

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la mejora de disponibilidad en flota de grupos electrógenos del área de mantenimiento eléctrico mina en la Unidad Minera Las Bambas**

Jorge Enrique Airaldi Uscovilca

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## RESUMEN

En el año 2017 la unidad minera Las Bambas contaba con una población de 86 grupos electrógenos en operación, equipos que son de vital importancia ya que abastecen energía eléctrica para poner en funcionamiento el resto de los equipos en la unidad minera, por lo que se les considera activos críticos detrás de las líneas de producción minera. Debido a la alta incidencia de fallas y controles que derivaban en problemas de disponibilidad, se determinó la implementación de un plan de mantenimiento preventivo que ayude a mejorar significativamente dicha situación.

El objetivo principal de la presente investigación es determinar los efectos de la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la mejora de la disponibilidad de toda la flota de grupos electrógenos del área de mantenimiento eléctrico de mina en la unidad minera Las Bambas. Para ello fue necesario levantar información de los equipos existentes, diseñar un plan de mantenimiento de acuerdo a los alcances y frecuencias establecidos por los fabricantes de los grupos electrógenos, haciendo uso de los registros de mantenimiento denominados *Work Instructions*, diseñando y generando indicadores de disponibilidad y de cumplimiento al plan.

En consecuencia, luego de diecisiete meses de haber sido implementado el plan de mantenimiento preventivo y habiendo sido cumplido al 100%, la disponibilidad real de la flota de grupos electrógenos de mantenimiento eléctrico de mina se incrementó hasta alcanzar índices mensuales de 95%.

**Palabras clave:** cumplimiento, disponibilidad, grupos electrógenos, mantenimiento, mantenimiento preventivo, minería

## ABSTRACT

In 2017, the Bambas mining unit had a population of 86 operating generators, equipment that is of vital importance since they supply electrical energy to put into operation the rest of the equipment in the mining unit, for which they are considered critical assets behind mining production lines. Due to the high incidence of failures and controls that led to availability problems, the implementation of a preventive maintenance plan was determined to help significantly improve said situation.

The main objective of this research is to determine the effects of the implementation of a preventive maintenance plan to improve the availability of the entire fleet of generator sets in the mine electrical maintenance area at the Las Bambas mining unit. For this, it was necessary to collect information from the existing equipment, design a maintenance plan according to the scope and frequencies established by the generator set manufacturers, making use of the maintenance records called Work Instructions, designing, and generating availability indicators and compliance with the plan.

Consequently, after seventeen months of having implemented the preventive maintenance plan and having been 100% fulfilled, the actual availability of the mine's electrical maintenance generator fleet increased to reach monthly rates of 95%.

**Keywords:** availability, compliance, generator sets, maintenance, mining, preventive maintenance

# ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Resumen .....	iv
Abstract.....	v
Índice.....	vi
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>2</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	2
1.1.1 Problema general .....	2
1.1.2 Problemas específicos .....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo principal .....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificación .....	3
1.4 Hipótesis y descripción de variables .....	3
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 Antecedentes del problema .....	5
2.2 Bases teóricas .....	6
2.2.1 Mantenimiento.....	6
2.2.2 Objetivos del mantenimiento .....	7
2.2.3 Falla y tipos de falla.....	7
2.2.4 Estrategias de mantenimiento .....	7
2.2.5 Mantenimiento correctivo.....	8
2.2.6 Mantenimiento preventivo.....	9
2.2.7 El impacto del mantenimiento en los márgenes financieros de la empresa .....	11
2.2.8 Modelo del ciclo de mantenimiento.....	12
2.2.9 Indicadores de mantenimiento.....	15

2.2.10 Metodología para determinar la criticidad de los activos de una instalación .....	16
2.2.11 Auditoría de mantenimiento .....	18
2.2.12 Proceso productivo en la mina Las Bambas .....	20
2.2.13 Descripción de los equipos principales sobre la base de la matriz de criticidad .....	25
2.2.14 Criticidad de los grupos electrógenos .....	29
2.3 Definición de términos básicos .....	29
2.3.1 Plan de mantenimiento .....	29
2.3.2 Disponibilidad .....	30
2.3.3 Cumplimiento de la planificación .....	30
2.3.4 Grupo eléctrico .....	31
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>37</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>37</b>
3.1 Método y alcance de la investigación.....	37
3.2 Diseño de la investigación .....	37
3.3 Población y muestra .....	38
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38
3.4.1 Información inicial.....	38
3.4.2 Determinación de los equipos críticos .....	39
3.4.3 Formatos para el registro de las rutinas de mantenimiento .....	43
3.4.4 Entregables de las actividades de mantenimiento .....	44
3.4.5 Frecuencias de ejecución de las actividades de mantenimiento .....	45
3.4.6 Elaboración del plan de mantenimiento .....	52
3.4.7 Auditoría inicial .....	62
3.4.8 Análisis de causas de incumplimiento al plan de mantenimiento .....	62
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>67</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>67</b>
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	67
4.1.1 Evolución de índice de disponibilidad tras implementación del plan ..	67
4.1.2 Evolución de índice de cumplimiento tras implementación del plan ...	73
4.1.3 Impacto económico de la ejecución y cumplimiento del plan de mantenimiento.....	74

4.1.4 Posibilidad de contratación de potencia externa.....	74
4.2 Discusión de resultados.....	75
4.2.1 Auditoría final .....	75
Conclusiones .....	78
Recomendaciones .....	80
Lista de referencias.....	81
Anexos.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de criticidad y cuantificación.....	17
Tabla 2. Contenido de la auditoría de mantenimiento .....	19
Tabla 3. Estado de la flota de equipos a enero 2017.....	24
Tabla 4. Flota de grupos electrógenos .....	25
Tabla 5. Disponibilidad de grupos electrógenos a enero 2017 .....	26
Tabla 6. Indicadores de disponibilidad y frecuencia de grupos electrógenos ...	27
Tabla 7. Flota de grupos electrógenos según criticidad a enero del 2017 .....	28
Tabla 8. Flota de grupos electrógenos críticos a enero del 2017 .....	29
Tabla 9. Ciclo de mantenimiento para grupos electrógenos “operativos” .....	46
Tabla 10. Ciclo de mantenimiento para grupos electrógenos stand-by .....	47
Tabla 11. Datos de disponibilidad de equipos (enero 2017 - julio 2018).....	68
Tabla 12. Prueba de normalidad para la diferencia entre disponibilidades entre enero 2017 y julio 2018 .....	71
Tabla 13. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon y sus estadísticos no paramétricos .....	72
Tabla 14. Evaluación de auditoría antes y después de la implementación del PM.....	76



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategias de mantenimiento .....	8
Figura 2. El impacto del mantenimiento en la operatividad, confiabilidad y disponibilidad .....	11
Figura 3. El costo del mantenimiento .....	12
Figura 4. Impacto en la utilidad de la empresa .....	12
Figura 5. El ciclo de mantenimiento de Coetzee .....	13
Figura 6. Subciclo administrativo de mantenimiento de Coetzee .....	14
Figura 7. Subciclo operativo de mantenimiento de Coetzee .....	15
Figura 8. Matriz de criticidad. ....	17
Figura 9. Ubicación geográfica de Las Bambas .....	20
Figura 10. Esquema de operación de Las Bambas .....	22
Figura 11. Disposición de las instalaciones de la mina.....	23
Figura 12. Disposición de las instalaciones de la mina.....	24
Figura 13. Diagrama general del grupo electrógeno Caterpillar modelo C18. ..	33
Figura 14. Aplicación de emergencia o stand-by.....	34
Figura 15. Aplicación primaria por tiempo ilimitado de funcionamiento. ....	35
Figura 16. Aplicación primaria por tiempo limitado de funcionamiento. ....	35
Figura 17. Aplicación continua (base). ....	36
Figura 18. Tabulación de estado de operación de grupos electrógenos.....	40
Figura 19. Cálculo de porcentajes de disponibilidad operativa por proceso/área .....	41
Figura 20. Determinación de indicadores de frecuencia de falla por proceso/área .....	41
Figura 21. Tabla consolidada de indicadores de frecuencia de falla por proceso/área. ....	42
Figura 22. Calificaciones para el cálculo de la variable consecuencia por proceso/área .....	42
Figura 23. Cálculo de variable consecuencia por proceso/área .....	42
Figura 24. Criticidad de equipos por proceso/área .....	43
Figura 25. Actividades generales de mantenimiento de grupos electrógenos. .	44
Figura 26. Causas de paro enero 2017 – julio 2018.....	50
Figura 27. Diagrama de Pareto fallas enero 2017 – julio 2018.....	51

Figura 28. Hoja de datos de grupos electrógenos al 1 de enero del 2017 (Extracto).....	54
Figura 29. Calendario anual de mantenimiento 2017 (Extracto) .....	57
Figura 30. Calendario anual de mantenimiento 2018 (Extracto). .....	59
Figura 31. Estado operativo de grupos electrógenos (enero 2017-diciembre 2017).....	61
Figura 32. Programación semanal de mantenimiento (cuarta semana del 2017). .....	62
Figura 33. Diagrama causa-raíz de problemas del campamento minero (enero 2017).....	64
Figura 34. Registro de auditoría de mantenimiento (enero 2017).....	65
Figura 35. Registro de auditoría de mantenimiento (continuación).....	66
Figura 36. Disponibilidad de grupos electrógenos (enero 2017 - julio 2018) ....	70
Figura 37. Evolución de cantidad de fallas de grupos electrógenos (enero 2017-julio 2018).....	73
Figura 38. Ratio de cumplimiento y desviación del plan (enero 2017 - julio 2018) .....	73
Figura 39. Radar de mantenimiento antes y después de la implementación del Plan.....	77