



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

“Propuesta de implementación de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, para mejorar la disponibilidad de equipos y maquinaria críticos, en línea de molienda de la Empresa Minera Antamina – Ancash”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Laguna Oblitas Román Alex (ORCID: 0000-0002-5714-9733)

ASESOR:

MSc. Sifuentes Inostroza Martín (ORCID: 0000-0001-8621-236X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistema y planes de mantenimiento

**TRUJILLO – PERÚ
2020**

DEDICATORIA

A DIOS

Por la vida y las experiencias
que ha puesto en mi camino,
pues su guía y su sabiduría,
me ayudaron a formar mi
personalidad.

A MI AMADA HIJA ALESSA

Por ser el punto de apoyo, en esta
jornada de superación y motivación
de mi vida; pues el sólo recordarla,
me significó tomar ganas para ser su
ejemplo y orgullo.

A MIS PADRES Y HERMANOS:

Por todo lo que hicieron y hacen por mí,
siempre firmes conmigo y siendo mi
principal soporte en los momentos de
mayores retos.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por ser siempre guía en mi vida y fortaleza en mis experiencias tanto laborales, como académicas y permitirme hoy arribar a una posición tan anhelada por mí y mi familia, como es lograr ser profesional en Ingeniería Mecánica. Eléctrica.

Agradezco también a la Universidad César Vallejo, porque gracias a ella, sus docentes y mis compañeros, viví años muy importantes para mí, donde pude aprender diversas enseñanzas para mi vida personal y profesional. Asimismo, mi agradecimiento especial a mis asesores el Dr. Jorge Antonio Inciso Vásquez y el MSc. Martín Sifuentes Inostroza, por su orientación y apoyo en la concretización de la presente tesis.

Mi agradecimiento a la empresa Minera Antamina, por ser la institución que me alberga y me ha permitido acceder a la obtención de datos e información valiosos para la presente tesis; en sus profesionales he encontrado gran apoyo para realizar y desarrollar mi investigación y siempre el aliento de apoyo para conseguir el objetivo trazado.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. MÉTODO.....	28
2.1 Tipo y diseño de investigación.....	28
2.2 Operacionalización de variables.....	29
2.3 Población, muestra y muestreo:.....	31
2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	31
2.5 Procedimiento.....	32
2.6 Método de análisis de datos.....	34
2.7 Aspectos Éticos.....	34
III. RESULTADOS.....	35
3.1 Evaluación de las condiciones actuales de mantenimiento de equipos y maquinarias del sector de molienda y principales indicadores, utilizando técnicas de mantenimiento.....	35
3.2 Estimación de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad después del proceso de mejora y sustentar los costos-beneficio y recuperación de la inversión.....	83
IV. DISCUSIÓN.....	88
V. CONCLUSIONES.....	90
VI. RECOMENDACIONES.....	92
VII. REFERENCIAS.....	93
VIII. ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO	12
FIGURA 2: CURVA DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO.	16
FIGURA 3: CURVA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	16
FIGURA 4: CURVA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PREDICTIVO	17
FIGURA 5: METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	18
FIGURA 6: METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM	19
FIGURA 7: ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLO. FALLO IMPORTANTE.....	19
FIGURA 8: ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLOS	20
FIGURA 9: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LAS RECOMENDACIONES DE LOS FABRICANTES.	21
FIGURA 10: FLUJO DE ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS DE FALLOS	21
FIGURA 11: HOJA DE INFORMACIÓN	22
FIGURA 12: HOJA DE DECISIÓN	22
FIGURA 13: RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR), TIEMPO MEDIO HASTA LA AVERÍA (MTTF) Y TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTBF).....	23
FIGURA 14: DISPONIBILIDAD = TIEMPO DISPONIBLE /TIEMPO CALENDARIO.....	23
FIGURA 15: DEFINICIÓN DE MTBF & MTTR.....	23
FIGURA 16: REGISTRO DE VIBRACIONES EN UN CICLO DE TRABAJO DE LA PALA.....	24
FIGURA 17: ESPECTROS TÍPICOS DE VIBRACIONES EN RODAMIENTOS	25
FIGURA 18: ESPECTRO DE UNA TERMOGRAFÍA	26
FIGURA 19: DIAGRAMA DE FLUJO DEL ESTUDIO.	33
FIGURA 20: ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE COMPONENTES DE SISTEMA DE MOLIENDA – ANTAMINA	44
FIGURA 21: PUNTOS DE ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN MOTOR.	47
FIGURA 22: MONTAJE DE RODAMIENTOS Y ROTOR EN BOMBA DE AGUA AL MOLINO PRINCIPAL.....	48
FIGURA 23: EQUIPO PARA ANÁLISIS DE ACEITES EN TALLER OILVIEW QUICK CHECK.....	50
FIGURA 24: ANALIZADOR DE VIBRACIONES	51
FIGURA 25: CÁMARA TERMOGRÁFICA.....	53
FIGURA 26: ANALIZADOR DE ACEITE SKF TMEH 1	54
FIGURA 27: ALINEADOR DE EJES TKSA 41	55
FIGURA 28: BALANCEADOR DINÁMICO DE ROTORES, COMPUTARIZADO.....	56
FIGURA 29: ESQUEMAS DE PROCESOS	58
FIGURA 30: INGRESO DE AGUA A CHUTE DE ALIMENTACIÓN DEL MOLINO SAG.....	60
FIGURA 31: INGRESO DE LECHADA DE CAL AL CHUTE DE ALIMENTACIÓN DEL MOLINO SAG.	60
FIGURA 32: MOVIMIENTO DEL MINERAL AL INTERIOR DEL MOLINO SAG.	61
FIGURA 33: IMAGEN DEL TROMMEL DEL MOLINO SAG.....	61
FIGURA 34: PARTES INTERNAS DEL MOLINO SAG	62

FIGURA 35: DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO DE MOLIENDA	63
FIGURA 36: DIAGRAMA DE PROCESO PROCESAMIENTO DE MOLIENDA DE MINERALES	64
FIGURA 37: DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS DEL SISTEMA DE MOLINOS	64
FIGURA 38: ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES DEL MCC [9]	65
FIGURA 39: VISTA DE MOLINO DE MINERALES	67
FIGURA 40: ESQUEMA DE MOLINO ALIMENTADO CON FAJA.....	68
FIGURA 41: SISTEMA DE BOMBEO E INYECCIÓN DE AGUA AL MOLINO.....	68
FIGURA 42: EVACUACIÓN DE MINERAL DEL MOLINO SAG	69
FIGURA 43: VISTA LATERAL DEL MOLINO SAG	69
FIGURA 44: VISTA SUPERIOR DE ALIMENTACIÓN CON LECHADA DE CAL AL MOLINO SAG	71
FIGURA 45: ESQUEMA DE MANDO HIDRÁULICO DEL MOLINO SAG	71
FIGURA 46: DIAGRAMA LÓGICO DE FALLAS DEL SISTEMA DE MOLINOS.....	74
FIGURA 47: ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN DEL RCM.....	78
FIGURA 48: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LAS RECOMENDACIONES DE LOS FABRICANTES	80
FIGURA 49: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN EL ANÁLISIS DE FALLOS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: RANGOS DE SEVERIDAD DE VIBRACIÓN	25
TABLA 2: <i>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</i>	29
TABLA 3: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE ESTUDIO.....	31
TABLA 4: DATOS Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL MTTR. MOLINO SAG, AÑO 2017	35
TABLA 5: <i>DATOS Y RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL MTTF MOLINO SAG, AÑO 2017</i>	36
TABLA 6: CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD ANUAL DEL MOLINO SAG:.....	37
TABLA 7: TÉCNICAS PREDICTIVAS A APLICAR EN SISTEMA MECÁNICO EXTERNO E INTERNO DEL MOLINO <i>FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA</i>	45
TABLA 8: TÉCNICAS PREDICTIVAS QUE APLICAR EN SISTEMA DE BOMBEO DE PULPA BAJO MOLINOS	46
TABLA 9: DATOS TÉCNICOS LUBRICACIÓN	55
TABLA 11: DATOS TÉCNICOS - BALANCEO DINÁMICO	56
TABLA 12: LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	57
TABLA 13: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS – MOLINO SAG	59
TABLA 14: FUNCIONES DE SUBSISTEMAS Y EQUIPOS SIGNIFICATIVOS INTEGRADOS EN CADA SUBSISTEMA. 66	
TABLA 15: FALLAS FUNCIONALES Y TÉCNICAS.	73
TABLA 16: ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLO. FALLO CRÍTICO	75
TABLA 18: ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE FALLO.....	76
TABLA 19: TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA SISTEMA DE MOLIENDA	77
TABLA 20: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD	84
TABLA 21: <i>CUADRO RESUMEN COMPARATIVO</i>	87

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es proponer estrategias de implementación de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, para mejorar la disponibilidad de equipos y maquinaria críticos en línea de molienda de la empresa minera Antamina Ancash, bajo los requerimientos en su contexto operacional. Para lograr este objetivo se realizó una evaluación de la situación actual del sistema de molienda de minerales, determinando sus parámetros de mantenimiento: disponibilidad anual, confiabilidad en el tiempo y los tiempos medios de operación hasta la falla y el de reparación.

Mediante la técnica del análisis de criticidad, se determinó el subsistema del proceso de molienda más crítico: el molino SAG. Se determinaron las técnicas predictivas a implementar, en base a un historial. Asimismo, se aplicó la filosofía de mantenimiento centrado en confiabilidad, elaborando un plan para el subsistema más crítico y llegando a la conclusión que es necesario utilizar técnicas predictivas para medir parámetros que identifican fallas y permitir tomar las medidas para su eliminación.

Se prepararon el diagrama de confiabilidad, el diagrama de árbol de fallas, formatos de registro de datos y de resultados de las técnicas predictivas a ser aplicadas, como también se determinó la frecuencia de aplicación de técnicas predictivas.

Se hizo el análisis económico, determinando el monto de inversión en dispositivos predictivos, así como el beneficio económico a ser obtenido, en función del tiempo de falla reducido y, se determinó el tiempo de retorno de la inversión.

Finalmente se realizó un análisis de los resultados obtenidos para mejorar las condiciones actuales del subsistema. El análisis de MCC al subsistema más crítico permitió obtener un 80 % como mínimo de actividades preventivas y un 20 % como máximo de actividades correctivas, en una primera etapa y luego mejorarlas.

El beneficio resultante, es eliminar las actividades preventivas innecesarias que se vienen realizando en el frente de la empresa minera Antamina de Ancash.

Palabras clave: Mantenimiento, criticidad, confiabilidad, disponibilidad, inversión.

ABSTRACT

The main objective of this work is to propose preventive maintenance implementation strategies based on reliability, to improve the availability of critical equipment and machinery in the milling line of the mining company Antamina Ancash, under the requirements in its operational context. To achieve this objective, an assessment was made of the current situation of the mineral grinding system, determining its maintenance parameters: annual availability, reliability in time and average operating times until failure and repair.

Through the technique of criticality analysis, the sub-system of the most critical grinding process was determined: the SAG mill. The predictive techniques to be implemented were determined, based on a history. Likewise, the philosophy of maintenance focused on reliability was applied, developing a plan for the most critical sub-system and concluding that it is necessary to use predictive techniques to measure parameters that identify failures and allow measures to be taken to eliminate them.

The reliability diagram, the fault tree diagram, data recording formats and the results of the predictive techniques to be applied were prepared, as well as the frequency of application of predictive techniques.

The economic analysis was made, determining the amount of investment in predictive devices, as well as the economic benefit to be obtained, based on the reduced failure time and, the investment return time was determined.

Finally, an analysis was made of the results obtained to improve the current conditions of the sub-system. The MCC analysis of the most critical sub-system allowed obtaining a minimum of 80% of preventive activities and a maximum of 20% of corrective activities, in a first stage and then improving them.

The resulting benefit is to eliminate the unnecessary preventive activities that have been carried out at the front of the mining company Antamina de Ancash.

Keywords: Maintenance, criticality, reliability, availability, investment

Yo, **Mg. Teófilo Martin Sifuentes Inostroza**, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad César Vallejo - Sede Trujillo, revisor (a) de la tesis titulada.

“Propuesta de implementación de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, para mejorar la disponibilidad de equipos y maquinaria críticos, en línea de molienda de la Empresa Minera Antamina – Ancash”, del (de la) estudiante **Román Alex Laguna Oblitas**, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 25% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 04 diciembre del 2020



.....
Mg. Teófilo Martin Sifuentes Inostroza

DNI: 17828568

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------