forros lado cilindro(con contratista)		

13	1	Setiem bre	3000	Estopado de partes vacías de forros.	3	
14	1	Setiem bre	3000	Se repara Spout Feeder (agujero)	4	
15	1	Octubr e	3000	Reparación de tromel	3	3
16	1	Octubr e	3000	Reparación de chute de carga	2	
17	1	Octubr e	5000	Inspección de forros	2	2
18	1	Noviem bre	3000	Se reforzó chute de carga	4	4
19	1	Noviem bre	3000	Se refuerza Spout Feeder por desgaste	3	
20	1	Noviem bre	3000	Se repara chute de carga.	3	3
21	1	Diciem bre	3000	Se reparó Spout feeder (perforación)	10	
22	1	Diciem bre	3000	Reparación de Spout Feeder	2.5	
23	1	Diciem bre	3000	Reparación de Chute de carga	2	2
24	1	Dicice mbre	1000	Cambio de retenes de muñones de molino	5	5
25	1	Diciem bre	1000	Cambio de aceite a los muñones,5.5 galones a cada lado	4	4
26	1	Diciem bre	3000	Reparación de tromel de descarga	3	3
27	1	Diciem bre	4000	Cambio de motor, desmontaje y montaje	10	10
28	1	Diciem bre	2000	Alineamiento de reductor y motor	5	5
29	2	Enero	3000	Se cambió brida de tromel del Trunion de salida.	5	5

30	2	Enero	3000	Se reforzó interior de Spout Feeder(se colocó billas y posterior recubrimiento con Termobacking esto para evitar desgaste por abrasión)	5	
31	2	Enero	3000	Se cambió 8 espárragos de forro Trunion de carga este por desgaste.	2	2
32	2	Enero	3000	Se modificó chute de carga para poder instalar raspador.	3	3
33	2	Enero	1000	Se cambió grasa a chumaceras de contraeje	3.5	3.5
34	2	Enero	5000	Se realizó inspección de Lubricación	1	1
35	2	Enero	1000	Lubricación de catalinas	1.5	1.5
36	2	Marzo	5000	Se inspecciono forros de cilindro y tapa	1.5	1.5
37	2	Marzo	3000	Se reparó Spout Feeder	3.5	
38	2	Marzo	3000	Reajuste pernos de Trunion carga	3	3
39	2	Marzo	2000	Reajuste pernos de reductor y acoplamientos	2.5	2.5
40	2	Marzo	5000	Se inspecciono Tromel	1	1
41	2	Marzo	5000	Se inspecciono forros de cilindro y tapas	1.5	1.5
42	2	Marzo	5000	Se inspecciono forros del Molino (se observó lo siguiente; forros de cilindro los de menor espesor tienen 17mm y el mayor espesor tiene 20 mm)	1.5	1.5
43	2	Abril	3000	Reparación Spout Feeder	2.5	
44	2	Abril	3000	Reajuste y cambio algunos pernos de forros de cilindro	2.5	
45	2	Mayo	3000	Se reparó Spout Feeder	2	
46	2	Mayo	3000	Se reparó chute de carga.	2	2

47	2	Mayo	3000	Cambio de forros cilindro, tapa carga y tapa descarga	2.5	
48	2	Mayo	3000	Cambio de forros del cilindro y dos tapas completo hodómetro 1550	18	
49	2	Mayo	3000	Se cambió Tromel	2	2
50	2	Mayo	5000	Se inspecciono lubricación de molino	1	1
51	2	Mayo	3000	Se acercó Spout Feeder	1	
52	2	Junio	3000	Reparación del Spout Feeder	2.5	
53	2	Junio	3000	Reparación chute de carga	2	2
54	2	Junio	3000	Reajuste de pernos de Forro Trunnion carga	2	2
55	2	Junio	5000	Reajusto pernos de Trunnion carga de molino Comesa, esto por mantenimiento preventivo	1.7	1.7
56	2	Julio	1000	Se cambia aceite del reductor 15 Galones SAE 151	3	3
57	2	Agosto	3000	Se realizó reparación de forro Trunnion de descarga (detectando rajaduras en los pernos del forro, se forro con termobaking parte desgastada se colocó un suple al cono)	4.5	4.5
58	2	Agosto	1000	Se realizó lubricación de catalina	1.2	1.2

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el cuadro comparativo entre las horas de falla del equipo antes y después podemos hacer el análisis de los beneficios que significa reducir en 132 horas quedando finalmente en 98.4horas en la tabla 13 realizamos este análisis y obtendríamos un beneficio de \$ 444,033.54

Tabla 13: Análisis de beneficios obtenidos luego de la aplicación de RCM

Metal producido	Producción año 1	Producción año 2	Unidad	Precio año 1	Precio año 2	Precio de venta total en 20 meses
Cobre	492	825	TM	\$ 6,666.0	\$ 5,198.25	\$ 5410,101.99
Zinc	11015	13545	TM	\$ 1,720.00	\$ 1,785.00	\$ 35,324,058.58
Plomo	7590	11563	TM	\$ 1,786.00	\$ 1,715.00	\$ 24,398,776.05
Plata	862	1684	ONZA	\$ 13.54	\$ 15.35	\$ 22,693.49
Precio de venta en 20 meses						\$ 65,155,630.10
Precio de venta por mes						\$ 3,257,781.50
Precio de venta por día						\$ 135,740.90
Precio de venta por hora						\$ 5,608.18
Precio de ahorro después de la aplicación de RCM						\$ 449,641.72
Incremento precio de Stock de repuestos						\$ 5,608.18
Utilidad total obtenida						\$ 444,033.54

Fuente: Elaboración propia

4.3. Análisis de datos

Con los datos anteriores, se utilizarán para comprobar la hipótesis propuesta, la cual se realizará en 4 pasos:

4.3.1. Paso 1: Redacción de la hipótesis

- Ho: Con la aplicación de la metodología RCM en el molino comesa NO se reducirá el número de horas inoperativas
- Hi: Con la aplicación de la metodología RCM en el molino comesa, se reducirá el número de horas inoperativas

$$H_o = H_i$$

$$H_i < H_o$$

Dónde:

- ✓ Ho: Hipótesis nula
- ✓ Hi: Hipótesis alternativa

4.3.2. Paso 2: Identificación de la significancia

Se trabajará con un nivel de confianza del 95%, y un error del 5%, por lo que:

$$\text{Alfa} = 0.05 = 5\%$$

$$\alpha = 0.05$$

4.3.3. Paso 3: Pruebas a escoger

En el presente estudio se hace la comparación a un mismo grupo en momentos diferentes (un momento medido de manera normal y otro momento medido por la metodología RCM), por lo cual es un estudio longitudinal, los resultados obtenidos son numéricos, por lo cual la prueba a usar será:

- Prueba T-student para muestras relacionadas

4.3.4. Paso 4: Análisis estadístico

Para aceptar o rechazar el criterio propuesto se debe tener en cuenta que:

- Si la probabilidad obtenida P-valor $< \alpha$, se rechaza la Ho y se acepta la Hi
- Si la probabilidad obtenida P-valor $> \alpha$, se rechaza la Hi y se acepta la Ho

Para ello analizaremos los datos que se obtienen en el estadístico SPSS aplicando la prueba T-student para muestras relacionadas, la cual es:

Tabla 14: Prueba T-student para muestras relacionadas

		Prueba de muestras emparejadas								
		Diferencias emparejadas								
		Media	Desv. Desviación n	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)	
					Inferior	Superior				
Par 1	Método de la empresa - Método RCM	2,28448	4,49182	,58980	1,10342	3,46555	3,873	57	,000	

Fuente: SPSS v. 25, Elaboración propia

Del cuadro se obtiene que el p-valor es:

$$P\text{-valor} = 0,000$$

Para un mejor análisis estadístico, se hace necesario mencionar las horas medias inoperativas:

Tabla 15: Media, desviación estándar y error promedio

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Método de la empresa	3,9810	58	4,01447	,52713
	Método RCM	1,6966	58	1,95627	,25687

Fuente: SPSS v. 25, Elaboración propia

Tabla 16: Decisión estadística

DECISIÓN ESTADÍSTICA		
P-valor (implementado la metodología RCM)=0.000	<	$\alpha = 0.05$
<p>Conclusión:</p> <p>Hay una diferencia significativa en las medias de las horas inoperativas antes y después de implementar la metodología RCM en la empresa, por lo cual se concluye que implementar el RCM si tiene beneficios positivos en la reducción de horas inoperativas de la empresa.</p> <p>Incluso el promedio de horas inoperativas bajo de 3,98 horas a 1,69 horas, además el total de horas inoperativas antes de implementar el sistema era de 230.9 e implementando la metodología se obtendrá 98.4 horas inoperativas.</p>		

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología RCM se concluye que es posible mejorar la gestión de mantenimiento de este equipo.
- Luego de realizar la investigación y realizando el análisis de los resultados; Actualizando las frecuencias de cambio de repuestos, inspección e incrementando en 35% (\$ 5608.18) el costo del inventario de repuestos para este equipo. Se concluye que se puede incrementar la disponibilidad del molino Comesa al 97%
- Después de la aplicación de la metodología RCM hemos obtenido una disminución de 132.5 horas. Según el análisis realizado en la tabla 13, obtendríamos una utilidad de \$ 444,033.54

5.2. Recomendaciones

- El trabajo realizado nos servirá como base para Implementar los planes de mantenimiento aplicando la metodología RCM para toda la planta.
- Implementar el plan de mantenimiento propuesto en este estudio.
- Definir con claridad y capacitar al personal de mantenimiento en la elaboración de los informes, para este nos sirva como base para implementar RCM a los demás equipos.

CAPÍTULO VI: TRABAJOS FUTUROS

En base al estudio realizado para este equipo, se debería de implementar un sistema de gestión de RCM inicialmente para todos los equipos críticos y luego implementar para el total de los equipos de la planta concentradora.

Como hemos podido ver en el marco teórico en los 2 casos citados como antecedentes de aplicación de este sistema de gestión, se obtuvo un incremento de la disponibilidad del 2% aproximadamente y en este estudio también se ha obtenido este incremento lo que finalmente se muestra en la reducciones de mantenimientos no programados.

BIBLIOGRAFÍA

- (AENOR), A. E. (2011). *Terminología de Mantenimiento*. Madrid-España: AENOR.
- BLOOM, N. (2006). *Reability Centered Maintenance (RCM) Implementation Made Simple*. United States of America: McGraw-Hill.
- CUATRECASAS, L. (2000). *TPM hacia la competitividad a travez de la eficiencia de los equipos de producción*. Barcelona: Barcelona-España.
- LAFRAIA. (2001). *Manual de confiabilidad, Mantenibilidad e disponibilidad*. Qualitymark Editora.
- MELO, R., & TOLEDO, H. (2007). Estudios de Confiabilidad Aplicados a Instalaciones de Producción de la Industria Petrolera. *IX Congreso de Confiabilidad* (pág. 32). España: Universidad de Navarra.
- MONTEROLA, C., & OTZEN, T. (2017). *Tecnicas de Muestro Sobre una Poblacion a Estudio*. Temuco Chile: Universidad de la Frontera.
- MORA, A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. Mexico: Alfaomega.
- MOURBRAY, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. 6 Deerfield RD, Asheville, North Carolina, 28803, USA: Aladon LLC.
- ORMIZA Miño, M. P. (2015). *Analisis de RCM Para un Motor de Combustión Interna Wartsila*. Riobamba: Riobamba - Ecuador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo 2015.

- ORMIZA, M. (2008). *Indicadores Clave de Rendimiento del Mantenimiento*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- PALOMARES Quintanilla, E. D. (2015). *Implementación del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) al Sistema de Izaje Mineral, de la Compañía Milpo, Unidad "El Porvenir"*. Lima Perú: Universidad nacional de Ingeniería.
- PARRA, C. (2005). *Análisis de Fallas a Partir de Índices de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad*.
- PARRA, C. (2005). Análisis de Fallas a Partir del cálculo de los Índices de Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad., (pág. 124).
- SMITH, A. M. (2001). *Reliability-Centered Maintenance*. New York: Mc Graw Hill.
- SOTO Baltazar, J. (2016). *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Mantenimiento Basado en la Confiabilidad Para el Mejoramiento de la Disponibilidad Mecánica de los Volquetes FAW en GyM S.A. Huancayo, Peru.*
- TORRES, L. D. (2010). *Mantenimiento Su Implementación y Gestión*. Cordova: Universitas.
- VERGARA Rea, E. J. (2007). *Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad del Sistema de Crudo Diluido de Petrozuata*. Venezuela: Tesis de Especialidad.
- YAÑEZ, M., SEMECO, K., & MEDINA, N. (2004). *Enfoque Práctico Para la Estimación de Confiabilidad y Disponibilidad de Equipos Basados en Datos Genéricos*. Maracaibo-Venezuela: Reability and Risk Managment.

