

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Industrial

“PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM, PARA AUMENTAR LA DISPONIBILIDAD DEL MEZCLADOR DE DOSIFICACIÓN DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS BALANCEADOS ACUÍCOLA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Ronald Raúl Geldres Marchena

Asesor:

MSc, Ing. Martín Sifuentes

Lima - Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi fuerza e inspiración y guiar cada uno de mis sueños.

A mis padres, por ser los pilares esenciales en todo lo que soy, por brindarme su amor, apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y darme un ejemplo maravilloso de superación y entrega.

A mi esposa e hijos por su apoyo incondicional, amor y paciencia.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios, por haberme permitido llegar a culminar mi carrera y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis queridos padres, esposa, hijos y hermanos quienes siempre me apoyaron incondicionalmente para poder llegar a ser un profesional de la Patria. A mí estimado asesor Ing. Martín Sifuentes por brindarme su tiempo, apoyo y enseñanza para poder concluir con este proyecto.

Y todos aquellos que participaron directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis.

Ronald Geldres Marchena

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2 Formulación del problema.....	27
1.3 Objetivos	27
1.3.1 Objetivo general	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
1.4. Hipótesis.....	27
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	28
2.1. Tipo de investigación	28
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	29
2.3. Procedimiento.....	30
CAPÍTULO III. RESULTADOS	32
3.1. Evaluación de la situación inicial, en materia de mantenimiento, del mezclador de dosificación de la empresa en estudio, determinando los indicadores generales de mantenimiento.....	32
3.2. Implementar la metodología del RCM y el AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas) para establecer las fallas críticas preponderantes.	43

3.3. Elaborar e implementar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el mezclador de dosificación, determinando los indicadores de mantenimiento, en situación de mejora.	52
3.4. Evaluación económica financiera de la propuesta.....	61
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	67
4.1 Discusiones.....	67
4.2 Conclusiones.....	70
4.3 Recomendaciones	71
REFERENCIAS	73
ANEXOS	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Disponibilidad del mezclador en el año 2016	32
Tabla 2. Disponibilidad del mezclador en el año 2017	32
Tabla 3. Disponibilidad del mezclador en el año 2018	33
Tabla 4. Resumen de realidad problemática.....	37
Tabla 5. Causas inmediatas	38
Tabla 6. Causas inmediatas de baja disponibilidad de mezclador.....	38
Tabla 7. Principales indicadores iniciales de mezclador de dosificación.....	41
Tabla 8. Ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en el 2016	44
Tabla 9. Ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en el 2017	44
Tabla 10. Ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en el 2018	45
Tabla 11. Descripción de las partes del mezclador	46
Tabla 12. Tipo de mantenimiento según el nivel de criticidad.....	47
Tabla 13. Análisis de modo y efecto de falla del mezclador.....	48
Tabla 14. Lista de repuestos	52
Tabla 15. Plan de mantenimiento enfoque RCM	53
Tabla 16. Análisis del número de prioridad de riesgos	58
Tabla 17. Tiempos y cantidad de fallas promedios	60
Tabla 18. Determinación de tiempo de parada de la propuesta de mejora	62
Tabla 19. Ingresos de la propuesta de mejora	62
Tabla 20. Inversión total para la implementación de RCM.....	63
Tabla 21. Flujo de caja	64
Tabla 22. Resultado económico.....	64
Tabla 23. Comparación de ventas perdidas actual y mejorada.....	65
Tabla 24. Ahorro generado por reducir las pérdidas perdidas.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Ishikawa.....	16
Figura 2. Diagrama de Pareto	18
Figura 3. Modelo de mantenimiento preventivo	21
Figura 4. Modelo de orden de trabajo.....	22
Figura 5. Diagrama proceso de elaboración	25
Figura 6. Flujo grama mantenimiento morrectivo.....	26
Figura 7. Flujo grama mantenimientopreventivo	26
Figura 8. MTBF y MTTR en el mezclador	33
Figura 9. Disponibilidad de mezclador	34
Figura 10. Baja disponibilidad de mezclador de dosificación.....	35
Figura 11. Ventas perdidas por baja disponibilidad del mezclador.....	36
Figura 12. Diagrama de Pareto de las causas inmediatas del mezclador de dosificación ...	39
Figura 13. Matriz de indicadores	42
Figura 14. Equipo de trabajo	46
Figura 15. Clasificación de las fallas mediante el NPR	59
Figura 16. Comparación de ventas perdidas actual y mejorada	65
Figura 17. Ahorro generado por reducir las ventas perdidas.....	66

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar una propuesta de mejora del Sistema de Gestión de Mantenimiento para aumentar la disponibilidad del mezclador de dosificación de una empresa de alimentos balanceados acuícola.

Se realiza el diagnóstico de los factores y/o causas de la baja disponibilidad encontrándose que el sistema de gestión de mantenimiento no cuenta con un programa de mantenimiento ni un plan de mantenimiento preventivo.

Por lo tanto, se propuso implementar la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), mediante el análisis de modo y efecto de falla que permita identificar los problemas antes de que ocurran y puedan afectar a los procesos.

Con el RCM se aumenta la disponibilidad del mezclador a 96% lo que genera un ahorro de 972,853 soles anual, que resulta de disminuir las ventas perdidas, originadas por horas dejadas de producir por indisponibilidad del mezclador.

La aplicación del RCM, nos ayudará a determinar posibles fallas críticas y mejorar el estudio de criticidad de los equipos cuando se refiere a incrementar la disponibilidad, confiabilidad y vida útil del mezclador.

Palabras clave: Mantenimiento, RCM, disponibilidad, confiabilidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento.

Una empresa puede mantener niveles altos de productividad con apropiadas actividades de mantenimiento. La moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento, las estrategias (definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir esas metas u objetivos), y las responsabilidades en la gestión (European Committee for Standardization- CEN, 2002)

La gestión de mantenimiento es una parte importante del negocio, ya que asegura la producción de bienes y/o servicios de forma eficiente, a través de la disponibilidad y fiabilidad de los equipos que integran la cadena de producción, garantizando la rentabilidad a través de la reducción de los costos por mantenimiento, calidad de los productos o servicios, satisfacción del cliente, permitiendo que la empresa logre la máxima producción. Para lograr estos objetivos se requiere implementar un conjunto de acciones orientadas hacia un cambio filosófico en las políticas de mantenimiento, tales como: aplicar mantenimiento de clase mundial el cual incluye un conjunto de actividades que permiten reorientar la estrategia de mantener los equipos con un

enfoque de mantenimiento proactivo, disciplinado en prácticas estandarizadas, gestión autónoma, competitivo y con índices de desempeño de clase mundial. Específicamente, la necesidad de redimensionar una empresa implica para el mantenimiento, retos y oportunidades que merecen ser valorados. En el mantenimiento, se agrupan una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de fiabilidad en los equipos, máquinas, instalaciones, etc.

Dado lo anterior se entiende que “La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo” (Mora, 2000). La gran mayoría de estos costes ocurrirán durante la fase de operación, por lo que se aprecia necesario desarrollar sistemáticas de mejora de disponibilidad orientadas a esta fase del ciclo de vida.

La acuicultura peruana viene experimentando un crecimiento significativo en las últimas décadas, con tasas de crecimiento del 22% y volúmenes de cosechas de 4753 toneladas en 1993, de 105 158 toneladas en el 2013 y se estima que para el año 2025 se podría alcanzar entre las 290000 a 300000 toneladas; asimismo, las exportaciones también han tenido un crecimiento sostenido de 2887 toneladas en 1998 a 33 552 toneladas en 2013, lo que significó el incremento de US\$ 21 223 (1998) a US\$ 278 796 775 (2013) y se estima que para el año 2025 los volúmenes de exportación podrían alcanzar entre las 65 a 75 mil toneladas. Las principales especies por su volumen de cosecha son la concha de abanico y el camarón. En la parte continental, se tiene a la trucha, tilapia, paiche, gamitana y paco, entre otros. (Baltazar, Palacios y Mina, 2014).

En la industria peruana, los problemas de disponibilidad asociadas al mantenimiento son causada debido a la falta de planificación, control presupuestal y planificación estratégica.

La empresa de alimentos balanceados acuícola en estudio, se dedica a la producción de alimento balanceado para camarones y peces (trucha, paiche, cobia).

La planta peletizadora que elabora alimentos balanceados para camarones cuenta con un programa de producción a tiempo completo, dicha planta tiene 4 (cuatro) líneas de producción peletizado. El mezclador de dosificación es quien abastece de mezcla a las 4 prensas peletizadoras, es decir cualquier parada no programada impacta directamente a la producción del alimento.

Esta empresa en estudio evidencia en su reporte de mantenimiento un aumento de 504.3 horas de parada del mezclador en el año 2018 (92.9 % de disponibilidad) comparadas con el año 2017 que se reportó 467.6 horas de parada (93.5% de disponibilidad), estas paradas conllevan a pérdidas de embarques de exportación de productos por lo tanto incumplimiento de pedidos de los clientes.

De continuar esta situación en esta área, las pérdidas por producto dejado de producir se irán incrementando y el incumplimiento de pedidos perjudica su competitividad en el mercado.

Por lo cual se pretende analizar con detalle la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad a fin de incrementar la disponibilidad de los equipos críticos.

Antecedentes de la Investigación

Como antecedentes de la presente investigación tenemos las siguientes tesis, tanto internacionales, nacionales como locales:

En el ámbito internacional, Cabrera y Espín (2018), en la tesis titulada: “El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda”, para optar el Título de Ingeniero Industrial en la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador, tiene como como objetivo el desarrollo de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad y los protocolos de gestión de la misma, tanto para la maquinaria y equipos de la zona húmeda como la de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda., al no contar con un plan de mantenimiento preventivo, ha presentado varias fallas en los subsistemas de las diferentes máquinas y equipos, esto se refleja en costos de mantenimiento correctivo, sustitución de piezas, y en el peor de los casos, paradas de planta lo cual implica a su vez reducción de la producción y de ingresos a la empresa. El establecimiento del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad básicamente gira en torno al análisis y riesgo de fallos para la maquinaria. Se evalúa el riesgo de manera objetiva mediante dos tipos de análisis: el Análisis de Criticidad y el Análisis AMEF, el primero de ellos valora la criticidad de los 73 subsistemas correspondientes a las 24 máquinas totales, enfocándose en 5 aspectos principales: frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional y costo de mantenimiento; el segundo de los análisis, es decir el AMEF, calcula en número de prioridad de riesgo NPR, en base a 3 factores: gravedad, ocurrencia y detección de la falla Al aplicar ambos estudios y unificarlos para su análisis final, se detecta un total de 48 subsistemas con alto riesgo y 4 con reducción deseable, y al reagruparlos se obtienen 5 máquinas con

un nivel de criticidad elevado, por lo cual se desarrollan los planes de mantenimiento preventivo de los mismos; generando los documentos respectivos, con la finalidad de mejorar sustancialmente la capacidad productiva de la empresa y prolongar la vida útil de los equipos estudiados.

En el ámbito nacional, Gago (2017) en su tesis titulada: “Optimización del plan de mantenimiento aplicando el análisis de confiabilidad a los equipos críticos del sistema eléctrico de la oficina principal de Petroperú S.A.” implementa un plan de mantenimiento al sistema eléctrico de un edificio de entidad del estado, aplicando la herramienta del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), la cual permite optimizar las actividades y frecuencias de mantenimiento en función al análisis de fallos, tiempos medios entre fallos, el ciclo de vida, diagrama de decisiones y confiabilidad de los equipos a estudiar. En esta tesis primero se realizó una adecuada identificación de los equipos críticos que conforman el sistema eléctrico estableciendo la criticidad en cada una de ellas y el impacto en las metas de mantenimiento, seguridad, salud, medio ambiente y servicio. Luego se hizo un diagnostico a los componentes principales que conforman a estos equipos críticos a través del análisis de modos de fallas, causas y efectos (AMEF). 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 u operatividad de los mismos al disminuir las fallas y sus consecuencias.

Cáceres y Pérez (2017), en su tesis titulada: “Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la mejora del mantenimiento de una prensa de rodillos HPGR”, aplica la metodología RCM para la mejora del mantenimiento de una prensa

de rodillos HPGR. El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) 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. El método es bastante efectivo y se enfoca en determinar la mejor estrategia de mantenimiento a un modo de falla específico. Con el análisis RCM, logran determinar las tareas de mantenimiento necesarias para conservar la función del subsistema analizado. Asimismo; se realiza el debido análisis económico para determinar el impacto de la aplicación de esta metodología de mantenimiento al equipo seleccionado.

Mejía (2017), en su tesis titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la Empresa Ersa Transportes y Servicios S.R.L.”, tiene como objetivo principal proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, para mejorar la productividad de la empresa. Este plan de mantenimiento se realizó mediante la metodología RCM, esta metodología permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos, asegurando que el activo físico continúe realizando su función para el cual fue diseñado. Para ello se hizo uso de un análisis AMEF (análisis de modo y efecto falla) para encontrar todas las formas o modos en los que pueden fallar un activo dentro del proceso. También se realizó una hoja de decisión RCM para seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento, dando como resultado la elaboración del plan de mantenimiento. Mediante la aplicación del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, se mejoró la disponibilidad en un 16% y aumentó la productividad en un 7%. Además, se tendrá un ahorro de S/ 27 387,46 al año.

En el ámbito local, Moreno (2017) en su investigación denominada “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) al compresor estacionario de tornillo de una etapa en la empresa metalmecánica Fameca SAC.” para obtener el título de Ingeniero Industrial de la Universidad Nacional de Trujillo, tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad al compresor Atlas Copco de la empresa metalmecánica Fameca SAC., para mejorar sus índices de mantenimiento actuales. La aplicación del proceso MCC involucró un análisis de causas de los modos de fallas y sus efectos AMFE, y el desarrollo de Hojas de Decisión estableciendo actividades de mantenimiento que eliminen o reduzcan los efectos de fallas basándose en las consecuencias que podrían causar. Dichas actividades son técnicamente factibles de realizarse y con su ejecución deberán resolver las consecuencias que se pretenden prevenir. Como resultado de la aplicación de la metodología MCC se desarrolló un nuevo plan de mantenimiento centrado en confiabilidad y se aumentó la Disponibilidad en 25%, la Confiabilidad en 3% y la Mantenibilidad en 9%.

Para la presente investigación se usaron las siguientes definiciones conceptuales:

a. **Diagrama Ishikawa**

Se utilizó esta herramienta para la determinación de las causas raíces de la baja disponibilidad del mezclador.

Montgomery (2011) determina que el diagrama de Causa – Efecto o también llamado Ishikawa, tiene como finalidad, ayudar a los equipos de mejora a detectar los diferentes tipos de causas que influyen en un problema; se seleccionan los principales y se jerarquizan. Un diagrama bien detallado tomará la forma de una espina de pescado, de allí su otro nombre. Las principales

características que presenta son que el problema se coloca en el lado derecho del diagrama y para cada efecto surgirán diversas categorías de causas principales que podrán ser resumidas en las llamadas 6 M, que son: máquina, material, método, mano de obra, medio ambiente y medida.

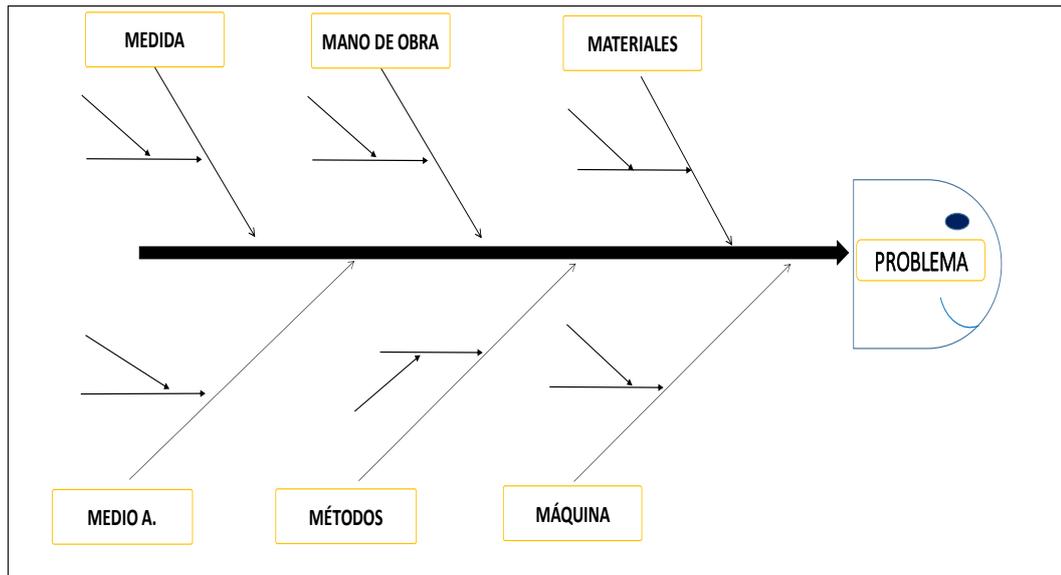


Figura 1. Diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia

b. **Encuesta:**

Esta herramienta permite recolectar información de las personas involucradas en el área de estudio, para conocer la importancia de las causas raíces. Corbetta (2007, p. 61) afirma que la encuesta es el procedimiento de investigación social más utilizado y conocido. Los medios de comunicación, las instituciones públicas y privadas, y en definitiva casi cualquier ámbito de conocimiento hace un uso extensivo de las encuestas para producir y transmitir información. Sus orígenes como herramienta de investigación social se sitúan en el contexto del siglo XIX con el asentamiento de la sociedad industrial, siendo utilizada ya por algunos de los padres fundadores de la ciencia social moderna,

como Marx o Weber para conocer aspectos concretos ligados a las nuevas formas de organización del trabajo.

c. **Matriz de priorización:**

Esta matriz permite priorizar las causas raíces de mayor a menor impacto.

Camisón, Cruz y Gonzáles (2006) definen las matrices de priorización como herramientas que sirven para priorizar actividades, temas, características de productos o servicios, etc., a partir de criterios de ponderación conocidos. Además, señalan que el diagrama de Pareto es una herramienta de representación gráfica que identifica los problemas más importantes, en función de su frecuencia de ocurrencia o coste (dinero, tiempo), y permite establecer las prioridades de intervención. En definitiva, es un tipo de distribución de frecuencias que se basa en el principio de Pareto, a menudo denominado regla 80/20, el cual indica que el 80% de los problemas son originados por un 20% de las causas. Este principio ayuda a separar los errores críticos, que normalmente suelen ser pocos, de los muchos no críticos o triviales.

d. **Diagrama de Pareto:**

El diagrama de Pareto constituye un sencillo y gráfico método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales) y las que lo son menos importantes (los muchos y triviales). Las ventajas del diagrama de Pareto pueden resumirse en:

- Permite centrarse en los aspectos cuya mejora tendrá más impacto, optimizando por tanto los esfuerzos.
- Proporciona una visión simple y rápida de la importancia relativa de los problemas.

- Ayuda a evitar que se empeoren algunas causas al tratar de solucionar otras y ser resueltas.
- Su visión gráfica del análisis es fácil de comprender y estimula al equipo para continuar con la mejora.

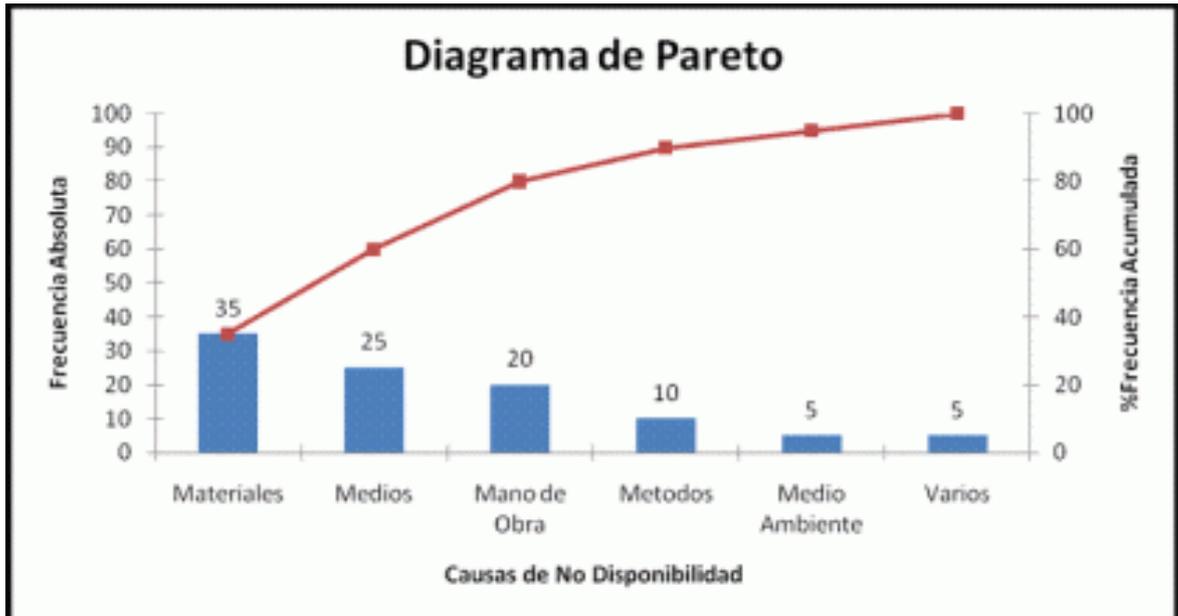


Figura 2. Diagrama de Pareto
Fuente: Internet

e. **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

Es una metodología utilizada para determinar que debe hacerse para asegurar que los equipos continúen operando dentro de rangos o estándares establecidos por el usuario en el contexto operativo presente. (Moubray, 1997, p. 10)

La metodología RCM asegura que un equipo continúe operando de forma eficiente, dentro de los límites establecidos y a la capacidad de diseño y la confiabilidad inherente al equipo.

Según Parra y Crespo (2012) la metodología RCM propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes 7 preguntas.

¿Cuál es la función y los estándares de ejecución?

¿Cuál es la falla funcional?

¿Cuál es el modo de falla?

¿Cuál es efecto de la falla?

¿Cuál es la consecuencia de la falla?

¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla funcional?

¿Qué puede hacerse si no se conoce una tarea de prevención adecuada a este fallo?

Unzueta, Goti, Garitano y Sánchez (2014), mencionan la metodología para implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad. Esta implementación consta de cuatro etapas:

Etapas 1 - Control de la documentación

Se debe priorizar los equipos que van a ser estudiado mediante iniciativas de priorización, luego se debe recopilar todo el conocimiento explícito de los equipos priorizados. La recopilación de datos permitirá hacer el AMEF. El análisis de la documentación de diseño, operación y mantenimiento es útil para llevar a cabo un control de la documentación. La documentación relacionada sobre todo con el mantenimiento tiene que ser crucial cuando ocurren averías correctivas complejas. Por ello se recolecta toda la información siguiendo estas secuencias:

- Elección del equipo de trabajo.
- Recolección de la información.
- Información puesta en tablas.

Etapas 2 - Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF)

Con la información recolectada se debe responder las 3 primeras preguntas de los 7 pasos del RCM (1- las funciones del equipo, 2- los modos de falla y 3- las causas). Para ello será necesario combinar el trabajo realizado por los diseñadores de los instructivos y en la experiencia de técnicos en mantenimiento.

Etapas 3 - Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo

Se procede a realizar un plan de mantenimiento preventivo con la participación de técnicos y profesionales de mantenimiento. Se debe responder la cuarta a la séptima pregunta del análisis RCM (4- análisis de consecuencias, 5- selección de eventos de mayor impacto, 6- acciones preventivas y 7- acciones alternativas). Asimismo, se debe llevar a cabo una revisión de los modos de falla del equipamiento, incluyendo el conocimiento implícito y las experiencias de los técnicos, profesionales de mantenimiento y operarios de producción.

En la figura 3 se muestra un modelo de mantenimiento preventivo.

 		MANTENIMIENTO PREVENTIVO		Num: 66D013 Nivel: 00 Fecha: 2008/XX/XX Aceptado: Director de calidad. Hoja 1 / 1		
GARANTIA DE CALIDAD		MÁQUINA: CORREA 0013				
NUM. GAMA	NUM. NORMA	OPERACIONES A REALIZAR	DIARIO	SEMANAL	MESES	ANUAL
1	1	Auditoria interna al automantenimiento.				
	2	Limpia los depósitos y bombas de taladrina.				
	3	Limpia (en caso necesario sustituir) los filtros del tanque de taladrina.				
	4	Equipo de tratamiento de taladrina: Lubrica los rodamientos (6 rodamientos).				
	5	Limpia las boyas de las micro boyas.				
	6	Mantenimiento del armario eléctrico de Correa: Si fuera necesario cambiar cables.				
	7	Comprobar y limpiar los detectores.				
	8	Lubrica las partes móviles de la máquina en general.				
	9	Lubrica la cadena del almacén de herramientas.				
	10	Lubrica el manipulador de la grúa.				
	11	Lubrica el intercambiador.				
	12	Lubrica las pinzas del manipulador.				
	13	Lubrica la cadena del manipulador.				
	14	Comprobar que la diferencia de voltaje es +/- 5% del valor nominal.				
	15	Inspección global de las partes eléctricas: masa, conectores y transformadores.				
	16	Revisión del movimiento de los ejes X,Y,Z.				

Figura 3. Modelo de mantenimiento preventivo
Fuente: Unzueta (2014)

Hay que considerar que las acciones de mantenimiento preventivo incluida en los manuales de operación y mantenimiento están sobredimensionadas, debido a que los diseñadores no disponen de información sobre las consecuencias de los modos de falla que se deben evitar y sus causas. Por ello los técnicos de mantenimiento deberán ajustar la periodicidad de las acciones de mantenimiento preventivo modificando o incluso eliminando actividades del manual de mantenimiento. Además, los técnicos acumulan experiencia incalculable que será útil para adoptar otras acciones de mantenimiento y esta información recopilada debe ser incluida en las actividades del mantenimiento preventivo.

f. **Indicadores de mantenimiento**

El responsable del área de mantenimiento antes de proponer cambios en la gestión de mantenimiento, debe medir el estado inicial en el que se encuentra dicha área, con la finalidad de evaluar si estos cambios son favorables o no, dicha medición se debe realizar a través de los indicadores, llamados también ratios de gestión. (Gonzáles, 2010, p. 10)

“Lo que no se mide no se mejora” puesto que los indicadores son parámetros numéricos estos nos ayudan a evaluar en nuestro caso los métodos, planes, técnicas y políticas aplicadas en el área de mantenimiento.

Disponibilidad

Es el principal indicador de mantenimiento puesto que va a limitar la capacidad de la producción, es la probabilidad en la que el equipo está preparado para producir en un determinado tiempo, esto significa que no debería parar por, fallas o ajuste, no se incluye paradas planificadas por mantenimiento y operaciones.

Una disponibilidad usual de instalaciones y flotas en las empresas modernas es de 97-98%. (Gonzáles, 2010)

La disponibilidad se calcula mediante la ecuación N°1, la cual depende de la frecuencia de fallas y el tiempo que se demora en reanudar el servicio.

$$D(t) = \left(\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \right) * 100\% \quad \dots (1)$$

Dónde:

D(t) = disponibilidad (%).

MTBF=tiempo medio entre fallas (Hrs).

MTTR=tiempo medio para reparar (Hrs).

Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Es el tiempo promedio, transcurrido entre una falla y la siguiente falla, el MTBF lo obtenemos mediante la ecuación N°2.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de operacion}}{\text{Numero de fallas}} \quad \dots (2)$$

Tiempo medio para reparar

Es el tiempo promedio que se toma para reparar el activo que ha fallado, el MTTR lo hallamos usando la ecuación N° 3

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de fallas}}{\text{Numero de fallas}} \quad \dots (3)$$

Confiabilidad

La confianza que te da un equipo o componente de desempeñar su función (que no ocurra la falla) durante un tiempo establecido en condiciones normales de operación. La confiabilidad (C) estará definida por la siguiente expresión indicada en la ecuación N° 4

$$C(t) = \left(e^{\frac{-\lambda * T}{100}} \right) * 100\% \quad \dots (4)$$

Dónde:

C(t) = confiabilidad (%)

e = constante matemática cuyo valor es 2,71828...

T = periodo de tiempo arbitrario o tiempo total de estudio (Hrs).

λ = constante denominada “tasa de fallas aleatorias”, es el número total de fallas con relación al tiempo promedio entre fallas (fallas/Hrs), y se expresa mediante la ecuación N° 5

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \dots (5)$$

Mantenibilidad:

Es la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema sea colocado en operación dentro de un tiempo establecido, cuando el mantenimiento se ejecuta de acuerdo a los procedimientos, la mantenibilidad se puede calcular a través de la ecuación N°6.

$$M_{(t)} = \left(1 - e^{\frac{-\mu * T}{100}} \right) * 100\% \quad \dots (6)$$

Dónde:

μ = conocida como la tasa de reparación

e = constante matemática cuyo valor es 2,71828...

t= periodo de tiempo arbitrario para el cual se desea conocer la confiabilidad

Y la tasa de reparación (μ) se puede calcular mediante la ecuación N°7:

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \left[\frac{N^{\circ} \text{ de reparaciones}}{\text{año}} \right] \quad \dots(7)$$

Datos de proceso de la empresa en estudio

- **Diagrama proceso producción**

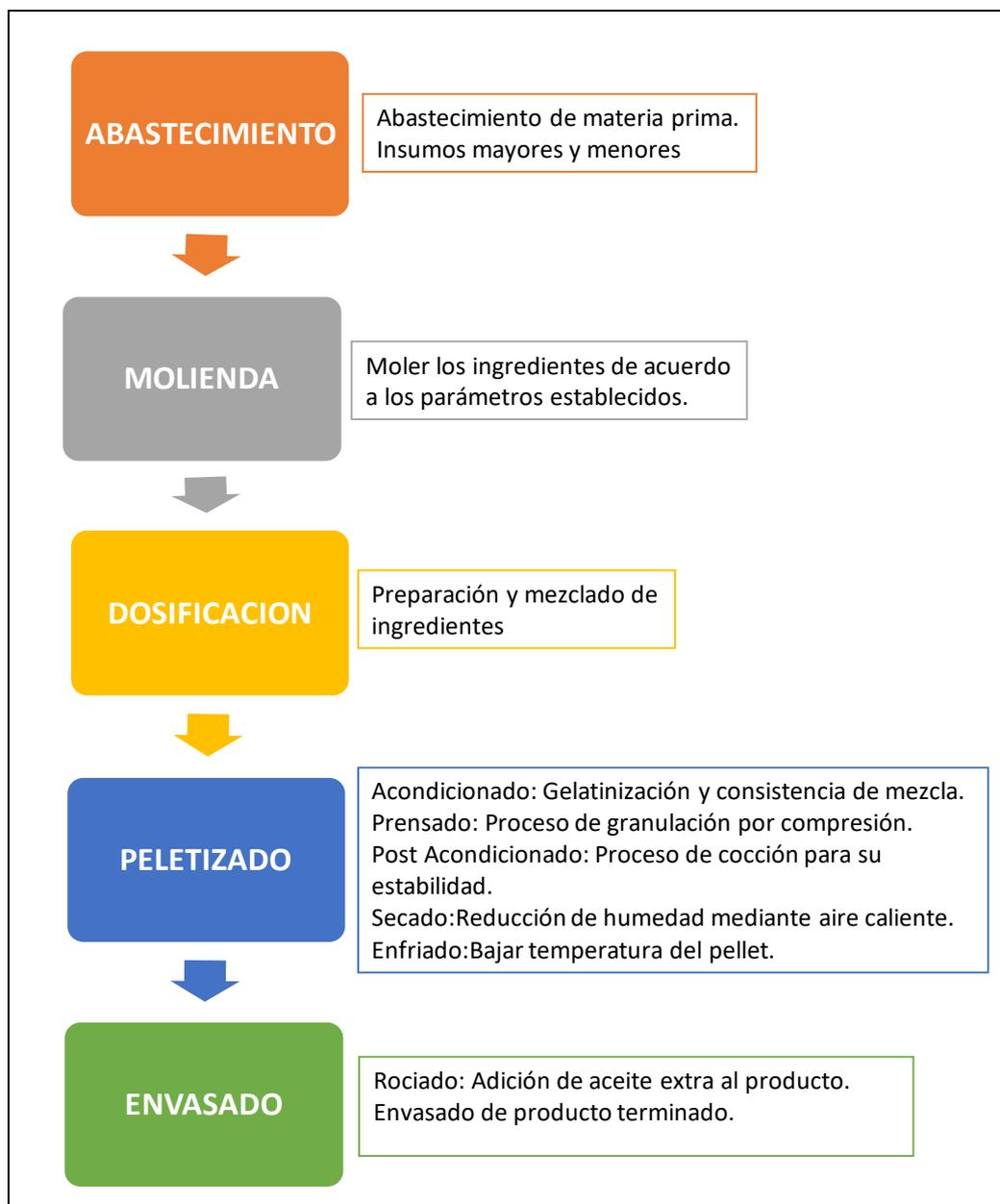


Figura 5. Diagrama proceso de elaboración

Fuente: Elaboración propia

- Flujo grama de mantenimiento correctivo y preventivo**

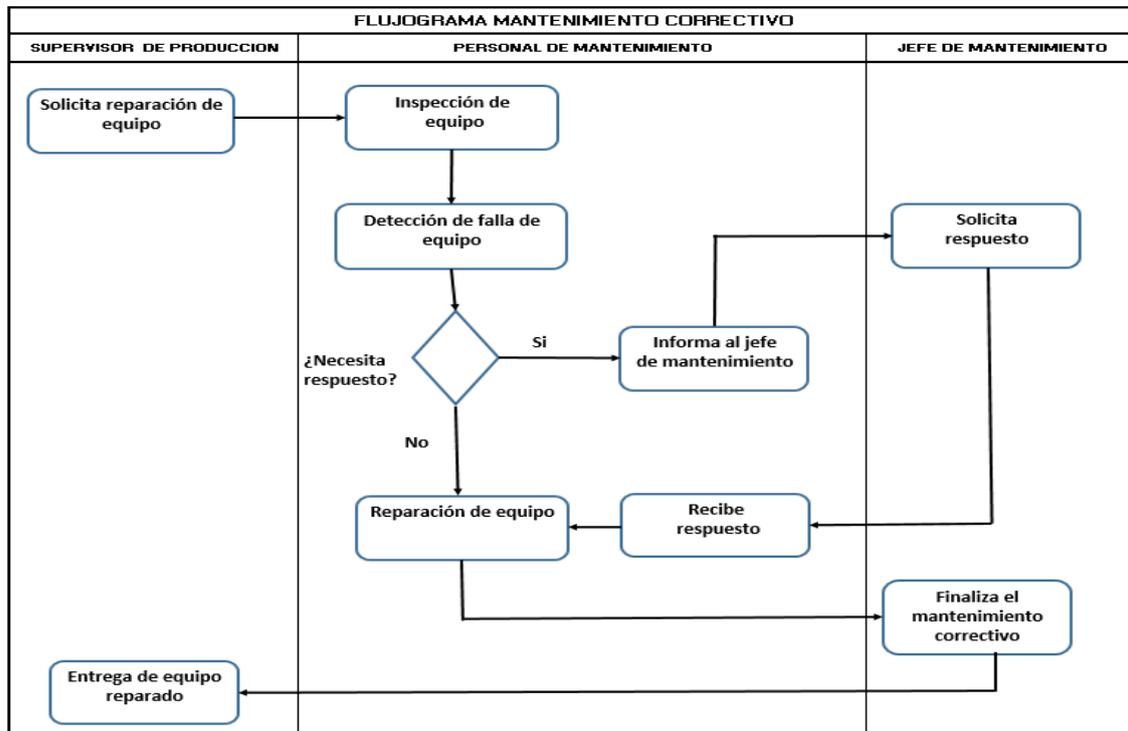


Figura 6. Flujo grama mantenimiento correctivo
 Fuente: Elaboración propia

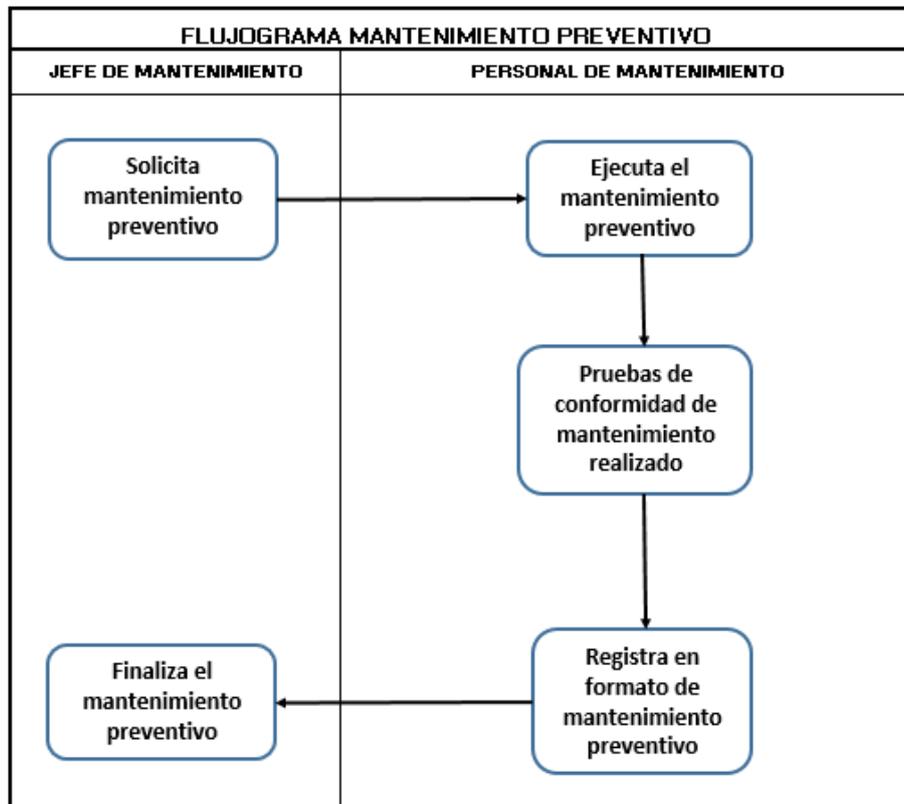


Figura 7. Flujo grama mantenimiento preventivo
 Fuente: Elaboración propia

1.2 Formulación del problema

¿En qué medida el sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM, aumenta la disponibilidad del mezclador de dosificación de una empresa de alimentos balanceados acuícola?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Aumentar la disponibilidad del mezclador de dosificación de una empresa de alimentos balanceados acuícola a través de la mejora del sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la situación inicial, en materia de mantenimiento, del mezclador de dosificación de una empresa de alimentos balanceados acuícola, determinando los indicadores generales de mantenimiento.
- Establecer, mediante el AMEF (análisis de modos y efectos de fallas) y NPR (número de prioridad de riesgos), las fallas críticas preponderantes.
- Elaborar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para el mezclador de dosificación, determinando los indicadores de mantenimiento, en situación de mejora.
- Realizar la evaluación económica financiera de la propuesta.

1.4. Hipótesis

La aplicación del sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM, aumentará la disponibilidad del mezclador de dosificación de una empresa de alimentos balanceados acuícola en por lo menos 3%.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

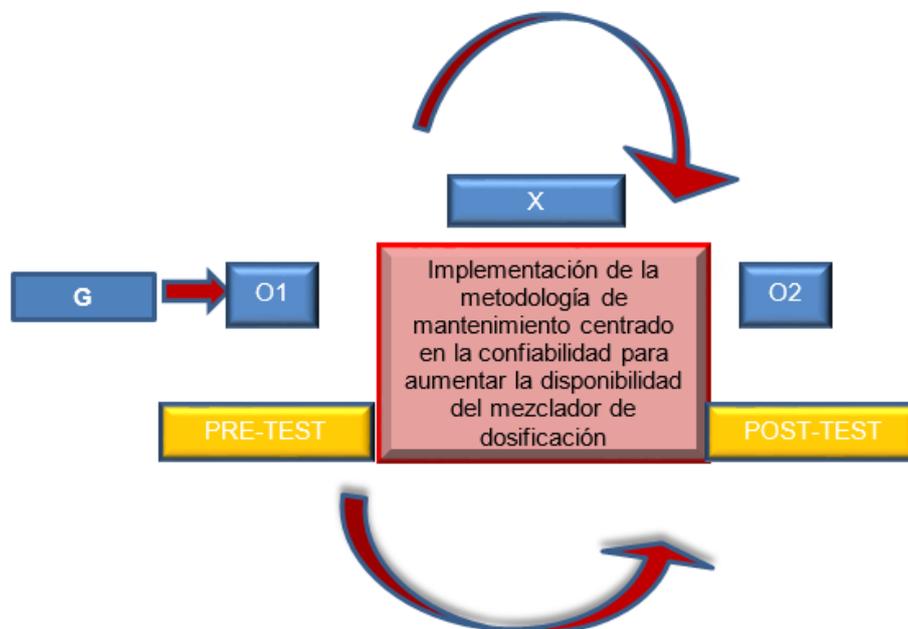
Es una investigación de tipo experimental.

Según propósito

Es una investigación aplicada, dado que en la presente investigación utilizaremos los conocimientos adquiridos en la Ingeniería Industrial.

Según diseño de investigación

Es una investigación pre- experimental porque como investigador manipulo una variable de estudio, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente).



Dónde:

G : Muestra (Planta peletizadora de alimento balanceado para camarón)

O1: Observación previa a la aplicación del estímulo o pre test.

X : Aplicación del estímulo o variable independiente.

O2: Observación posterior a la aplicación del estímulo o post test.

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Técnicas de recolección de datos

La técnica que se utiliza para esta investigación será:

- La observación: como registro sistemático, válido y confiable.
- Encuesta: consiste en obtener información masiva con facilidad de una muestra de individuos sobre determinados asuntos o fenómenos.

Instrumento

A través de los instrumentos podemos recolectar la información de manera organizada según el fenómeno a observar (Valderrama, 2013)

La observación, es referida como una técnica directa de colección de datos, ya que la recolección es de fuente primaria. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

La encuesta, utilizaremos como instrumento el cuestionario; este instrumento sirvió para la obtención de datos estrictamente estandarizados y analizados mediante la formulación escrita de una serie de preguntas que al ser aplicados respondió por las entrevistas y contribuirá a la obtención de datos requeridos.

Análisis de Datos

Los datos que analizaremos son:

- Control de paradas.
- Disponibilidad y confiabilidad.
- Control de horas

Para la recolección de datos primarios en la investigación científica se procede básicamente por la observación y captura de datos. Después de haberlos recopilado se realiza el análisis e interpretación con el propósito de obtener respuestas a las interrogantes de la investigación. Relacionado entre las variables estudiadas que prueban nuestra hipótesis y permiten llegar a conclusiones validas sobre el objeto de la investigación.

El análisis de datos se realiza una vez recogidos los datos, comienza una fase esencial para toda investigación, referida a la clasificación o agrupación de los datos referentes a cada variable objetivo de estudio y su presentación conjunta. El investigador profesional sigue un procedimiento de 5 pasos para el análisis de datos.

1. Trabajo de campo
2. Introducción de datos
3. Ordenamiento y codificación de datos
4. Tabulación, análisis e interpretación estadístico
5. Validación y edición.

2.3. Procedimiento

ETAPA	DESCRIPCIÓN
<p>Diagnóstico de la realidad actual de la empresa.</p>	<p>Ishikawa: Se elabora el diagrama de Ishikawa para determinar la causas raíces.</p>
	<p>Encuesta: Se aplica la encuesta a las personas involucradas para conocer la significancia de las causas raíces.</p>
	<p>Matriz de Priorización: Se priorizan las causas raíces de mayor a menor impacto.</p>
	<p>Pareto: Se aplica el diagrama de Pareto con la finalidad de terminar las causas raíces que ocasionan el problema en un 80% de impacto.</p>
	<p>Matriz de indicadores: Se formulan los indicadores para cada causa raíz.</p>

Propuesta de mejora	Se implementa el sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) para la solución del problema.
----------------------------	--

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Evaluación de la situación inicial, en materia de mantenimiento, del mezclador de dosificación de la empresa en estudio, determinando los indicadores generales de mantenimiento.

3.1.1 Análisis del problema e indicadores actuales.

Tabla 1

Disponibilidad del mezclador en el año 2016

2016	Días de producción	Horas disponibles	Frecuencia de fallas	Horas de producción	MTBF (Hora/falla)	Horas paradas	MTTR (Hora/falla)	Disponibilidad 2016
Enero	27	567	6	523.83	87.31	43.17	7.20	92.4%
Febrero	27	567	5	531.42	106.28	35.58	7.12	93.7%
Marzo	30	630	5	598.67	119.73	31.33	6.27	95.0%
Abril	29	609	7	564.42	80.63	44.58	6.37	92.7%
Mayo	29	609	7	570.17	81.45	38.83	5.55	93.6%
Junio	29	609	5	575.83	115.17	33.17	6.63	94.6%
Julio	30	630	5	600.67	120.13	29.33	5.87	95.3%
Agosto	30	630	5	596.83	119.37	33.17	6.63	94.7%
Septiembre	29	609	4	582.5	145.63	26.50	6.63	95.6%
Octubre	30	630	3	606.5	202.17	23.50	7.83	96.3%
Noviembre	28	588	5	554.83	110.97	33.17	6.63	94.4%
Diciembre	24	504	6	472.25	78.71	31.75	5.29	93.7%
Total	342	7182	63	6777.92	107.59	404.08	6.41	94.4%

Fuente: La empresa

Tabla 2

Disponibilidad del mezclador en el año 2017

2017	Días de producción	Horas disponibles	Frecuencia de fallas	Horas de producción	MTBF (Hora/falla)	Horas paradas	MTTR (Hora/falla)	Disponibilidad 2017
Enero	27	567	5	529.17	105.83	37.83	7.57	93.3%
Febrero	28	588	7	539.5	77.07	48.50	6.93	91.8%
Marzo	30	630	5	597.83	119.57	32.17	6.43	94.9%
Abril	28	588	6	545.83	90.97	42.17	7.03	92.8%
Mayo	29	609	6	566.42	94.40	42.58	7.10	93.0%
Junio	29	609	5	570.83	114.17	38.17	7.63	93.7%
Julio	30	630	7	580.17	82.88	49.83	7.12	92.1%
Agosto	30	630	8	588.412	73.55	41.59	5.20	93.4%
Septiembre	28	588	5	558.25	111.65	29.75	5.95	94.9%
Octubre	31	651	6	617.67	102.95	33.33	5.56	94.9%
Noviembre	26	546	4	517.5	129.38	28.50	7.13	94.8%
Diciembre	24	504	7	460.83	65.83	43.17	6.17	91.4%
Total	340	7140	71	6672.41	93.98	467.59	6.59	93.5%

Fuente: La empresa

Tabla 3
Disponibilidad del mezclador en el año 2018

2018	Días de producción	Horas disponibles	Frecuencia de fallas	Horas de producción	MTBF (Hora/falla)	Horas paradas	MTTR (Hora/falla)	Disponibilidad 2018
Enero	28	588	6	542.83	90.47	45.17	7.53	92.3%
Febrero	27	567	5	531.42	106.28	35.58	7.12	93.7%
Marzo	30	630	8	581.17	72.65	48.83	6.10	92.2%
Abril	29	609	6	569.50	94.92	39.50	6.58	93.5%
Mayo	27	567	7	518.67	74.10	48.33	6.90	91.5%
Junio	29	609	6	569.83	94.97	39.17	6.53	93.6%
Julio	29	609	5	575.50	115.10	33.50	6.70	94.5%
Agosto	30	630	8	581.83	72.73	48.17	6.02	92.4%
Septiembre	29	609	6	567.42	94.57	41.58	6.93	93.2%
Octubre	30	630	7	582.5	83.21	47.50	6.79	92.5%
Noviembre	28	588	5	554.83	110.97	33.17	6.63	94.4%
Diciembre	24	504	6	460.17	76.70	43.83	7.31	91.3%
Total	340	7140	75	6635.67	88.48	504.33	6.72	92.9%

Fuente: La empresa

De la tabla 1 a la tabla 3 se muestra los datos para determinar la disponibilidad del mezclador de dosificación de la empresa en estudio del año 2016 al 2018.

Asimismo se puede obtener los valores del tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio para reparar (MTTR) del mezclador.

En la figura 8 se muestra el MTBF y se presenta el MTTR de los equipos del mezclador.

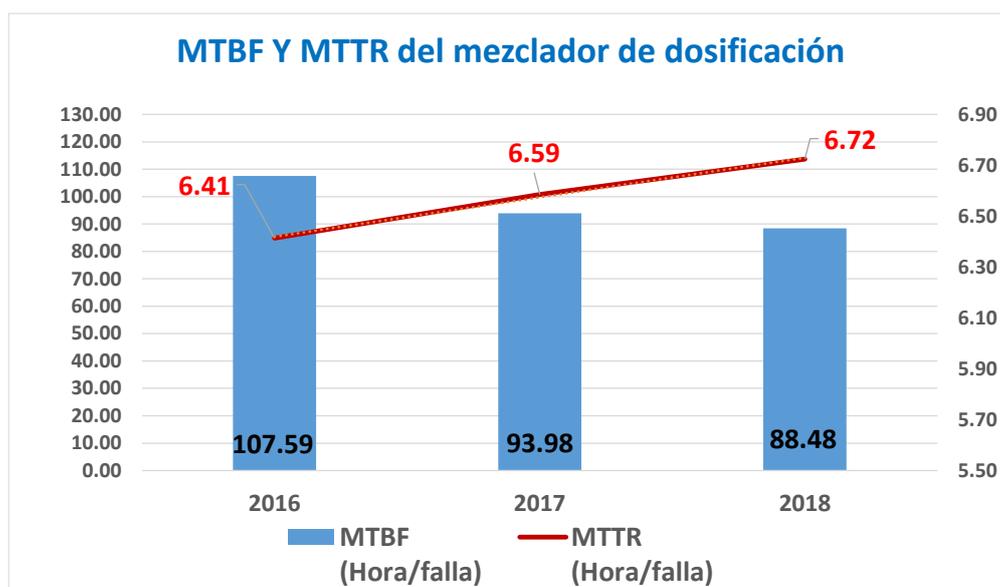


Figura 8. MTBF y MTTR en el mezclador

Fuente: La empresa

Se evidencia que MTBF tiene una tendencia decreciente, donde su valor ha descendido de 107.59 hora/falla a 88.48 hora/falla, el mezclador está funcionando menos tiempo antes que ocurra una parada. Se observa que MTTR tiene una tendencia creciente donde su valor aumenta de 6.41 hora/falla a 6.72 hora/falla, se requiere mayor tiempo para reparar una falla por parada de equipos del mezclador.

Actualmente el mezclador de dosificación de la empresa en estudio tiene una disponibilidad de 92.9%; en la figura 9 se muestra la disponibilidad del mezclador de dosificación.

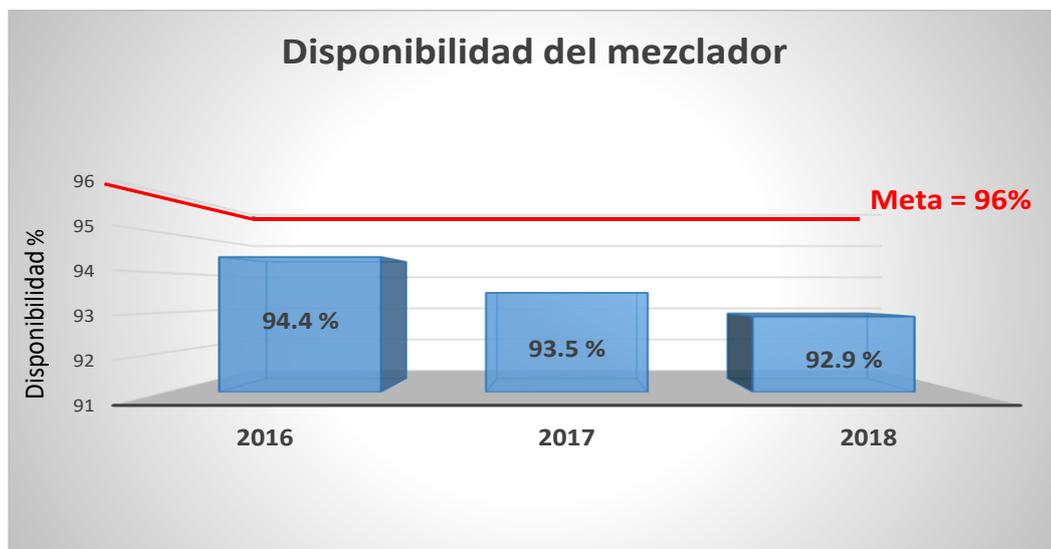


Figura 9. Disponibilidad de mezclador
Fuente: La empresa

Se observa que en el año 2016 la disponibilidad fue de 94.4%, luego en el 2017 descendió a 93.5% y en el 2018 nuevamente volvió a descender a 92.8%. Cabe señalar que la empresa considera una meta de disponibilidad del mezclador de 96% por ser una línea crítica del proceso. A continuación, se presenta el diagrama de Ishikawa en donde se detallan las causas que influyen en la baja disponibilidad, la cual también nos mostrará los problemas existentes en diferentes escamas: mano de obra, métodos, materiales, maquinarias.

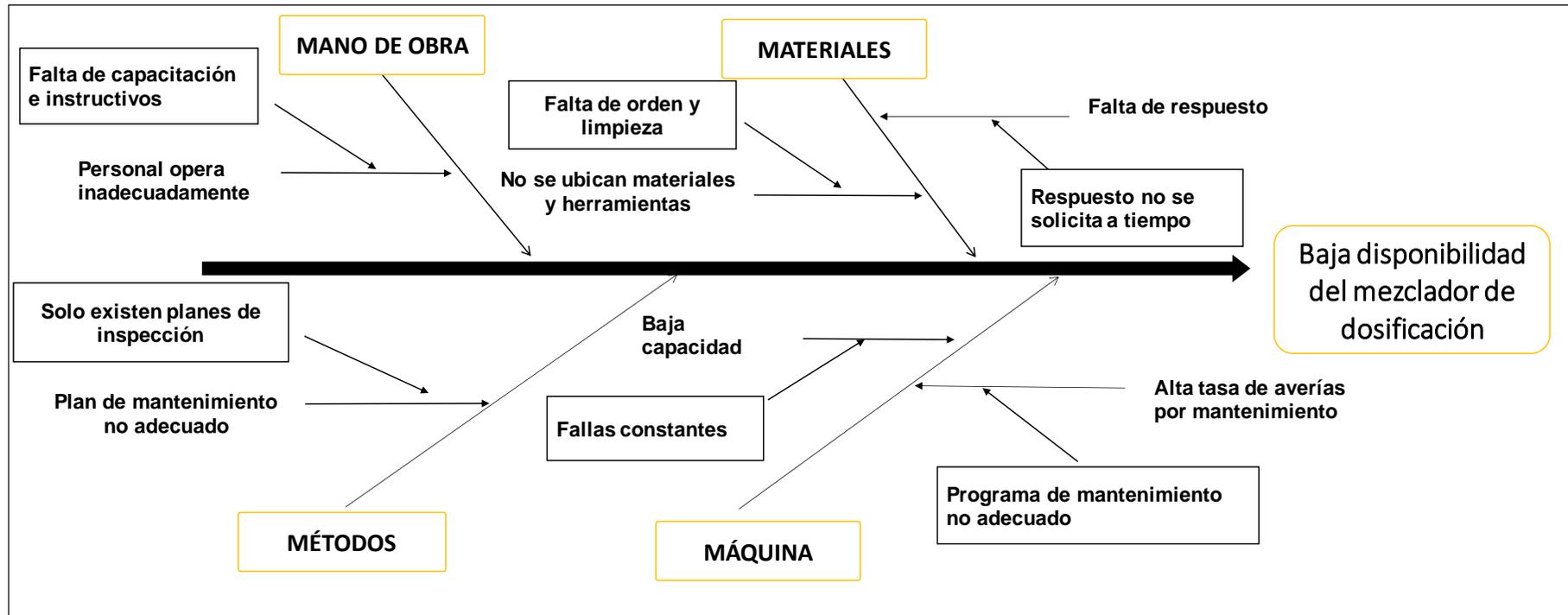


Figura 10. Baja disponibilidad de mezclador de dosificación
Fuente: Elaboración propia

Como apreciamos el mezclador de dosificación solo tiene planes básicos de inspecciones, incurriendo en una alta tasa de averías, repercutiendo en la disponibilidad de los equipos necesarios para la producción. Los costos que generan las paradas no programadas de los equipos son altos y van incrementando mensualmente, impactando directamente sobre los indicadores de disponibilidad, MTTF, MTTR (Suzuki, 1996). En la siguiente figura 11 se aprecia las ventas perdidas por la baja disponibilidad del mezclador de dosificación entre los años 2016 y 2018.

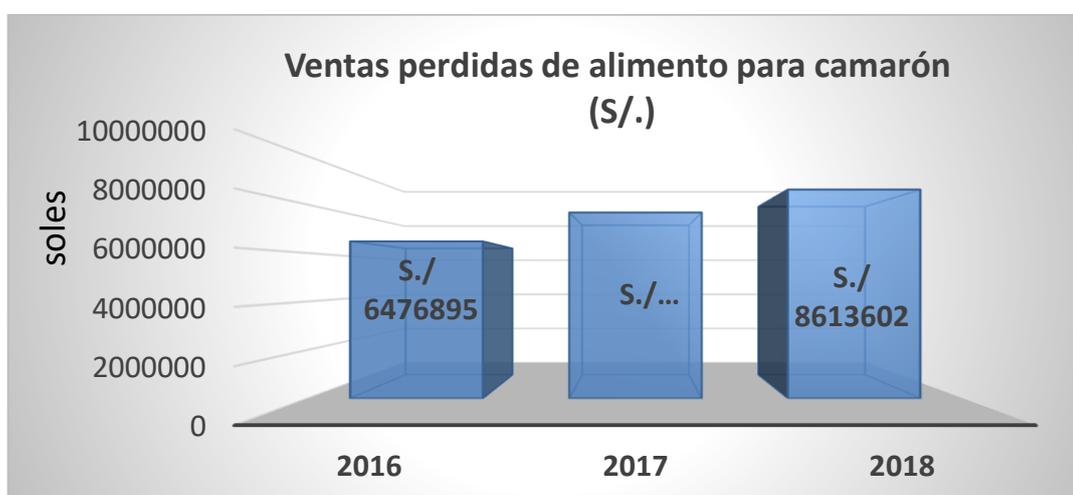


Figura 11. Ventas perdidas por baja disponibilidad del mezclador
Fuente: La empresa

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo” (Mora, 2000).

La disponibilidad es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado operativo, para realizar una función requerida bajo condiciones dadas, durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado. (International Standard - ISO 14224:2004, 2004)

Si se analiza la definición moderna de mantenimiento, se verifica que la misión de este es “garantizar” la disponibilidad de la función de los equipos e instalaciones, de tal modo que permita atender a un proceso de producción o de servicio con calidad, confiabilidad, seguridad, preservación del medio ambiente y costo adecuado.

La disponibilidad, objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema, que ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente. (Mesa, Ortiz y Pinzón, 2006).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una sistemática que cumple con estas características, pues puede ser aplicado tanto en la fase de diseño como en la de operación (Moubray, 1997). El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), está concebido básicamente como un proceso de mejoramiento continuo, por lo que ninguna tarea o procedimiento de mantenimiento escapa a la constante revisión a partir de toda la información que se va acumulando. (Bloom, 2005)

Tabla 4
Resumen de Realidad Problemática

Problemática	Cuantificador	Datos asociados
	%Disponibilidad	Baja disponibilidad del mezclador.
Mejora del Sistema de Gestión de Mantenimiento	MTTF(Hrs)	Main time to failure, bajo del mezclador.
	MTTR(Hrs)	Main time to repair, alto del mezclador.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, podemos concluir diciendo que en la actualidad la disponibilidad del mezclador de dosificación es de 92.9%, los costos que generan estas paradas no programadas son muy altos y se van incrementando mensualmente, además el mezclador de dosificación alimenta cuatro líneas de producción peletizado, es decir cualquier parada no programada impacta directamente en la producción.

En la figura 10 que muestra el diagrama de Ishikawa, se identificaron las causas que generan la baja disponibilidad del mezclador:

Tabla 5

Causas Inmediatas

Item	Causas inmediatas
CI1M	Falta de capacitación e instructivos
CI2M	Falta de orden y limpieza
CI3M	Fallas constantes
CI4M	Repuesto no se solicita a tiempo
CI5M	Solo existen planes de inspección
CI6M	Programa de mantenimiento no adecuado

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, a la identificación de las causas inmediatas que influyen en la baja disponibilidad del mezclador, se realizó una encuesta (ver Anexo 1) a los diferentes trabajadores del área de mantenimiento y producción, con la finalidad de aplicar una correcta ponderación a cada una de las causas de acuerdo al nivel de influencia en la problemática de estudio.

El resultado obtenido después de la encuesta fue el presentado a continuación:

Tabla 6

Causas Inmediatas de baja disponibilidad de Mezclador

MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN		
CR	DESCRIPCION DE LA CAUSA INMEDIATA	PONDERACIÓN
CI6M	Programa de mantenimiento no adecuado	36
CI3M	Fallas constantes	30
CI5M	Solo existen planes de inspección	24
CI4M	Repuesto no se solicita a tiempo	14
CI1M	Falta de capacitación e instructivos	8
CI2M	Falta de orden y limpieza	8
TOTAL		120

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, priorizamos y calculamos las frecuencias relativas y acumuladas para poder desarrollar el diagrama de la ley de Pareto 20 – 80 (ver Anexo 2 y 3), y poder trabajar con las primeras causas inmediatas que acumulen el 80% de la baja disponibilidad del mezclador de dosificación:

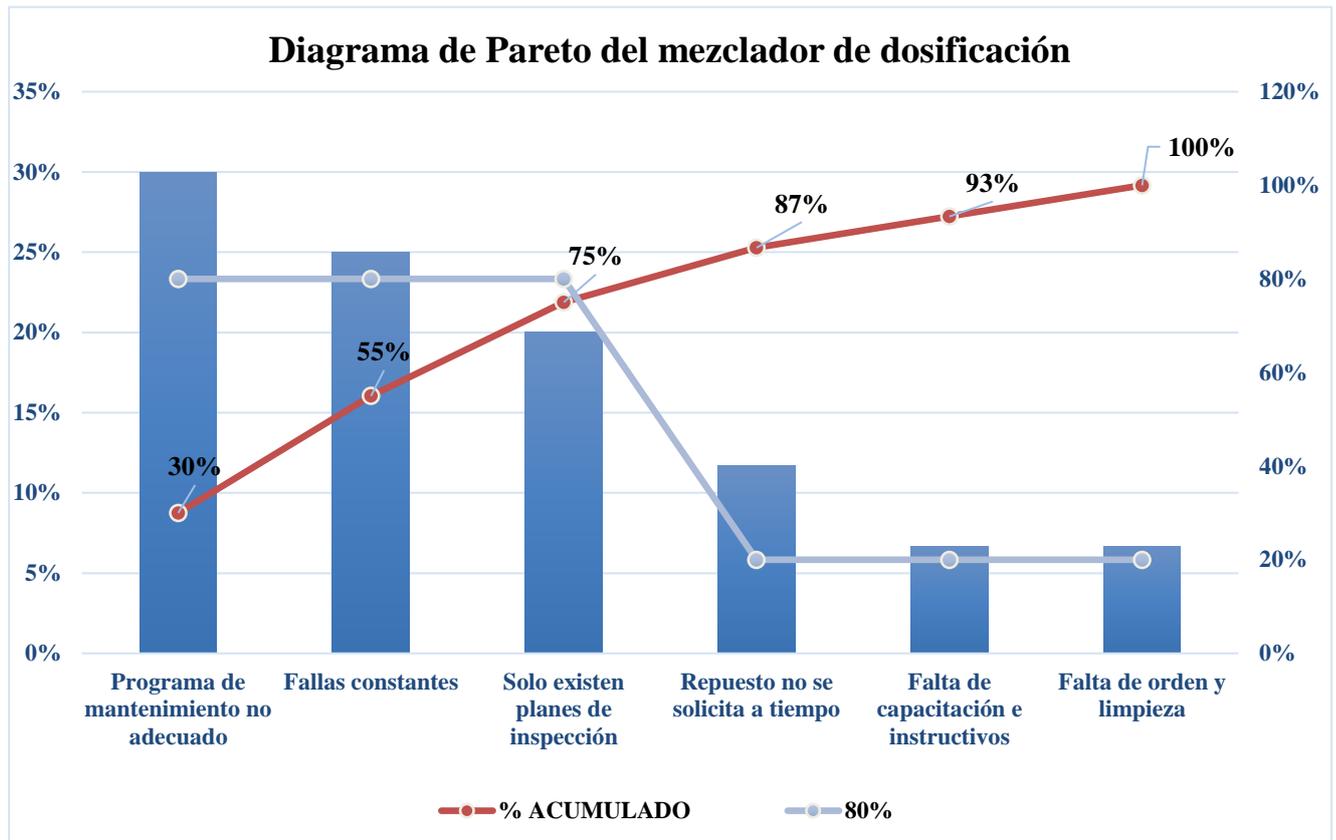


Figura 12. Diagrama de Pareto de las causas inmediatas del mezclador de dosificación
Fuente: Elaboración propia.

Al ordenar el diagrama de Pareto según su influencia en el problema, nos dio como resultado tres causas inmediatas que se serán primordiales para conseguir el objetivo de la propuesta de mejora:

CI6M: Programa de mantenimiento no adecuado

CI3M: Fallas constantes

CI5M: Solo existen planes de inspección.

3.1.1.1 Identificación de indicadores

Teniendo las causas inmediatas procedemos a obtener las causas raíces las cuales serán analizadas mediante indicadores, de tal forma que permita evaluar y proponer las herramientas de mejora que se va aplicar:

Disponibilidad inicial :

$$2016: \quad D_i = 94.4\%$$

$$2017: \quad D_i = 93.5\%$$

$$2018: \quad D_i = 92.9\%$$

Confiabilidad inicial :

$$C(t) = \left(e^{\frac{-\lambda \cdot T}{100}} \right) * 100\%$$

$$2016: \quad C_o = \left(e^{\frac{\left(\frac{-1}{107.59} \right) * 7182}{100}} \right) * 100 = 51.30\%$$

$$2017: \quad C_o = \left(e^{\frac{\left(\frac{-1}{93.98} \right) * 7140}{100}} \right) * 100 = 46.78\%$$

$$2018: \quad C_o = \left(e^{\frac{\left(\frac{-1}{88.48} \right) * 7140}{100}} \right) * 100 = 44.62\%$$

Mantenibilidad inicial :

$$M_a = \left(1 - e^{\frac{-\mu \cdot T}{100}} \right) * 100\%$$

$$2016: \quad M_a = \left(1 - e^{\frac{\left(\frac{-1}{6.41} \right) * 404.08}{100}} \right) * 100 = 46.74\%$$

$$2017: \quad M_a = \left(1 - e^{\frac{\left(\frac{-1}{6.59} \right) * 467.59}{100}} \right) * 100 = 50.84\%$$

$$2018: \quad M_a = \left(1 - e^{\frac{\left(\frac{-1}{6.72} \right) * 504.33}{100}} \right) * 100 = 52.76\%$$

Cuadro resumen:

Determinación de indicadores de mantenimiento

Tabla 7

Principales indicadores iniciales de mezclador de dosificación

Mezclador de dosificación de la empresa en estudio	MTBF (Tiempo promedio entre fallas)	MTTR (Tiempo promedio para reparar)	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Año 2016	107.59	6.41	94.37%	51.30%	46.74%
Año 2017	93.98	6.59	93.45%	46.78%	50.84%
Año 2018	88.48	6.72	92.94%	44.62%	52.76%
TOTAL	290.05	19.72	93.59%	47.57%	50.22%

Fuente: Elaboración propia.

Para referencia de nuestra matriz de indicadores, seleccionaremos el más crítico y actual, representado por el correspondiente al último año de estudio (2018):

MATRIZ DE INDICADORES										
CAUSA INMEDIATA	CAUSA RAÍZ	INDICADOR	FÓRMULA	VALOR ACTUAL (%)	PÉRDIDA ANUAL (S/-)	VALOR META (%)	NUEVA PÉRDIDA ANUAL (S/-)	AHORRO (S/-)	HERRAMIENTA DE MEJORA	INVERSIÓN (S/-)
mantenimiento no adecuado	Falta plan de mantenimiento	Tiempo perdido por fallas, baja la disponibilidad de mezclador	Tiempo parada= $\frac{\text{Tiempo de producción}}{\text{Disponibilidad}}$ - Tiempo de producción	92.8% Disponibilidad	S/. 1,780,184	96% Disponibilidad	S/. 975,941	S/. 804,243	RCM Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.	S/. 166,820
Solo existen planes de inspección	Falta programa de mantenimiento			504 hrs.		276 hrs.				
Fallas constantes	Falta plan de mantenimiento preventivo									

Figura 13. Matriz de indicadores
Fuente: Elaboración propia

3.2. Implementar la metodología del RCM y el AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas) para establecer las fallas críticas preponderantes.

3.2.1. Descripción de las causas raíces

. Falta de plan de mantenimiento

. Falta de programa de mantenimiento

La falta de programa y planes de mantenimiento al mezclador de dosificación originan paradas por falla de equipos, las cuales impactan directamente a la producción por ser la línea que abastece de mezcla a cuatro líneas de producción peletizado.

3.2.2. Monetización de pérdidas

El tiempo que dejaron de operar las líneas peletizadoras de alimentos balanceados por paradas del mezclador hubiera permitido producir mayor cantidad alimento balanceado. El impacto económico se medirá por las ventas perdidas de alimento balanceado no producido, si los equipos hubieran operado. Para los cálculos se ha tomado un promedio en el precio de venta del alimento balanceado para camarón de: 3363 soles/tonelada, para el 2016; 3430 soles/tonelada, para el 2017; y, 3530 soles/tonelada para el 2018.

En las siguientes tablas 8, 9 y 10, se muestra los datos para determinar las ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en los años 2016, 2017 y 2018 respectivamente:

Tabla 8

Ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en el 2016

2016	Capacidad de peletizadoras (ton. /hr.)	Tiempo de parada mezcladora (hrs.)	Tiempo total parada de prensas por falta de mezcla (hrs.)	Alimento no producido (ton.)	Precio de venta (soles/ton.)	Ventas perdidas (soles)
Enero	4	43.17	49.08	196	3363	660323
Febrero	4	35.58	43.23	173	3363	581582
Marzo	4	31.33	36.97	148	3363	497365
Abril	4	44.58	50.17	201	3363	674947
Mayo	4	38.83	45.33	181	3363	609834
Junio	4	33.17	40.00	160	3363	538128
Julio	4	29.33	35.74	143	3363	480858
Agosto	4	33.17	39.50	158	3363	531401
Septiembre	4	26.50	32.83	131	3363	441669
Octubre	4	23.50	30.34	121	3363	408170
Noviembre	4	33.17	39.16	157	3363	526827
Diciembre	4	31.75	39.08	156	3363	525791
Total		404.08	481.44			6476895

Fuente: La empresa

Tabla 9

Ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en el 2017

2017	Capacidad de peletizadoras (ton. /hr.)	Tiempo de parada mezcladora (hrs.)	Tiempo total parada de prensas por falta de mezcla (hrs.)	Alimento no producido (ton.)	Precio de venta (soles/ton.)	Ventas perdidas (soles)
Enero	4	37.83	46.17	185	3430	633434
Febrero	4	48.50	54.83	219	3430	752246
Marzo	4	32.17	41.17	165	3430	564836
Abril	4	42.17	48.49	194	3430	665263
Mayo	4	42.58	49.83	199	3430	683648
Junio	4	38.17	45.83	183	3430	628769
Julio	4	49.83	56.67	227	3430	777490
Agosto	4	41.59	48.83	195	3430	669928
Septiembre	4	29.75	39.50	158	3430	541924
Octubre	4	33.33	41.17	165	3430	564836
Noviembre	4	28.50	35.99	144	3430	493768
Diciembre	4	43.17	50.58	202	3430	693979
Total		467.59	559.06			7670121

Fuente: La empresa

Tabla 10

Ventas perdidas de alimento balanceado para camarón en el 2018

2018	Capacidad de peletizadoras (ton. /hr.)	Tiempo de parada mezcladora (hrs.)	Tiempo total parada de prensas por falta de mezcla (hrs.)	Alimento no producido (ton.)	Precio de venta (soles/ton.)	Ventas perdidas (soles)
Enero	4	45.17	53.33	213	3530	752977
Febrero	4	35.58	44.83	179	3530	632964
Marzo	4	48.83	56.83	227	3530	802394
Abril	4	39.50	48.33	193	3530	682381
Mayo	4	48.33	56.83	227	3530	802394
Junio	4	39.17	48.66	195	3530	687040
Julio	4	33.50	43.50	174	3530	614185
Agosto	4	48.17	57.00	228	3530	804794
Septiembre	4	41.58	50.17	201	3530	708360
Octubre	4	47.50	56.17	225	3530	793075
Noviembre	4	33.17	41.41	166	3530	584718
Diciembre	4	43.83	53.00	212	3530	748318
Total		504.33	610.06			8613602

Fuente: La empresa

3.2.3. Implementación de la metodología RCM

La propuesta de mejora se enfoca en implementar la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), para aumentar la disponibilidad del mezclador de dosificación de la empresa en estudio y aumentar sus ingresos económicos.

- **Etapa 1: Control de la documentación**

- **Formación del equipo de trabajo**

El equipo de trabajo para la implementación RCM está conformado por el jefe de mantenimiento, facilitador, supervisor de planta, operadores y técnicos. Asimismo, todos los integrantes de los equipos deben participar en todo el proceso para asegurar el éxito de la propuesta de mejora. En la figura 14 se muestra los integrantes que conforman equipo de trabajo para la implementación de RCM.



Figura 14. Equipo de trabajo
Fuente: Elaboración propia.

- Clasificación en sistemas y partes

Se elaboró una clasificación jerárquica de los sistemas y elementos del mezclador. En la siguiente tabla 11, se muestra la clasificación y descripción de las partes de la Mezcladora

Tabla 11

Descripción de las partes del mezclador

ITEM	SISTEMA	SUBSISTEMA/PARTE	FUNCIÓN
1	Transmisión principal de potencia mecánica	Cadena de transmisión	Transmitir potencia mecánica de motor a rodillos
		Engranajes (piñones)	Transmitir potencia mecánica de motor a rodillos.
2	Transmisión de potencia mecánica a tambor giratorio	Rodillos (polines) de transmisión	Transmitir potencia mecánica al tambor giratorio
		Chumacera	Soporte y anclaje de rodillos a estructura
3	Tambor giratorio	Aro de rodadura	Recibir potencia mecánica(movimiento) de los rodillos de transmisión para el giro de tambor
4	Estructura base/soporte	Estructura metálica	Soporte y base de tambor giratorio
		Rueda soporte	Soporte de tambor giratorio y guía de giro
5	Paletas Giratorias	Paletas Mezcladoras	Realizar mezclado uniforme de los ingredientes y materia prima.

Fuente: Elaboración propia

- **Etapa 2 Análisis de modo y efecto de falla**

Con la documentación recolectada y priorización de elementos el equipo de trabajo, se desarrolla el análisis de modos de falla y efecto de falla, basado en un buen diseño de instructivos y experiencia de operadores y técnicos de mantenimiento. En la tabla 13 se muestra el AMEF de los subsistemas o partes del mezclador.

La criticidad de los modos de falla se evaluó bajo los niveles de frecuencia de ocurrencia, grado de control o detección y nivel de severidad de falla, a estos se le dieron un puntaje de 1 a 10 puntos (ver anexos 4, 5 y 6).

De acuerdo al puntaje generado obtenemos el estado y tipo de mantenimiento a ejecutar por cada modo de falla, en la tabla 12 se aprecia el tipo de mantenimiento a ejecutar de acuerdo a la ponderación obtenida.

Tabla 12

Tipo de mantenimiento según el nivel de criticidad

ESTADO	PONDERACIÓN	ACTIVIDAD DE MANTENIMIENTO	CODIFICACION
Critico	25 a 30	Tarea de Mantenimiento Predictivo / Preventivo	
Esencial	19 a 24	Tarea de Mantenimiento Preventivo	
Necesario	12 a 18	Tarea de Mantenimiento Preventivo / Correctivo	
Opcional	2 a 11	Tarea de Mantenimiento Correctivo o ningún mantenimiento	

Fuente: "The Basics of FMEA". Quality Resources, New York, USA - 1996. Pág.: 37

Tabla 13

Análisis de modo y efecto de falla del mezclador

ÁMBITO/EMPRESA:				UBICACIÓN TÉCNICA NAVE:				COD. DOC.:			
UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO:		LINEA DE PELETIZADO		EQUIPO/MÁQUINA: MEZCLADORA DE PELETIZADO		CÓDIGO:		REVISIÓN:			
REALIZADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:		PÁGINA:					
ITEM	SISTEMA	SUBSISTEMA/PARTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de función)	MODOS DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE FALLA	CONSECUENCIAS	EVALUACIÓN			
								Nivel de Ocurrencia	Nivel de Detección	Nivel de Severidad	Puntaje
1	Transmisión principal de potencia mecánica	Cadena de transmisión	Transmitir potencia mecánica de motor a rodillos	1 Estiramiento / deformación de la cadena	1 Falta de lubricación	Desgaste y desmontaje de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	6	7	5	18
					2 Desalineación de piñones (fuerzas transversales)	Desgaste , desmontaje/rotura de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	6	8	5	19
					3 Tiempo de vida útil (desgaste excesivo)	Desgaste , desmontaje/rotura de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	5	7	17
				2 Rotura de cadena	1 Falta de lubricación	Tambor rotatorio sin movimiento (no hay transmisión de potencia mecánica)	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	5	7	17
					2 Desalineación de piñones (fuerzas transversales)	Tambor rotatorio sin movimiento (no hay transmisión de potencia mecánica)	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	8	7	20
					3 Tensado excesivo o deficiente de cadena / cargas mayores a las de trabajo	Tambor rotatorio sin movimiento (no hay transmisión de potencia mecánica)	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	7	7	19
					4 Tiempo de vida útil (desgaste excesivo)	Tambor rotatorio sin movimiento (no hay transmisión de potencia mecánica)	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	5	7	17
								1 Desalineación de piñones (fuerzas transversales, fatiga)	Degaste y desmontaje de cadena,	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	4

		Engranés (piñones)	Transmitir potencia mecánica de motor a rodillos.	1	Deformación de dientes	2	Tensado excesivo o deficiente de cadena / cargas mayores a las de trabajo	Degaste / rotura de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	4	7	4	15
						3	Prisioneros de ajuste flojos (con juego)	Desalineación de piñones, desgaste/rotura de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	4	5	4	13
				2	Dientes desgastados (disminución de tamaño) o rotos	1	Falta de lubricación	Desmontaje de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	3	7	5	15
						2	Tensado excesivo o deficiente de cadena / cargas mayores a las de trabajo	Desmontaje de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	3	6	5	14
						3	Tiempo de vida útil (desgaste excesivo/fatiga)	Desmontaje de cadena	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	3	6	7	16
				2	Transmisión de potencia mecánica a tambor giratorio	Rodillos (polines) de transmisión	Transmitir potencia mecánica al tambor giratorio	1	Desgaste (eje y cuerpo)	1	Falta de lubricación	Vibración excesiva de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.
2	Porosidad	1	Falta de lubricación					Vibración excesiva de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	2	5	7	14
3	Fractura de eje de rodillos	1	Fatiga / tiempo de vida útil					Parada de máquina	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	3	8	7	18
Chumacera	Soporte y anclaje de rodillos a estructura	1	Rajadura / rotura de rodamiento			1	Falta de lubricación	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	5	7	7	19
						2	Vibración excesiva	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	6	7	7	20
						3	Deslizamiento de eje de rodillos sobre rodamientos	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	7	7	18
						4	Tiempo de vida útil bajo condiciones de trabajo (desgaste excesivo, vibración, calor)	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	6	7	7	20

				2	Rajadura / rotura de chumacera Soporte de rodamiento Rodamiento	1	Falta de lubricación	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	5	7	7	19
						2	Vibración excesiva	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	6	7	7	20
						3	Deslizamiento de eje de rodillos sobre rodamientos	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	7	7	18
						4	Tiempo de vida útil bajo condiciones de trabajo (desgaste excesivo, vibración, calor)	Giro desbalanceado/desalineado de rodillo, parada de máquina	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	5	7	7	19
3	Tambor giratorio	Aro de rodadura	Recibir potencia mecánica(movimiento) de los rodillos de transmisión para el giro de tambor	1	Desgaste	1	Falta de lubricación	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	7	7	18
						2	Vibración excesiva	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	7	7	18
				2	Porosidad	1	Falta de lubricación	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	5	7	16
						2	Vibración excesiva	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	5	7	16
4	Estructura base/sopORTE	Estructura metálica	Soporte y base de tambor giratorio	1	Rajadura/rotura	1	Vibración excesiva/sobrecarga	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	3	5	4	12
						2	Desoldado de uniones	2	Vibración excesiva/sobrecarga	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	5

				3	Desanclaje	3	Vibración excesiva/sobrecarga	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	2	5	4	11
		Rueda soporte	Soporte de tambor giratorio y guía de giro	1	Desgaste	1	Falta de Lubricación	Sobrecarga de rodillos y motor	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	7	2	14
				2	Rotura de rodamiento	3	Vibración excesiva	Sobrecarga de rodillos y motor	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	6	5	2	13
						4	Tiempo de vida útil bajo condiciones de trabajo (desgaste excesivo, vibración, calor)	Sobrecarga de rodillos y motor	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación.	5	8	7	20
5	Paletas Giratorias			Paletas Mezcladoras	Realizar mezclado uniforme de los ingredientes y materia prima.	1	Desgaste	1	Falta de lubricación	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	7
		2	Vibración excesiva					Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	7	7	18
		2	Porosidad			1	Falta de lubricación	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	5	7	16
						2	Vibración excesiva	Giro desbalanceado de tambor giratorio	Operacionales: menos eficiencia de producción, costos de reparación. Seguridad Humana	4	5	7	16

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Elaborar e implementar un plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para el mezclador de dosificación, determinando los indicadores de mantenimiento, en situación de mejora.

3.3.1. Desarrollo de plan de mantenimiento

- **Selección de las tareas a realizar y plan de mantenimiento**

A partir del AMEF, se estudia y determina las tareas que se debe realizar para evitar o minimizar los efectos de cada uno de los modos de falla, así como el tipo de mantenimiento a ejecutar para cada modo de falla de la mezcladora. Ver tabla 15.

- **Determinación de repuestos a partir del AMEF**

A partir de cada una de las fallas funcionales mostradas se busca determinar los materiales o repuestos que se deben considerar en el desarrollo de las actividades de mantenimiento. En la tabla 14 se muestra una lista de repuestos necesarios.

Tabla 14

Lista de repuestos

N°	Suministro	Observación
1	Motoreductor 30 KW, 40 rpm. SEW.	
2	Kit cilindro MMRCN2240/	
3	Cadena transmisión Link Belt Rodillo 140-3	
4	Candado P/C Transmi. Link Belt Rodillo 140-3	
5	½ Paso P/C Transmi. Link Belt Rodillo 140-3	
6	Sensor Capacitivo Bin master Mod:NE 657	
7	Microswitch Telemecanique EN/ EIC 60947-5-1	
8	Unidad de mantenimiento FRL / 0 a 10 Bar	
9	Electroválvula neumática 3V210-08	
10	Chumacera Pie SKF 150 mm.	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14
Plan de mantenimiento enfoque RCM

ÁMBITO/EMPRESA:			UBICACIÓN TÉCNICA PLANTA PELETIZADORA -								COD. DOC. :						
UBICACIÓN TÉCNICA EQUIPO:				EQUIPO/MÁQUINA: MEZCLADOR DE DOSIFICACIÓN				CÓDIGO MANT:			REVISIÓN:						
REALIZADO :				REVISADO POR:				APROBADO				PÁGINA:					
Item	Sistema	Subsistema/ parte	Falla Funcional	Modo de falla	Evaluación				Tipo de mantenimiento	Descripción de la tarea	Frecuencia	Mano de obra		Duración (min)	Materiales/ Consumibles	Equipo	Plan/ Ubicación
					N.O.	N.D.	N.S.	Puntaje				Responsable	Cantidad				
1	Transmisión principal de potencia	Cadenas de transmisión	Estiramiento / deformación de la cadena	Falta de lubricación	6	7	5	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de cadenas	Turno	Técnico Mecánico	1	6	Aceite sintético	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 5,6
				Desalineación de piñones	6	8	5	19	Mantenimiento preventivo	Verificar ajuste y alineamiento de piñones	Mensual	Técnico Mecánico	1	10		Alineador Laser	PI-MENSUAL Item 2
				Tiempo de vida útil (desgaste excesivo)	5	5	7	17	Mantenimiento preventivo/correctivo	Cambio de cadenas de transmisión	Semestral	Técnico Mecánico	2	20	Cadena de transmisión simple FE 3/4"	-	FC-SEMESTRAL Item 1
				Falta de lubricación	5	5	7	17	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de cadenas	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	Aceite sintético	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 5,6
		Rotura de cadena	Desalineación de piñones (fuerzas transversales)	5	8	7	20	Mantenimiento preventivo	Verificar ajuste y alineamiento de piñones	Mensual	Técnico Mecánico	1	10		Alineador Laser	PI-MENSUAL Item 2	
			Tensado excesivo o deficiente de cadena	5	7	7	19	Mantenimiento preventivo	Verificar tensado de cadena	Mensual	Técnico Mecánico	1	6		Tensómetro	PI-MENSUAL Item 2	
			Tiempo de vida útil (desgaste excesivo)	5	5	7	17	Mantenimiento preventivo/correctivo	Cambio de cadenas de transmisión	Semestral	Técnico Mecánico	2	20	Cadena de transmisión simple FE 3/4"	-	FC-SEMESTRAL Item 1	
			Falta de lubricación	5	5	7	17	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de cadenas	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	Aceite sintético	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 5,6	

				Desalineación de piñones (fuerzas transversales, fatiga)	4	7	4	15	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar ajuste y alineamiento de piñones	Mensual	Técnico Mecánico	1	10		Alineador Laser	PI-MENSUAL Item 2
		Engranés (piñones)	Deformación de dientes	Tensado excesivo o deficiente de cadena / cargas mayores a las de trabajo	4	7	4	15	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar tensado de cadena	Mensual	Técnico Mecánico	1	6		Tensiómetro	PI-MENSUAL Item 2
				Prisioneros de ajuste flojos (con juego)	4	5	4	13	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar ajuste de prisioneros de fijación de piñones	Mensual	Técnico Mecánico	1	10		-	PI-MENSUAL Item 2
			Dientes desgastados (disminución de tamaño) o rotos	Falta de lubricación	3	7	5	15	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de piñones	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	Aceite sintético	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 7,8
				Tensado excesivo o deficiente de cadena / cargas mayores a las de trabajo	3	6	5	14	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar tensado de cadena	Mensual	Técnico Mecánico	1	6		Tensiómetro	PI-MENSUAL Item 2
				Tiempo de vida útil (desgaste excesivo/fatiga)	3	6	7	16	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de piñones	Anual	Técnico Mecánico	1	6		Vernier	PI-MENSUAL Item 2
2	Transmisión de potencia mecánica a tambor giratorio		Rodillos (polines) de transmisión	Desgaste (eje y cuerpo)	Falta de lubricación / tiempo de vida	3	7	7	17	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de rodillos	Diaria	Técnico Mecánico	1	8		Aceitera Manual
		Porosidad		Falta de lubricación / tiempo de vida	2	5	7	14	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de rodillos	Diaria	Técnico Mecánico	1	8		Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 1,2,3,4
		Fractura de eje de rodillos		Fatiga / tiempo de vida útil	3	8	7	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Cambio de rodillos	Bianual	Técnico Mecánico	2	120			FL-BIANUAL Item 1
		Chumaceras	Rajadura / rotura de rodamiento	Falta de lubricación	5	7	7	19	Mantenimiento preventivo	Lubricar chumaceras	Interdiaria	Técnico Mecánico	1	10	Grasa Mineral	Grasera Manual	PL-INTERDIARIO Pto. 1,2,3,4
			Vibración excesiva	6	7	7	20	Mantenimiento preventivo	Verificar ajuste de pernos y tuercas de anclaje de chumaceras	Mensual	Técnico Mecánico	1	10		-	PI-MENSUAL Item 3	

				Deslizamiento de eje de rodillos sobre rodamientos	4	7	7	18	Mantenimiento preventivo	Verificar estado de chumacera (soporte, rodamiento) y eje de rodillos	Mensual	Técnico Mecánico	1	10	-	PI-MENSUAL Item 3
				Tiempo de vida útil bajo condiciones de trabajo (desgaste excesivo, vibración, calor)	6	7	7	20	Mantenimiento preventivo	Cambio de rodamiento	Trimestral	Técnico Mecánico	2	30	Rodamiento YAR 210 50mm	FC-SEMESTRAL Item 2
			Rajadura / rotura de chumacera (Soporte, Rodamiento)	Falta de lubricación	5	7	7	19	Mantenimiento preventivo	Lubricación chumaceras	Diaria	Técnico Mecánico	1	12	Grasa Mineral	PL-INTERDIARIO Pto. 1,2,3,4
				Vibración excesiva	6	7	7	20	Mantenimiento preventivo	Verificar ajuste de pernos y tuercas de anclaje de chumaceras	Mensual	Técnico Mecánico	1	10	-	PI-MENSUAL Item 3
				Deslizamiento de eje de rodillos sobre rodamientos	4	7	7	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de chumacera (soporte, rodamiento) y eje de rodillos	Trimestral	Técnico Mecánico	1	10	-	PI-MENSUAL Item 3
				Tiempo de vida útil bajo condiciones de trabajo (desgaste excesivo, vibración, calor)	5	7	7	19	Mantenimiento preventivo	Cambio de chumacera	Semestral	Técnico Mecánico	2	30	Chumacera de pie FE NE 50MM	FC-SEMESTRAL Item 2
3	Tambor giratorio	Aro de rodadura	Desgaste	Falta de lubricación	4	7	7	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de aros de rodadura	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 1,2,3,4
				Vibración excesiva	4	7	7	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de aro de rodadura (desgaste, soldaduras).	Trimestral	Técnico Mecánico	1	6	-	PI-MENSUAL Item 6
			Porosidad	Falta de lubricación	4	5	7	16	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de aros de rodadura	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 1,2,3,4
				Vibración excesiva	4	5	7	16	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de aro de rodadura	Trimestral	Técnico Mecánico	1	6	-	PI-MENSUAL Item 6

4	Estructura base/sopORTE	Estructura metálica	Rajadura/rotura	Vibración excesiva/sobrecarga	3	5	4	12	Mantenimiento preventivo/correctivo	(desgaste, porosidad, soldaduras).	Verificar estado de estructura metálica, pernería, uniones, soldaduras y remanentes	Anual	Técnico Mecánico	1	5	-	PI-MENSUAL Item 11
			Desoldado de uniones	Vibración excesiva/sobrecarga	4	5	4	13	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de estructura metálica, pernería, uniones, soldaduras y remanentes	Anual	Técnico Mecánico	1	5	-	PI-MENSUAL Item 11	
			Desanclaje	Vibración excesiva/sobrecarga	2	5	4	11	Mantenimiento correctivo	Verificar estado de estructura metálica, pernería, uniones, soldaduras y remanentes	Anual	Técnico Mecánico	1	5	-	PI-MENSUAL Item 11	
	Rueda soporte	Rotura de rodamiento	Desgaste	Falta de Lubricación	5	7	2	14	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricar rueda soporte	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	-	PL-TURNO Pto. 9	
			Vibración excesiva		6	5	2	13	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar anclaje y ajuste de rueda	Mensual	Técnico Mecánico	1	6	-	PI-MENSUAL Item 7	
			Tiempo de vida útil bajo condiciones de trabajo (desgaste excesivo, vibración, calor)		5	5	2	12	Mantenimiento preventivo/correctivo	Cambio de rodamiento	Semestral	Técnico Mecánico	2	30	Rodamiento 63309 LLU/2AS NTN	-	FC-SEMESTRAL Item 3
	5	Paletas Giratorias	Paletas Mezcladoras	Desgaste	Falta de lubricación	4	7	7	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de aros de rodadura	Diaria	Técnico Mecánico	1	6	Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 1,2,3,4
Vibración excesiva					4	7	7	18	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de aro de rodadura (desgaste, soldaduras).	Trimestral	Técnico Mecánico	1	6	-	PI-MENSUAL Item 6	

				Falta de lubricación	4	5	7	16	Mantenimiento preventivo/correctivo	Lubricación de aros de rodadura	Diaria	Técnico Mecánico	1	6		Aceitera Manual	PL-TURNO Pto. 1,2,3,4
			Porosidad	Vibración excesiva	4	5	7	16	Mantenimiento preventivo/correctivo	Verificar estado de aro de rodadura (desgaste, porosidad, soldaduras).	Trimestral	Técnico Mecánico	1	6		-	PI-MENSUAL Item 6

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Número de prioridad de riesgos

En la siguiente tabla 16, se muestran la recopilación de todas las fallas del mezclador de dosificación peletizado descrito líneas arriba. Para determinar los valores NPR, para cada falla involucrada en el AMEF y ser considerada como: inaceptable, reducible a deseable y aceptable. Se tiene:

Puntajes del AMEF

NPR \geq 200 **Inaceptable (I)**

200 > NPR < 125 **Reducible a deseable (R)**

125 \geq NPR **Aceptable (A)**

En el anexo 7 se encuentra la tabla de índices de riesgo o número de prioridad NPR.

Tabla 15

Análisis del número de prioridad de riesgos

Ítem	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA CRÍTICA	G	O	D	NPR
F1	Estiramiento / deformación de cadena de transmisión principal de potencia mecánica.	8	5	7	280
F2	Rotura de cadena de transmisión principal de potencia mecánica	10	7	8	560
F3	Bajo tiempo de vida útil de cadena (desgaste excesivo)	8	8	7	448
F4	Tensado excesivo o deficiente de cadena / cargas mayores a las de trabajo	6	7	7	294
F5	Deformación de dientes de engranajes (piñones) del sistema de transmisión principal	4	4	3	48
F6	Dientes desgastados (disminución de tamaño) o rotos del sistema de transmisión principal	8	6	9	432
F7	Desalineación de piñones (fuerzas transversales) de sistema de transmisión principal	8	9	6	432
F8	Bajo tiempo de vida útil de tambor rotatorio (desgaste excesivo)	6	3	3	54
F9	Desgaste (eje y cuerpo) de rodillos de transmisión (polines)	6	5	7	210
F10	Porosidad en los rodillos (polines) de transmisión de potencia al tambor giratorio.	5	5	7	175
F11	Fractura de eje de rodillos (polines) de transmisión de potencia al tambor giratorio	6	3	3	54

F12	Rajadura / rotura de rodamiento de soporte y anclaje de rodillos a estructura.	10	4	6	240
F13	Deslizamiento de eje de rodillos sobre rodamientos	6	6	6	216
F14	Rajadura / rotura de chumacera Soporte de rodamiento del tambor giratorio.	8	4	8	216
F15	Desgaste del aro de rodadura del tambor giratorio, por falta de lubricación y excesiva vibración.	7	7	7	343
F16	Porosidad del aro de rodadura del tambor giratorio, por falta de lubricación y excesiva vibración.	4	5	5	100
F17	Rajadura / rotura de soporte y base de tambor giratorio por alta vibración.	10	4	7	280
F18	Desoldado de uniones de soporte y base de tambor giratorio por alta vibración y sobrecarga.	8	5	5	200
F19	Des anclaje soporte y base de tambor giratorio por alta vibración y sobrecarga.	6	5	4	120
F20	Desgaste de soporte de tambor giratorio y guía de giro por falta de lubricación.	6	8	7	336
F21	Rotura de rodamiento de soporte de tambor giratorio y guía de giro, por excesiva vibración.	10	7	8	560
F22	Desgaste de paletas mezcladoras giratorias por falta de lubricación y alta vibración	7	5	7	245
F23	Porosidad de paletas mezcladoras giratorias por falta de lubricación y alta vibración	5	4	7	140

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, podemos decir que 16 fallas son indeseables (69.6%), 2 fallas son reducibles a deseables (8.7%) y 5 fallas son aceptables (21.7%).

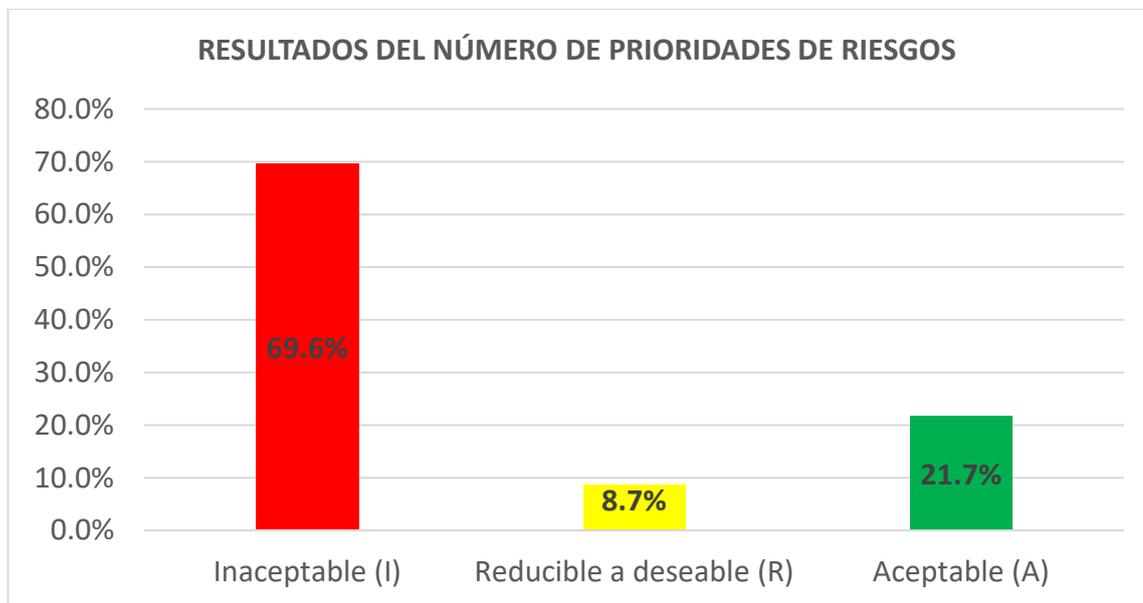


Figura 15. Clasificación de las fallas mediante el NPR
Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Indicadores del mantenimiento en estado de mejora con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el AMEF

Se estima que, según el NPR, se resolverán el 69.6% de todas las fallas existentes de la máquina mezclador de dosificación. Existiendo aún el 30.4% de fallas entre reducibles a deseables y aceptables.

Determinación de indicadores de mantenimiento

Cuadro Resumen:

Tabla 16

Tiempos y cantidad de fallas promedios

Mezclador de dosificación de la empresa en estudio	MTBF (Tiempo promedio entre fallas)	MTTR (Tiempo promedio para reparar)	Disponibilidad	Confiabilidad	Mantenibilidad
Año 2016	112.05	1.95	98.29%	52.68%	46.30%
Año 2017	98.57	2	98.01%	48.46%	50.37%
Año 2018	93.16	2.04	97.85%	46.47%	52.29%
TOTAL	303.78	5.99	98.05%	49.34%	49.76%

Fuente: Elaboración propia.

Comentario:

Para obtener los resultados correspondientes al año 2018:

$$MTTR = 6.72 * 0.304 = 2.04 \text{ horas/año};$$

$$MTBF = (6.72 - 2.04) + 88.48 = 93.16 \text{ horas/año};$$

$$D(t) = \left(\frac{93.16}{93.16 + 2.04} \right) * 100\% = 97.85\%;$$

$$C(t) = \left(e^{-\frac{\lambda * T}{100}} \right) * 100\% = \left(2,718^{-\frac{1}{93.16} * 7140} \right) * 100 = 46.47\% ;$$

$$M_{(t)} = \left(1 - e^{-\frac{\mu * T}{100}} \right) * 100\% = \left(1 - 2.718^{-\frac{1}{2.04} * (504.3 * 0.3)} \right) * 100 = 52.29\%$$

Bajo esta metodología se determinó cada MTTR; MTBF, disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de cada año.

3.3.4. Retroalimentación continua

- **Registro en formatos de mantenimiento**

Para que la implementación del RCM sea sostenible en el tiempo se debe retroalimentar los pasos de la metodología mediante la recolección de información en formatos de registros para toda intervención de mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo, ver anexo 8.

Formato de historial de mantenimiento de equipos, ver anexo 9.

Plan de inspección de mantenimiento eléctrico, ver anexo 10.

Procedimiento de lubricación mecánica, ver anexo 11.

3.4. Evaluación económica financiera de la propuesta.

En la evaluación económica-financiera se determinaron los ingresos, egresos.

Luego se realizó el flujo de caja con la finalidad determinar si la propuesta de mejora es viable.

3.4.1. Ingresos

Los ingresos corresponden a las ganancias que obtendrá la empresa luego de aumentar de 92.9 % a 96% la disponibilidad del mezclador de dosificación de la empresa en estudio.

La ecuación de la disponibilidad de equipos viene dado por:

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo de producción}}{\text{Tiempo de producción} + \text{tiempo de parada}}$$

La propuesta de la empresa es llegar a una disponibilidad de 96.0%; pero optimistamente hemos resuelto que se puede llegar al 97.85% y se sabe que en el 2018 el tiempo de producción fue de 6636 horas con una disponibilidad de 92.9 % (ver tabla 3).

Se procede a calcular teóricamente el tiempo de parada. En la tabla 17 se muestra el tiempo de parada cuando la disponibilidad del mezclador es 96%.

Tabla 17

Determinación de tiempo de parada de la propuesta de mejora

Disponibilidad	Tiempo de producción (hrs.)	$Tiempo\ de\ parada = \left(\frac{Tiempo\ de\ producción}{Disponibilidad} \right) - Tiempo\ de\ producción$
96%	6636	276

Fuente: Elaboración propia.

Se determina los ingresos comparando las ganancias de ventas perdidas de la situación actual y propuesta, donde se ha considerado una ganancia aproximada del 25% de las ventas perdidas.

En la situación actual correspondiente al año 2018 se tiene 8613602 soles de ventas perdidas, tabla 18.

En la situación propuesta se calculará que hay 4722191 soles de ventas perdidas a partir de las 276 horas de tiempo de parada, además se muestra que los ingresos de la propuesta de mejora son de 972,853 soles.

Tabla 18

Ingresos de la propuesta de mejora

Situación	Disponibilidad	Capacidad de peletizadoras (ton/hr)	Tiempo de parada Mezcladora (hrs)	Tiempo total parada de prensas por falta de mezcla (hrs)	Alimento no producido (ton)	Precio de venta (soles/ton.)	Ventas perdidas (soles)	Ganancias a 25% de ventas perdidas
Actual	92.9%	4	504	610	2440	3530	8613602	S/. 2,153,400
Propuesta	96%	4	276	334	1338	3530	4722191	S/. 1,180,548
Ingresos								S/. 972,853
							Por mes	S/ 81,071

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Egresos

Los egresos corresponderán al costo de inversión para implementar RCM en la empresa en estudio. En la tabla 19 se muestra la inversión total para implementar la metodología RCM. Detalles de los costos de inversión ver anexos 12, 13 y 14.

Tabla 19

Inversión total para la implementación de RCM

Descripción	Costo (soles)
Implementación RCM	S/. 89,005
Equipamiento de Taller y repuestos	S/. 77,815
Inversión Total	S/. 166,820

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1. Flujo de caja

Se evalúa la viabilidad de la propuesta de mejora a partir de los ingresos y egresos. Se ha considerado una tasa efectiva mensual (TEM) del 1.8% y el costo de oportunidad de capital anual de la empresa (COK) en 20%.

En la tabla 20 se muestra el flujo de caja de la propuesta y en la tabla 21 se muestra los resultados económicos del flujo de caja.

Se observa que el valor actual neto (VAN) es mayor a cero, por lo que se acepta el proyecto. Además, se tiene que la tasa interna de retorno (TIR) resulta ser mayor al costo de oportunidad de capital de la empresa (COK=20% anual), por lo tanto, la evaluación económica-financiera demuestra que la propuesta de mejora si es viable.

Tabla 20

Flujo de caja

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ganancia anual	972853												
Aumento de ganancias mensual		81071	85125	89381	93850	98542	103470	108643	114075	119779	125768	132056	138659
Ingreso total	0	81,071	85,125	89,381	93,850	98,542	103,470	108,643	114,075	119,779	125,768	132,056	138,659
Egresos													
Implementación RCM	89005												
Equipamiento taller y repuestos	77815												
Egreso total	166,820	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FLUJO ECONÓMICO	-166,820	81,071	85,125	89,381	93,850	98,542	103,470	108,643	114,075	119,779	125,768	132,056	138,659
Flujo financiero	-166,820	81,071	85,125	89,381	93,850	98,542	103,470	108,643	114,075	119,779	125,768	132,056	138,659

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21

Resultado económico

VANE	S/ 972,652
TIRE	53,1%

Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN DE AHORRO GENERADO POR REDUCIR LAS PÉRDIDAS

Tabla 22

Comparación de ventas perdidas actual y mejorada

COMPARACIÓN DE VENTAS PERDIDAS			GANANCIAS DEJADAS DE PERCIBIR	
VENTAS PERDIDAS ACTUAL	S/.	8,613,602	S/.	2,153,400
VENTAS PERDIDAS MEJORADA	S/.	4,722,191	S/.	1,180,548

Fuente: Elaboración propia.

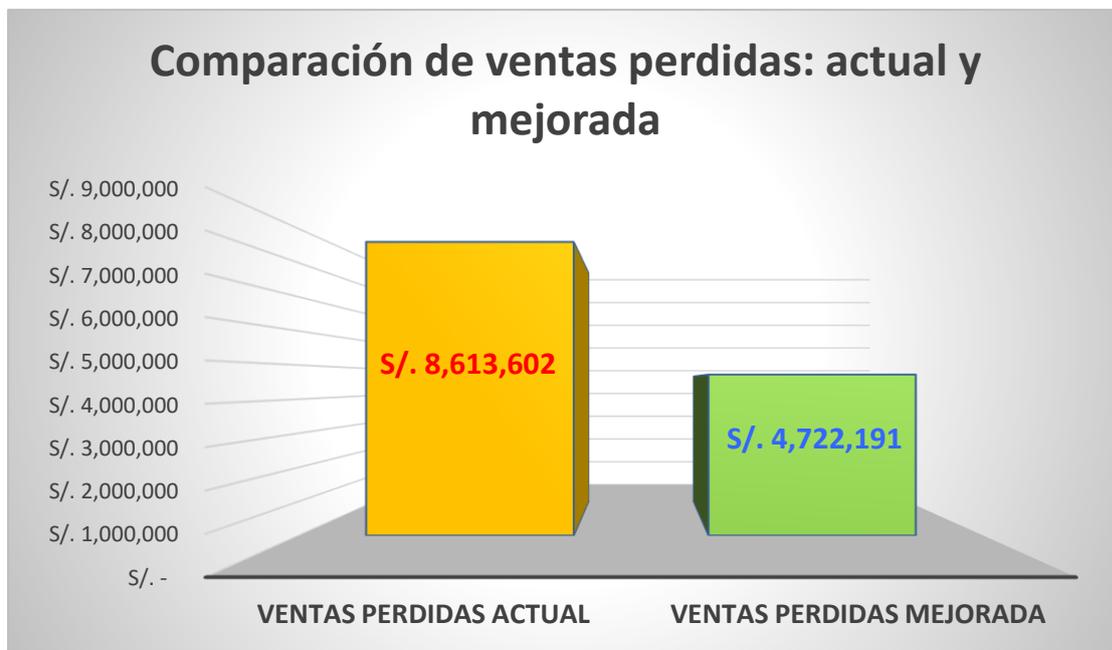


Figura 16. Comparación de ventas perdidas actual y mejorada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

Ahorro generado por reducir las ventas perdidas

AHORRO GENERADO		
GANANCIA DEJADA DE PERCIBIR ACTUAL	S/.	2,153,400
GANANCIA DEJADA DE PERCIBIR MEJORADA	S/.	1,180,548
AHORRO ANUAL	S/.	972,853

Fuente: Elaboración propia.

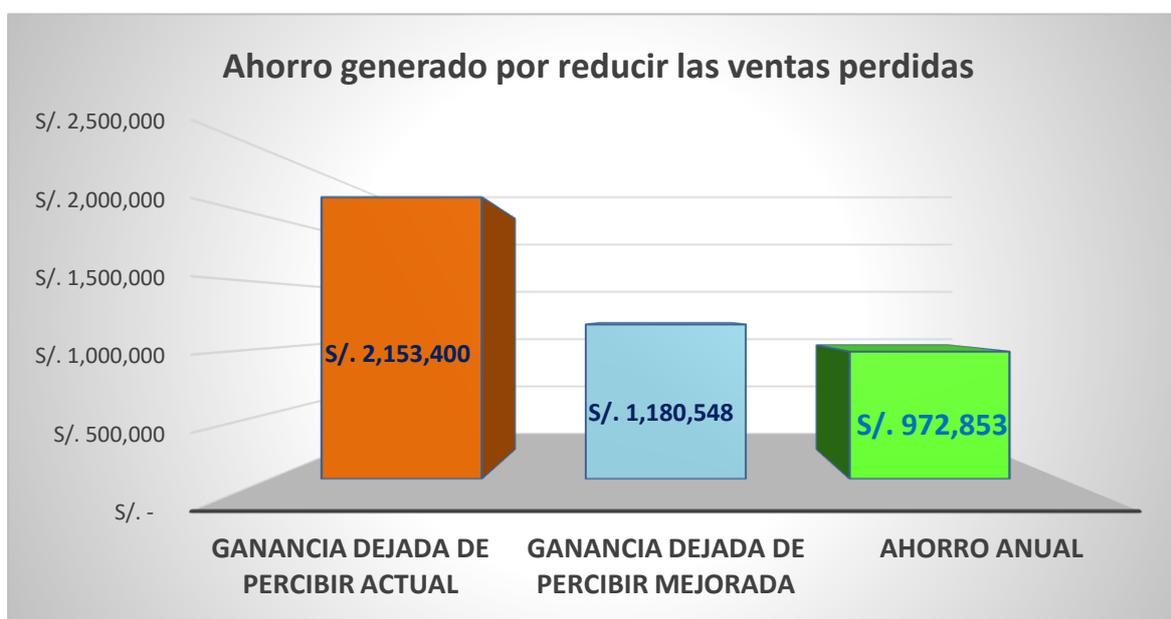


Figura 17. Ahorro generado por reducir las ventas perdidas

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusiones

- Contrastando nuestros resultados con la investigación de nuestro primer antecedente, a cargo de Cabrera y Espín (2018), en la tesis titulada: “El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda”, para desarrollar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, la cual básicamente gira en torno al análisis y riesgo de fallos para la maquinaria, se evalúa el riesgo de manera objetiva a los 73 subsistemas mediante dos tipos de análisis: el Análisis de Criticidad con el que se obtuvo 53 críticos, 12 semi críticos y 8 no críticos y el Análisis AMEF que lo calcula con el número de prioridad de riesgo obteniendo 48 subsistemas inaceptables, 4 en reducción deseable y 21 aceptables, al reagrupar estos tipos de análisis concluyen en 5 máquinas con nivel alto de criticidad; nosotros en nuestra investigación hemos evaluado la criticidad de los modos de falla en el mezclador determinándose que hay 10 modos de falla que están en estado esencial por lo que requieren mantenimiento preventivo, 21 modos de falla que están en estado necesario por lo que requieren mantenimiento preventivo/correctivo y 1 modo de falla que está en estado opcional por lo que requiere mantenimiento correctivo o ningún mantenimiento. Así mismo se evaluaron las 23 fallas críticas del mezclador, determinando a través del número de prioridad de riesgos que 16 fallas (69,6%) son indeseables, 02 fallas (8.7%) son reducibles a deseables y 5 fallas (21.7%) son aceptables.
- Respecto a la discusión con resultados de nuestro segundo antecedente, a cargo de Gago (2017) en su tesis titulada: “Optimización del plan de mantenimiento

aplicando el análisis de confiabilidad a los equipos críticos del sistema eléctrico de la oficina principal de Petroperú S.A.”, implementa un plan de mantenimiento al sistema eléctrico de un edificio de entidad del estado, aplicando la herramienta del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), donde establece únicamente identificación de equipos críticos a través del AMEF y determina mejoras en la disponibilidad y operatividad; sin embargo, en nuestra investigación, además de contemplar la criticidad mediante el AMEF, hemos determinado escenarios de variaciones de todos los indicadores de mantenimiento, antes y después; así utilizando además la metodología de los Índices de riesgo o número de prioridad de riesgos NPR. Adicionalmente, también se ha realizado el estudio de inversiones y costos financieros.

- También comparativamente con nuestro tercer antecedente, a cargo de Cáceres y Pérez (2017), aplica la metodología RCM para la mejora del mantenimiento de una prensa de rodillos HPGR, involucra metodología del precursor de mantenimiento como es la Aeronáutica; pero está un tanto desfasado desde el punto de vista de utilización de indicadores de mantenimiento, ya que sólo realiza la determinación de la “mejor estrategia” para verificar un modo de falla específico y establecer tareas definidas para su control; en nuestra investigación se han utilizado técnicas innovadoras del RCM tales como análisis de modo y efectos de falla (AMEF) y número de prioridad de riesgo (NPR), para contrastar indicadores de mantenimiento, iniciales y en situación de mejora luego del establecimiento de un Plan de Mantenimiento.
- Respecto a la investigación de Mejía (2017), en su tesis titulada: “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la Empresa Ersá Transportes y Servicios S.R.L.”, propone un

plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM para ello hizo uso de un análisis AMEF (Análisis de Modo y Efecto Falla) para encontrar todas las formas o modos en los que pueden fallar un activo dentro del proceso. También se realizó una hoja de decisión RCM para seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento con lo cual la disponibilidad de 81% mejora en un 16% , la productividad aumenta 7% y además se obtiene un ahorro de S/ 27 387,46 al año; mientras que en nuestra evaluación de la situación inicial obtuvimos la disponibilidad más crítica del mezclador en el año 2018 con 92.98%, luego con la aplicación de RCM se eliminarán las falla indeseables permitiendo reducir el tiempo de paradas, aumentando la disponibilidad en 3.1%, respecto a nuestros valores iniciales; también se genera un ahorro de S/ 972853 que resulta de reducir las ventas perdidas por alimento dejado de producir.

- Respecto a la investigación de Moreno (2017), en su tesis denominada “Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) al compresor estacionario de tornillo de una etapa en la empresa metalmecánica Fameca SAC, desarrolla un nuevo plan de mantenimiento basado en la metodología del RCM para mejorar sus índices actuales de mantenimiento para lo cual involucró un análisis de causas de los modos de fallas y sus efectos AMEF, y el desarrollo de hojas de decisiones estableciendo actividades de mantenimiento que eliminen o reduzcan los efectos de fallas basándose en las consecuencias que podrían causar, logrando aumentar la disponibilidad en un 25% (de 72% a 97%), la confiabilidad en un 3% (de 95% a 98%) y la mantenibilidad en un 9% (de 1% a 10%). Nosotros bajo la misma metodología de RCM logramos incrementar la disponibilidad de 92.9% a 96% y la confiabilidad de 44.6% a 46.5%.

- Por lo tanto, podemos inferir como resultado positivo la implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, que nos ayuda a mejorar la disponibilidad del mezclador.

4.2 Conclusiones

- En relación al objetivo general de la investigación se determina que con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) se aumenta la disponibilidad del mezclador de dosificación en el rango de 92.94% a 97.85%, así mismo se incrementa la confiabilidad en el rango de 44.62% a 46.47% respecto al último año de estudio.

Lo anterior permite aprobar la hipótesis planteada ya que la disponibilidad del mezclador aumenta en más de 3%.

- Al evaluar la situación inicial, en materia de mantenimiento del mezclador de dosificación de la empresa de alimentos balanceados acuícola, se calcularon los indicadores generales de mantenimiento obteniendo las más críticas las correspondientes al año 2018 con una disponibilidad del mezclador de 92.94%, la confiabilidad de 44.62% y la mantenibilidad en 52.76%, determinando las causas raíces de la baja disponibilidad del mezclador debido a no contar con un programa de mantenimiento ni con un plan de mantenimiento preventivo.
- Mediante la evaluación de la criticidad de los modos de falla en el mezclador se determinó que hay 10 modos de falla que están en estado esencial por lo que requieren mantenimiento preventivo, 21 modos de falla que están en estado necesario por lo que requieren mantenimiento preventivo/correctivo y 1 modo de falla que está en estado opcional por lo que requiere mantenimiento correctivo o ningún mantenimiento. Así mismo se evaluaron las 23 fallas críticas del

mezclador, determinando a través del número de prioridad de riesgos que 16 fallas (69,6%) son indeseables, 02 fallas (8.7%) son reducibles a deseables y 5 fallas (21.7%) son aceptables.

- Se desarrolló un plan de mantenimiento para eliminar las fallas indeseables, en el cual se determinaron las tareas que se deben realizar para evitar los efectos de cada modo de falla y el tipo de mantenimiento a ejecutar para cada modo de falla de la mezcladora.
- El análisis económico-financiero permitió determinar que la propuesta de mejora si es viable. Se obtuvo el VAN de 972,652 soles y el TIR de 53.1 % resulta mayor a la COK de 20% anual que maneja la empresa.
- El ahorro generado resulta de reducir las ventas perdidas por alimento dejado de producir. En la actualidad las ventas perdidas ascienden a 8´613,602 soles lo que genera 2´153,400 soles de ganancia dejada de percibir, con el aumento de disponibilidad del mezclador al 96% las ventas perdidas serían de 4´722,191 soles lo que generaría una ganancia dejada de percibir de 1´180,548 soles. Por lo tanto, obtendríamos un ahorro anual de 972,853 soles.

4.3 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la implementación del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de acuerdo a nuestras proyecciones y hacer el seguimiento a la ejecución de las actividades con la finalidad de garantizar su cumplimiento.
- La propuesta de mejora de RCM debería aplicarse a otras áreas de producción de la empresa tales como las líneas de molienda.
- Se recomienda programar capacitaciones y charlas de mantenimiento centrado en la confiabilidad a todo el personal de la empresa y así poder mejorar la

disponibilidad de los equipos a través de esta buena metodología de mantenimiento.

- Se recomienda evaluar constantemente las fallas críticas y así poder evitar las paradas inesperadas, manteniendo siempre actualizado el historial de los equipos, reduciendo así los costos de mantenimiento.

REFERENCIAS

- Baltazar, P., Palacios, J. y Mina, L. (2014). Producción, comercialización y perspectivas de desarrollo de la acuicultura peruana. *Revista Científica 11 (2) - Universidad Científica de Sur*, 118 - 133.
- Bloom, N. (2005). *“Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple!* New York: McGraw Hill Professional.
- Cabrera y Espín (2018). El RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la empresa Tenería Díaz Cía. Ltda. *Tesis de Ingeniería*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Cáceres y Pérez (2017). Aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la mejora del mantenimiento de una prensa de rodillos HPGR. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Camisón, C., Cruz, S. y Gonzáles, T. (2006). *Gestión de la Calidad: conceptos, enfoques, modelos*. Madrid: Pearson Educación S. A.
- CEN (European Committee for Standardization). (2002). *EN 13306:2001, 2001. Maintenance* . Brussels.
- Corbetta, P. (2007). *Metodología y técnicas de investigación social. Capítulo 5: La encuesta por muestreo*. Madrid: Mc Graw-Hill.
- Gago, J. (2017). Optimización del plan de mantenimiento aplicando el análisis de confiabilidad a los equipos críticos del sistema eléctrico de la oficina principal de Petroperú S.A. *Tesis de Ingeniería*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Gallara, I., & Pontelli, D. (2014). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmineto.
- García Garrido, S. (2009). Auditorias de mantenimiento. En S. García Garrido, *Auditorias de mantenimiento*. Renovatec. Recuperado el Abril de 2019, de <http://www.santiagogarciagarrido.com/index.php/106-105-cuestiones-a-plantear-en-una-auditoria-de-mantenimiento>
- Gonzáles, F. (2010). *Auditoria del Mantenimiento e Indicadores de Gestión*. México: Mc Graw Hill.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta Edición ed.). Mexico: Mac Graw Hill.
- International Standard - ISO 14224:2004. (2004). *Petroleum and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. International Organization for Standardization.
- Mejía Cueva, R. (2017). Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para mejorar la productividad de la Empresa Ersa Transportes y Servicios S.R.L. Tesis de Ingeniería. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclyo.

- Mesa, D., Ortiz, Y. y Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Revista Scientia Et Technica*, 155-160.
- Montgomery, D. (2011). *Control Estadístico de la Calidad*. Mexico: Limusa.
- Mora, L. (2000). *Mantenimiento - planeación, ejecución y control*. México: AlfaOmega.
- Moreno, E. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) al compresor estacionario de tornillo de una etapa en la empresa metalmecánica Fameca SAC. Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance*. New York: Industrial Press.
- Parra, C. y Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. México: Ingecon.
- Sandvik. (2006). Manual del Operador. *UDR 200DLS Drill Ring Operator Manual* .
- Schwarz, M. (11 de Febrero de 2013). *Perforacion Diamantina en Proyectos mineros*. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de Gestion de Operaciones y Proyectos Mineros: <http://max-schwarz.blogspot.pe/2013/02/perforacion-diamantina-de-proyectos.html>
- Suzuki, T. (1996). *TPM en industria del proceso*. Tokio: Japan Institute of Plant Maintenance.
- Torres, L. D. (2015). *Gestión integral de activos físicos y mantenimiento*. Buenos Aires: Alfaomega.
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica* (Segunda Edición ed.). Lima: San Marcos.

ANEXOS

ANEXO N° 1. Encuesta.

ENCUESTA DE MATRIZ DE PRIORIZACIÓN				
<p>ENCUESTA "SOY EL EXPERTO EN MI PUESTO DE TRABAJO" - PLANTA PELETIZADORA DE ALIMENTO BALANCEADO PARA CAMARON</p>				
<p>Área de aplicación: MANTENIMIENTO</p>				
<p>Problema : BAJA DISPONIBILIDAD MEZCLADOR DE DOSIFICACION</p>				
<p>Nombre: _____</p>				
<p>Marque con una "X" según su criterio de significancia de causa en el Problema.</p>				
Valorización	Puntaje			
Alto	5			
Medio	3			
Bajo	1			
<p>EN LAS SIGUIENTES CAUSAS CONSIDERE EL NIVEL DE PRIORIDAD QUE AFECTAN LA BAJA DISPONIBILIDAD DEL MEZCLADOR DE DOSIFICACION:</p>				
Causa	Preguntas con respecto a las principales causas	Calificación		
		Alto	Medio	Bajo
C11M	Falta de capacitación e instructivos			
C12M	Falta de orden y limpieza			
C13M	Fallas constantes			
C14M	Repuesto no se solicita a tiempo			
C15M	Solo existen planes de inspección			
C16M	Programa de mantenimiento no adecuado			

ANEXO N° 2. Priorización de causas de la baja disponibilidad del mezclador.

MATRIZ DE PRIORIZACIÓN							
EMPRESA:		Planta Peletizadora de Alimento Balanceado para Camarón					
ÁREA:		Mantenimiento					
PROBLEMA:		Baja disponibilidad de mezclador de dosificación.					
Valorización	Puntaje						
Alto	5						
Regular	3						
Bajo	1						
Estación de trabajo	CAUSAS	LOGÍSTICA					
		MANO DE OBRA	MATERIALES		METODO	MÁQUINA	
		Cl _{1M} : Falta de capacitación e instructivos.	Cl _{2M} : Falta de orden y limpieza.	Cl _{4M} : Repuesto no se solicita a tiempo.	Cl _{5M} : Solo existen planes de inspección.	Cl _{3M} : Fallas constantes.	Cl _{6M} : Programa de mantenimiento no adecuado.
DOSIFICACIÓN	Operario 1	1	1	1	5	3	5
PRENSA	Operario 2	1	1	3	3	3	5
MANTENIMIENTO	Mecánico	1	1	1	1	5	3
	Electricista	1	1	3	5	3	5
OTROS	Supervisor Producción	1	1	3	3	3	3
	Coordinador de Producción	1	1	1	3	5	5
	Jefe de Mantenimiento	1	1	1	1	5	5
	Planificador de Mantenimiento	1	1	1	3	3	5
Calificación Total		8	8	14	30	24	36

ANEXO N° 3. Desarrollo de porcentaje de frecuencia para el análisis del Diagrama de Pareto

MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN					
CI	DESCRIPCION DE LA CAUSA RAIZ	PONDERACION	%	% ACUMULADO	80-20
CI6M	Programa de mantenimiento no adecuado	36	30%	30%	80%
CI3M	Fallas constantes	30	25%	55%	
CI5M	Solo existen planes de inspección	24	20%	75%	
CI4M	Repuesto no se solicita a tiempo	14	12%	87%	20%
CI1M	Falta de capacitación e instructivos	8	7%	93%	
CI2M	Falta de orden y limpieza	8	7%	100%	
TOTAL		120			

ANEXO N°4. Escala que permite definir el nivel de ocurrencia de cada modo de falla en un determinado activo.

Nivel de ocurrencia: N. O.	Descripción (frecuencia de ocurrencia)	Probabilidad de ocurrencia de la falla
10	Muy alta: falla que es casi inevitable	Más de una ocurrencia por día, o una probabilidad de más de tres ocurrencias en diez eventos.
9		Una ocurrencia cada tres o cuatro días, o una probabilidad de tres ocurrencias en diez eventos.
8	Alta: continuamente falla	Una ocurrencia por semana o una probabilidad de cinco ocurrencias en cien eventos.
7		Una ocurrencia por mes, o una ocurrencia en cien eventos.
6	Moderada: ocasionalmente falla	Una ocurrencia cada tres meses o tres ocurrencias en mil eventos.
5		Una ocurrencia cada seis meses en un año, o una ocurrencia en diez mil eventos.
4		Una ocurrencia por año o seis ocurrencias en cien mil eventos.
3	Baja: relativamente falla poco	Una ocurrencia entre uno y tres años o seis ocurrencias en diez millones de eventos.
2		Una ocurrencia entre tres y cinco años o dos ocurrencias en un billón de eventos.
1	Remota: no es probable que falle	Una ocurrencia en mas de cinco años, o menos de dos ocurrencias en un billón de eventos.

(Autor: Mcdermott, Robin; Mikulak, Raimond y Beauregard, Michael." The Basics of FMEA".Quality Resources, New York, USA - 1996. Pág:37)

ANEXO N°5. Escala que permite definir el nivel de detección o control actual que se tiene sobre los modos de fallas y/o los efectos que estos pueden producir en un contexto operacional definido.

Nivel de detección: N. D.	Descripción (Grado de control o detección)	Defnición
10	Absolutamente incierto	EL proceso y el producto no es controlado o inspeccionado, las anomalías por fallas no son detectados.
9	Muy remoto	Se inspecciona solo el producto final a partir de un nivel aceptable de calidad.
8	Remoto	Se inspecciona solo el producto final en base a un modelo previamente probado.
7	Muy bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso(no hay ayuda de equipos modernos de control).
6	Bajo	Se inspecciona solo el producto manualmente durante todo el proceso, usando pruebas de ensayo y error.
5	Moderado	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado al final del proceso en la línea de producción (25 % automatización).
4	Moderadamente alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en dos puntos del proceso en la línea de producción (50 % automatización).
3	Alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado en más de dos puntos del proceso en la línea de producción (75 % automatización).
2	Muy alto	EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso en la línea de producción (100 % automatización).
		EL proceso se controla bajo técnicas estadísticas de control de procesos, y el producto es inspeccionado durante todo el proceso de la línea de producción (100 % automatización con calibración continua y mantenimiento preventivo de los equipos utilizados para controlar e

Geldres Marchena Ronald Raúl Pág. 78

(Autor: Mcdermott, Robin; Mikulak, Raimond y Beauregard, Michael." The Basics of FMEA".Quality Resources, New York, USA - 1996. Pág:37)

ANEXO N°6. Escala que permite definir el nivel de severidad o el impacto que podría generar la ocurrencia de un modo de falla.

Nivel de Severidad: N. S.	Descripción (Nivel de severidad de la falla)	Efectos de las fallas.
10	Peligrosamente alto	Fallas que pueden causar pérdidas humanas.
9	Extremadamente alto	Fallas que pueden crear complicaciones con regulaciones federales (leyes).
8		Fallas que hacen inoperables los equipos y provocan la pérdida de función para la que fueron diseñados.
7	Alto	Fallas que causan un alto grado de insatisfacción al cliente que recibe el servicio.
6	Moderado	Fallas que afectan un subsistema y originan un mal funcionamiento de los equipos disminuyendo la calidad del servicio
5	Bajo	Fallas que provocan la pérdida de eficiencia y causan que el cliente se queje.
4		Fallas que pueden ser mejoradas con pequeñas modificaciones y su impacto sobre la eficiencia de los equipos es pequeña.
3	Menor	Fallas que podrían crear mínimas molestias al cliente, molestias que el mismo cliente podría corregir en el proceso sin necesidad de perder eficiencia.
2		Fallas que son difíciles de reconocer por el cliente y cuyos efectos serán insignificantes para el proceso.
1	Ninguno	Fallas que no son identificables por el cliente y no afectan la eficiencia del proceso.

(Autor: McDermott, Robin; Mikulak, Raimond y Beauregard, Michael." The Basics of FMEA" .Quality Resources, New York, USA - 1996. Pág:35)

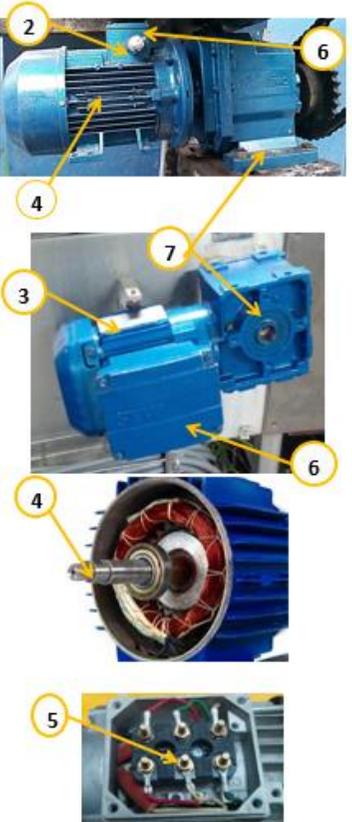
ANEXO N° 7. Índices de riesgo o número de prioridad de riesgos NPR

Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo, pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

ANEXO N° 10. Plan de Inspección de Mantenimiento Eléctrico

		PLAN DE INSPECCION DE MANTENIMIENTO					ELÉCTRICO		
		MEZCLADORA DE PELETIZADO			CÓDIGO:				
PARTES DEL SISTEMA		ESTANDAR	MÉTODO	DESCRIPCIÓN DE INSPECCIÓN	ACCIÓN EN CASO ANORMAL	MIN	FRECUENCIA		
	Actividad Inicial	Desconectar el sistema eléctrico y mando de control del equipo							
	1	Sistema de Alimentación de Energía Eléctrica	Tensión (voltaje) nominal $\cong 380 V$	  	Verificar voltaje aguas arriba de interruptor.	Programar revisión del sistema de alimentación trifásico y sus accesorios. Programar anclaje si no lo tuviera.	3	MENSUAL	M
		Tensión (voltaje) nominal $\cong 380 V$	  	Verificar voltaje aguas abajo del interruptor	Programar revisión del sistema de alimentación trifásico y sus accesorios. Programar anclaje si no lo tuviera.	3	MENSUAL	M	
	2	Motor Sist. Alimentación Eléctrica	Corriente (Aperaje) nominal según Placa del motor o menor, CON CARGA	  	Verificar amperaje del motor	Programar revisión de rodamientos, retenes, sistema de transmisión (componentes), lubricación de componentes mecánicos.	5	MENSUAL	M
	3	Motor	Temperatura nominal de trabajo $\leq 35^{\circ} C$	  	Verificar temperatura del motor (Sobrecalentamiento)	Programar revisión de rodamientos, retenes, sistema de transmisión (componentes), lubricación de componentes mecánicos. Verificar frecuencia (Hz) de trabajo, estado y giro de ventilador.	3	MENSUAL	M
	4	Motor Rotor	Giro del rotor en silencio, libre y uniforme.	  	Verificar existencia de ruidos extraños	Programar revisión de componentes mecánicos de motor (rodamientos, chumaceras). Programar revisión de componentes y lubricación del deductor.	3	MENSUAL	M
	5	Motor Bornes	Conexiones/Bornes ajustados sin juego ni falsos contactos	 	Verificar ajuste de conexiones de motor (Bornes)	Ajustar y asegurar bornes.	5	MENSUAL	M
	6	Caja de Bornes	Caja de bornes totalmente hermética y aislada, sin agujeros, rajaduras ni filtraciones de líquidos.	 	Verifique correcto hermetizado de caja de bornes.	Programar hermetizado de caja de bornes.	3	MENSUAL	M
	7	Reductor	Estructura limpia y libre de aceite. Nivel de aceite según estandar de reductor (visor del reductor).	 	Verificar existencia de fugas y el nivel de aceite en el reductor	Programar lipieza y rellenado de aceite (si es necesario)	3	MENSUAL	M
8	Estructura	Sin rajaduras ni roturas. Pernos y tuercas completas. Pintura uniforme, sin descascararse	 	Verificar estado de la estructura: pernos, tuercas, pintura.	Programar corrección de desperfectos. Programar pintado.	4	MENSUAL	M	

ANEXO N° 11. Procedimiento de lubricación mecánica

PROCEDIMIENTOS DE LUBRICACIÓN MECÁNICA							DOC.N°
							Página: 1 de 1
							REV. 001
ÁREA:	DOSIFICACIÓN					FECHA:	
UBICACIÓN TÉCNICA:				CÓDIGO DOC:	O.M.:		
EQUIPO:	MEZCLADORA					Hora Inicio:	
FRECUENCIA:	TURNO					Hora Fin:	
Trabajo en Caliente <input type="checkbox"/> Trabajo en <input type="checkbox"/> Trabajo en altura <input type="checkbox"/> Trabajos eléctricos <input type="checkbox"/> Trabajo en lugares confinados <input type="checkbox"/> No necesita permiso <input checked="" type="checkbox"/>							
EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL		* Casco de seguridad		* Guardapolvo			
		* Zapatos industrial punta de acero		* Toca descartable			
		* Guantes de cuero.		* Lentes de Seguridad			
El presente documento describe las actividades de lubricación que se deben realizar por turno para evit:x] alargar la vida útil del sistema de transmisión							
SISTEMA (PUNTO)	SUBSISTEMA / PARTE	PUNTO DE LUBRICACIÓN	LUBRICANTE	CANT.	U.M.	MÉTODO DE APLICACIÓN	TIEMPO (Min)
	Sistema de Accionamiento de tambor Base A	1 Chumacera de pie 2 Puntos	Aceite Sintético Recicable	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de Accionamiento de tambor Base B	2 Chumacera de pie 2 Puntos	Aceite Sintético Recicable	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de Accionamiento	3 Articulación de accionamiento 5 Puntos	Aceite Sintético Recicable	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de Accionamiento de descarga Base A	4 Chumacera de pared 2 Puntos	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de Accionamiento de descarga Base B	5 Chumacera de pared 2 Puntos	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de descarga Cabezal 1	5 Chumacera de pared 2 Puntos	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de descarga Cabezal 2	6 Chumacera de pared 2 Puntos	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de transmisión	7 Piñón motriz 1 Punto	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de transmisión	8 Piñón conducido 1 Piñone 1 Punto	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Sistema de transmisión	9 Piñón templador 1 Piñon 1 Puntos	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
	Estructura base/soporte	9 Rueda soporte 2 rodamientos 2 Puntos	Aceite Sintético Grado 460	2-3	Bom/Pto	Aceitera Manual	4
OBSERVACIONES:							
NOTA: Bom =Bombeada , Bom/(Elemento,Punto de lubricación)							
Elaborado Por:			Revisado por:		Aprobado por:		

ANEXO N° 12. Costo anual de la ejecución del plan de mantenimiento RCM

Implementación RCM	Sueldo (soles)	Tiempo de implementación		Subtotal (soles)
		hora	meses	
Facilitador	3000		12	36000
Planificador de mantenimiento	4000	160		2667
Costo por capacitación del personal				24538
Costo de curso de Capacitación				25800
Total				S/. 89,005

ANEXO N° 13. Costo por capacitación del personal

Costo por capacitación del personal					
Integrantes	Sueldo (S./ / mes)	Costo HH. (S./ / hora)	N° de integrantes	Horas de capacitación	Costo (Soles)
Supervisores Producción	6000	25	3	54	4050
Coordinador de Producción	6000	25	1	54	1350
Jefe de mantenimiento	7000	29	1	54	1575
Planificador de mantenimiento	4000	17	1	54	900
Coordinador mantenimiento mecanico	3000	13	1	54	675
Coordinador mantenimiento eléctrico	3000	13	1	54	675
Practicante de mantenimiento	1800	8	1	54	405
Técnicos electricistas	2400	10	6	54	3240
Técnicos mecánicos	2400	10	5	54	2700
Operarios	2400	10	18	54	9720
				Total	25290

ANEXO N° 14. Costo de equipos, herramientas para taller y repuestos

Equipamiento de Taller y repuestos	Precio (soles)
Compra de 3 estantes para el taller	1800
Multímetro digital capacidad de frecuencia M890g	900
Pistola termómetro infrarrojo medidor de temperatura laser	795
Pinza Amperimétrica fluke 902	1100
3 cajas de herramientas llaves básicas para los técnicos mecánicos	750
3 cajas de herramientas llaves básicas para los técnicos electricistas	750
Una mesa de metal para la reparación de equipos	650
Un torquímetro profesional 80- 250 FT/LB -Stanley	280
Una computadora de escritorio	3200
impresora multifuncional	850
Utiles varios de oficina (tóner de impresora, lápíceros, borradores, plumones,etc.)	500
Papel bond para los formatos	200
Archivadores para registros de mantenimiento	140
Un escritorio todo equipado	900
Costo de repuestos	65000
Total	S/. 77,815