



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

TESIS

**“APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA
DISPONIBILIDAD MECANICA DE LA FLOTA JUMBO
DD421 – NEXA EL PORVENIR - 2019”**

Presentado por:

Bach. Jerson Yonatan GRIJALVA ATENCIO

Para obtener el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

PASCO – PERÚ
2019

DEDICATORIA

A Dios incomparable por darme la sabiduría y conocimiento para poder obtener el objetivo trazado.

A mi esposa, por apoyo incondicional, dedicación constante del día a día

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme y darme el conocimiento para poder concluir el objetivo trazado; enseñarme y guiarme en todo el camino.

A mi esposa por darme el soporte constante para superar las dificultades y demostrarme su integro apoyo.

A mis padres por expresarme la fe que tienen en mi persona y, a quienes me han enseñado no rendirme ante nada y perseverar bajo sus consejos sabios.

A mi Hija Natsumi y mi hijo Josué, por sus lindas sonrisas, motivo para poder concluir con este trabajo.

RESUMEN

La investigación que se presenta titulada, “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019”, fue planteada por la necesidad de mejorar la disponibilidad mecánica de la flota de equipos jumbo DD421, cuya información fue tomada de los KPIs Checl List operador, historial de inspección, reportes diarios y registros de performance, datos que mostraban que dicha disponibilidad alcanzaba en promedio mensual el 81.29% , valor que estaba por debajo del mínimo requerido por la compañía; por lo que la pregunta de investigación fue ¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019?.

Es en este contexto que se plantea la implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, lográndose incrementar la disponibilidad mecánica de la flota de equipos jumbo DD421, en un 9.08% en promedio, es decir que se incrementó en promedio mensual hasta 90.37%; porcentaje que se obtuvo como consecuencia del incremento del tiempo operativo en 65h54´/mes y reduciéndose el tiempo de parada en 69h35´/mes; parámetros que estuvieron por encima del mínimo requerido por la compañía.

Teniendo en cuenta, los logros alcanzados, se recomienda aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad a los demás equipos; así como realizar un estudio para determinar el impacto económico para la empresa.

Palabras claves: Mantenimiento, disponibilidad, fallas, seguridad.

SUMMARY

The research presented entitled, “Application of maintenance focused on reliability to increase the mechanical availability of the Jumbo DD421 fleet - Nexa El Porvenir - 2019”, was raised by the need to improve the mechanical availability of the jumbo DD421 equipment fleet, whose information was taken from the KPIs Checl List operator, inspection history, daily reports and performance records, data showing that such availability reached a monthly average of 81.29%, a value that was below the minimum required by the company; so the research question was ¿ Does the application of reliability-centered maintenance increase the operating time of the Jumbo DD421 fleet - Nexa El Porvenir – 2019?.

It is in this context that the implementation of a maintenance plan based on reliability is proposed, being able to increase the mechanical availability of the jumbo DD421 equipment fleet, by 9.08% on average, that is, it increased by a monthly average up to 90.37% ; percentage obtained as a result of the increase in operating time by 65h54´ / month and the downtime being reduced by 69h35´ / month; parameters that were above the minimum required by the company.

Taking into account the achievements, it is recommended to apply maintenance focused on reliability to other equipment; as well as conduct a study to determine the economic impact for the company.

Keywords: Maintenance. Availability. Failures. Security.

CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
SUMMARY.....	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURA.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICO	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. Espacial.....	2
1.2.2. Temporal.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DE LOS PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	2
1.3.1. Problema General	2
1.3.2. Problemas Específicos	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos	3
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4

1.5.1. Hipótesis General.....	4
1.5.2. Hipótesis Específicas	4
1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.6.1. Variable independiente	4
1.6.2. Variable dependiente	4
1.6.3. Operacionalización de las Variables.....	5
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.7.1. Tipo de Investigación	7
1.7.2. Nivel de Investigación	7
1.7.3. Método de Investigación.....	7
1.7.4. Diseño de investigación.....	7
1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.8.1. Población	8
1.8.2. Muestra	10
1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	10
1.9.1. Técnicas de recolección de datos.....	10
1.9.1. Instrumentos de recolección de datos	10
1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.10.1. Justificación	11
1.10.2. Importancia	12

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
2.1.1. Antecedentes Internacionales	13
2.1.2. Antecedentes Nacionales	15

2.2. BASES TEÓRICAS	16
2.2.1. Mantenimiento	16
2.2.2. Gestión del mantenimiento	20
2.2.3. Objetivos del mantenimiento	21
2.2.4. Tipos de mantenimiento	21
2.2.5. Costo integral del mantenimiento	24
2.2.6. Disponibilidad Mecánica	25
2.2.7. Mantenimiento productivo total	27
2.2.8. Definición de un Jumbo	27
2.2.9. Características técnicas de Jumbo	28
2.2.10. Mantenimiento a realizar en un jumbo	28
2.2.11. Mantenimiento centrado en la confiabilidad	30
2.2.12. Conceptos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	31
2.2.13 Beneficios del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad	47
2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS	48

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO	50
3.1.1 Confiabilidad del Instrumento	50
3.1.2. Validación del instrumento	52
3.2. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES	52
3.2.1. Proceso de mantenimiento	52
3.2.2. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la Flota Jumbo en la Empresa Nexa El Porvenir	81
3.2.3. Tiempo Operativo Disponible para la producción	92

3.2.4 Disponibilidad Mecánica	94
3.3. PRUEBA DE NORMALIDAD	110

CAPÍTULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL.....	116
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	119
4.2.1. Hipótesis Especifica 1.....	119
4.2.2. Hipótesis Especifica 2.....	123

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	127
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES.....	130
FUENTE DE INFORMACIÓN.....	131
ANEXOS	133

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de las variables	6
Cuadro 2. Flota de equipos – Nexa El Porvenir	9
Cuadro 3. Equipos consideradas para el estudio	10
Cuadro 4. Instrumentos para recolección de datos	11
Cuadro 5. Generación de mantenimiento	18
Cuadro 6. Plan de mantenimiento preventivo anual - junio 2018 a mayo 2019	61
Cuadro 7. Plan de Mantenimiento semanal	62
Cuadro 8. Tareas de mantenimiento	64
Cuadro 9. Organigrama de personal	66
Cuadro 10. Diagrama de Gantt	68
Cuadro 11. Grado de severidad	84
Cuadro 12. Grado de ocurrencia	85
Cuadro 13. Grado de detección	86
Cuadro 14. Ejemplo de cálculo de detección de prioridad de riesgo	88
Cuadro 15. Análisis del modo de falla y efecto por sistemas.	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de datos impares	50
Tabla 2. Distribución de datos – pares	51
Tabla 3. Resultado de coeficiente de confiabilidad	51
Tabla 4. Control de mantenimiento J-183(anterior)	54
Tabla 5. Control de mantenimiento jumbo J-184 (anterior)	55
Tabla 6. Control de mantenimiento J-189(anterior)	56
Tabla 7. Leyenda del mantenimiento preventivo (PM)	60
Tabla 8. Cartillas de mantenimiento	63
Tabla 9. Base de control de mantenimiento según PM	70
Tabla 10. Control de mantenimiento J-183 (posterior)	71
Tabla 11. Control de mantenimiento J-184(Posterior)	72
Tabla 12. Control de mantenimiento J-189 (posterior)	73
Tabla 13. Listado y codificación de Jumbos	82
Tabla 14. Horas operativas (anterior)	92
Tabla 15. Promedio de horas operativo (posterior)	94
Tabla 16. Disponibilidad mecánica de equipos antes	95
Tabla 17. Disponibilidad mecánica de la flota de equipos Jumbo. (anterior)	102
Tabla 18. Disponibilidad mecánica de la flota de equipos jumbo	103
Tabla 19. Disponibilidad por flota	109
Tabla 20. Promedio de disponibilidad mecánica	111
Tabla 21. Normalidad de la disponibilidad mecánica	111
Tabla 22. Promedio del tiempo operativo	112
Tabla 23. Normalidad para tiempo operativo	113
Tabla 24. Muestras al tiempo de parada	113

Tabla 25. Normalidad para el tiempo de parada	114
Tabla 26. Matriz de análisis de datos	115
Tabla 27. Parámetros para la contrastación de las Hipótesis	116
Tabla 28. Análisis estadístico de la disponibilidad mecánica	117
Tabla 29. Test estadístico T- student para la disponibilidad mecánica	117
Tabla 30. Análisis estadístico del tiempo operativo	120
Tabla 31. Test estadístico T-Student para el tiempo operativo	121
Tabla 32. Análisis estadístico del tiempo de parada	124
Tabla 33. Test estadístico tiempo de parada	125

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Objetivos del mantenimiento	21
Figura 2. Tipos de mantenimiento	21
Figura 3. Mantenimiento preventivo	24
Figura 4. Costo integral de mantenimiento	25
Figura 5. Los seis patrones de la falla	47
Figura 6. Coeficiente de confiabilidad	52
Figura 7. Análisis de muestreo sistema motor diésel	76
Figura 8. Análisis de muestreo sistema diferencial	77
Figura 9. Análisis de muestreo sistema transmisión	78
Figura 10. Análisis de muestreo sistema hidráulico	79
Figura 11. Análisis de muestreo sistema compresor	80
Figura 12. Diagrama causa efecto	83
Figura 13. Campana de Gauss de la hipótesis general	118
Figura 14. Campana de Gauss para la hipótesis específica 1	122
Figura 15. Campana de Gauss de la hipótesis específica 2	125

ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1. Control de componentes importantes	53
Gráfico 2. Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-183 (anterior)	55
Gráfico 3. Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-184(anterior)	56
Gráfico 4. Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-189(anterior)	57
Gráfico 5. Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-183(posterior)	72
Gráfico 6. Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-184(posterior)	73
Gráfico 7. Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-189	74
Gráfico 8. Disponibilidad mecánica (antes)	96
Gráfico 9. Disponibilidad mecánica (posterior)	104
Gráfico 10. Comparativos de disponibilidad	119
Gráfico 11. Comparativos de tiempo operativo	122
Gráfico 12. Comparativo de tiempo de parada	126

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	134
Anexo 2 Instrumento de recopilación de datos anual	135
Anexo 3 Instrumento de recopilación de datos mensual	136
Anexo 4 Instrumento de recopilación diario	137
Anexo 5. Tabla T- Student	138
Anexo 6. Especificación técnica de jumbo DD421	139
Anexo 7. Especificaciones técnicas por sistema valores de trabajo, regulaciones de parámetros	140
Anexo 8. Especificaciones técnicas medidas del jumbo DD421	141
Anexo 9. Reporte fotográfico de mantenimiento de jumbo DD421 en la mina NV 3470 en la empresa Nexa El Porvenir	142
Anexo 10. Reporte fotográfico del sistema estructura- sub sistema brazo	142
Anexo 11. Reporte fotográfico de bloque de equipo según matriz de bloqueo, pruebas de energía cero	143
Anexo 12 Pets de mantenimiento de jumbo	144
Anexo 13. Validación de datos por la Empresa Nexa El Porvenir	149
Anexo 14. Reporte diario de equipos	150
Anexo 15. Orden de trabajo	151
Anexo 16. Flujograma de mantenimiento preventivo	152

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación denominada “Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para incrementar la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019”, considero en primera instancia explicar y describir cuál era el problema principal del sistema de mantenimiento antes de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, en segundo lugar enumerar los tipos de fallas que presentaban la flota de equipos Jumbo DD421 y cómo afectaban en la disponibilidad mecánica de los mismos; para finalmente describir cómo sería la disponibilidad mecánica de la flota de equipos Jumbo DD421.

Este trabajo de investigación surgió con la finalidad de incrementar la disponibilidad mecánica del Jumbo DD421, bajo el concepto de tener un funcionamiento confiable, procurando que su vida útil sea la máxima posible y al mínimo costo, lo cual conlleva a generar una mejor rentabilidad para la empresa Nexa El Porvenir

En tal sentido el presente estudio se ha dividido en:

CAPÍTULO I: “PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN”

Se describe la realidad problemática, delimitaciones de la investigación, planteamiento de los problemas de investigación, objetivos y la formulación de las hipótesis; tanto general como específicas, se describen las variables, la metodología de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, justificación e importancia.

CAPÍTULO II “MARCO TEORICO”

En el presente capítulo, se detallan los antecedentes relacionados a la investigación, bases teóricas que han permitido desarrollar los cálculos y análisis, definición de términos básicos; para un mejor entendimiento del trabajo.

CAPÍTULO III “PRESENTACIÓN DE RESULTADOS”

Se describe la confiabilidad y validación del instrumento, análisis cuantitativo de las variables; donde se incluye el proceso de implementación del plan de mantenimiento, cálculos, análisis de datos, entre otros y, las pruebas de normalidad

CAPÍTULO IV: “PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS”

El procedimiento considerado en este capítulo, ha sido inicialmente la contrastación de la hipótesis general, seguida de la contrastación de las hipótesis específicas, realizado con el Software SPSS Statistics V.25.

CAPÍTULO V: “DISCUSIÓN DE RESULTADOS”

Contiene la discusión de los resultados del trabajo de investigación, empleando referencias bibliográficas y enfoques.

Finalmente, se incluyen las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La empresa Nexa El Porvenir, está ubicada en la comunidad de San Juan de Milpo, distrito de Tinyahuarco, región Pasco, a una altitud de 4 350 msnm, dicha empresa se dedica a la explotación de polimetálicos, para ello cuenta con equipos de bajo perfil como Scoop, Scaleer, Scissor Bolter, Jumbo, Anfo Loader, dentro de esta flota el más significativo es el Jumbo, por contar con tres unidades, utilizados en la actividad denominada perforación de frentes para la ruptura de minerales.

Dicha flota de Jumbos, presentaba tan solamente una disponibilidad del 81.29%, porcentaje que no cumplía con el performance requerido y que no le permitía a la empresa poder cumplir con las actividades planificadas por la empresa Nexa El Povenir, lo cual conllevaba a un retraso en las otras

actividades que dependen de la perforación realizada por dicho equipo, esto hacía que se generaran costos extras para la empresa.

La empresa Nexa El Porvenir, en la actualidad no cuenta con información respecto al tema, sin embargo existen tesis que consideran que la disponibilidad debe ser más alta. Con el presente trabajo se proyecta mejorar la disponibilidad mecánica de la flota de jumbos, que vienen operando en la Empresa Nexa El Porvenir y así poder reducir colateralmente los costos de operación.

1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Espacial.

La investigación fue realizada en la Unidad Minera Nexa El Porvenir.

1.2.2 Temporal

El trabajo de investigación se realizó en el periodo comprendido entre el mes de junio 2017 y hasta mayo 2019.

1.3 PLANTEAMIENTO DE LOS PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problema General

¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019?

1.3.2 Problemas Específicos

¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019?

¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019?

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Determinar sí, la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

1.4.2 Objetivos Específicos

Evaluar sí, la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

Establecer sí, la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Hipótesis General

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, sí incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019.

1.5.2 Hipótesis Específicas

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, sí reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Variable independiente

(MORA, 2009 pág. 242) “El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento, con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional”

1.6.2 Variable dependiente

(MORA, 2009 pág. 84) “La Disponibilidad mecánica, es una relación que muestra la proporción de tiempo útil efectivo frente al tiempo total

disponible; la relación está gobernada por parámetros y metodologías de cálculo de orden mundial. Es el tiempo que se emplea para realizar el mantenimiento de componentes críticos”.

1.6.3 Operacionalización de las Variables.

En el Cuadro 1, se describe la operacionalización de las variables.

Cuadro 1 Operacionalización de las variables

TIPO DE VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente Mantenimiento centrado en la confiabilidad	El mantenimiento centrado en confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento, con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional (MORA, 2009 pág. 242)	Es la planificación para garantizar la funcionalidad de un sistema para cumplir una determinada función de un jumbo DD421	Plan de Mantenimiento	Proceso
			Análisis de los modos y efectos de fallos	Reducir probabilidades de falla.
Variable Dependiente Disponibilidad mecánica	La Disponibilidad mecánica, es una relación que muestra la proporción de tiempo útil efectivo frente al tiempo total disponible; la relación está gobernada por parámetros y metodologías de cálculo de orden mundial Es el tiempo que se emplea para realizar el mantenimiento de componentes críticos. Es el tiempo que se emplea para realizar el mantenimiento de componentes críticos. (MORA, 2009 pág. 84)	Es el tiempo en que el equipo esta operativo para realizar su trabajo	Tiempo operativo	h/mes
			Tiempo de parada	h/mes

Fuente: Elaboración propia

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Tipo de Investigación

“La presente investigación se considera del tipo tecnológico, porque según Espinoza, una investigación tecnológica tiene como propósito aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que beneficien a la sociedad”. (Espinoza, 2010 pág. 76)

1.7.2 Nivel de Investigación

“El nivel de la investigación es aplicada, correlacional: ya que tiene como propósito, aplicar los resultados de la investigación experimental para diseñar tecnologías de aplicación inmediata en la solución de los problemas de la sociedad”. (Espinoza, 2010 pág. 76),

1.7.3 Método de Investigación

“Hay varias formas de clasificación de tipos y métodos de investigación, en base algunas propuestas mi trabajo de investigación utilizó el método científico deductivo, en vista de que se ha aplicado los conocimientos existentes, para la solución del problema de falta de disponibilidad de la flota jumbo DD421 – Nexa El Porvenir.

1.7.4 Diseño de investigación

“En el presente trabajo se utilizó el diseño pre experimental; puesto que son diseños que no pueden controlar los factores que influyen contra la validez interna y externa; pero ilustran la forma en las que variables

extrañas pueden influir en la validez interna, nos muestra lo que se debe hacer y no hacer. Este tipo de diseño es muy restringido y utilizado durante la investigación exploratoria”. (Espinoza, 2010 pág. 95)

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Población

La empresa Nexa El Porvenir cuenta con 6 flotas de equipos, los que se detallan en el Cuadro 2, siendo el total de 22 equipos, siendo ésta la población de equipos de la Empresa Nexa El Porvenir; utilizados para realizar el ciclo de minado.

Cuadro 2 Flota de equipos – Nexa El Porvenir

C H A S I S							M O T O R		
IT	EQUIPO	DESCRIPCION	MARCA	MODELO	No SERIE	AÑO	MARCA-	MODELO	No SERIE4
1	AL-185	ANFO LOADER'S	MACLEAN	MEM-977	AC3-052	2013	DEUTZ	TCD2012L06	11270883
2	AL-186	ANFO LOADER'S	MACLEAN	MEM-977	AC3-059	2013	DEUTZ	TCD2012L0624	11270888
3	AL-194	ANFO LOADER'S	MACLEAN	MEM-977	AC3-049	2013	DEUTZ	TCD2012L042V	11233105
4	J-132	JUMBO CABOLT'S	SANDVIK	CABOLT DS421	107b11852-1	2007	MERCEDES BENZ	MB OM 904 LA	904.975-00-633523
5	J-183	JUMBO'S	SANDVIK	DD411-60	113D28664-1	2013	MERCEDES BENZ	KW : MB 904LA/1100	04.975-C-0994009
6	J-184	JUMBO'S	SANDVIK	DT821	113D27138-1	2013	MERCEDES BENZ	OM906LA	906-991-C-1016689
7	J-189	JUMBO'S	SANDVIK	DT821	113022785-1	2013	MERCEDES BENZ	MB 906LA/110	906-991-C-1017950
8	J-210	JUMBO'S	SANDVIK	DD421-60C	118D52850-1	2018	MERCEDES BENZ	MB 904LA/110	904-975-C-1144176
9	J-211	JUMBO'S	SANDVIK	DD421-60C	118D52849-1	2018	MERCEDES BENZ	MB 904LA/110	904.975-C-1143704
10	SB-187	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-928/946	946-340	2013	DEUTZ	TCD2012 – L062D	11288557
11	SB-188	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-928/946	946-372	2013	DEUTZ	TCD2012 – L062D	11094569
12	SB-198	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-946	408	2014	DEUTZ	TCD2012 – L062D	11288563
13	SB-199	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-946	409	2014	DEUTZ	TCD2012 – L062D	11288564
14	SB-200	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-946	410	2014	DEUTZ	TCD2012 – L062D	11332055
15	SB-216	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-975	454	2018	DEUTZ	TCD2012 – L062D	12249132
16	SB-217	APERNAADORES	MACLEAN	MEM-975	455	2018	DEUTZ	TCD2012 – L062D	12247504
17	SCA-203	DESATADORES	BTI	DS25-II V/P 285	2016006	2016	DEUTZ	TCD 2013L062V	11840218
18	SCA-206	DESATADORES	BTI	VPS25	2017038	2017	DEUTZ	TCD2013 – L06	12076046
19	SCA-207	DESATADORES	BTI	VPS25	2017039	2017	DEUTZ	TCD2013 – L06	12037512
20	SCA-214	DESATADORES	BTI	VPS25/TB335	2018079	2018	DEUTZ	TCD2013 – L06 2V	12075457
21	SCA-215	DESATADORES	BTI	VPS25/TB335	2018084	2018	DEUTZ	TCD2013 – L06 2V	12303471
22	SL-149	UTILITARIO'S	BTI	SL6-812	2008001	2008	DEUTZ	BF4M1013C	10403315

Fuente: Elaboración propia

1.8.2 Muestra

“La muestra del proceso de investigación, es una muestra no probabilística por conveniencia, al estar formada por tres Jumbos de la empresa Nexa El Porvenir”, los mismos que se detallan en el Cuadro 3, donde también se incluyen las características, modelo año de fabricación; equipos considerados en el presente estudio por haber sido calificados como los equipos más críticos, ya que de ellos dependen las labores para la rotura de mineral.

Cuadro 3. Equipos consideradas para el estudio

C H A S I S							M O T O R		
IT	EQUIPO	DESCRIPCION	MARCA	MODELO	No SERIE	AÑO	MARCA-	MODELO	No SERIE4
1	J-183	JUMBO'S	SANDVIK	DD421-60C	113D28664-1	2013	MERCEDES BENZ	KW : MB 904LA/1100	04.975-C-0994009
2	J-184	JUMBO'S	SANDVIK	DD421-60C	113D27138-1	2013	MERCEDES BENZ	OM906LA	906-991-C-1016689
3	J-189	JUMBO'S	SANDVIK	DD421-60C	113022785-1	2013	MERCEDES BENZ	MB 906LA/110	906-991-C-1017950

Fuente: Elaboración propia

1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

1.9.1 Técnicas de recolección de datos

Para la recolección de datos de la investigación se utilizaron:

- Análisis documental.
- Análisis de ensayos.
- Observación

1.9.1 Instrumentos de recolección de datos

- Historial de equipo
- Horómetros del equipo
- Performance de equipos

- Análisis de fluido
- Control de componentes

Cuadro 4. Instrumentos para recolección de datos

ITEM	DOCUMENTO	DESCRIPCIÓN
1	Informe preliminar del Equipo	Poblacion de equipos año de fabricacion del equipo
		Control de componentes mayores
		Datos del ultimo Mantenimiento Preventivo
2	Check list de envío y recepción de equipo pesado	Estado técnico del equipo, en codiciones como se encuentra por sistemas
3	Check list de Pre –Uso	Reporte diario del estado del equipo.
		Observaciones de puntos criticos de equipo
4	Reporte diario de Actividades mecánicas.	Registro de actividad de mantenimiento correctivo realizada en cada sistema
		Registro de todas las reparaciones del equipo.
5	Historial del equipo	Registro de todos los mantenimientos preventivos
		Inspecciones técnicas.
6	Status del Equipo	Historial de los trabajos pendientes.
		Historial de los Repuestos pendientes.

Fuente: Elaboración propia

1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1 Justificación

El actual estudio de investigación muestra a los tres jumbos de la empresa Nexa El Porvenir, estos equipos trabajan realizando perforación de frentes para ruptura de mineral, los jumbos tenían constantes debido a ello, presentaban una disponibilidad baja del equipo y, como consecuencia de ello, la empresa registraba demoras en el cumplimiento de la ruptura de mineral planificado. Anteriormente se puede observar que nuestro proceso de mantenimiento no era el apropiado, por no contar con un historial de fallas ocurridas, para poder analizarlas, la falta de

planificación y la no realización de la inspección diaria del equipo, también traían como consecuencia no tener equipos operativos. Con la aplicación de la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad, se han identificado todos los tipos de fallas y se ha planteado dar soluciones preventivas para cada caso, con esta metodología se pretendía evitar las paradas imprevistas y consecuentemente mejorar la disponibilidad mecánica de los jumbos; con lo cual se justifica su desarrollo.

1.10.2 Importancia

La investigación realizada es significativa para la empresa Nexa El Porvenir, ya que ampliará las evaluaciones y subsiguientemente se mejorara la disponibilidad de los jumbos, reduciendo las paradas imprevistas y, aumentando el tiempo operativo del jumbo. El resultado de la investigación fue descrito como aplicar un proceso de plan de mantenimiento, establecer el análisis de modo de falla y efecto, con el objetivo que la empresa cumpla la ruptura de mineral de acuerdo a lo planificado

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Gonzales (2006) “En la investigación Diseño estrategia operación centrada en confiabilidad para Minera Spence S.A.; presentada a la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas Matemáticas

En Minera Spence por una directriz corporativa, el 70% de la mano de obra en operaciones es prácticamente sin experiencia, en consecuencia, la dimensión de la confiabilidad operacional que tiene que ver con la variable humana, toma una rol preponderante en la definición de las estrategias de desarrollo, máximo, asumiendo el paradigma de que el 80% de los problemas en los equipos, tienen su causa raíz en las

decisiones humanas”.

En razón a que el tesista consideró que la causa principal de los problemas en los equipos eran las decisiones humanas, en la presente investigación, se propuso el replanteó del organigrama de personal del Area de Mantenimiento, designación de los mismos a trabajadores capacitados y definición de tareas para la ejecución del mantenimiento en menor tiempo.

Vásquez. (2008) “En la investigación titulada “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad rcm, en motores Detroit 16 v – 149 ti en CODELCO División Andina; presentada a la Universidad Austral de Chile, cuyo aporte fue dividir el equipo en subsistemas para un mayor detalle en la descripción de la función, en la falla funcional, en el modo de falla y en la consecuencia de la falla”.

“Otro aporte importante en el quehacer del mantenimiento de equipos, fue de dar a conocer la necesidad de generar una base de datos con información actual y detallada de las fallas que se hayan presentado y que puedan suceder; puesto que el fin de un análisis RCM es la retroalimentación, para ser incluidas en el análisis conjuntamente con su tarea preactiva asociada”. (Vásquez, 2008).

Considerando el aporte del tesista, en el presente proyecto, se ha tomado como punto de partida para el análisis de falla, la división de los equipos jumbo DD421, en subsistemas hidráulico, eléctrico; parte estructural y otros.

Motta (2017). “En la investigación Diseño de un Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad para Top Rolls en Vidrio Andino, presentado a la Universidad Santo Tomás - Facultad de Ingeniería Mecánica - División de Ingenierías Bogotá D.C. S.A., con la cual estandarizó las actividades de mantenimiento preventivos y predictivos, para que se consolide como un modelo para la replica en otros equipos de diferentes áreas críticas.

El otro aporte es diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad, apoyado en un equipo multidisciplinario integrado por ingenieros, técnicos y especialistas en el manejo del equipo”

Siguiendo los aportes encontrados en la investigación del tesista se realizó un plan de mantenimiento anual y semanal.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Rojas (2014) “Investigación Titulada. Mantenimiento para mejorar la eficiencia global de equipos en el Área de Molienda de San Fernando S.A, Universidad Nacional del Centro del Perú en la Facultad de Ingeniería Mecánica. Concluye que la gestión de mantenimiento basado en el TPM con la primera fase de implementación de los tres primeros pilares permitió una mejora de la eficiencia global de los equipos de un 65% a 70% en el área de molienda. Esto nos indica que con tan solo la primera fase se logró una mejora de eficiencia que esta agrupa la disponibilidad, rendimiento y calidad”

Torres (2015), “en la investigación titulada Implementación de un Sistema de Mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de Jumbos Axera-05 de la Empresa Congemin Minera Horizonte en la Universidad Nacional del Centro del Perú, donde concluye que al aplicar la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, logró incrementar la disponibilidad mecánica de un 81.37% a 86.01%, es decir tuvo un incremento del 4.64”.

Casachagua (2017) “Investigación titulada Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para mejorar la disponibilidad mecánica de la excavadora CAT 336 de la empresa Ecosem Smelter S.A., en la Universidad Nacional del Centro del Perú - Facultad de Ingeniería Mecánica, cuyo logro fue mejorar en un 9% la disponibilidad mecánica de las Excavadoras CAT 336”.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Mantenimiento

“El mantenimiento es el conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla con las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados, también indica que los objetivos del mantenimiento son:

Aprovechar al máximo los componentes de los equipos para disminuir los costos de mantenimiento

Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.

Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.

Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente”. (Suarez pág. 15)

“En similitud con lo anterior afirma que, el mantenimiento inició con el mismo nacimiento de la industria, cuando se crearon los procesos de producción mecanizados para la fabricación de bienes a gran escala, lo que obligo a que éste dependiera de un adecuado funcionamiento de las máquinas. Sin embargo el mantenimiento era considerado una actividad sin importancia y un costo en el que se debía incurrir”. (Bohórquez, 2012 pág. 9)

“La evolución del mantenimiento, se facilita hablar de las generaciones que han marcado el desarrollo y mejora desde sus inicios, sin embargo la mayoría de los autores no se ponen de acuerdo en los años que empieza y termina cada una. Según el Cuadro 5, se explica cómo fue evolucionando el mantenimiento” (Jhon Moubray, Reliability Centred Maintenance, Industrial Press).

Cuadro 5. Generación de mantenimiento

Aspectos de Mantenimiento	Comportamiento 1era generación (I Guerra)	Comportamiento 2da generación	Comportamiento 3ra generación	Comportamiento 4ta generación
	Mundial - 1950)	(1950 - 1970)	(1970 - 2000)	(2000 - presente)
Expectativas del Mantenimiento	Repare equipos cuando estén rotos	<ul style="list-style-type: none"> * Equipos con mayor disponibilidad * Mayor duración de los Equipos * Bajos costos de mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad. * Incremento en la seguridad * Sin daño al ambiente * Mejor calidad de producto Mayor duración de los equipos 	<ul style="list-style-type: none"> * Equipos con mayor disponibilidad y confiabilidad * Incremento en la seguridad * Sin daño al ambiente * Mejor calidad de producto * Mayor duración de los equipos * Mayor Costo – Efectividad * Manejo del Riesgo (legislación, procedimientos Pets de equipos para minimizar accidentes)
Visión sobre la falla del equipo	Todos los equipos se desgastan	Todos los equipos cumplen con la “curva de la bañera”	Existen 6 patrones de falla	Fallas desde el punto de vista del error humano, error de sistema, error de diseño y error de selección (Confiabilidad Operacional)
Técnicas de Mantenimiento	Todas las habilidades de reparación	<ul style="list-style-type: none"> * Mantenimientos mayores planeados y programados * Sistemas de planificación y control de los trabajos (PERT, Gantt, etc.) * Computadores grandes y lentos 	<ul style="list-style-type: none"> * Mantenimiento predictivo * Diseño basado en confiabilidad y mantenibilidad * Estudio de riesgos * Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA, FMECA) * Sistemas expertos * Trabajo en equipo y apoderamiento 	<ul style="list-style-type: none"> * Monitoreo por condición * Diseño basado en confiabilidad y mantenibilidad * Estudio de riesgos * Análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA, FMECA) * Trabajo en equipo y apoderamiento * Uso de técnicas especializadas (RCA, RCM,TPM, PMO, * Modelamiento de confiabilidad, optimización de repuestos etc.) * ERP – módulos de mantenimiento * Outsourcing * Internet

Fuente: Guía de Mantenimiento (2007)

“Como se puede observar en el Cuadro 5, el mantenimiento predictivo se inició en la tercera generación.

Después de atravesar la guerra y posterior recuperación de la misma, el mundo entra en un periodo de resurgimiento de la industria. Sin embargo en 1973 otro revés golpea el sector: la crisis energética debido a la decisión de los países árabes de no exportar crudo a EEUU y Europa Occidental.

Esto obligó a los expertos a considerar nuevas formas de producir y mantener a sus equipos, para optimizar al máximo sus recursos y aumentar el tiempo de funcionamiento.

Una vez superado el impase se hace visible la necesidad de estandarizar todas las iniciativas para obtener beneficios integrales en la industria, no sólo en EEUU sino en Europa Occidental, dando paso a la creación de las normas internacionales que nos rigen hasta hoy.

En esta etapa se vislumbra el rol del operador más que como un simple aprieta botones. El personal de producción empieza a ser visto como pieza importante en el funcionamiento diario de los equipos, pasa a ser el responsable de los equipos velando que estos estén en óptimas condiciones al momento de empezar su labor y por operarlo de manera segura. Todo esto se conoce hoy en día como el cuidado básico de equipos que hace el operador.

Ya no se habla sólo de la disponibilidad de los equipos, un nuevo concepto se abre paso: Confiabilidad y como asegurar la menor cantidad de fallas en los mismos. Se plantean análisis estadísticos más especializados en el mantenimiento.

Los estudios especializados se abren pasos generando cambios profundos en la gestión de mantenimiento. Quizá uno de los aportes más reconocidos en la década de los 70's, es el de Nowtan y Heap del cual se derivan las nuevas acciones de mantenimiento, para adelantarse a tratar las diferentes formas en las que puede afectarse el equipo". (Jhon Moubray, Reliability Centred Maintenance, Industrial Press)

2.2.2 Gestión del mantenimiento

“Actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”. (Gonzales, 2005, p. 54).

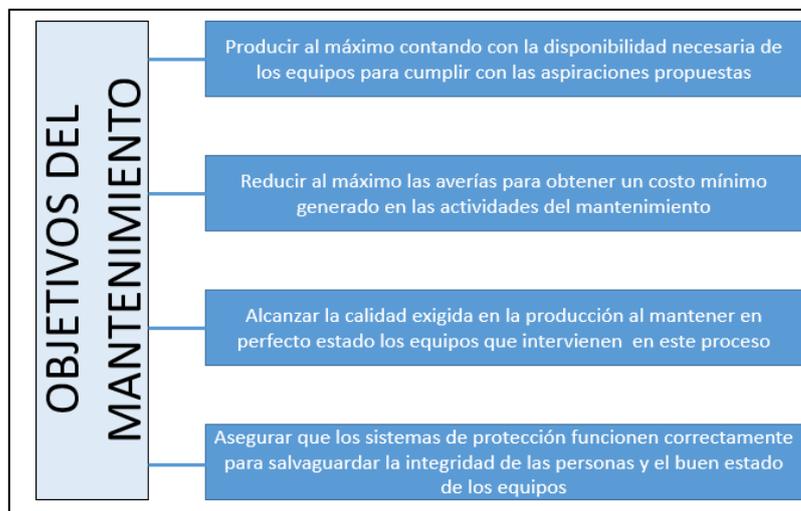
“Según la norma europea, la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del Departamento de Mantenimiento), las estrategias definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir las metas y los objetivos propuestos en la producción”. (Crespo, 2012 pág. 13).

“La gestión del mantenimiento busca potenciar el planeamiento del mantenimiento de los equipos de la empresa, con los aportes realizados a los diferentes tipos de mantenimiento, luego del análisis a los procedimientos y acciones realizados (historial de la máquina). La gestión de mantenimiento de alguna manera busca aumentar la productividad de la empresa, al aumentar los niveles de confiabilidad de sus equipos y reducir sus costos, control constante de las instalaciones y/o componentes, así como del conjunto de trabajos de reparación y revisión necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema”. (Belén, 2008 pág. 14).”

“Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados”. (Bernardo, 2010 pág. 5)

2.2.3 Objetivos del mantenimiento

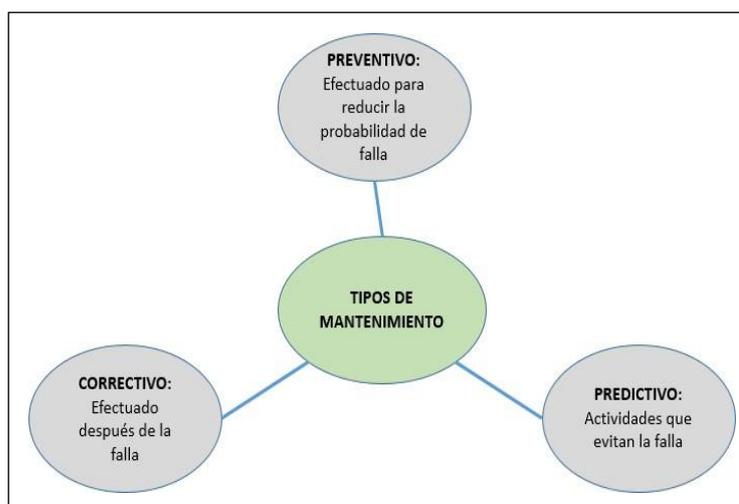
“El mantenimiento tiene como objetivo principal garantizar la producción necesaria en el momento oportuno y con el mínimo costo integral” (Cáceres, 2004 pág. 6), como se puede observar en la Figura 1.



Fuente: Maldonado 2012
Figura 1. Objetivos del mantenimiento

2.2.4 Tipos de mantenimiento

Los tipos de mantenimiento, según Maldonado, son tres y se esquematiza en la Figura 2



Fuente: Maldonado. 2012
Figura 2 Tipos de mantenimiento

a.- Mantenimiento correctivo

“El mantenimiento correctivo consiste en la pronta reparación de la falla y se le considera de corto plazo. Las personas encargadas de reportar la ocurrencia de las averías son los propios operarios de las máquinas o equipos y las reparaciones corresponden al personal de mantenimiento. Exige, para su eficacia, una buena y rápida reacción de la reparación (recursos humanos asignados, herramientas, repuestos, elementos de transporte, etc.). La reparación propiamente dicha es rápida y sencilla, así como su control y puesta en marcha.

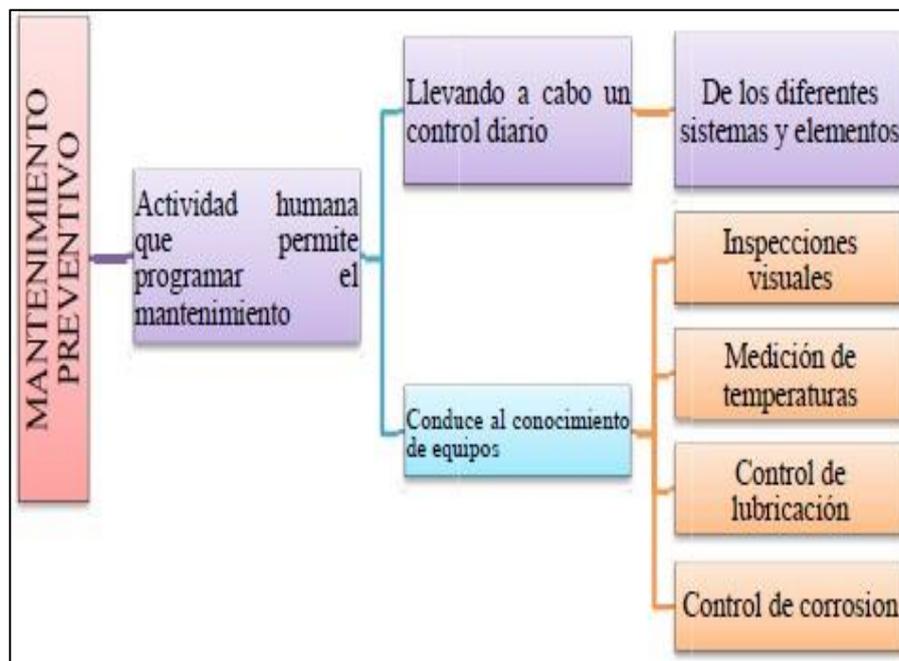
El principal inconveniente que presenta este tipo de acción de mantenimiento consiste en que el usuario detecta la falla cuando el equipo está en servicio, en el preciso momento en que pierde su funcionalidad, ya sea al ponerlo en marcha o durante su utilización. Además, porque la mayoría de los operarios encargados de usar los equipos no son expertos en fallas. Entre algunos de los síntomas que determinan la presencia de fallas, pueden estar altos niveles de ruidos y/o anomalías que pueden generar otras averías mayores”. (Mora, 2009 pág.435)

b.- Mantenimiento Preventivo

“Comprenden todas las acciones sobre revisiones, modificaciones y mejoras dirigidas a evitar averías y de las consecuencias de estas en la producción”. (Navarro, 2003 pág. 102)

“El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos. Con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo La función principal del mantenimiento preventivo es conocer el estado actual de los equipos, mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste”. (Mora, 2009 pág. 438)

“El recurso humano, es la parte esencial para desarrollar un programa de mantenimiento, gracias a ellos podemos controlar las fallas, anticipándonos ante cualquier eventualidad no deseada, con lo cual nos adelantamos a una falla realizando un mantenimiento preventivo del jumbo con el objetivo de tener una disponibilidad considerable”. (Maldonado. 2012), como se detalla en la Figura 3



Fuente: Maldonado. 2012

Figura 3 Mantenimiento preventivo

c.- **Mantenimiento productivo o proactivo**

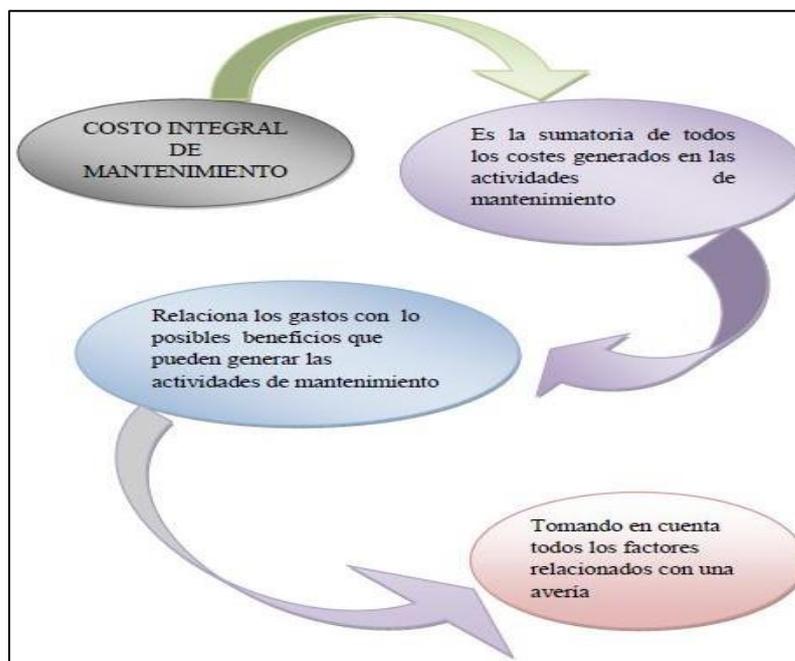
“Es como el mantenimiento centrado en la confiabilidad y otras que le dan toda la importancia a la organización y a la planeación. En el ámbito mundial aparece el concepto según el cual el mantenimiento ya no depende de la producción, sino que se establece como una unidad independiente, pues deja de ser un departamento gestor de pasivos y causante de gastos” (Mora, 2009 pág. 39)

2.2.5 **Costo integral del mantenimiento**

“El costo integral del mantenimiento tiene en cuenta todos los factores relacionados con la avería y no solo los directamente relacionados con el mantenimiento.

El costo integral del mantenimiento es igual a la sumatoria de los costos fijos, variables, financieros y de falla”. (Soto, 2002 pág.4)

Como se esquematiza en la Figura 4



Fuente: Maldonado. 2012

Figura 4 Costo integral de mantenimiento.

2.2.6 Disponibilidad Mecánica

“La disponibilidad es un indicador muy popular, siendo sus principales interpretaciones:

Es el porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema, calculado sobre la base de un periodo largo.

Es la probabilidad para que en un instante cualquiera, el sistema (reparable) esté en funcionamiento

También se le conoce como disponibilidad operativa (A); a ser calculado con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{H_L - P_P - P_R}{H_L}$$

Donde:

H_L = Horas laborables de la empresa, donde se excluyen domingos y feriados.

P_P = Paradas programadas para mantenimiento proactivo, también se incluyen las reparaciones programadas u overhauls.

P_R = Paradas por mantenimiento reactivo (no programadas)".

(Copyright © por TECSUP).

“Es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella, la disponibilidad depende de cuan frecuente se producen las fallas en determinado tiempo y condición y cuánto tiempo se requiere para corregir la falla”. (Torres, 2005 pág. 67).

“La disponibilidad es la probabilidad, en el tiempo, de asegurar un servicio requerido, hay autores que definen la disponibilidad como el porcentaje de equipos o sistemas útiles en un determinado momento, frente al total de equipos“. (Gonzales, 2005 pág. 87)

“Es un indicador operacional: D (disponibilidad), el indicador disponibilidad es un indicador técnico que permite medir el grado de disponibilidad de alguna máquina, los factores que influyen sobre la

disponibilidad so MTTF (tiempo promedio operativo ente fallas) MDT (tiempo promedio fuera de servicio)". (Crespo, 2012 pág. 56).

“Al concepto de disponibilidad y su conocimiento dada su obvia importancia, conviene añadir aspectos formales que aporten luz sobre nuevos requerimientos de conocimiento. La disponibilidad instantánea es la función matemática más adecuada para caracterizar globalmente un sistema complejo de operación continua sujeto a separación, por lo cual se define matemáticamente la función de disponibilidad instantánea como la probabilidad que un sistema esté funcionando en el instante requerido”. (Sotuyo, 2002 pág. 34).

“Como la probabilidad de que una maquina o sistema ese preparada para producción en un periodo determinado, es decir que no esté parada por averías o ajustes”. (Rodríguez, 2008 pág.12)

2.2.7 Mantenimiento productivo total

“Podemos definir como estado de referencia aquel en que el equipo de producción puede proporcionar su mayor rendimiento en función de su concepción y de la situación actual de cara a la evolución del producto a elaborar o transformar”. (Rodríguez, 2008 pág. 54)

2.2.8 Definición de un Jumbo

El jumbo DD421 es un jumbo electrohidráulico con dos brazos para perforaciones rápidas y precisas en desviaciones y túneles de secciones transversales de 8 a 60 m².

El sistema de control hidráulico mejorado con nuevas características permite un rendimiento de perforación preciso con un control eficiente.

La nueva perforadora de rocas Sandvik RD525 ha demostrado ser una perforadora eficiente, con una penetración suave y un potente rendimiento de perforación.

La cobertura óptima se logra con las probadas plumas Sandvik SB60. El rendimiento de perforación se puede mejorar con instrumentación opcional.

2.2.9 Características técnicas de Jumbo

Son equipos diseñados con el objetivo de realizar perforación de taladros en diferentes tipos de rocas, siempre que estos no tengan un alto contenido de rocas, se utilizan para realizar perforación de frentes para disparar mineral, para realizar puentes. Como se detalla en el Anexo 6. Especificación técnica de jumbo DD421

Es una máquina con articulación central, con un ángulo de giro de 37° sobre su eje, realiza taladros de perforación mediante el apoyo de una perforadora HLX5, que se desliza sobre su viga, ejecuta taladros de 16 pies.

2.2.10 Mantenimiento a realizar en un jumbo

a.- Preventivo

- Programar según el tipo de Mantenimiento.

- Realizar una Orden de Trabajo (OT), según cartilla de mantenimiento y de acuerdo al tipo de mantenimiento
- Comprobar los repuestos si se tienen en almacén según tipo de mantenimiento
- Verificar los lubricantes a ser utilizados en el equipo
- Verificar en almacén componentes según cartilla de mantenimiento

b.- Predictivo

- Muestreo de aceite según el tipo de mantenimiento.
- Verificar, regular los parámetros de cada sistema según indica el fabricante.
- Verificar caudal de componentes hidráulico
- Tomar temperaturas y parámetros de rango de trabajo

c.- Correctivo

- Prever el cambio de componentes que ya cumplieron su horas de trabajo
- Cambio de componentes por horas de trabajo.
- Cambio de partes deterioradas.
- Controlar los componentes eléctricos según horas de trabajo.

2.2.11 Mantenimiento centrado en la confiabilidad

“Desde el punto de vista de ingeniería hay dos elementos que hacen al manejo de cualquier activo, al cual se le debe hacer el mantenimiento periódicamente y en algunos casos hasta se tiene que modificarlos, esto sugiere que mantenimiento significa conservar algo y modificarlo. Definición de mantenimiento seria: asegurar que los activos continúen haciendo lo que los usuarios quieran que haga”. (Moubray, 1997 pág. 6)

“Proceso utilizado para determinar los requerimientos para el mantenimiento de cualquier activo en su contexto operacional” (Moubray, 1997 pág. 9),

“La definición más completa para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad seria: proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que todo activo continúe haciendo lo que los usuarios quieran que hagan en su contexto operacional”. (Moubray, 1997 pág. 10)

“El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) o Reliability-centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo, utilizan el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE

JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

“Según esta norma, las 7 preguntas básicas del proceso Mantenimiento Centrado en Confiabilidad son:

1. ¿Cuáles son las funciones deseadas para el equipo que se está analizando?
2. ¿Cuáles son los estados de falla (fallas funcionales) asociados con estas funciones?
3. ¿Cuáles son las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?
4. ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
5. ¿Cuál es la consecuencia de cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?
7. ¿Qué hacer si no puede encontrarse una tarea predictiva o preventiva adecuada?”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

2.2.12 Conceptos del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

“El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad muestra que muchos de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocadas. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de las fallas se

producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales. A continuación se explican varios conceptos derivados del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, muchos de los cuales aún no son completamente entendidos por los profesionales del mantenimiento industrial”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

a.- El contexto operacional

“Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos. Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción (2 o 3 carillas) donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación donde producción en horas extra, tercerización, objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

b.- Funciones

“El análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad comienza con la redacción de las funciones deseadas. Por ejemplo, la función de una bomba puede definirse como bombear no menos de 500 litros/minuto de agua. Sin embargo, la bomba puede tener otras funciones asociadas, como por ejemplo, contener el agua (evitar pérdidas). En un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, todas las funciones deseadas deben ser listadas”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

c.- Fallas funcionales o estados de falla

“Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Por ejemplo, para una bomba dos estados de falla podrían ser incapaz de bombear agua, bombear menos de 500 litros/minuto, no es capaz de contener el agua; notar que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

d.- Modos de falla

“Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Por ejemplo, impulsor

desgastado es un modo de falla que hace que una bomba llegue al estado de falla identificado por la falla funcional; bombea menos de lo requerido. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la causa raíz de la falla. Por ejemplo, si se están analizando los modos de falla de los rodamientos de una bomba, es incorrecto listar el modo de falla rodamiento. La razón es que el modo de falla listado nos da una idea precisa de por qué ocurre la falla: ¿es por falta de lubricación?, ¿es por desgaste y uso normal?, ¿es por instalación inadecuada?. Notar que este desglose en las causas que subyacen a la falla, sí da una idea precisa de por qué ocurre la falla, y por consiguiente que podría hacerse para manejarla adecuadamente lubricación, análisis de vibraciones, entre otros.”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

e.- Los efectos de falla

“Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El efecto de falla es una breve descripción de qué pasa cuando la falla ocurre. Por ejemplo, el efecto de falla asociado con el modo de falla impulsor desgastado podría ser el siguiente: a medida que el impulsor se desgasta, baja el nivel del tanque, hasta que suena la alarma de bajo nivel en la sala de control. El

tiempo necesario para detectar y reparar la falla (cambiar impulsor) suele ser de 6 horas. Dado que el tanque se vacía luego de 4 horas, el proceso aguas abajo debe detenerse durante dos horas. No es posible recuperar la producción perdida, por lo que estas dos horas de parada representan una pérdida de ventas. Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

f.- Categoría de consecuencias

“La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas consecuencias de seguridad
- Afectando al medio ambiente, siendo la consecuencia principal la contaminación del mismo, por derrame de lubricantes.
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa, consecuencias operacionales

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellas fallas que no tienen ningún impacto cuando ocurren salvo que posteriormente ocurra alguna otra falla. Por ejemplo, la falla del neumático de auxilio no tiene ninguna consecuencia adversa, salvo que ocurra una falla posterior (pinchadura de un

neumático de servicio) que haga que sea necesario cambiar el neumático. Estas fallas corresponden a la categoría de fallas ocultas.

Cada modo de falla identificado en el análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: seguridad, medio ambiente, operacionales, y no operacionales, previa separación entre fallas evidentes y ocultas. El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de falla; va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado, lo que es bastante razonable: no sería lógico tratar de la misma forma a fallas que pueden afectar la seguridad que aquellas que tienen consecuencias económicas. El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de falla son distintas”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

g.- Diferencia entre efectos y consecuencias de falla

“El efecto de falla es una descripción de qué pasa cuando la falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica este efecto en una de 4 categorías, según el impacto que estas fallas tienen

- Ocultas o No evidentes
- Seguridad y Medio Ambiente

- Operacionales
- No operacionales”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005).

h.- Diferencia entre falla funcional y modos de falla

“La falla funcional identifica un estado de falla: incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura. No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad, etc.)”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

i.- Fallas ocultas

“Los equipos suelen tener dispositivos de protección, es decir, dispositivos cuya función principal es la de reducir las consecuencias de otras fallas (fusibles, detectores de humo, dispositivos de detención por sobre velocidad / temperatura / presión, etc.). Muchos de estos dispositivos tienen la particularidad de que pueden estar en estado de falla durante mucho tiempo sin que nadie ni nada ponga en evidencia que la falla ha ocurrido. (Por ejemplo, un extintor contra incendios puede ser hoy incapaz de apagar un incendio, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre el incendio). Una válvula de alivio de presión en una caldera puede fallar de tal forma que

no es capaz de aliviar la presión si esta excede la presión máxima, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre la falla que hace que la presión supere la presión máxima). Si no se hace ninguna tarea de mantenimiento para anticiparse a la falla o para ver si estos dispositivos son capaces de brindar la protección requerida, entonces puede ser que la falla solo se vuelva evidente cuando ocurra aquella otra falla cuyas consecuencias el dispositivo de protección esta para aliviar. (Por ejemplo, es posible que nos demos cuenta que no funciona el extintor recién cuando ocurra un incendio, pero entonces ya es tarde: se produjo el incendio fuera de control. Es posible que nos demos cuenta que no funciona la válvula de seguridad recién cuando se eleve la presión y esta no actúe, pero también ya es tarde: se produjo la explosión dela caldera.) Este tipo de fallas se denominan fallas ocultas, dado que requieren de otra falla para volverse evidentes”.
(www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

j.- Distintos tipos de mantenimiento

“Tradicionalmente, se consideraba que existían tres tipos de mantenimiento distintos: Predictivo, preventivo, y correctivo. Sin embargo, existen cuatro tipos de mantenimiento distintos:

- Mantenimiento predictivo, también llamado mantenimiento a condición.
- Mantenimiento preventivo, que puede ser de dos tipos: sustitución o reacondicionamiento cíclico.

- Mantenimiento correctivo, también llamado trabajo a la falla.
- Mantenimiento defectivo o búsqueda de fallas”.
(www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

k.- El mantenimiento predictivo o a condición

“El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar una falla antes de que ocurra. Por ejemplo, la inspección visual del grado de desgaste de un neumático es una tarea de mantenimiento predictivo, dado que permite identificar el proceso de falla antes de que la falla funcional ocurra. Estas tareas incluyen: inspecciones (inspección visual del grado de desgaste), monitorios (vibraciones, ultrasonido), chequeos (nivel de aceite). Tienen en común que la decisión de realizar o no una acción correctiva depende de la condición medida. Por ejemplo, a partir de la medición de vibraciones de un equipo puede decidirse cambiarlo o no. Para que pueda evaluarse la conveniencia de estas tareas, debe necesariamente existir una clara condición de falla potencial. Es decir, debe haber síntomas claros de que la falla está en el proceso de ocurrir”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005).

l.- El mantenimiento preventivo (sustitución o reacondicionamiento cíclico)

“El mantenimiento preventivo se refiere a aquellas tareas de sustitución o de trabajo hechas a intervalos fijos independientemente del estado del elemento o componente. Estas tareas solo son válidas si existe un patrón de desgaste: es decir, si la probabilidad de falla aumenta rápidamente después de superada la vida útil del elemento. Debe tenerse mucho cuidado, al momento de seleccionar una tarea preventiva o cualquier otra tarea de mantenimiento de hecho, en no confundir una tarea que se puede hacer, con una tarea que conviene hacer. Por ejemplo, al evaluar el plan de mantenimiento a realizar sobre el impulsor de una bomba, podríamos decidir realizar una tarea preventiva (sustitución cíclica del impulsor), tarea que en general se puede hacer dado que la falla generalmente responde a un patrón de desgaste (patrón B de los 6 patrones de falla del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). Sin embargo, en ciertos casos podría convenir realizar alguna tarea predictiva (tarea a condición), que en muchos casos son menos invasivas y menos costosas”.
(www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

m.- El mantenimiento correctivo o trabajo a la rotura

“Si se decide que no se hará ninguna tarea proactiva (predictiva o preventiva) para manejar una falla, sino que se reparara la misma una vez que ocurra, entonces el mantenimiento

elegido es un mantenimiento correctivo. ¿Cuándo conviene este tipo de mantenimiento? Cuando el costo de la falla (directos indirectos) es menor que el costo de la prevención, o cuando no puede hacerse ninguna tarea proactiva y no se justifica realizar un rediseño del equipo. Esta opción solo es válida en caso que la falla no tenga consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente. Caso contrario, es obligatorio hacer algo para reducir o eliminar las consecuencias de la falla”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

n.- El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas

“El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En el mantenimiento detectivo no se está reparando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que una falla está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un cuarto tipo de mantenimiento. A este mantenimiento también se le llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo, cada el cual se realiza esta tarea, se le llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-Finding Interval). Por

ejemplo, arrojar humo a un detector contra incendios es una tarea de mantenimiento detectivo”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

o.- ¿Cómo seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado?

“En el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, la selección de políticas de mantenimiento está gobernada por la categoría de consecuencias a la que pertenece la falla.

- Para fallas con consecuencias ocultas, la tarea óptima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección.
- Para fallas con consecuencias de seguridad o medio ambiente, la tarea óptima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la falla hasta un nivel tolerable.
- Para fallas con consecuencias económicas (operacionales y no operacionales), la tarea óptima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

Aun hoy, mucha gente piensa en el mantenimiento preventivo como la principal opción al mantenimiento correctivo. Sin embargo, el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad muestra que en el promedio de las industrias el mantenimiento preventivo es la estrategia adecuada para menos del 5% de las fallas; ¿qué hacer con el otro 95%?. En promedio, al realizar un análisis Mantenimiento Centrado en Confiabilidad se ve que las políticas

de mantenimiento se distribuyen de la siguiente forma: 30% de las fallas manejadas por mantenimiento predictivo (a condición), otro 30% por mantenimiento detectivo, alrededor de 5% mediante mantenimiento preventivo, 5% de rediseños, y aproximadamente 30% mantenimiento correctivo. Esto muestra efectivamente que una de las máximas del TPM (Total Productive Maintenance) que dice que todas las fallas son malas y todas deben ser prevenidas, es de hecho equivocada: solo deben ser prevenidas aquellas que convenga prevenir, en base a un cuidadoso análisis costo-beneficio”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

p.- Frecuencia de tareas a condición (mantenimiento predictivo)

“Para que una tarea a condición sea posible, debe existir alguna condición física identificable que anticipe la ocurrencia de la falla. Por ejemplo, una inspección visual de un elemento solo tiene sentido si existe algún síntoma de falla, que pueda detectarse visualmente. Además de existir un claro síntoma de falla, el tiempo desde el síntoma hasta la falla funcional debe ser suficientemente largo para ser de utilidad. La frecuencia de una tarea a condición se determina entonces en función del tiempo que pasa entre el síntoma y la falla. Por ejemplo, si se está evaluando la conveniencia de chequear ruido en los rodamientos de un motor, entonces la frecuencia va a estar determinada por el tiempo entre que el ruido es detectable, y que se produce la falla del rodamiento. Si este tiempo es de, por ejemplo, dos semanas,

entonces la tarea debe hacerse a una frecuencia menor, para asegurarse de esta forma que la falla no ocurra en el tiempo entre chequeos sucesivos. El mismo razonamiento debe seguirse para cualquier tarea predictiva”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

q.- Frecuencia de tareas de sustitución cíclica (mantenimiento preventivo)

“Una tarea de sustitución cíclica solo es válida si existe un patrón de desgaste. Es decir, si existe una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de la falla. La frecuencia de la tarea de sustitución depende de esta edad, llamada vida útil. Por ejemplo, si la vida útil de un neumático es de 40.000 km, entonces la tarea de sustitución cíclica (cambio preventivo del neumático) debería realizarse cada menos de 40.000 km, para de esta forma evitar entrar en la zona de alta probabilidad de falla”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

r.- Frecuencia de tareas detectives (búsqueda de fallas)

“El intervalo con el que se realiza la tarea de búsqueda de fallas (mantenimiento detectivo) se denomina FFI (Failure Finding Interval). Existe una relación entre este intervalo y la disponibilidad del dispositivo de protección. Pueden utilizarse herramientas matemáticas para calcular esta relación, y fijar el FFI que logre la disponibilidad objetivo”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

s.- El lugar del rediseño en el mantenimiento

“Una empresa de rodamientos tenía la siguiente política: si una falla ocurría más de una vez, se rediseñaba el equipo para eliminar la causa de la falla. Como consecuencia de esta política, la planta funcionaba de manera cada vez más confiable, pero los costos del departamento de ingeniería crecían aceleradamente. Como ilustra este ejemplo, en la mayoría de las empresas las sugerencias de cambios de diseño suelen sobrepasar la capacidad de la empresa de llevar adelante estos cambios. Por lo tanto, debe existir un filtro que permita distinguir aquellos casos donde el rediseño es justificado y recomendable de aquellos casos donde no lo es. Es por esto que para aquellos cambios de diseño cuyo objetivo es evitar fallas, suele ser más conveniente evaluar previamente si existe alguna otra forma de manejar las fallas sin necesidad de recurrir al cambio de diseño. Por ejemplo, algunos años después la empresa de rodamientos se dio cuenta que solo en el 20% de los rediseños realizados, éste realmente valía la pena, y que para el resto había otras formas de manejar las fallas que eran más costo-eficaces. Debe también tenerse en cuenta que los cambios de diseño suelen llevar tiempo y ser costosos, y que no siempre se sabe con certeza si los mismos serán eficaces en aliviar las consecuencias de las fallas. A su vez, en muchos casos los rediseños introducen otra falla cuyas consecuencias también deben ser evaluadas.”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

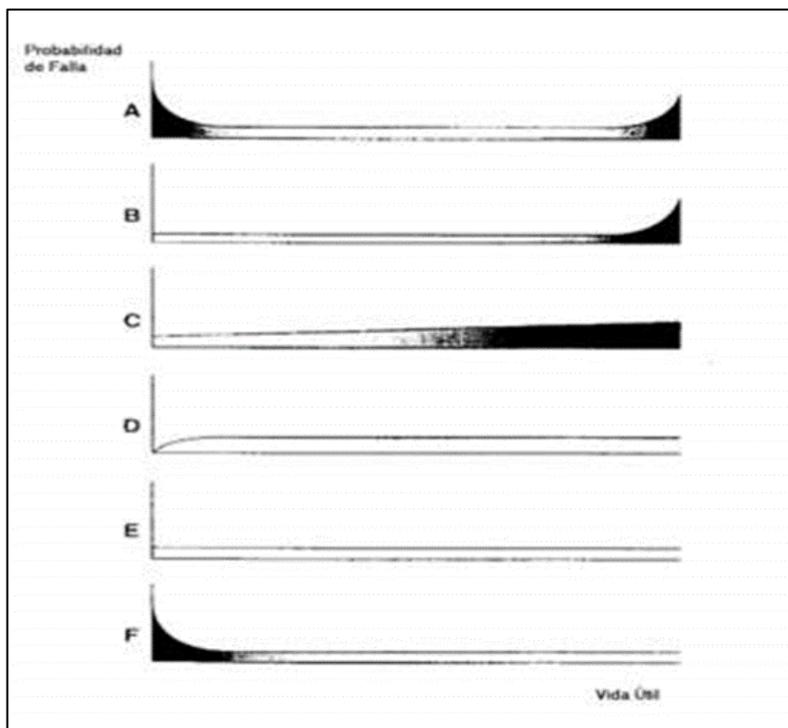
t.- **Patrones de falla en función del tiempo**

“¿Cuál es la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo? Tradicionalmente se pensaba que la relación era bien simple: a medida que el equipo es más viejo, es más probable que falle. Sin embargo, estudios realizados en distintas industrias muestran que la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo u horas de operación es mucho más compleja. No existen uno o dos patrones de falla, sino que existen 6 patrones de falla distintos, como se muestra en el informe original de Nowlan & Heap, ver Figura 5.

Dicha figura muestra los 6 patrones de falla. Cada patrón representa la probabilidad de falla en función del tiempo.

- Patrón A, donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio (mortalidad infantil), y al superar una vida útil identificable.
- Patrón B, o curva de desgaste.
- Patrón C, donde se ve un continuo incremento en la probabilidad condicional de la falla
- Patrón D, donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla, el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante.
- Patrón E, o patrón de falla aleatorio.
- Patrón F., con una alta probabilidad de falla cuando el

equipo es nuevo, seguido de una probabilidad condicional de falla constante y aleatoria”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)



Fuente: www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005

Figura 5 Los seis patrones de la falla

2.2.13 Beneficios del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad

“La implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa”. (www.rcm-confiabilidad.com.ar, 2005)

2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS

Disponibilidad

“Objetivo principal del mantenimiento, puede ser definida como la confianza de un componente o un sistema que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado”. (Meza, 2006 pág. 157)

Disponibilidad Mecánica

“Es una definición que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir una función para el cual fue asignado. El valor mínimo para garantizar la calidad de gestión del mantenimiento será mayor a 85%. La disponibilidad es un indicador muy popular, siendo sus principales interpretaciones:

Es el porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema, calculado sobre la base de un periodo largo.

Es la probabilidad para que en un instante cualquiera, el sistema (reparable) esté en funcionamiento”. (Copyright © por TECSUP

Mantenimiento Centrado en la confiabilidad

“Es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que

había dado en el campo aeronáutico”. (<http://rcm3.org/>)

Confiabilidad

“Puede ser definida como la confianza que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica durante un periodo de tiempo establecido”. (Meza, 2006 pág. 156)

Tiempo de falla (MTBF)

“Es el tiempo que tarda en repararse un equipo después de fallar”. (Mora, 2009 pág. 158).

Tiempo de reparación (MTTR)

“Es el tiempo activo neto de reparación sin demoras y con todos los recursos disponibles al iniciarse la reparación. La disponibilidad no contempla los mantenimientos planeados. La disponibilidad inherente está basada únicamente en la distribución de fallas y en la distribución de tiempo de reparación”. (Mora, 2009 pág98).

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

3.1.1 Confiabilidad del Instrumento

La confiabilidad del instrumento, ha sido medida por el método de mitades partidas y a través de la recolección de datos, cuyo análisis se ha realizado con el software SPSS Statistics versión 25, en la Tabla 1, mostramos los datos correspondientes a la distribución de los datos impares.

Tabla 1 Distribución de datos impares

EQUIPO	N° IMPAR	DISPONIBILIDAD ANTES (%)	DISPONIBILIDAD DESPUES (%)	HORAS OPERATIVAS ANTES (h/mes)	HORAS OPERATIVAS DESPUES (h/mes)	HORAS DE PARADA ANTES (h/mes)	HORAS DE PARADA DESPUES (h/mes)
Flota Jumbo	1	71.53%	89.49%	515.00	644.33	205.21	75.67
Flota Jumbo	3	79.54%	90.51%	572.67	651.65	147.33	68.33
Flota Jumbo	5	78.94%	92.59%	568.33	666.66	151.66	53.33
Flota Jumbo	7	81.25%	89.35%	585.00	643.33	135.11	76.67
Flota Jumbo	9	84.40%	88.89%	607.47	640.76	112.33	80.11
Flota Jumbo	11	80.79%	88.89%	581.12	640.00	138.32	80.00

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, en la Tabla 2 mostramos los datos correspondientes a la distribución de los datos pares.

Tabla 2 Distribución de datos – pares

EQUIPO	N° PAR	DISPONIBILIDAD ANTES (%)	DISPONIBILIDAD DESPUES (%)	HORAS OPERATIVAS ANTES (h/mes)	HORAS OPERATIVAS DESPUES (h/mes)	HORAS DE PARADA ANTES (h/mes)	HORAS DE PARADA DESPUES (h/mes)
Flota Jumbo	2	80.09%	92.36%	576.18	665.09	143.34	55.00
Flota Jumbo	4	81.48%	91.20%	586.45	656.17	138.37	63.12
Flota Jumbo	6	83.94%	90.28%	604.09	650.00	115.67	70.00
Flota Jumbo	8	84.03%	89.58%	605.00	645.00	115.01	75.01
Flota Jumbo	10	82.64%	90.28%	595.00	650.12	125.01	70.00
Flota Jumbo	12	86.85%	90.97%	625.33	655.00	94.87	65.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se aprecian los datos estadísticos obtenidos mediante el software SPSS Statistics 25, calculados por el Método de Mitades Partidas, donde se observa un valor de 0.916.

Tabla 3 Resultado de coeficiente de confiabilidad

DESCRIPCION	VALOR
Parte 1	Valor
	,299 ^a
	N de elementos
	3 ^b
Parte 2	Valor
	,547 ^a
	N de elementos
	3 ^c
	N total de elementos
	6
Correlación entre formularios	,997 ^d
Longitud igual	,836 ^d
Longitud desigual	,998 ^d
Coficiente de dos mitades	0.916

Fuente. Elaboración propia

El coeficiente obtenido con el software SPSS Statistics versión 25, de 0.916, es llevado a interpretación a través de la Figura 6, donde dicho valor recae en el rango de 0.81 a 1.00; por lo que se interpreta que los datos analizados recaen en una magnitud de Muy Alta confiabilidad.

RANGOS	MAGNITUD
0,81 A 1,00	Muy Alta
0,61 A 0,80	Alta
0,41 A 0,60	Moderada
0,21 A 0,40	Baja
0,01 A 0,20	Muy Baja

Fuente: Ruiz (2002)

Figura 6 Coeficiente de confiabilidad

3.1.2. Validación del instrumento

El instrumento que hemos utilizado para la recolección de datos es la **Matriz de Análisis de datos** de la flota DD 421, que vienen operando en Nexa El Porvenir, dichos datos corresponden al periodo comprendido entre junio 2017 hasta mayo 2019; data que cuenta con la aprobación de la empresa Nexa El Porvenir, a través del Jefe de Planeamiento Ing. Steve Azañero Chuquillanqui; quien valido la investigación realizada, como se muestra en el Anexo 13

3.2 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

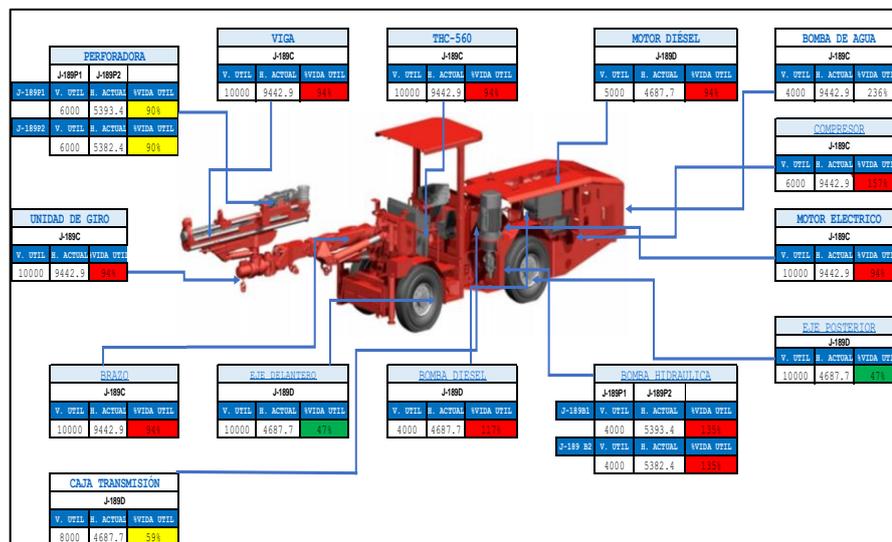
3.2.1 Proceso de mantenimiento

a.- Antes del desarrollo de la investigación

La empresa Nexa El Porvenir realiza trabajos de explotación de mineral como Plomo, Zinc y Cobre, para lo cual requiere contar con equipos de bajo perfil como la flota de equipos jumbos, equipos relevantes en las operaciones mineras porque de ellos depende la ruptura del mineral.

Según el informe inicial, estos equipos son monitoreados a través de sus últimas horas, si fueron reparados los componentes mayores de estos equipos como: el motor, caja transmisión, sistema de perforación, sistema hidráulico, sistema eléctrico, sistema neumático, ya que son estos los sistemas más importantes y críticos del jumbo.

Se detectó que no se tenía un buen control de funcionamiento de los sistemas mencionados de los equipos jumbo; tampoco se tenía un control adecuado de cambio de componentes por horas trabajadas, lo que ocasionaba pérdidas de horas, ya sea por la falta de componentes que conllevaba a un cambio, superando sus horas de vida útil, lo manifestado se detalla en el Gráfico 1, donde se muestra los componentes y las horas de vida útil vs las horas en que se realizaron los cambios de los mismos; lo cual hacía que la disponibilidad mecánica no incidiera positivamente en la producción.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1 Control de componentes importantes

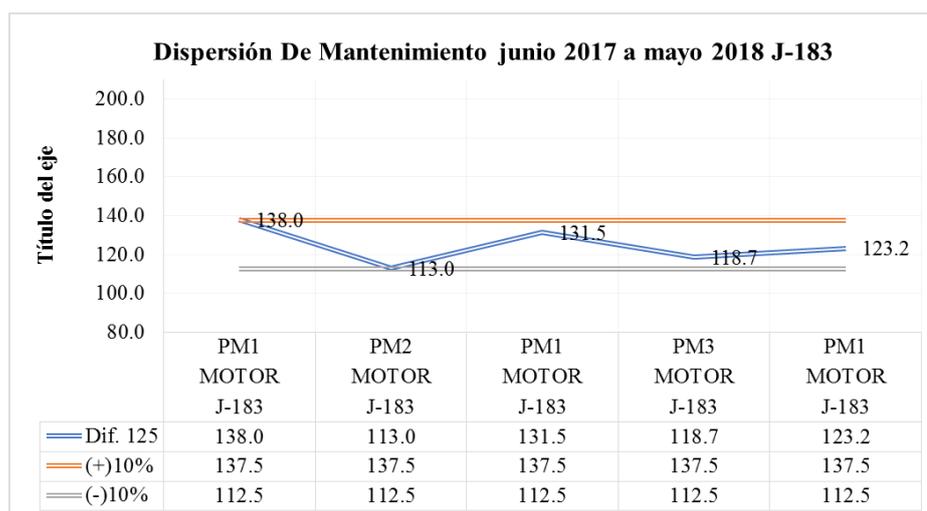
La empresa Nexa El Porvenir cuenta con una base de datos sobre mantenimiento preventivo, con la dispersión con horas sobrepasadas más de los establecidos, en otros casos se realizaban los mantenimientos debajo de lo establecido, en la Tabla 4, donde se detalla los mantenimientos realizados del jumbo con código (J-183); verificándose que se realizó un mantenimiento el 20-09-2017, es decir debajo del rango establecido, otro el 08-12-2018, sobrepasando el rango establecido; repercutiendo en daños internos en el equipo de manera prematura.

Tabla 4 Control de mantenimiento J-183(anterior)

CODIGO	SISTEMA	TIPO DE MANTTO	FREC	HOROM. EJECUTADO	FECHA REALIZADA	DIF. 125	(+10%)	(-10%)
J-183	MOTOR	PM1	2375	2332	12/05/2017	140.0	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM3	2500	2469.4	17/07/2017	137.4	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM1	2625	2581	20/09/2017	111.6	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM2	2750	2741.9	8/12/2017	160.9	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM1	2875	2851	6/02/2018	109.1	137.5	112.5

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 2, se muestra los mantenimientos realizados del jumbo con código (J-183), la línea anaranjada nos indica el valor máximo de horas que no debe sobrepasar cualquier mantenimiento a ejecutarse en el citado equipo, siendo éste de 137.5 horas y la línea ploma nos indica el valor mínimo que es 112.5 horas.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2 Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-183 (anterior)

En la Tabla 5, se detallan los mantenimientos realizados del jumbo con código (J-184); donde se verifica que no se cumplió con los parámetros establecidos del rango de mantenimiento. Desde la fecha 30-05-2017 hasta 24-04-2018, los mantenimientos han sobrepasado más de los límites superior e inferior establecidos, debido al mal control de mantenimiento; teniendo como consecuencia la probabilidad de daño de los componentes internos.

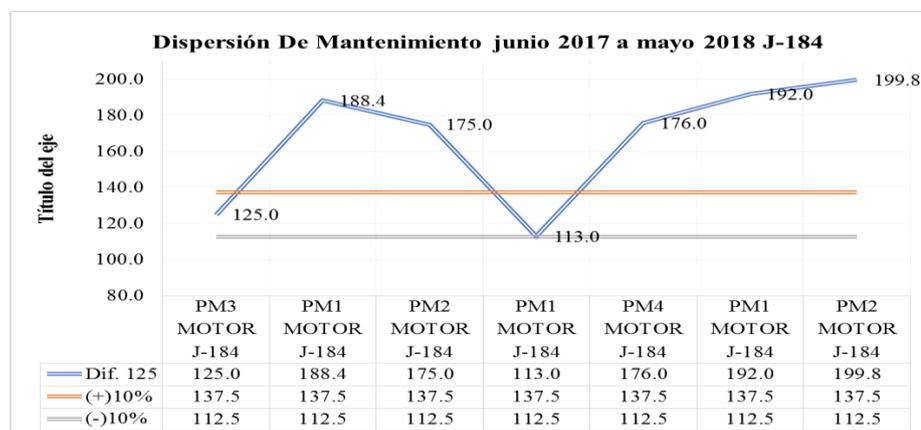
Tabla 5 Control de mantenimiento jumbo J-184 (anterior)

CODIGO	SISTEMA	TIPO DE MANTTO	FREC	HOROM. EJECUTADO	FECHA REALIZADA	DIF. 125	(+)10%	(-)10%
J-184	MOTOR	PM1	2625	2762	30/05/2017	188.4	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM2	2750	2937	15/08/2017	175.0	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM1	2875	3050	29/09/2017	113.0	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM4	3000	3226	16/12/2017	176.0	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM1	3125	3418	24/02/2018	192.0	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM2	3250	3617.8	24/04/2018	199.8	137.5	112.5

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 3, se muestran los mantenimientos realizados del jumbo con código (J-184), los mismos que fueron realizados fuera del rango establecido por la línea anaranjada (tope máximo de 137.50 h) y

por la línea ploma (tope mínimo de 112.50 h); como es el caso del mantenimiento realizado el día 24-04 2018, que superó en 62.30 h del límite superior.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3 Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-184(anterior)

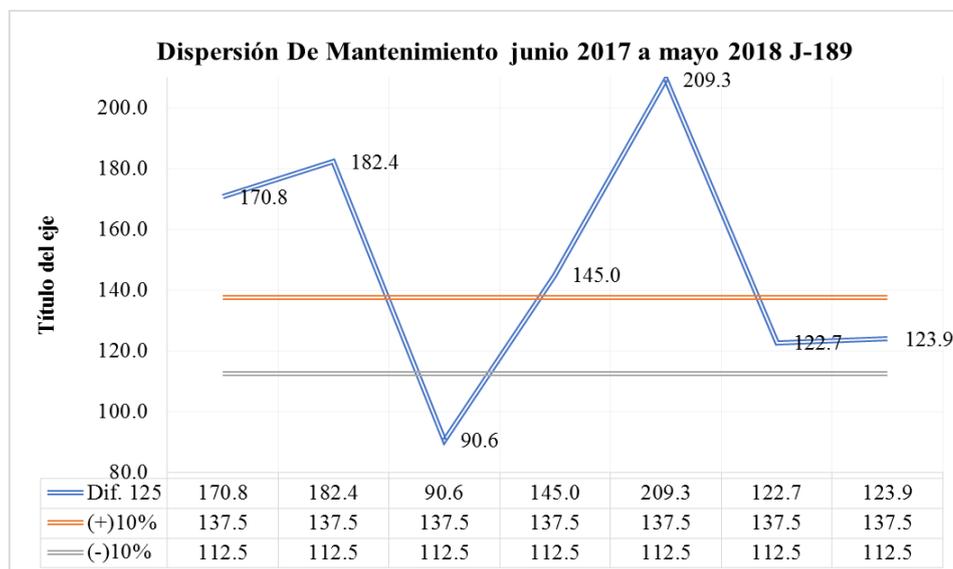
En la Tabla 6, se detalla los mantenimientos realizados del jumbo con código (J-189), donde igualmente se verifica que no se cumplió con los parámetros establecidos del rango de mantenimiento, en fecha 04-10-2017, fecha en que se realizó el mantenimiento debajo de lo establecido, en fecha 22-02-2018, se realizó por encima del rango establecido.

Tabla 6 Control de mantenimiento J-189(anterior)

CODIGO	SISTEMA	TIPO DE MANTTO	FREC	HOROM. EJECUTADO	FECHA REALIZADA	DIF. 125	(+)10%	(-)10%
J-189	MOTOR	PM1	2625	2753	24/06/2017	170.8	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM2	2750	2935.4	29/08/2017	182.4	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM1	2875	3026	4/10/2017	90.6	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM4	3000	3171	1/12/2017	145.0	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM1	3125	3380.3	22/02/2018	209.3	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM2	3250	3503	7/04/2018	122.7	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM1	3375	3626.9	21/05/2018	123.9	137.5	112.5

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 4, se muestran los mantenimientos realizados del jumbo con código (J-189), los mismos que fueron realizados fuera del rango establecido por la línea anaranjada (tope máximo de 137.50 h) y por la línea ploma (tope mínimo de 112.50 h); como es el caso del mantenimiento realizado el día 04-10 2017, que estuvo debajo del límite inferior en 21.9 h; lo cual repercute en mayores gastos por el tema de mantenimiento; por lo que fueron observados por la compañía.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-189(anterior)

El mantenimiento que se realizaba anteriormente, presentaba las siguientes deficiencias u observaciones:

Falta de un programa de mantenimiento de acuerdo al tiempo de vida útil de los componentes.

No contaban con horas designadas para la ejecución de tarea de mantenimiento por sistema.

Los talleres para realizar el mantenimiento de los equipos, estaban en condiciones inapropiadas (espacio reducido, mala organización de equipos herramientas, etc.); lo que ocasionaba una mala inspección de los trabajos desarrollados en el mantenimiento.

Falta análisis de muestra de los de sistemas más comunes

Falta de organigrama de personal

b.-Implementación y resultados del Plan de Mantenimiento propuesto

Durante la investigación se propuso la implementación de un nuevo plan de mantenimiento preventivo, con el propósito de obtener una disponibilidad mecánica acorde a lo exigido por la empresa y que a su vez anticipé la falla, con el objetivo de ampliar la vida útil de los componentes de los equipos y consecuentemente disminuir costos de reparaciones.

El principal objetivo del plan de mantenimiento, era garantizar un mejor estado de los equipos jumbos de la empresa Nexa El Porvenir, a fin de lograr alcanzar o superar la disponibilidad mecánica establecida por la compañía, en un 85 %; considerando acciones como planificar, programar, controlar y ejecutar; con la finalidad de prolongar la vida útil del equipo; para lo cual se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

- Plan de mantenimiento preventivo anual
- Plan de mantenimiento preventivo semanal
- Cartillas de mantenimiento según PM
- Tareas definidas de mantenimiento según PM
- Organigrama de personal de ejecución de mantenimiento
- Ejecutar tareas de mantenimiento según Diagrama Gantt
- Base de datos de control de mantenimiento por horas tipo de PM
- Control de dispersión de mantenimiento
- Control de mantenimiento predictivo (análisis de aceite por sistema)

Plan de mantenimiento preventivo anual

En la Tabla 7, se especifica la leyenda del mantenimiento preventivo, donde se considera la frecuencia y el tipo de mantenimiento, cada 125 h; criterios tomados en cuenta para la elaboración del Plan anual de mantenimiento y que permitió no fragmentar su ejecución por desconocimiento de las horas trabajadas.

Tabla 7. Leyenda del mantenimiento preventivo (PM)

FRECUENCIA	TIPO MANTTO	FRECUENCIA	TIPO MANTTO	FRECUENCIA	TIPO MANTTO
125	PM1	1750	PM2	3375	PM1
250	PM2	1875	PM1	3500	PM3
375	PM1	2000	PM5	3625	PM1
500	PM3	2125	PM1	3750	PM2
625	PM1	2250	PM2	3875	PM1
750	PM2	2375	PM1	4000	PM6
875	PM1	2500	PM3	4125	PM1
1000	PM4	2625	PM1	4250	PM2
1125	PM1	2750	PM2	4375	PM1
1250	PM2	2875	PM1	4500	PM3
1375	PM1	3000	PM4	4625	PM1
1500	PM3	3125	PM1	4750	PM2
1625	PM1	3250	PM2	4875	PM1

Fuente: Elaboración Propia

En base a lo antes descrito, en el Cuadro 6, se presenta el Plan anual de mantenimiento preventivo de junio 2018 a mayo 2019, elaborado para la flota de equipos jumbo de Nexa El Porvenir, considerando además los datos del último mantenimiento realizado (fecha y horómetros), el tipo de PM, promedio de horas de trabajo por 30 días efectivas de cada equipo para promediar las horas de trabajo y así contar con una data confiable, frecuencia de mantenimiento según la recomendación del fabricante cada 125 horas de trabajo.

Con el Plan de mantenimiento aplicado, se logró que los componentes mayores o más importantes, estén disponibles en almacén en tiempos justos para realizar el mantenimiento y, gracias a ello se consiguió una mayor disponibilidad mecánica, en un 9.08 % respecto a los años anteriores, donde no se contaba con el citado plan.

Plan de mantenimiento preventivo semanal

Seguidamente, en el Cuadro 7, se muestra el Plan de Mantenimiento semanal, donde se consideró el tipo de mantenimiento preventivo, tiempo de duración, cantidad de personal técnico; la barra azul establece el día programado. Dicho plan, se presenta a la empresa los días martes de cada semana, con la finalidad de que sea aprobado y con ello poder contar un día antes del mantenimiento, con los materiales y repuestos necesarios.

Cuadro 7 Plan de Mantenimiento semanal

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMANAL - (SEMANA 20)														
DEL 16.05.2019 AL 22.05.2019														
			J	V	S	D	L	M	M					
ITEM	SEM	EQUIPO	16	17	18	19	20	21	22	CODIGO	TIPO DE PM	DUR (HRS)	CANT. TEC	TOTAL HH
1	20	JUMBO								J-189	PM3-4125 Hrs - Mantenimiento Motor	17.33	4	69.32

Fuente. Elaboración propia

Cartillas de mantenimiento según PM

Durante la investigación, se implementaron cartillas de mantenimiento según las horas de trabajo de cada uno de los componentes. En la Tabla 8, se puede observar, el listado de los componentes a ser cambiados por el tipo de mantenimiento, en

función al tiempo de la vida útil de cada uno de ellos, lo que nos ha permitido lograr tener menos horas paradas, por la falta de algún componente durante la ejecución del mantenimiento.

Tabla 8 Cartillas de mantenimiento

MATERIALES PARA TIPO DE MANTENIMIENTO MOTOR- PERCUSION							
ITEM	FLOTA	TIPO DE MANTTO	FREC	MATERIAL	N/P	QTY	
1	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM1	125	PLATE, GASKET	15274818	1	
2	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM1	125	GUIDE RING, PISTON ROD	55066836	2	
3	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM1	125	SEAL, U	87218939	5	
4	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM1	125	DIAPHRAM	9260298	2	
33	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM2	250	PLATE, GASKET	15274818	1	
34	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM2	250	GUIDE RING, PISTON ROD	55066836	2	
35	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM2	250	SEAL, U	87218939	5	
42	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM2	250	WASHER, LOCK, DOUBLE	85128339	1	
73	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM3	500	PLATE, GASKET	15274818	1	
119	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM3	500	CENTRALIZER, FRONT	32532298	1	
123	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM3	500	WASHER, LOCK, DOUBLE	85128209	16	
124	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM3	500	BUSHING	55156370	1	
125	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM3	500	BEARING, BALL, DEEP GROOV	51105310	1	
301	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM4	1000	FLUSHING VALVE ASSEMBLY	55200659	1	
302	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM4	1000	FLUSHING VALVE ASSEMBLY	55201188	1	
303	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM4	1000	FAN	89726009	1	
304	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM4	1000	VALVE, DIRECTIONAL	89538029	1	
307	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM4	1000	ELBOW	55155038	1	
461	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM5	2000	CONCTACTOR	85544399	1	
462	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM5	2000	CONCTACTOR	85544399	1	
744	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM6	4000	VALVE, PRESSURE REDUCING	88110609	1	
747	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM6	4000	VALVE, PRESSURE RELIEF	88177889	1	
748	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM6	4000	VALVE, PRESSURE RELIEF	88558469	2	
752	Jumbo's	Manto. Perc/Elect. PM6	4000	FRAME	26337508	2	

Fuente: Elaboración propia

Tareas definidas de mantenimiento según PM

A través de la hoja de trabajo Tareas de Mantenimiento, mostrado en el Cuadro 8, se implementaron las tareas específicas de mantenimiento que se tenían que realizar; según la frecuencia desde un PM1 y hasta un PM6, estableciéndose claramente el tiempo en que se va a realizar el mantenimiento por sistema y por cada tipo de PM, cuanto personal se va a necesitar; con ello se obtuvo incrementar las

horas operativas de los equipos y consecuentemente incrementar nuestra disponibilidad mecánica.

Cuadro 8 Tareas de mantenimiento

TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO													
DATOS DE LA MAQUINA													
N° ORDEN DE TRABAJO			FECHA	H Diesel:	TIEMPOS			TIPO DE MANTENIMIENTO PREV					
COD. EQUIPO			FLOTA	H Electrico:	Dias	0.7		PM1	PM2	PM3	PM4	PM5	PM6
MODELO			MARCA	H compresor:	Horas	17.33		FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO					
ITEM	CHECK	CHECK	DESCRIPCION DE LA TAREA		N° P	Hrs.	H.H.	125	250	500	1000	2000	4000
GENERAL													
1	()	()	Lavado del equipo		4	4	16	x	x	x	x	x	x
2	()	()	Posicionamiento del equipo		2	0.17	0.34	x	x	x	x	x	x
SISTEMA MOTOR													
						4.58							
6	()	()	Drenaje y muestreo de aceite motor		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
7	()	()	Cambiar filtros de aceite de motor		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
8	()	()	Cambiar aceite de motor		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
9	()	()	Cambiar filtros de combustible		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
10	()	()	Cambiar filtro separador de agua/combustible		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
SISTEMA TRANSMISIÓN													
						40.35	0						
47	()	()	Drenado y muestreo del aceite		1	0.5	0.5			x	x	x	x
48	()	()	Cambiar el filtro de transmisión		1	0.5	0.5			x	x	x	x
49	()	()	Cambiar el aceite		1	0.17	0.17	x		x	x	x	x
SISTEMA HIDRÁULICO													
						44.39							
66	()	()	Drenado y muestreo del aceite		2	3	6				x		
67	()	()	Verificar nivel de aceite		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
68	()	()	Realizar limpieza del tanque hidráulico		2	3	6				x	x	x
69	()	()	Cambiar filtros respiraderos de tanque		1	0.5	0.5			x	x	x	x
SISTEMA DE FRENOS													
						27.65							
81	()	()	Realizar la prueba de los frenos		2	0.08	0.16	x	x	x	x	x	x
82	()	()	Verificar la precarga de los acumuladores y su funcionamiento		2	0.08	0.16	x	x	x	x	x	x
83	()	()	Cambio de diafragmas o acumuladores		2	0.5	1					x	x
84	()	()	Evaluar y regular frenos de Parqueo (presiones, etc)		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
SISTEMA ELÉCTRICO													
						3.49							
92	()	()	Compruebe los sensores e indicadores de temperatura		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
93	()	()	Revisar el tablero D.C. 24v (reles, chapa de contacto, fusibles, etc.)		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
94	()	()	Revisar funcionamiento de luces (FAROS)		2	0.08	0.16	x	x	x	x	x	x
95	()	()	Revisar sistema de proteccion de rotura de fajas de motor		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
96	()	()	Revisar los dispositivos de protección del motor (sensor, arnes, etc)		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
97	()	()	BATERIAS: Revisar bornes, cables		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
SISTEMA ESTRUCTURA													
						8.05							
115	()	()	Verificar existencia de fisuras y/o abolladuras.		2	0.08	0.16	x	x	x	x	x	x
125	()	()	Verificar estado de parabrisas y juntas de sujeción		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD													
						45.48							
126	()	()	Verificar estado de sistemas de bloqueo mecanico (trabas, tacos, con		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
139	()	()	Verificar estado de Palanca / Switch Master DC - AC		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
LUBRICACIÓN													
						1.54							
140	()	()	Verificar el estado de las bombas automaticas		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x
141	()	()	Cambio de bombas automaticas		1	0.08	0.08	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración Propia

Organigrama de personal de ejecución de mantenimiento

Para el proceso de mantenimiento se replanteó el organigrama de Sandvik – Área de mantenimiento, como se muestra en el Cuadro 9, donde se detalla el personal (equipo de trabajo), con el cual se ejecutó el mantenimiento correspondiente, evidenciándose el nivel de conocimiento de cada técnico especialista de un sistema, para poder ser designado ante cualquier eventualidad y solucionar los problemas de falla de los equipos.

Cuadro 9 Organigrama de personal

ORGANIGRAMA SANDVIK-MILPO											
RESIDENT											
CHAMORRO CASTILLO, Wilfredo			RESIDENTE								
ASSISTANT RESIDENT				EHS							
ZORRILLA ÑAVINCOPA, Yonathan		ASIST. RESIDENTE		MACASSI PALOMARES, Jesus		JEFE SEGURIDAD					
MANAGEMENT				DAVILA PEREZ, Jordi		INSP. SEGURIDAD "C"					
GRADOS ESPINOZA, Belinda		ADMINISTRACION		RUIZ CHUQUILLANQUI, Iban Saul		INSP. SEGURIDAD "A"					
PLANNING				HURTADO ESPINOZA TED		INSP. SEGURIDAD "B"					
GRIJALVA ATENCIO Jerson		PLANNER									
VILCHEZ HINOSTROZA, Rusbelth		PLANNER									
CHIEF GUARD (A)				CHIEF GUARD (B)				CHIEF GUARD (REPLACEMENT) C			
RAMOS SIMEON, Josep		SUPERVISOR (S3)		TEJADA PRADO, Juan		SUPERVISOR S2		SANTOS ÑAUPA, Fernando		SUPERVISOR (S2)	
USURIAGA PALACIOS ROLANDO	ELEC	E1		GANTO ROBLES , Jaime	ELEC	E1		SALAZAR SALSAVILCA, Juan	ELEC	E1	
CAMAYO MUNGUIA, Jose	ELEC	E3		SOLANO TOLENTINO, Jesus Jeremias	ELEC	E3		CANCHANYA VILA , Cristhiam Benjamin	ELEC	E2	
CARHUARICRA HINOSTROZA , Wilder	ELEC	E2		POMA CALDERON Eduardo	ELEC	E3		LEON MARCELO, Jesús	ELEC	E2	
CARDENAS MANDUJANO, Joel Paul	ELEC.	E2		HUANAY LORENZO, Rafael Luis	ELEC	E3		HUALPA ALEJANDRO, Ruben Dario	ELEC	E2	
BARTOLO ROJAS, Cesar	ELEC.	E2		MARCAS SANCHEZ, Renzo	MEC.	M2		CONDORI VELASQUEZ, Aurelio	MEC.	M1	
PANEZ LUCIANO JUAN	ELEC.	E2		ATENCIO CORREA, Ruben	MEC.	M2		CABRERA VELASQUEZ, Alfredo	MEC.	M1	
CONDOR MALPARTIDA, César	MEC.	M1		GABRIEL RAMOS, Víctor	MEC.	M2		QUISPE CORDOBA, Ivan	MEC.	M1	
ANDIA SANCHEZ, Jorge Antonio	MEC.	M1		ESTRADA BLAS ,Eli	MEC.	M2		QUIÑONEZ RAMOS, Ivan	MEC.	M2	
BALBUENA ROMERO, Jhosider	MEC.	M2		CARO DE LA CRUZ, Jhon	MEC.	M2		ALZAMORA ERQUINIO, Alexandro	MEC.	M2	
PORLLES VICTORIO, Omar Milton	MEC.	M2		CAJAHUAMAN VENRURA, Rosmel	MEC.	M2		FLORES ZAMUDIO, Iko	MEC.	M2	
BALDEON BERNABE, Guillermo	MEC.	M2		ROSALES CAMARENA, Nilton	MEC.	M2		MILLAN TORRES, Edwin Jhon	MEC.	M2	
LAPA SERVA, Juan José	MEC.	M2		JARA RUPAY, Daniel Roberto	MEC.	M2		PARIONA MUCHA, William	MEC.	M3	
AQUINO CONDOR, Israel	MEC.	M2		VILLEGAS ANCO, Angel Felix	MEC.	M2		HUAYTAN FAUSTINO, Alfredo	MEC.	M2	
RIVERA VICENTE, David	MEC.	M2		CARO DE LA CRUZ, Jhon	MEC.	M2		PORTAL MELENDREZ, Octavio	MEC.	M3	
MORALES ALVAEZ, Richard	MEC.	M3		GUZMAN TORIBIO, Italo Constantino	MEC.	M3		LAZO SUCASAIRE, Jonathan	MEC.	M3	
15			15			15					

Fuente: Administración Sandvik del Perú

Ejecutar tareas de mantenimiento según Diagrama de Gantt

A continuación, en el Cuadro 10, se implementó el diagrama de Gantt, mostrado en el considerando las tareas por sistema y duración de horas según lo descrito en el Cuadro 8, asimismo, con la propuesta el personal puede realizar trabajos en paralelo, reduciendo las horas de parada y aumentando las horas operativas. Como ejemplo en el Cuadro 10, se señala que el mantenimiento se debe realizar en 17h33', pero contando con el personal capacitado en los sistemas y realizando trabajos en paralelo, el tiempo del mantenimiento se reduce en 10 horas, lo cual significa un tiempo de 7h33' de parada.

Cuadro 10 Diagrama de Gantt

PLAN DE MANTENIMIENTO 125 HORAS													
SISTEMA	DURACION HORAS	INICIO HORAS	FINAL HORAS	HORAS									
				7:00:00	8:00:00	9:00:00	10:00:00	11:00:00	12:00:00	13:00:00	14:00:00	15:00:00	16:00:00
GENERAL	4.58	7:00:00	10:00:00	■	■	■	■						
SISTEMA MOTOR	2.02	10:00:00	12:00:00					■	■				
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	0.56	12:00:00	13:00:00							■			
SISTEMA HIDRÁULICO	6.4	10:00:00	16:00:00					■	■	■	■	■	■
SISTEMA FRENOS	0.49	14:00:00	15:00:00									■	
SISTEMA ELÉCTRICO	0.88	10:00:00	11:00:00					■					
SISTEMA ESTRUCTURA	0.48	10:00:00	11:00:00					■					
IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	1.04	13:00:00	14:00:00								■		
LUBRICACIÓN	0.88	15:00:00	16:00:00										■
TOTAL HORAS	17.33												

Fuente: Elaboración Propia

Base de datos de control de mantenimiento por horas tipo de PM

Se implementó una base de datos de control de mantenimiento como se detalla en la Tabla 9, donde se muestran los últimos mantenimientos y el próximo a realizar, para poder programar según el tipo de PM; gracias a ello se logró llevar un buen control de los mismos, para que nuestra dispersión esté dentro del rango establecido por la compañía Nexa El Porvenir y de esa manera coadyuvar con el logro de los objetivos que fue de mejorar los tiempos de parada y aumentar el tiempo operativo.

Tabla 9 Base de control de mantenimiento según PM

DATOS			ULTIMO MANTTO			PROX. MANTTO			LECTURA DE HOROMETRO Y FECHA ACTUAL		HRS FALTANTES	HOR. TRAB. POR DIA	DIFER. HORAS/DIA
IT	TIPO HR	CODIGO EQUIPO	FRECUENCIA	HOROMETRO	FECHA	TIPO DE PM	PROXIMO PM	SERVICIO (H)	A	B	X	Y	DIAS
1	HD	J-183D	3625	3552.4	4/08/2019	PM2	3677.4	3750	3587.2	2/10/2019	90.2	0.00	0
	HE	J-183C	3625	8871.0	4/08/2019	PM2	8996	3750	8946.1	2/10/2019	49.9	0.00	0
	HP1	J-183P	6750	6790.9	4/08/2019	PM1	6915.9	6875	6853.0	2/10/2019	62.9	0.00	0
2	HD	J-184D	4375	4717.2	12/07/2019	PM3	4842.2	4500	4745.2	2/10/2019	97.0	2.00	49
	HE	J-184C	12250	12479.4	10/08/2019	PM1	12604.4	12375	12536.4	2/10/2019	68.0	3.00	23
	HP1	J-184P1	7750	7742.1	10/08/2019	PM1	7867.1	7875	7790.1	2/10/2019	77.0	1.00	77
	HP2	J-184P2	7750	7748.6	10/08/2019	PM1	7873.6	7875	7795.6	2/10/2019	78.0	4.00	20
3	HD	J-189D	4750	4740.4	26/09/2019	PM1	4865.4	4875	4742.4	2/10/2019	123.0	3.00	41
	HE	J-189C	9125	9581.3	26/09/2019	PM2	9706.3	9250	9588.3	2/10/2019	118.0	7.00	17
	HP1	J-189P1	5250	5494.7	26/09/2019	PM1	5619.7	5375	5497.7	2/10/2019	122.0	3.00	41
	HP2	J-189P2	5250	5483.3	26/09/2019	PM1	5608.3	5375	5486.3	2/10/2019	122.0	2.00	61

Fuente: Elaboración Propia

Control de dispersión de mantenimiento

Después de la implementación de la base de datos del programa de mantenimiento, se tuvo resultados positivos, los mismos que se dan a conocer en las siguientes tablas. Se logró que la dispersión de las horas de mantenimiento realizados, estén dentro de los parámetros establecidos por el fabricante de los jumbos, nos indica que el mantenimiento se debe realizar cada 125 horas de trabajo con un rango de -10% y/o + 10 %, como se puede apreciar en los siguientes gráficos.

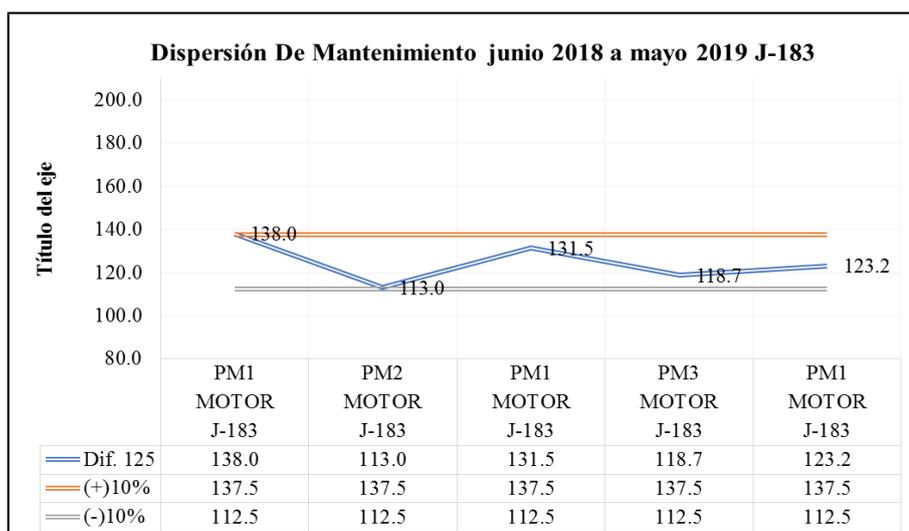
En la Tabla 10 se detallan los mantenimientos ejecutados desde junio 2018 a mayo del 2019, donde se especifica que el mantenimiento del equipo jumbo, con código J-183 está dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 10 Control de mantenimiento J-183 (posterior)

CODIGO	SISTEMA	TIPO DE MANTTO	FREC	HOROM. EJECUTADO	FECHA REALIZADA	DIF. 125	(+)10%	(-)10%
J-183	MOTOR	PM1	3125	3131	31/05/2018	138.0	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM2	3250	3244	11/07/2018	113.0	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM1	3375	3375.5	16/11/2018	131.5	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM3	3500	3494.2	1/03/2019	118.7	137.5	112.5
J-183	MOTOR	PM1	3625	3617.4	4/08/2019	123.2	137.5	112.5

Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico 5, la línea anaranjada nos indica el valor máximo de horas que no debe sobrepasar cualquier mantenimiento a ejecutarse en el citado equipo, siendo éste de 137.5 horas, la línea ploma nos indica el valor mínimo que es 112.5 horas, rango donde se puede ejecutar el mantenimiento, siendo aprobado por la Compañía.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 5 Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-183(posterior)

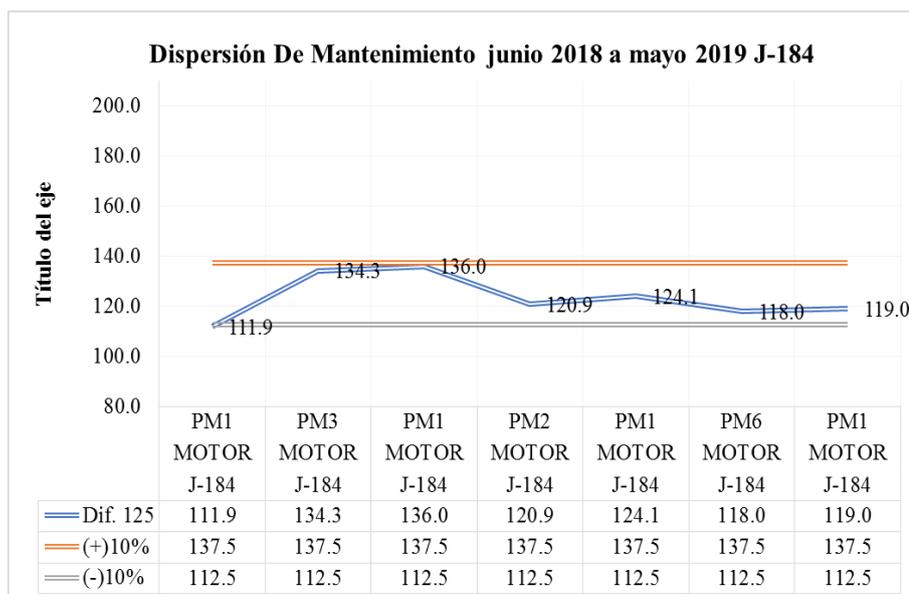
En la Tabla 11 se detalla los mantenimientos ejecutados desde junio 2018 a mayo del 2019, donde se especifica que el mantenimiento del equipo jumbo, con código J-184 está dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 11 Control de mantenimiento J-184(Posterior)

CODIGO	SISTEMA	TIPO DE MANTTO	FREC	HOROM. EJECUTADO	FECHA REALIZADA	DIF. 125	(+)10%	(-)10%
J-184	MOTOR	PM1	3375	3729.7	5/06/2018	111.9	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM3	3500	3864	31/07/2018	134.3	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM1	3625	4000	29/09/2018	136.0	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM2	3750	4120.9	23/11/2018	120.9	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM1	3875	4245	22/01/2019	124.1	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM6	4000	4363	9/04/2019	118.0	137.5	112.5
J-184	MOTOR	PM1	4125	4482	31/05/2019	119.0	137.5	112.5

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 6, la línea anaranjada nos indica el valor máximo de horas que no debe sobrepasar, cualquier mantenimiento a ejecutarse en el citado equipo, siendo éste de 137.5 horas, la línea ploma nos indica el valor mínimo que es 112.5 horas, rango donde se puede ejecutar el mantenimiento



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6 Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-184(posterior)

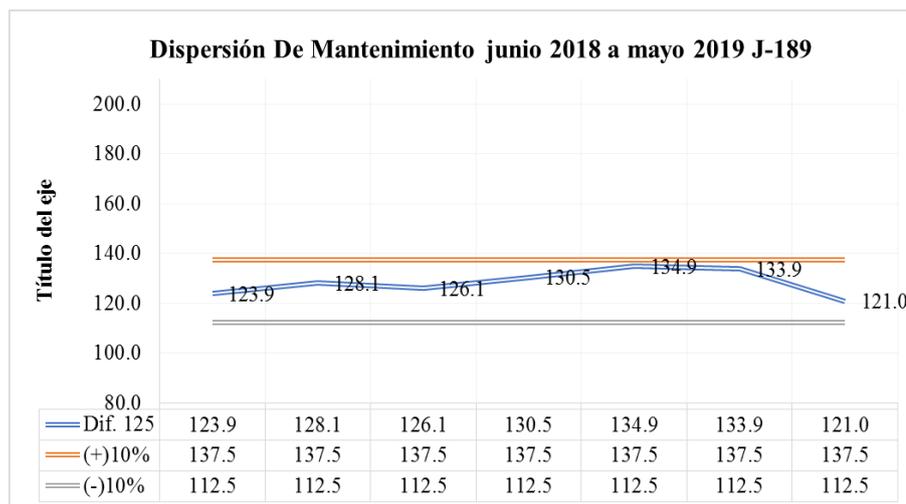
En la Tabla 12, se detalla los mantenimientos ejecutados desde junio 2018 a mayo del 2019, donde se especifica que el mantenimiento del equipo jumbo, con código J-189 está dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 12 Control de mantenimiento J-189 (posterior)

CODIGO	SISTEMA	TIPO DE MANTTO	FREC	HOROM. EJECUTADO	FECHA REALIZADA	DIF. 125	(+)10%	(-)10%
J-189	MOTOR	PM1	3375	3626.9	21/05/2018	123.9	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM3	3500	3755	27/07/2018	128.1	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM1	3625	3881.1	21/09/2018	126.1	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM2	3750	4011.6	7/12/2018	130.5	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM1	3875	4146.5	18/02/2019	134.9	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM1	4375	4280.4	6/04/2019	133.9	137.5	112.5
J-189	MOTOR	PM3	4500	4401.4	28/05/2019	121.0	137.5	112.5

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 7, la línea anaranjada nos indica el valor máximo de horas que no debe sobrepasar, cualquier mantenimiento a ejecutarse en el citado equipo, siendo éste de 137.5 horas, la línea ploma nos indica el valor mínimo que es 112.5 horas, rango donde se puede ejecutar el mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7 Dashboard de cumplimiento de mantenimiento J-189

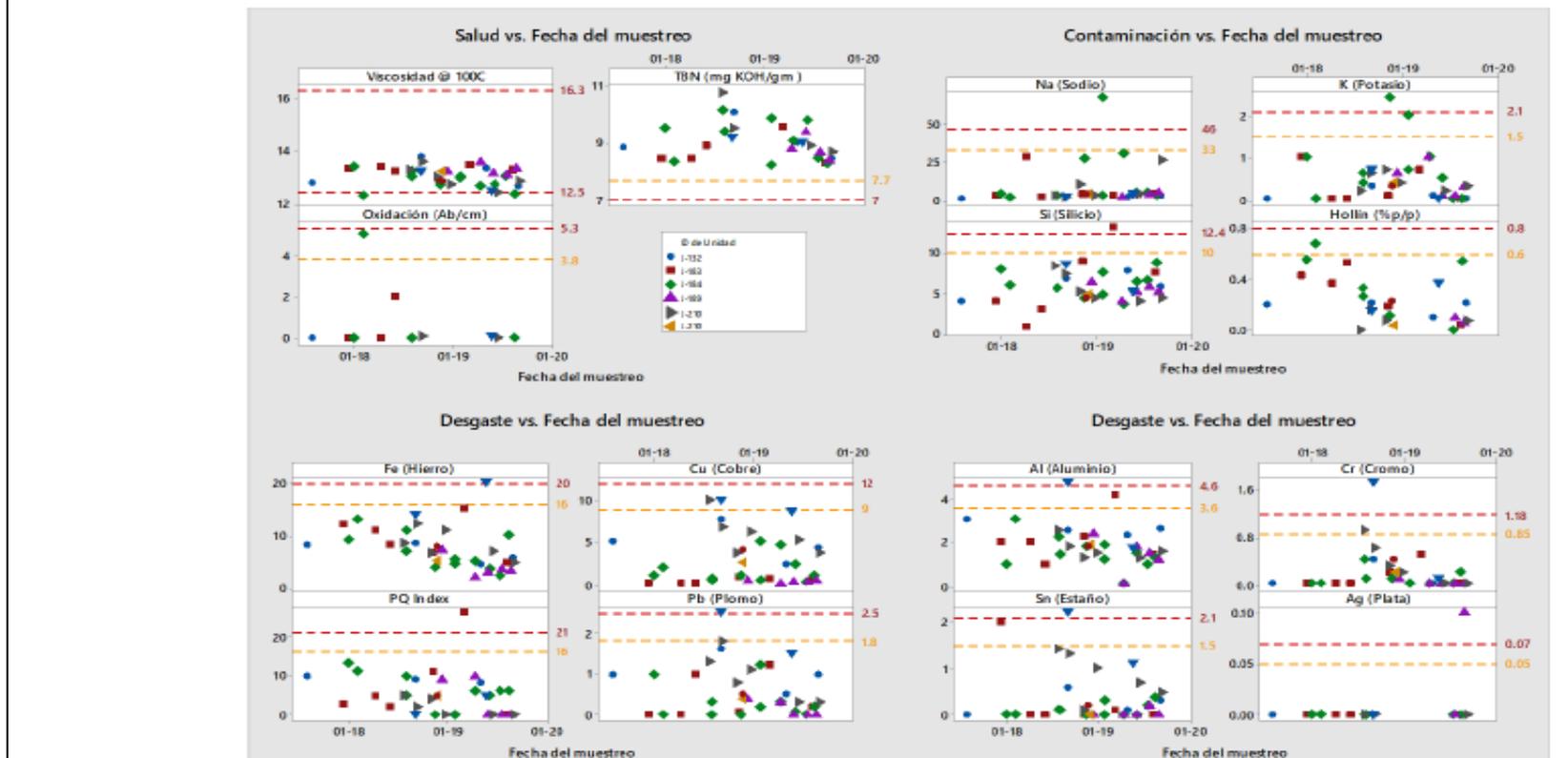
Control de mantenimiento predictivo (análisis de aceite por sistema)

Una vez implementado el Plan de Mantenimiento predictivo, se propuso realizar un control predictivo a través de los análisis de aceite de los componentes o sistemas como motor, diferenciales, mandos finales, sistema transmisión, sistema hidráulico, compresor, puesto que la observación visual no nos permite determinar el comportamiento del desgaste real de los componentes y anticiparnos ante cualquier falla y no poder cumplir con los objetivos empresariales.

En las Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11, se evidencian los resultados de los análisis de las muestras de aceite del sistema de motor Diesel, sistema diferencial, sistema de transmisión, sistema hidráulico y sistema compresor, respectivamente; de la flota de jumbo; verificándose que todos los valores hallados se encuentran en los rangos permitidos y validados en el laboratorio de la Empresa Mobil.

Monitoreo por Condición

Jumbos Sandvik - Componente: Motor (Mobil Delvac MX ESP 15W-40)

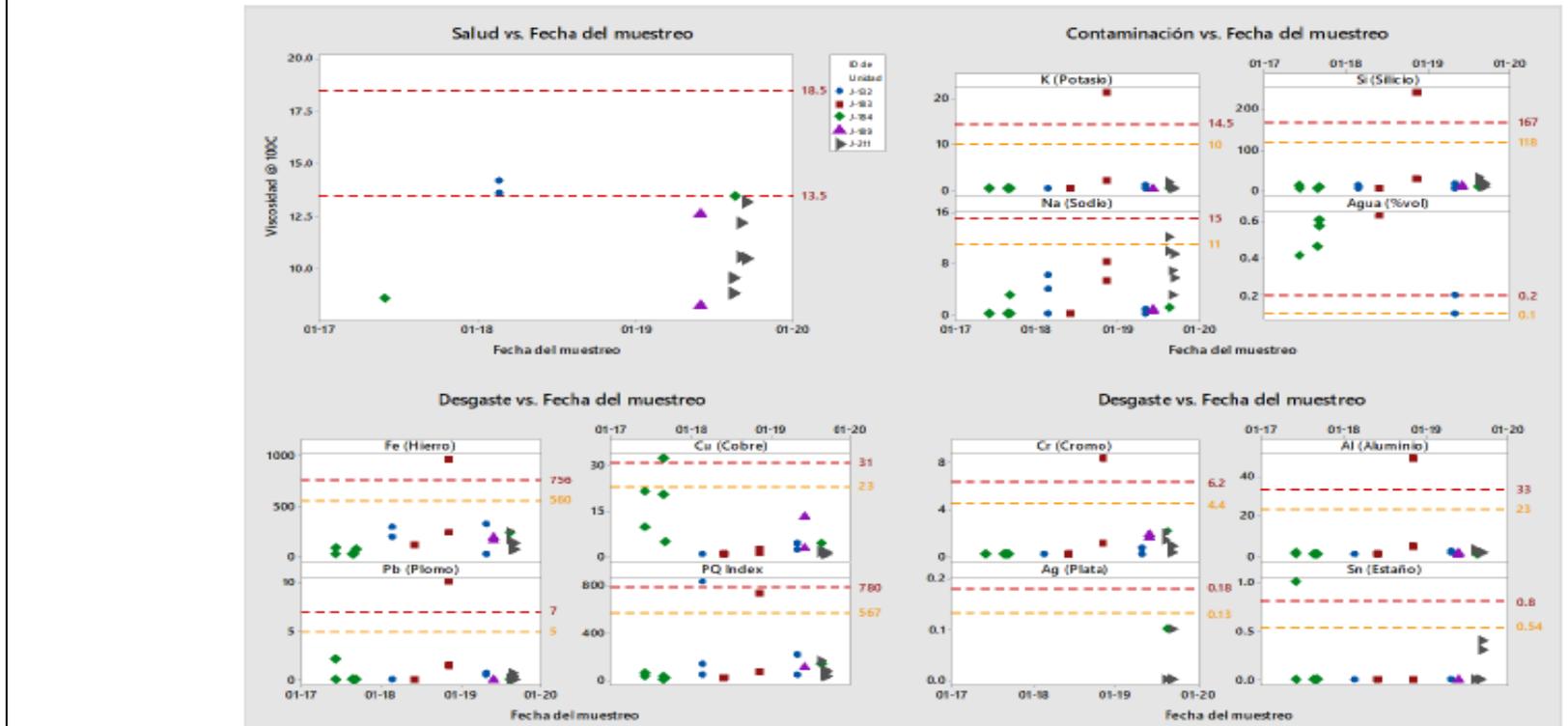


Fuente: Mobil

Figura 7. Análisis de muestreo sistema motor diésel

Monitoreo por Condición

Jumbos Sandvik - Componente: Diferenciales (Mobilube HD 80W-90)

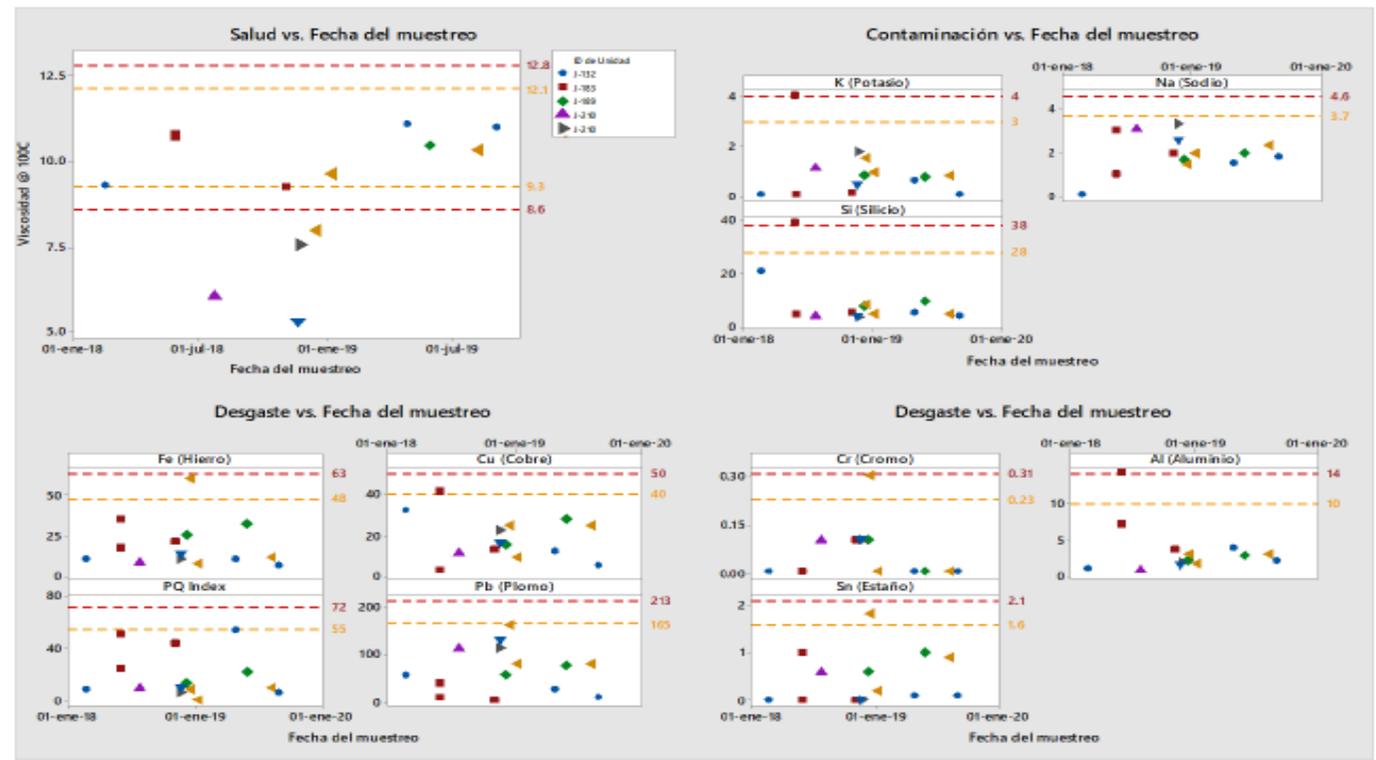


Fuente: Empresa Mobil

Figura 8 Análisis de muestreo sistema diferencial

Monitoreo por Condición

Jumbos Sandvik - Componente: Transmisión (Mobiltrans HD 30)



Fuente: Mobil

Figura 9 Análisis de muestreo sistema transmisión

Monitoreo por Condición

Jumbos Sandvik - Componente: Sist. Hidráulico (Mobil Nuto H 46)

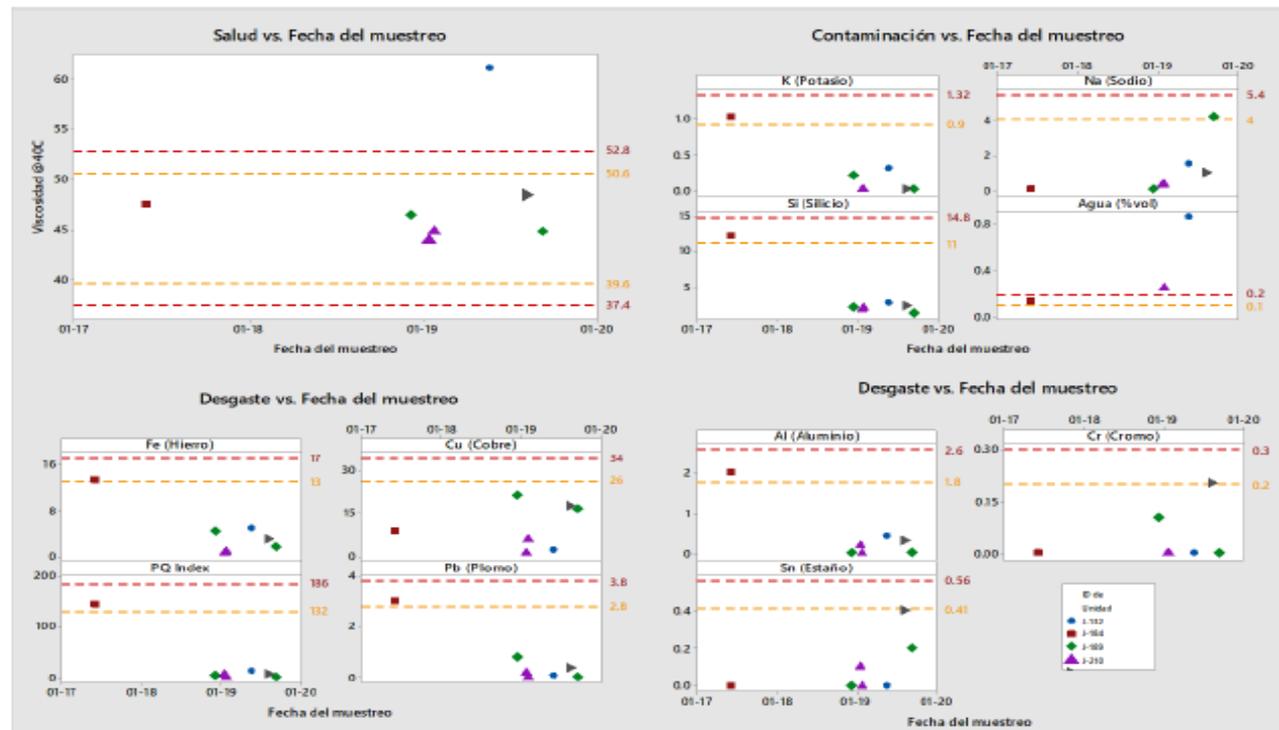
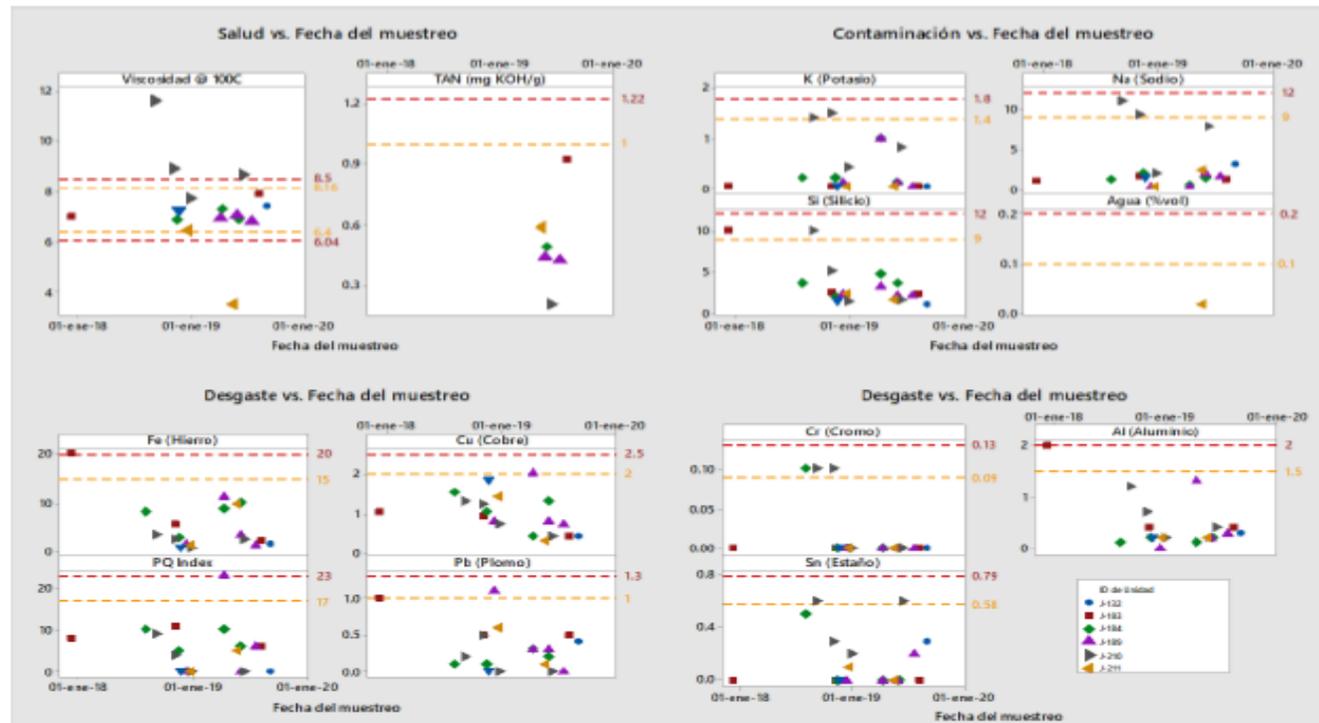


Figura 10 Análisis de muestreo sistema hidráulico

Fuente: Mobil

Monitoreo por Condición

Jumbos Sandvik - Componente: Compresor (Mobil SHC Rarus 46)



Fuente: Mobil

Figura 11 Análisis de muestreo sistema compresor

3.2.2 Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la Flota Jumbo en la Empresa Nexa El Porvenir

a.- Antes de aplicar mantenimiento centrado en confiabilidad

La empresa Nexa El Porvenir no contaba con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad

b.- Aplicación del Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad

Para la aplicación del Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad, se han seguido las siguientes fases necesarias y a la vez que son consecutivas:

- Datos de equipos de ser analizados.
- Funciones y sus especificaciones. del jumbo
- Identificación de fallas funcionales y técnicas.
- Identificación de modos de falla.
- Análisis del modo y efectos de fallas
- Replanteamiento de fallas correctivas.

Datos generales del Jumbo

En la Tabla 13 se muestran los equipos que serán aplicados el Mantenimiento centrado en Confiabilidad.

Tabla 13 Listado y codificación de Jumbos

IT	C H A S I S					M O T O R	
	CODIGO	MARCA	MODELO	No SERIE	AÑO	MARCA-	MODELO
1	J-183	SANDVIK	DD421-60C	113D28664-1	2013	MERCEDES BENZ	KW :MB 904LA/1100
2	J-184	SANDVIK	DD421-60C	113D27138-1	2013	MERCEDES BENZ	OM906LA
3	J-189	SANDVIK	DD421-60C	113022785-1	2013	MERCEDES BENZ	MB 906LA/110

Fuente: Elaboración Propia

Funciones y especificaciones técnicas del Jumbo.

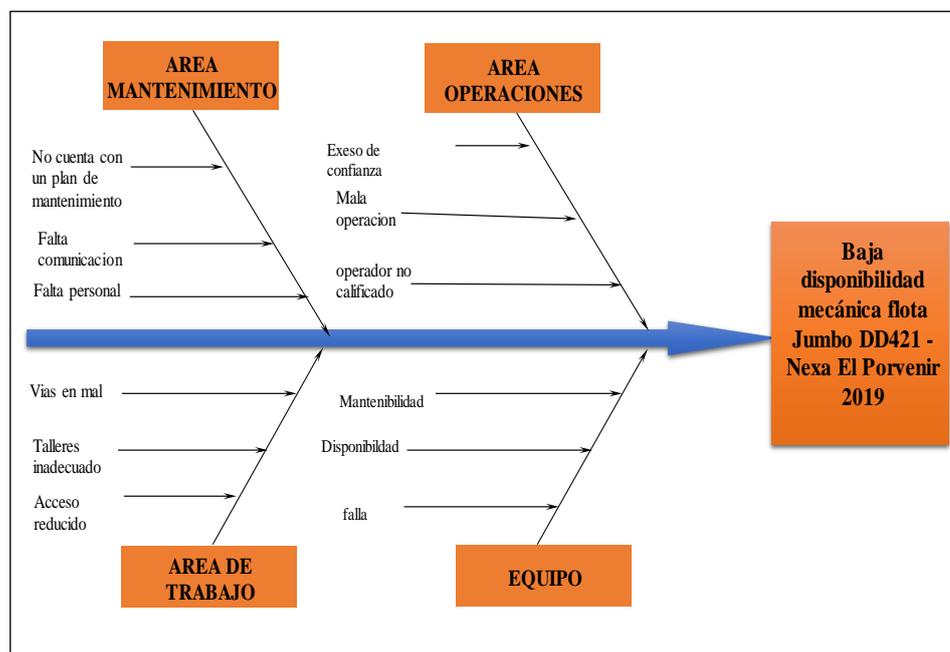
- Una de sus funciones, es realizar agujeros de 16 pies de longitud con la finalidad de realizar carguío de los agujeros realizados
- Realiza trabajos de secciones 4x4,5x5,
- Realiza agujeros para frentes ciegos, esto se realiza para avanzar hasta encontrar el mineral dentro de las secciones

Identificación de fallas funcionales y técnicas

- Direccionamiento de equipo de trabajo con deficiencia por parte del supervisor de campo.
- Falta de conocimiento del jumbo por parte del operador.
- Problemas de identificación de componente críticos.
- Falta Programa de mantenimiento mensual semanal.
- Deficiencia en analizar los resultados de muestras de aceite
- Deficiencia en validar la vida útil de los componentes según condiciones de la minería.

Análisis de modos de fallas y efectos

Este diagrama permite verificar las causas (modos de falla) que podrían derivar de una falla funcional (efecto) de un sistema completo, ya que el equipo puede fallar por varias circunstancias. En la Figura 12, se detallan las causas de la baja disponibilidad mecánica de junio del 2017 a mayo 2018



Fuente Elabora propia

Figura 12 Diagrama causa efecto

Estudio de consecuencias de cuadros de criticidad (AMFE)

Para poder lograr un buen control en el mantenimiento se elaboró cuadros de AMFE de fallas, lográndose identificar por medio del historial de los equipos, cuáles eran los elementos que tienen mayor número de fallas o cuáles son los componentes más críticos en el equipo y posterior a ello se procedió a elegir cambios que son los AMFE de corrección.

Determinar el grado de severidad: Para estimar el grado de severidad, se debe de tomar en cuenta el efecto de la falla en el cliente, como se determina en el Cuadro 11, donde se utiliza una escala del 1 al 10: el “1” indica una consecuencia sin efecto. El 10 indica una consecuencia grave.

Cuadro 11 Grado de severidad

EFEECTO	RANGO	CRITERIO
No	1	Sin efecto
Muy poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Moderado	5	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	El cliente se siente algo inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo. Falla parcial, pero operable.
Mayor	7	El cliente está insatisfecho. El desempeño del artículo se ve seriamente afectado, pero es funcional y está a salvo. Sistema afectado.
Extremo	8	El cliente muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema inoperable
Serio	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada - falla repentina. Incumplimiento reglamento del gobierno.

Fuente: www.icim.com

Determinar el grado de ocurrencia: Es necesario estimar el grado de ocurrencia de la causa de la falla potencial. Como se determina en el Cuadro 12. Se utiliza una escala de evaluación del 1 al 10. El “1” indica remota probabilidad de ocurrencia, el “10” indica muy alta probabilidad de ocurrencia

Cuadro 12 Grado de ocurrencia

OCURRENCIA	RANGO	CRITERIOS	PROBABILIDAD DE FALLA
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	<1 en 1,500,000
Muy Poca	2	Sólo fallas aisladas asociadas con este proceso o con un proceso casi idéntico.	1 en 150,000
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 30,000
Moderada	4	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales	1 en 4,500
	5		1 en 800
	6		1 en 150
Alta	7	Este proceso o uno similar han fallado a menudo.	1 en 50
	8		1 en 15
Muy Alta	9	La falla es casi inevitable	1 en 6
	10		>1 en 3

Fuente: www.icicm.com

Determinar el grado de detección: Se estimará la probabilidad de que el modo de falla potencial sea detectado antes de que llegue al cliente. Como se determina en el Cuadro 13, el ‘1’ indicará alta probabilidad de que la falla se pueda detectar y el ‘10’ que es improbable que pueda ser detectada.

Cuadro 13 Grado de detección

PROBABILIDAD	RANGO	CRITERIO	PROBABILIDAD DE DETECCION DE LA FALLA
Alta	1	El defecto es una característica funcionalmente obvia	99.99%
Medianamente alta	2 a 5	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.	99.70%
Baja	6 a 8	El defecto es una característica fácilmente identificable.	98%
Muy Baja	9	No es fácil detecta la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto es una característica oculta o intermitente	90%
Improbable	10	La característica no se puede checar fácilmente en el proceso. Ej: Aquellas características relacionadas con la durabilidad del producto.	Menor a 90%

Fuente: www.icicm.com

Calcular el número de prioridad de riesgo (NPR): Es un valor que establece una jerarquización de los problemas a través de la multiplicación del grado de ocurrencia, severidad y detección, éste provee la prioridad con la que debe de atacarse cada modo de falla, identificando ítems críticos.

$NPR = \text{Grado de Ocurrencia} * \text{Severidad} * \text{Detección}.$

Prioridad de NPR:

500 – 1000 Alto riesgo de falla

125 – 499 Riesgo de falla medio

1 – 124 Riesgo de falla bajo

0 No existe riesgo de falla

Se deben atacar los problemas con NPR alto, así como aquellos que tengan un alto grado de ocurrencia no importando si el NPR es alto o bajo.

Para el cálculo de la prioridad de riesgo, se aplica la siguiente fórmula:

$$NPR = \text{Grado de Ocurrencia} * \text{Severidad} * \text{Detección}$$

Como ejemplo, determinamos que el punto más crítico del subsistema brazo, presenta los siguientes valores:

Grado de ocurrencia	:	7
Severidad	:	8
Detección	:	6

Reemplazando los valores en la fórmula:

$$NPR = 7 * 8 * 6$$

$$NPR = 336$$

El valor del NPR de 336, significa que el riesgo de falla es MEDIO, cálculo que se puede apreciar en el Cuadro 14.

Cuadro 14 Ejemplo de cálculo de detección de prioridad de riesgo

ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTOS DE LA FALLA										
SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION DE LA PARTE	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	SITUACION ACTUAL				NPR = S*O*D
						Acciones actuales	ocurrencia	severidad	Detección	
Estructura	brazo	Posicionamiento de actuadores	Desgaste de pines y bocinas	Falta de lubricacion	No se cuenta con zona de engrase	Se solicita facilitar zona de engrase	5	7	7	245
					Falta de programa de engrase	Implementar cartillas de engrase	7	8	6	336
				Puntos de lubricacion sellados	Lubricacion deficiente	Limpieza de conductos	5	6	7	210

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro 15, se muestra el estudio de consecuencias del análisis del modo de falla y efectos, de los sistemas más críticos del equipo jumbo, determinados con la fórmula aplicada en el ejemplo anterior, expuesto en el Cuadro 14.

Cuadro 15 Análisis del modo de falla y efecto por sistemas.

ANALISIS DEL MODO Y EFECTOS DE LA FALLA																	
SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION DE LA PARTE	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	SITUACION ACTUAL					Acciones recomendadas	Responsable	Evaluacion mejoras				
						Acciones actuales	ocurrencia	severidad	Deteccion	NPR = S*O*D			Acciones adoptadas	ocurrencia	severidad	Deteccion	NPR = S*O*D
ESTRUCTURA	BRAZO	Desgaste de pines y bocinas		Falta de lubricación	No se cuenta con zona de engrase	Se solicita facilitar zona de engrase	5	7	7	245	Verificar el cumplimiento de implementación de zona de engrase	R. Sandvik	Se implantó recomendado	4	5	5	100
					Falta de programa de engrase	Implementar cartillas de engrase	7	8	6	336	Verificar implementación de cartilla	R. Sandvik	Se implantó recomendado	5	5	4	100
					Puntos de lubricación sellados	Lubricación deficiente	Limpieza de conductos	5	6	7	210	Verificar en cada mantenimiento el funcionamiento de los puntos de engrase	R. Sandvik	Se implantó recomendado	4	3	6
		Posicionamiento de actuadores	Estructura, soporte de brazo fisurado	Impacto (Choques) de estructura en traslado	Falta de experiencia de operador	Concientizar al operador en manejo defensivo	8	7	5	280	Seguimiento en operación al operador	S. Sandvik	Se implantó recomendado	4	5	6	120
				Vías en mal estado	Mantenimiento de vías inadecuado	Se solicita mantenimiento de vías constante	7	5	6	210	Verificar el cumplimiento de mantenimiento de vías	R. Sandvik	Se implantó recomendado	4	4	6	96
		Pernos de sujeción rotos		Pernos de mala calidad	Mala clasificación de pernos	Mejorar calidad de pernos	7	4	7	196	Colocar según indica el fabricante	P. Sandvik	Se implantó recomendado	2	5	4	40
	Torque de perno adecuado.			No se cuenta con tabla de especificaciones técnicas de torque	Facilitar en cada mantenimiento	5	6	7	210	Verificar el cumplimiento	R. Sandvik	Se implantó recomendado	3	4	6	72	
	ARTICULACION CENTRAL	Transporte de equipo, actividad fundamental en giro curvas cerradas	Desgaste de pines y bocinas	Falta de lubricación	Equipo no llega a la zona de engrase	Solicitar con anticipación, equipo de acuerdo al programa de engrase	4	6	6	144	Verificar el cumplimiento de llegada	R. Sandvik	Se implantó recomendado	2	4	6	48
					Falta de concientizar al personal, sobre la importancia del engrase	Cumplir de acuerdo al programa de mantenimiento	6	6	7	252	Seguimiento al cumplimiento	S. Sandvik	Se implantó recomendado	3	2	4	24
					Vías en mal estado	Mantenimiento de vías inadecuado	Se solicita mantenimiento de vías, en forma constante	7	5	6	210	Verificar el cumplimiento de manto de vías	R. Sandvik	Se implantó recomendado	4	4	6

ANALISIS DEL MODO Y EFECTOS DE LA FALLA

SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION DE LA PARTE	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	SITUACION ACTUAL				Acciones recomendadas	Responsable	Evaluacion mejoras					
						Acciones actuales	ocurrencia	severidad	Deteccion			NPK = S*O*D	Acciones adoptadas	ocurrencia	severidad	Deteccion	NPK = S*O*D
HIDRAULICO	BOMBAS	Es enviar caudal a todos los sistemas que dependen de ello	Falta de movimiento	Fuga interna de la bomba	No se cuenta un control de componentes	Implementar control de componente según horas de trabajo	7	9	5	315	Verificar el control de componentes por horas de trabajo	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	3	4	6	72
				Sonido de la bomba	No se tiene data de último mantenimiento	Implementar control de componente según horas de trabajo	7	8	5	280	Verificar el control de componentes por horas de trabajo	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	3	4	6	72
			Recalentamiento del sistema	Pequeñas partículas de bronce en el tanque hidraulico	Falta de mantenimiento predictivo (análisis de aceite)	Tomar muestra estrictamente en cada mantenimiento	6	4	6	144	Enviar a muestro y solicitar resultados	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	4	3	7	84
	UNIDAD DE GIRO	Movimiento de viga, para ubicación exacta para realizar taladros	Agujeros de soporte desgastados	Base de los hilos barridos	Falta control de ajustes de los pernos	Implementar cartilla de ajustes de pernos cada 50 horas	7	9	5	315	Verificar el cumplimiento de los ajustes	R. Sandvik	Se implantó lo recomendado	3	4	6	72
			Mecanismo no gira	Fuga interna, externa	Falta de control de horas	Implementar cartilla de reparacion cada 2000 horas	7	9	5	315	Llevar el control de mantenimiento, en las horas establecidas	R. Sandvik	Se implantó lo recomendado	3	4	6	72
			Juego axial considerable	Lainas, se encuentran rotos	Falta de mantenimiento por horas de trabajo	Implementar cartilla de reparacion cada 2000 horas	7	9	5	315	Acciones recomendadas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	3	4	6	72
ELECTRICIDAD	ARRANCADOR	Mantener la carga eléctrica para transportar el equipo	Equipo no arranca	Rotor quemado	Falta de componente crítico	Implementar cartilla de reparación cada 500 horas	6	7	7	294	Llevar el control de reparación, en las horas establecidas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	2	3	7	42
	ALTERNADOR		Equipo no arranca	Estator quemado	Falta de componente crítico	Implementar cartilla de reparación cada 500 horas	6	7	7	294	Llevar el control de reparación, en las horas establecidas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	2	3	7	42
	MOTOR ELECTRICO		Equipo inoperativo	Estator quemado	Falta de mantenimiento oportuno	Implementar cartilla de reparación cada 500 horas	6	7	7	294	Llevar el control de reparación, en las horas establecidas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	2	3	7	42

ANALISIS DEL MODO Y EFECTOS DE LA FALLA																	
SISTEMA	SUB SISTEMA	FUNCION DE LA PARTE	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLA	CAUSAS DE FALLA	SITUACION ACTUAL				Acciones recomendadas	Responsable	Evaluacion mejoras					
						Acciones actuales	ocurrencia	severidad	Deteccion			NPK = S*O*D	Acciones adoptadas	ocurrencia	severidad	Deteccion	NPK = S*O*D
PERFORACION Y AVANCE	PERFORADORA HLX5	Generar impacto para triturar la roca	Falta de percusión	Cara de impacto de pistón desgastado	Falta de control del último PM	Implementar cartilla de reparación cada 500 horas, cambio cada 3000 horas	6	7	7	294	Llevar el control de reparación, en las horas establecidas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	2	3	7	42
			Falta rotación	Cupling desgastado	Inspección deficiente, por parte del personal	Implementar cartilla de reparación cada 500 horas, cambio cada 3000 horas	6	7	7	294	Llevar el control de reparación, en las horas establecidas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	2	3	7	42
			Recalentamiento de sistema	Sellos resecaados	Falta de control del último PM	Implementar cartilla de reparación cada 500 horas, cambio cada 500 horas	6	7	7	294	Llevar el control de reparación, en las horas establecidas	P. Sandvik	Se implantó lo recomendado	2	3	7	42
	MANGUERA	Conducto para fluir el aceite	Fuga de aceite	Mangueras alambreadas	Falta protección de manguera	Inspección de mangueras cada 2 guardias, si están protegidas	7	6	7	294	Seguimiento en el cumplimiento	S. Sandvik	Se implantó lo recomendado	3	4	6	72
			Fuga de aceite	Manguera rota	Mala operación	Capacitar al operador en reconocer el macizo rocoso	8	6	7	336	Capacitación geomecánica por	R. Sandvik	Se implantó lo recomendado	7	3	6	126

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Tiempo Operativo Disponible para la producción

Continuando con el análisis, especificamos el tiempo operativo disponible para la producción de la Flota Jumbo DD421. De acuerdo a lo establecido por Nexa, se tiene la data que el equipo debe estar disponible las 24 horas, pero dentro de ello no se ha considerado las horas muertas que se presentan por Mantenimiento Preventivo, Inspección, Mantenimiento Correctivo y/o Mantenimiento programado.

a.- Horas operativas antes de la investigación

Antes de la implementación del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, los equipos tenían más paradas por fallas mecánicas y por falta de los componentes entre otras razones de menor importancia, como se detalla en la Tabla 14, cuya data es desde junio del 2017 a mayo del 2018, cuyo promedio de las horas operativas antes de la investigación, era de 585.14 h/mes.

Tabla 14 Horas operativas (anterior)

Equipo	Horas operativas antes (h/mes)
Flota Jumbo	515.00
Flota Jumbo	576.18
Flota Jumbo	572.67
Flota Jumbo	586.45
Flota Jumbo	568.33
Flota Jumbo	604.09
Flota Jumbo	585.00
Flota Jumbo	605.00
Flota Jumbo	607.47
Flota Jumbo	595.00
Flota Jumbo	581.12
Flota Jumbo	625.33

Fuente Elaboración propia

b.-Horas operativas después de la investigación

Para obtener mayores horas operativas del jumbo DD421, se implementó:

- Plan anual de mantenimiento preventivo
- Plan semanal de mantenimiento preventivo
- Cartillas de mantenimiento según PM
- Tareas definidas de mantenimiento según PM
- Organigrama de personal de ejecución de mantenimiento
- Ejecutar tareas de mantenimiento según Diagrama Gantt
- Base de datos de control de mantenimiento por horas tipo de PM
- Control de dispersión de mantenimiento
- Control de mantenimiento predictivo (análisis de aceite por sistema)

Después que se implementó todo lo detallado líneas arriba; se ha obtenido los resultados que se muestran en la Tabla 15, presentándose un promedio de horas operativas después del proyecto de 650.68 h/mes, valor que nos garantiza definitivamente una mayor disponibilidad mecánica, para lograr el objetivo planificado.

Tabla 15 Promedio de horas operativo (posterior)

Equipo	Horas operativas después (h/mes)
Flota Jumbo	644.33
Flota Jumbo	665.09
Flota Jumbo	651.65
Flota Jumbo	656.17
Flota Jumbo	666.66
Flota Jumbo	650.00
Flota Jumbo	643.33
Flota Jumbo	645.00
Flota Jumbo	640.76
Flota Jumbo	650.12
Flota Jumbo	640.00
Flota Jumbo	655.00

Fuente: Elaboración Propia

3.2.4 Disponibilidad Mecánica

Es el porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema, calculado sobre la base de un periodo largo.

Es la probabilidad para que en un instante cualquiera, el sistema (reparable) esté en funcionamiento

También se le conoce como disponibilidad operativa (A), la misma que se calcula con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

HP = Horas Programadas de la empresa, donde se excluyen domingos y feriados.

PP = Paradas programadas para mantenimiento proactivo, también se incluyen las reparaciones programadas u overhauls.

PR = Paradas por mantenimiento reactivo (no programadas)".
(Copyright © por TECSUP).

Durante la investigación y la recaudación de datos, se encontró que la flota de equipo con la disponibilidad mecánica baja, según la teoría, formulas descritas por el libro de Copyright © por TECSUP, realizaremos los respectivos cálculos

a.- Cálculo del Promedio de Disponibilidad Mecánica, antes de la implementación de mantenimiento centrado en confiabilidad por equipo.

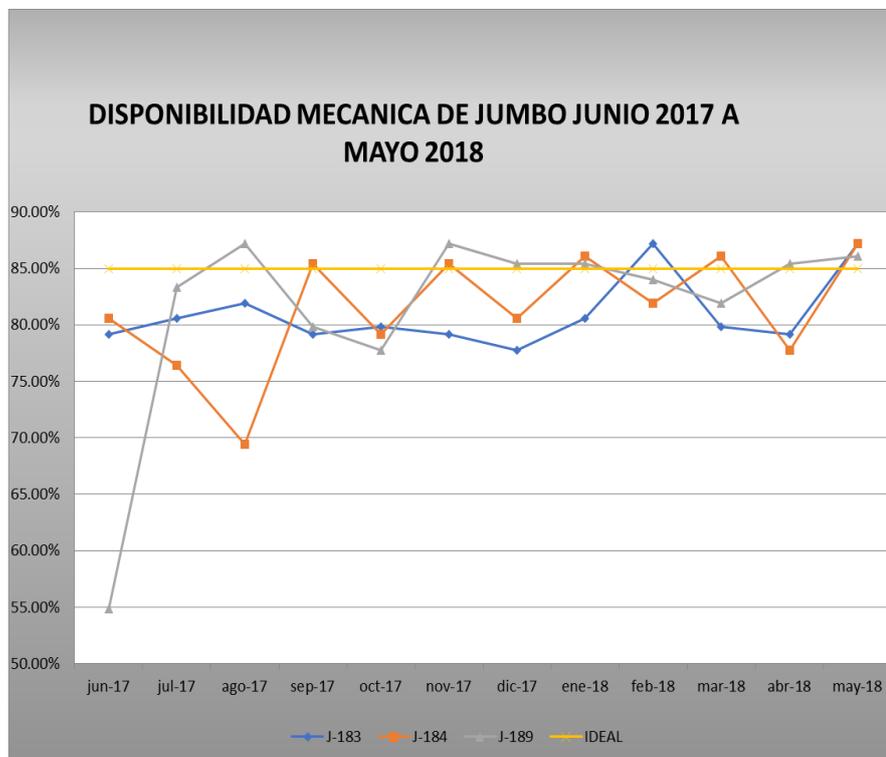
A continuación, en la Tabla 16, se detalla la disponibilidad mecánica obtenida por cada mes y por cada equipo.

Tabla 16 Disponibilidad mecánica de equipos antes

DISPONIBILIDAD MECANICA JUMBOS JUNIO 2017 A MAYO 2018 (antes)			
Meses	J-183	J-184	J-189
jun-17	79.17%	80.56%	54.86%
jul-17	80.56%	76.39%	83.33%
ago-17	81.94%	69.44%	87.22%
sep-17	79.17%	85.42%	79.86%
oct-17	79.86%	79.17%	77.78%
nov-17	79.17%	85.42%	87.22%
dic-17	77.78%	80.56%	85.42%
ene-18	80.56%	86.11%	85.42%
feb-18	87.22%	81.94%	84.03%
mar-18	79.86%	86.11%	81.94%
abr-18	79.17%	77.78%	85.42%
may-18	87.22%	87.22%	86.11%

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 8, se establece que la línea amarilla es el porcentaje ideal para una disponibilidad mecánica, pero en este caso no se cumple, por estar en su mayoría fuera del rango ideal.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8 Disponibilidad mecánica (antes)

El cálculo del promedio de disponibilidad mecánica promedio, se realizó con la siguiente fórmula

$$Dm = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

Calculo de la disponibilidad mecánica promedio, del equipo Jumbo J-183, de junio del 2017 a mayo 2018.

$$Dm J - 183 = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm J - 183 = \frac{8640 - (1644)}{8640}$$

$$Dm J - 183 = 80.97\%$$

Calculo de la disponibilidad mecánica promedio, del equipo Jumbo J-184, de junio del 2017 a mayo 2018.

$$Dm J - 184 = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm J - 184 = \frac{8640 - (1612)}{8640}$$

$$Dm J - 184 = 81.34\%$$

Calculo de la disponibilidad mecánica promedio, del equipo Jumbo J-189, de junio del 2017 a mayo 2018.

$$Dm J - 189 = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm J - 189 = \frac{8640 - (1594)}{8640}$$

$$Dm J - 189 = 81.55\%$$

b.-Calculo del promedio de disponibilidad mecánica de la flota, antes de la implementación de mantenimiento centrado en confiabilidad

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de junio 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm jun = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm\ jun = \frac{720-(205)}{8640}$$

$$Dm\ jun = 71.53\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de julio 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ jul = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ jul = \frac{720-(143.34)}{720}$$

$$Dm\ jul = 71.53\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de agosto 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ ago = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ ago = \frac{720-(147.33)}{720}$$

$$Dm\ ago = 79.54\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de setiembre 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ sep = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ sep} = \frac{720 - (138.37)}{720}$$

$$Dm \text{ sep} = 81.48\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de octubre 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ oct} = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ oct} = \frac{720 - (151.66)}{720}$$

$$Dm \text{ oct} = 78.54\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de noviembre 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ nov} = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ nov} = \frac{720 - (157.67)}{720}$$

$$Dm \text{ oct} = 83.94\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de diciembre 2017, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ dic} = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ dic} = \frac{720-(135)}{720}$$

$$Dm \text{ dic} = 81.25\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de enero 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ ene} = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ ene} = \frac{720-(115.1)}{720}$$

$$Dm \text{ ene}=84.03\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de febrero 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ feb} = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ feb} = \frac{720-(115.1)}{720}$$

$$Dm \text{ feb} = 84.40\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de marzo 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ mar = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ mar = \frac{720-(125.01)}{720}$$

$$Dm\ mar = 84.40\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de abril 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ abr = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ abri = \frac{720-(138.32)}{720}$$

$$Dm\ abri = 84.40\%$$

Con la siguiente fórmula matemática, se calcula el promedio de la disponibilidad mecánica del mes de mayo 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ may = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ may = \frac{720-(94.87)}{720}$$

$$Dm\ may = 86.85\%$$

En la Tabla 17, se muestra la disponibilidad mecánica, desde el mes de junio del 2017 a mayo 2018, de la flota de equipos Jumbo.

Tabla 17. Disponibilidad mecánica de la flota de equipos Jumbo. (anterior)

Equipo	Meses	Disponibilidad antes (%)
Flota Jumbo	Jun-17	71.53%
Flota Jumbo	Jul-17	80.09%
Flota Jumbo	Ago-17	79.54%
Flota Jumbo	Set-17	81.48%
Flota Jumbo	Oct-17	78.94%
Flota Jumbo	Nov-17	83.94%
Flota Jumbo	Dic-17	81.25%
Flota Jumbo	Ene-18	84.03%
Flota Jumbo	Feb-18	84.40%
Flota Jumbo	Mar-18	82.64%
Flota Jumbo	Abr-18	80.79%
Flota Jumbo	May-18	86.85%

Fuente: Elaboración propia

Calculo de disponibilidad por flota, del mes de junio 2017 a mayo 2018.

$$Dm \text{ flota} = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ flota} = \frac{8640 - (1616.67)}{8640}$$

$$Dm \text{ flota} = 81.29\%$$

Según los cálculos realizados, se estableció que la disponibilidad mecánica de la flota de equipos jumbo, antes de la presente investigación, era de 81.29%, disponibilidad que no garantizaba que los equipos realizaran los trabajos planificados, ya que el ideal como mínimo debía de ser 85%, parámetro establecido por la Empresa Nexa El Porvenir.

c.- Cálculo del promedio de disponibilidad mecánica después de la implementación del Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad por flota

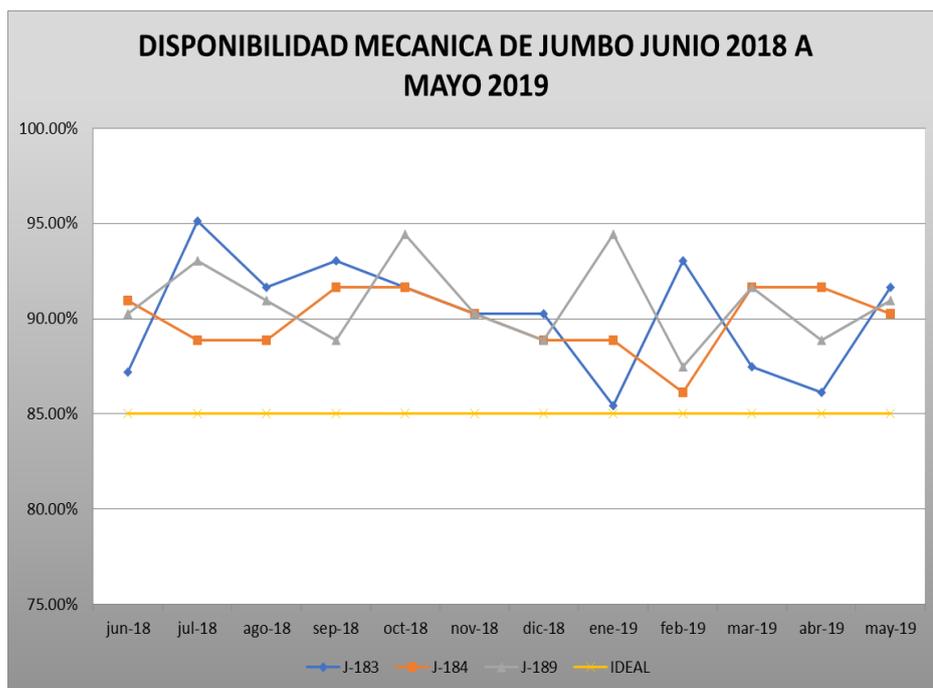
A continuación, en la Tabla 18, se detalla la disponibilidad mecánica después de la investigación, datos obtenidos mes a mes y por cada equipo.

Tabla 18 Disponibilidad mecánica de la flota de equipos jumbo

DISPONIBILIDAD MECANICA EQUIPOS JUMBO JUNIO 2018 A MAYO 2019			
Meses	J-183	J-184	J-189
jun-18	87.22%	90.97%	90.28%
jul-18	95.14%	88.89%	93.06%
ago-18	91.67%	88.89%	90.97%
sep-18	93.06%	91.67%	88.89%
oct-18	91.67%	91.67%	94.44%
nov-18	90.28%	90.28%	90.28%
dic-18	90.28%	88.89%	88.89%
ene-19	85.42%	88.89%	94.44%
feb-19	93.06%	86.11%	87.50%
mar-19	87.50%	91.67%	91.67%
abr-19	86.11%	91.67%	88.89%
may-19	91.67%	90.28%	90.97%

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 9, se especifica que la línea amarilla es el porcentaje ideal para una disponibilidad mecánica, porcentaje que con la ejecución del presente proyecto ha sido superado, es decir que se ha sobrepasado el rango establecido.



Fuente Elaboración propia

Gráfico 9 Disponibilidad mecánica (posterior)

El cálculo del promedio de disponibilidad mecánica se realizó con la siguiente fórmula:

$$Dm = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del Jumbo J-183, desde junio del 2018 a mayo 2019.

$$Dm J - 183 = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm J - 183 = \frac{8640 - (842)}{8640}$$

$$Dm J - 183 = 90.25\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del Jumbo J-184, del mes de junio del 2018 a mayo 2019.

$$Dm J - 184 = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm J - 184 = \frac{8640 - (865)}{8640}$$

$$Dm J - 184 = 89.99\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del Jumbo J-189, del mes de junio del 2018 a mayo 2019.

$$Dm J - 189 = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm J - 189 = \frac{8640 - (790)}{8640}$$

$$Dm J - 189 = 90.86\%$$

d.-Cálculo de Promedio de Disponibilidad Mecánica posterior a la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad por flota.

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de junio 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm jun = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm jun = \frac{720 - (77.55)}{8640}$$

$$Dm jun = 89.49\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de julio 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ jul = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ jul = \frac{720-(55)}{720}$$

$$Dm\ jul = 92.36\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de agosto 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ ago = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ ago = \frac{720-(68.33)}{720}$$

$$Dm\ ago = 91.55\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de setiembre 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ sep = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ sep = \frac{720-(63.12)}{720}$$

$$Dm\ sep = 91.20\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de octubre 2018, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ oct = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ oct = \frac{720-(53.33)}{720}$$

$$Dm \text{ oct} = 92.59\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de noviembre 2018,
de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ nov} = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ nov} = \frac{720-(70)}{720}$$

$$Dm \text{ oct} = 90.28\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de diciembre 2018,
de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ dic} = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ dic} = \frac{720-(76.67)}{720}$$

$$Dm \text{ dic} = 89.35\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de enero 2019, de la
flota de equipos Jumbo.

$$Dm \text{ ene} = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ ene} = \frac{720-(75.01)}{720}$$

$$Dm \text{ ene} = 88.58\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de febrero 2019, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ feb = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ feb = \frac{720-(80.11)}{720}$$

$$Dm\ feb = 88.90\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de marzo 2019, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ mar = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ mar = \frac{720-(70)}{720}$$

$$Dm\ mar = 90.28\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de abril 2019, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ abr = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm\ abri = \frac{720-(80)}{720}$$

$$Dm\ abri = 88.90\%$$

Cálculo de la disponibilidad mecánica del mes de mayo 2019, de la flota de equipos Jumbo.

$$Dm\ may = \frac{HP-(PP-PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ may} = \frac{720 - (65)}{720}$$

$$Dm \text{ may} = 90.97\%$$

En la Tabla 19, se muestra la disponibilidad mecánica, desde el mes de junio del 2018 a mayo 2019, de la flota de equipos jumbo.

Tabla 19 Disponibilidad por flota

Equipo	Disponibilidad después (%)
Flota Jumbo	89.49%
Flota Jumbo	92.36%
Flota Jumbo	90.51%
Flota Jumbo	91.20%
Flota Jumbo	92.59%
Flota Jumbo	90.28%
Flota Jumbo	89.35%
Flota Jumbo	89.58%
Flota Jumbo	88.89%
Flota Jumbo	90.28%
Flota Jumbo	88.89%
Flota Jumbo	90.97%

Fuente: Elaboración propia

Calculo de disponibilidad mecánica de la flota de equipos jumbo, desde junio 2018 a mayo 2019,

$$Dm \text{ flota} = \frac{HP - (PP - PR)}{HP}$$

$$Dm \text{ flota} = \frac{8640 - (832.24)}{8640}$$

$$Dm \text{ flota} = 90.37\%$$

Según el cálculo realizado, se observa que la disponibilidad mecánica, de la flota de los equipos jumbo, es de 90.37%, porcentaje que supera al mínimo establecido por la empresa Nexa El Porvenir, de 85%.

3.3 PRUEBA DE NORMALIDAD

Para hallar la normalidad correspondiente se utilizó los datos estadísticos de acuerdo con las hipótesis formuladas (hipótesis general y específicas), seguidamente puntualizamos las pruebas de normalidad para cada una de ellas. También, cabe mencionar que el número de muestras es de 12 y calculadas mensualmente, en base a promedios; por lo que para la prueba de normalidad aplicaremos el método de Shapiro Wilk.

Hipótesis General

En la Tabla 20, mostramos las 12 muestras correspondientes al promedio de disponibilidad mecánica sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y el promedio de disponibilidad mecánica con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, las cuales fueron sometidas a cálculos estadísticos con el SPSS Statistics 25.

Tabla 20 Promedio de disponibilidad mecánica

Equipo	Disponibilidad antes (%)	Disponibilidad después (%)
Flota Jumbo	71.53%	89.49%
Flota Jumbo	80.09%	92.36%
Flota Jumbo	79.54%	90.51%
Flota Jumbo	81.48%	91.20%
Flota Jumbo	78.94%	92.59%
Flota Jumbo	83.94%	90.28%
Flota Jumbo	81.25%	89.35%
Flota Jumbo	84.03%	89.58%
Flota Jumbo	84.40%	88.89%
Flota Jumbo	82.64%	90.28%
Flota Jumbo	80.79%	88.89%
Flota Jumbo	86.85%	90.97%

Fuente: Elaboración propia

En base a los 12 datos de disponibilidad mecánica sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y, el promedio de disponibilidad mecánica con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, en NEXA El Porvenir; en la Tabla 21, mostramos los valores de significancia, para el primer caso de 0.129 y para el segundo caso de 0.304; valores que son mayores al valor de significancia de 0.05, por lo que se determina que dichos datos procesados, provienen de una distribución normal.

Tabla 21 Normalidad de la disponibilidad mecánica

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Disponibilidad antes (%)	.187	12	.200 [*]	.893	12	.129
Disponibilidad Despues (%)	.153	12	.200 [*]	.922	12	.304

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis Específica 1

En la Tabla 22 , mostramos los 12 datos, correspondientes al promedio del tiempo operativo sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y el promedio del tiempo operativo con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, las cuales fueron sometidas a cálculos estadísticos con el SPSS Statistics 25.

Tabla 22 Promedio del tiempo operativo

Equipo	Horas operativas antes (h/mes)	Horas operativas después (h/mes)
Flota Jumbo	515.00	644.33
Flota Jumbo	576.18	665.09
Flota Jumbo	572.67	651.65
Flota Jumbo	586.45	656.17
Flota Jumbo	568.33	666.66
Flota Jumbo	604.09	650.00
Flota Jumbo	585.00	643.33
Flota Jumbo	605.00	645.00
Flota Jumbo	607.47	640.76
Flota Jumbo	595.00	650.12
Flota Jumbo	581.12	640.00
Flota Jumbo	625.33	655.00

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro análisis en base a los 12 datos del tiempo operativo sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y, el promedio del tiempo operativo con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 en NEXA El Porvenir, en la Tabla 23, mostramos los valores de significancia obtenidos, siendo para el primer caso de 0.132 y para el segundo caso de 0.288, valores que fueron

calculados con el SPSS versión 25 y por los que se determina que dichos datos procesados provienen de una distribución normal; ya que son mayores al valor de significancia de 0.05.

Tabla 23 Normalidad para tiempo operativo

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Horas operativas antes (Hr/min)	.188	12	,200 [*]	.894	12	.132
Horas operativas Despues (Hr/min)	.157	12	,200 [*]	.920	12	.288

Fuente: Elaboración Propia

Hipótesis Específica 2

En la Tabla 24, mostramos las 12 muestras correspondientes al promedio del tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y, el promedio del tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, las cuales fueron sometidas a cálculos estadísticos con el SPSS Statistics 25.

Tabla 24 Muestras al tiempo de parada

Equipo	Horas de parada antes (h/mes)	Horas de parada después (h/mes)
Flota Jumbo	205.21	75.67
Flota Jumbo	143.34	55.00
Flota Jumbo	147.33	68.33
Flota Jumbo	138.37	63.12
Flota Jumbo	151.66	53.33
Flota Jumbo	115.67	70.00
Flota Jumbo	135.11	76.67
Flota Jumbo	115.01	75.01
Flota Jumbo	112.33	80.11
Flota Jumbo	125.01	70.00
Flota Jumbo	138.32	80.00
Flota Jumbo	94.87	65.00

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro análisis en base a 12 muestras del tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y el promedio del tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 en NEXA el Porvenir, en la Tabla 25, mostramos la normalidad del cual se adquiere un valor de 0.124 para el tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad y 0.320 para el tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Como se puede apreciar dichos valores, son mayores al valor de significancia de 0.05; por lo que podemos afirmar que provienen de una distribución normal.

Tabla 25 Normalidad para el tiempo de parada

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Horas de parada antes (h/min)	.193	12	,200 [*]	.892	12	.124
Horas de parada despues (h/min)	.153	12	,200 [*]	.924	12	.320

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

En la Tabla 26, mostramos la Matriz de análisis de datos, mediante la cual se han realizado las pruebas de hipótesis correspondientes; con los promedios de las flota DD 421 comprendido entre el mes de junio 2017 y hasta mayo 2019. Dicha matriz de datos, ha sido procesada con el software SPSS Statistics versión 25 y el software Microsoft Excel 2016 a cada interrogante formulada, cuyos resultados se detallan a continuación.

Tabla 26 Matriz de análisis de datos

Equipo	Disponibilidad antes (%)	Disponibilidad después (%)	Horas operativas antes (h/mes)	Horas operativas después (h/mes)	Horas de parada antes (h/mes)	Horas de parada después (h/mes)
Flota Jumbo	71.53%	89.49%	515.00	644.33	205.21	75.67
Flota Jumbo	80.09%	92.36%	576.18	665.09	143.34	55.00
Flota Jumbo	79.54%	90.51%	572.67	651.65	147.33	68.33
Flota Jumbo	81.48%	91.20%	586.45	656.17	138.37	63.12
Flota Jumbo	78.94%	92.59%	568.33	666.66	151.66	53.33
Flota Jumbo	83.94%	90.28%	604.09	650.00	115.67	70.00
Flota Jumbo	81.25%	89.35%	585.00	643.33	135.11	76.67
Flota Jumbo	84.03%	89.58%	605.00	645.00	115.01	75.01
Flota Jumbo	84.40%	88.89%	607.47	640.76	112.33	80.11
Flota Jumbo	82.64%	90.28%	595.00	650.12	125.01	70.00
Flota Jumbo	80.79%	88.89%	581.12	640.00	138.32	80.00
Flota Jumbo	86.85%	90.97%	625.33	655.00	94.87	65.00

Fuente: Elaboración propia

Para las pruebas de las hipótesis, en la Tabla 27 se muestran los parámetros considerados, como una confiabilidad del 95%, es decir un margen de error del 5% (0.05), un valor crítico estimado de +/- 1.796, con 11 grados de libertad, calculado con la aplicación de la tabla de T Student que se adjunta en el Anexo 5, valor que se empleó para la elaboración de la gráfica de la campana de Gauss.

Tabla 27 Parámetros para la contrastación de las Hipótesis

Confiabilidad	Margen de Error	Valor Crítico	Grado de Libertad
95 %	0.05	+/- 1.796	11

Fuente: Elaboración propia

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

Hipótesis alterna

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, sí incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

Hipótesis Nula

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, no incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

Se procede a elaborar el análisis estadístico de la disponibilidad mecánica, cuyos valores obtenidos se muestran en la Tabla 28, donde la media de la disponibilidad mecánica sin la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, es de 81.29% y la media de la disponibilidad mecánica con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, es de 90.37%.

Tabla 28 Análisis estadístico de la disponibilidad mecánica

	Descriptivos		Estadístico	Error estándar
Disponibilidad antes (%)	Media		81.2886%	1.10970%
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	78.8461%	
		Límite superior	83.7310%	
	Media recortada al 5%		81.5218%	
	Mediana		81.3657%	
	Varianza		14.777	
	Desviación estándar		3.84413%	
	Mínimo		71.53%	
	Máximo		86.85%	
	Rango		15.32%	
	Rango intercuartil		4.33%	
	Asimetría		-1.357	.637
	Curtosis		3.384	1.232
	Disponibilidad Despues (%)	Media		90.3665%
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	89.5810%	
		Límite superior	91.1521%	
Media recortada al 5%		90.3249%		
Mediana		90.2778%		
Varianza		1.529		
Desviación estándar		1.23636%		
Mínimo		88.89%		
Máximo		92.59%		
Rango		3.70%		
Rango intercuartil		1.76%		
Asimetría		.642	.637	
Curtosis		-4.88	1.232	

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se realiza el cálculo del test estadístico: T Student, cuyo valor se muestra en la Tabla 29, siendo sometidos a prueba los datos de disponibilidad mecánica sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y de disponibilidad mecánica con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, obteniéndose el valor T Student de - 7.698.

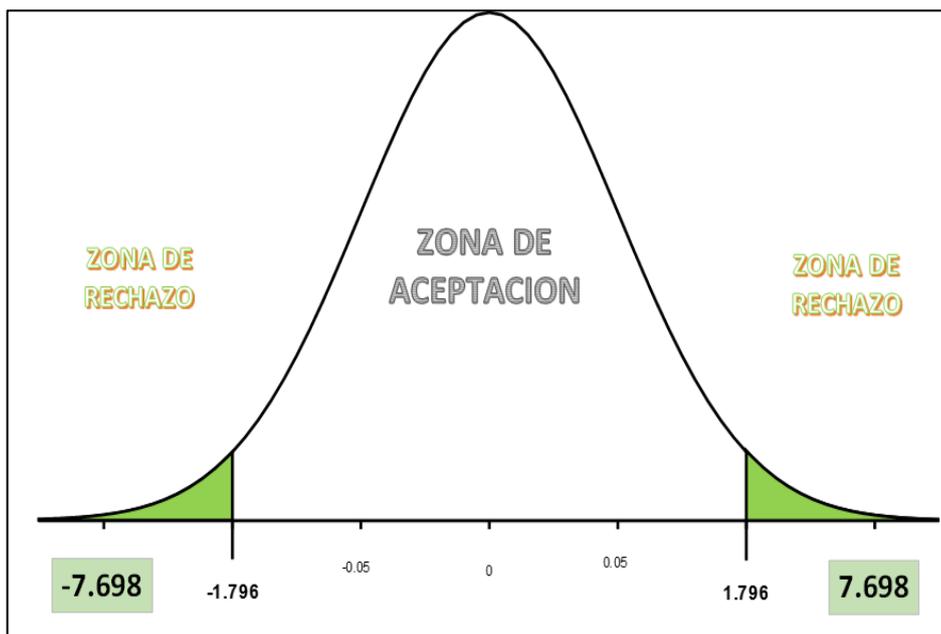
Tabla 29 Test estadístico T- student para la disponibilidad mecánica

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Disponibilidad antes (%) - Disponibilidad Despues (%)	-9.07793%	4.08527%	1.17932%	-11.67359%	-6.48227%	-7.698	11	.000

Fuente: elaboración propia

Campana de Gauss:

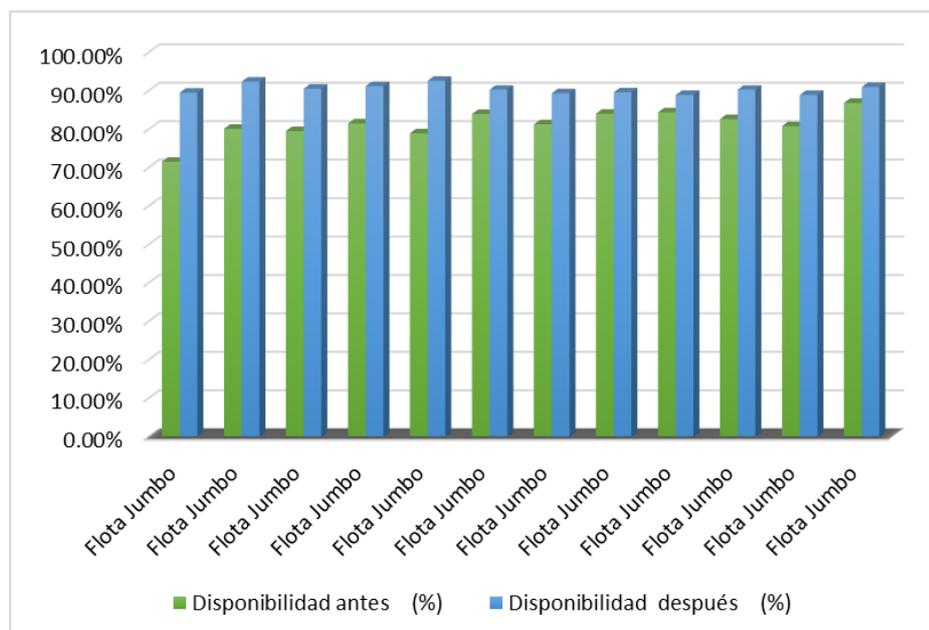
Mediante el software Microsoft Excel 2016, obtenemos la campana de Gauss y, por medio de la tabla de cuantiles establecemos que para 11 grados de libertad y un margen de error de 0.05, se tiene un valor crítico de ± 1.796 . En la Figura 13, mostramos la ubicación del valor T – Student de ± 7.698 , el cual se posiciona en la zona de rechazo y por ende se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Campana de Gauss de la hipótesis general

En el Gráfico 10, visualizamos los comparativos de la disponibilidad mecánica sin la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, cuyo promedio es de 81.29% y de la disponibilidad mecánica con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, con un promedio de 90.37%, evidenciándose que se ha logrado un incremento en promedio de 9.08%.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10 Comparativos de disponibilidad

Análisis estadístico

El valor obtenido del T-Student de -7.698 , se posiciona en la zona de rechazo, por lo que se descarta la hipótesis nula y consecuentemente aceptamos la hipótesis alterna: “La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad sí, incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir - 2019”.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

4.2.1. Hipótesis Especifica 1

Hipótesis alterna

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

Hipótesis Nula

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, no permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

A continuación, se procede a elaborar el análisis estadístico del tiempo operativo, por lo que en la Tabla 30, mostramos la media del tiempo operativo sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421; que asciende a 585.14 y la media del tiempo operativo con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, con un valor de 650h68´.

Tabla 30 Análisis estadístico del tiempo operativo

	Descriptivos	Estadístico	Error estándar	
Horas operativas antes (h/min)	Media	585.1361	7.98710	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	567.5566	
		Límite superior	602.7156	
	Media recortada al 5%	586.7994		
	Mediana	585.7233		
	Varianza	765.525		
	Desviación estándar	27.66812		
	Mínimo	515.00		
	Máximo	625.33		
	Rango	110.33		
	Rango intercuartil	31.23		
	Asimetría	-1.343	.637	
	Curtosis	3.351	1.232	
Horas operativas Despues (h/min)	Media	650.6755	2.54107	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	645.0826	
		Límite superior	656.2683	
	Media recortada al 5%	650.3808		
	Mediana	650.0600		
	Varianza	77.485		
	Desviación estándar	8.80254		
	Mínimo	640.00		
	Máximo	666.66		
	Rango	26.66		
	Rango intercuartil	12.29		
	Asimetría	.687	.637	
	Curtosis	-.415	1.232	

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente procedemos a realizar el test estadístico: T-Student, cuyo valor se muestra en la Tabla 31, calculado en base a los datos del tiempo operativo sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y, del tiempo operativo con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, obteniéndose el valor de - 7.743.

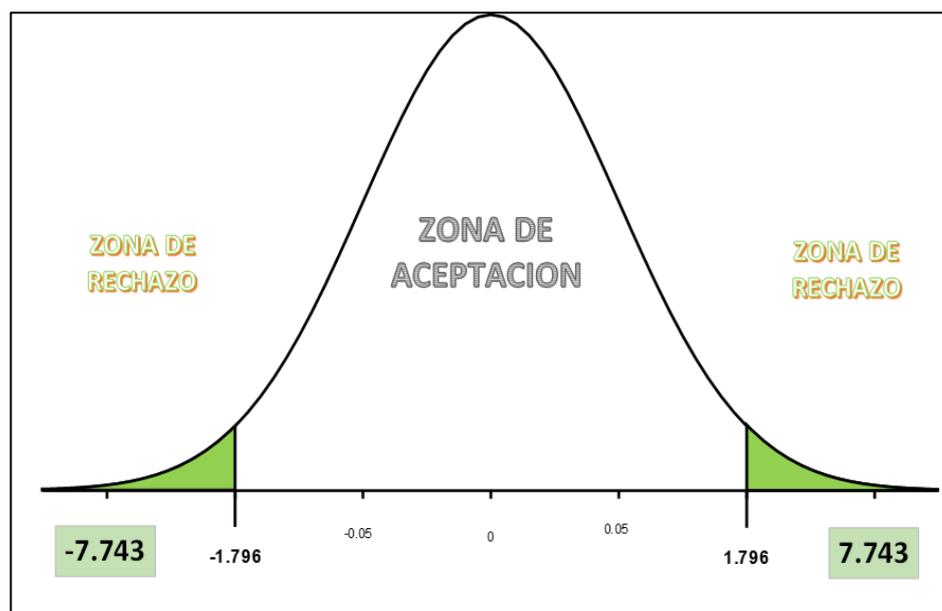
Tabla 31 Test estadístico T-Student para el tiempo operativo

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Horas operativas antes (h/min) - Horas operativas Despues (h/min)	-65.53936	29.32268	8.46473	-84.17010	-46.90862	-7.743	11	.000

Fuente: Elaboración Propia

Campana de Gauss:

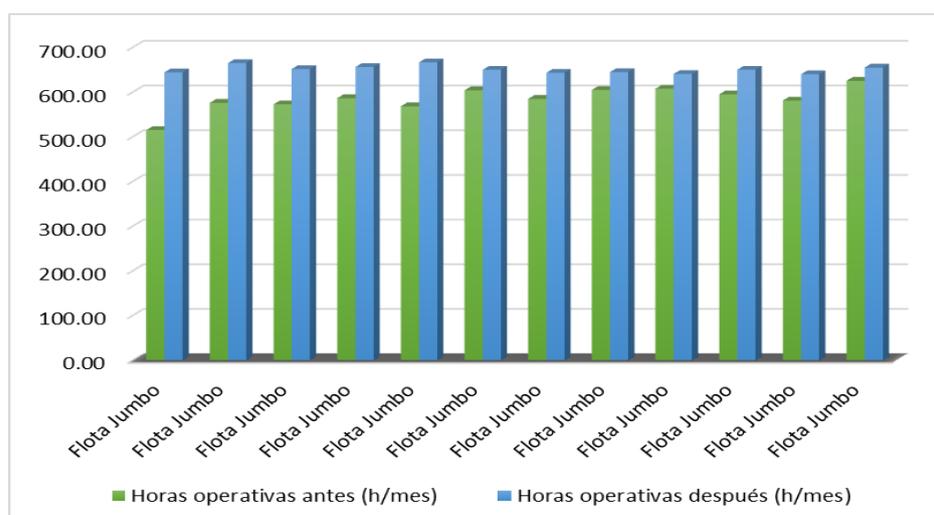
Mediante el software Microsoft Excel 2016, obtenemos la campana de Gauss y, por medio de la tabla de cuantiles establecemos que para 11 grados de libertad y un margen de error de 0.05, se tiene un valor crítico de +/- 1.796. En la Figura 14, mostramos el valor T – Student (+/- 7.743), el cual se posiciona en la zona de rechazo y por ende se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Campana de Gauss para la hipótesis específica 1

En el Gráfico 11, visualizamos los datos registrados del tiempo operativo sin la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421; con un promedio de 585 h 14 min y, del tiempo operativo con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, con un promedio de 650h68', evidenciándose que existe una diferencia en promedio de 65h54'.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11 Comparativos de tiempo operativo

Análisis estadístico

El valor calculado del T-Student de - 7.743, se observa que se ubica en la zona de rechazo, razón por el cual se descarta la hipótesis nula y consecuentemente aceptamos la hipótesis alterna que señala: “La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019”.

4.2.2. Hipótesis Especifica 2

Hipótesis alterna

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, sí reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

Hipótesis Nula

La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, no reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.

A continuación, se presenta el análisis estadístico del tiempo de parada, en la Tabla 32, donde se observa que la media del tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, es de 135h19' y la media del tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, de 69h35'.

Tabla 32 Análisis estadístico del tiempo de parada

	Descriptivos	Estadístico	Error estándar	
Horas de parada antes (h/min)	Media	135.1864	8.00013	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	117.5782	
		Límite superior	152.7946	
	Media recortada al 5%	133.5362		
	Mediana	136.7167		
	Varianza	768.025		
	Desviación estándar	27.71326		
	Mínimo	94.87		
	Máximo	205.21		
	Rango	110.34		
	Rango intercuartil	31.16		
	Asimetría	1.312	.637	
	Curtosis	3.281	1.232	
	Horas de parada despues (h/min)	Media	69.3536	2.57714
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	63.6814	
		Límite superior	75.0259	
Media recortada al 5%		69.6460		
Mediana		70.0000		
Varianza		79.700		
Desviación estándar		8.92748		
Mínimo		53.33		
Máximo		80.11		
Rango		26.78		
Rango intercuartil		12.82		
Asimetría		-.631	.637	
Curtosis		-.513	1.232	

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente procedemos a calcular el test estadístico: T-Student, cuyo valor se muestra en la Tabla 33, siendo sometidos a prueba los datos del tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 y los datos del tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, obteniéndose el valor +7.716.

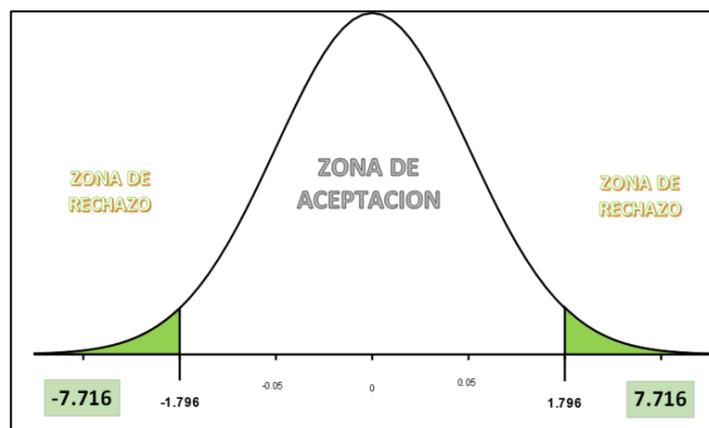
Tabla 33 Test estadístico tiempo de parada

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Horas de parada antes (h/min) - Horas de parada despues (h/min)	65.83278	29.55541	8.53191	47.05417	84.61139	7.716	11	.000

Fuente Elaboración propia

Campana de Gauss:

Mediante el software Microsoft Excel 2016, obtenemos la campana de Gauss y, por medio de la tabla de cuantiles establecemos que para 11 grados de libertad y un margen de error de 0.05, se tiene un valor crítico de ± 1.796 . En la Figura 15, mostramos el valor T – Student (± 7.716), el cual se posiciona en la zona de rechazo y por ende se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

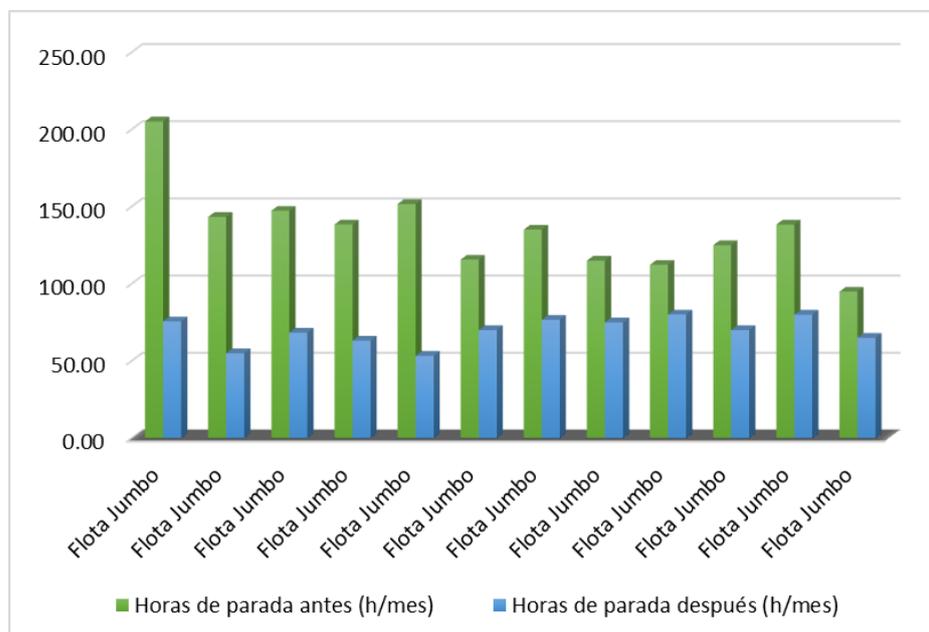


Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Campana de Gauss de la hipótesis específica 2

En el Gráfico 12, visualizamos los comparativos de los valores registrados del tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421; con un promedio de 135h19' y, del tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento

centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, con un promedio de 69h35', destacando una diferencia positiva de 65h84'.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12 Comparativo de tiempo de parada

Análisis estadístico

El valor calculado del T-Student de +7.716, se observa que se ubica en la zona de rechazo, razón por el cual se descarta la hipótesis nula y consecuentemente aceptamos la hipótesis alterna que señala: “La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, sí reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019”.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con los resultados encontrados, se obtuvo la aceptación de la hipótesis general planteada, en cuanto al incremento de la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019, puesto que la disponibilidad sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 tenía un promedio de 81.29% y la disponibilidad mecánica con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, en promedio fue de 90.37%, lo cual significa un incremento del 9.08% de disponibilidad mecánica en la flota DD421.

Lo hallado en el trabajo de investigación se asocia a lo encontrado de Casachagua (2017). “Una disponibilidad mecánica de la flota en un 80% siendo muy bajo comparado al target de la disponibilidad que la minera exige a la empresa, por lo que se propone un plan de mantenimiento basado en RCM, identificando así las funciones, fallas funcionales, modos de falla, para realizar el cuadro de Criticidad (AMFE), que fue la base del estudio de investigación quien por consiguiente determinó cuales serían

las fallas correctivas y las tareas de mantenimiento AMFE para el estudio. Con el cual al final se logró mejorar un 9% la disponibilidad mecánica de las Excavadoras 336 en la empresa ECOSEM SMELTER S.A”.

Con la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se logró incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421, en un promedio de 650h68’ por mes, resultado que nos permite confirmar la aceptación de la hipótesis específica 2 “La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019”.

En lo que se refiere a la reducción de horas de parada por mantenimiento de la flota Jumbo DD421, que operan en Nexa El Porvenir, se ha logrado una reducción promedio de 65h54’ por mes, con lo cual aceptamos la hipótesis específica 2 “La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019”.

Los resultados encontrados en las hipótesis específica 1 e hipótesis específica 2, concuerdan con lo hallado por Torres (2015), en la tesis “Implementación de un sistema de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de Jumbos AXERA-05 de la Empresa CONGEMIN – Minera Horizonte, en la Universidad Nacional del Centro del Perú”, quien en una de sus conclusiones afirma haber logrado la reducción de las horas de parada promedio de 80 horas por equipo a 60 horas de parada por equipo; parámetro que también permite incrementar la disponibilidad mecánica.

CONCLUSIONES

- Se determina que al aplicar el mantenimiento centrado en la confiabilidad se incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019, debido que la disponibilidad sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 tenía un promedio mensual de 81.29% y la disponibilidad mecánica con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421, en promedio mensual fue de 90.37%, lo cual significa un incremento del 9.08% de disponibilidad mecánica en la flota DD421.
- A través de la evaluación de la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se logró incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir; puesto que el tiempo operativo sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 tenía un promedio de 585h14' por mes y el tiempo operativo con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 obtenido en promedio es de 650h68' por mes, resaltando una diferencia de 65h54' por mes de tiempo operativo en la flota DD421.
- Estableciendo la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad se logró reducir el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019. Ya que el tiempo de parada sin la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 tenía un promedio de 135h19' por mes y el tiempo de parada con la aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la flota Jumbo DD 421 fue en promedio de 69h35' por mes, resaltando una diferencia mensual en promedio de 65h84' de tiempo de parada en la flota DD421.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda cumplir con el proceso de mantenimiento de acuerdo a lo establecido para poder llegar al objetivo de una disponibilidad recomendada en la investigación , a su vez realizar seguimiento y levantamiento de muestras de aceite de los sistemas importantes para no afectar la disponibilidad mecánica
- Considerar que el personal técnico del Área de Mantenimiento, debe ser capacitado y entrenado y sobre todo ser conocedor de los equipos jumbo.
- En las intervenciones a los equipos jumbos, se debe seguir el PETS y evaluar los riesgos asociados a la actividad; así se podrá practicar los comportamientos seguros y evitar accidentes, para así lograr un trabajo efectivo y eficaz.
- Se recomienda, implementar el Área de Mantenimiento, con las herramientas adecuadas para cada actividad a realizar; no solamente para los equipos jumbo sino para todo el equipamiento de la empresa.

FUENTE DE INFORMACIÓN

Mora, A. (2009) “*Mantenimiento Planeación, ejecución y control*”.

Jezdimir, K. (1996) “*Mantenimiento por Jezdimir Knezevic*”.

Moubray, J. (1997). “*Reliability centered maintenance*”.

Espinoza, C. (2010) “*Metodología de investigación tecnológica. Perú: imagen gráfica s.a.c, 2010*”

Belen (2008) “*Aplicación del análisis para una gestión de mantenimiento. España: universidad de Murcia, 2008*”.

Bernardo, M. (2010) “*Mantenimiento enfocado en la producción. Bogotá: Grupo Aliaga*”.

Bohórquez, G. (2012) *Implementación del mantenimiento predictivo para las facilidades del proceso. Bucaramanga grupo rivera, 2012*”.

Cáceres 2004). “*Como incrementar la competitividad mediante estrategias*”. Bogotá: ACIEM, 2004”.

Crespo, A. (2012) “*Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad en la gestión de un activo. Sevilla : Ingeitan, 2012*”.

Gonzales, J. (2005) “*Gestión y logística del mantenimiento*”.

Hinostroza, (2003) “*Gestión del mantenimiento*”. España: nueva”.

Rodríguez, J. (2008). “*Mantenimiento mecánico de máquinas*”. Segunda edición. México: Book print digital, 2008.

Soto, V. (2002) "*Investigación y tipos de investigación*".

Sotuyo, B. (2002) "*Optimización integral del mantenimiento*". Bogotá: palmeras S.A."

Suarez, J. (2007) "*Mantenimiento mecánico de máquinas*".

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

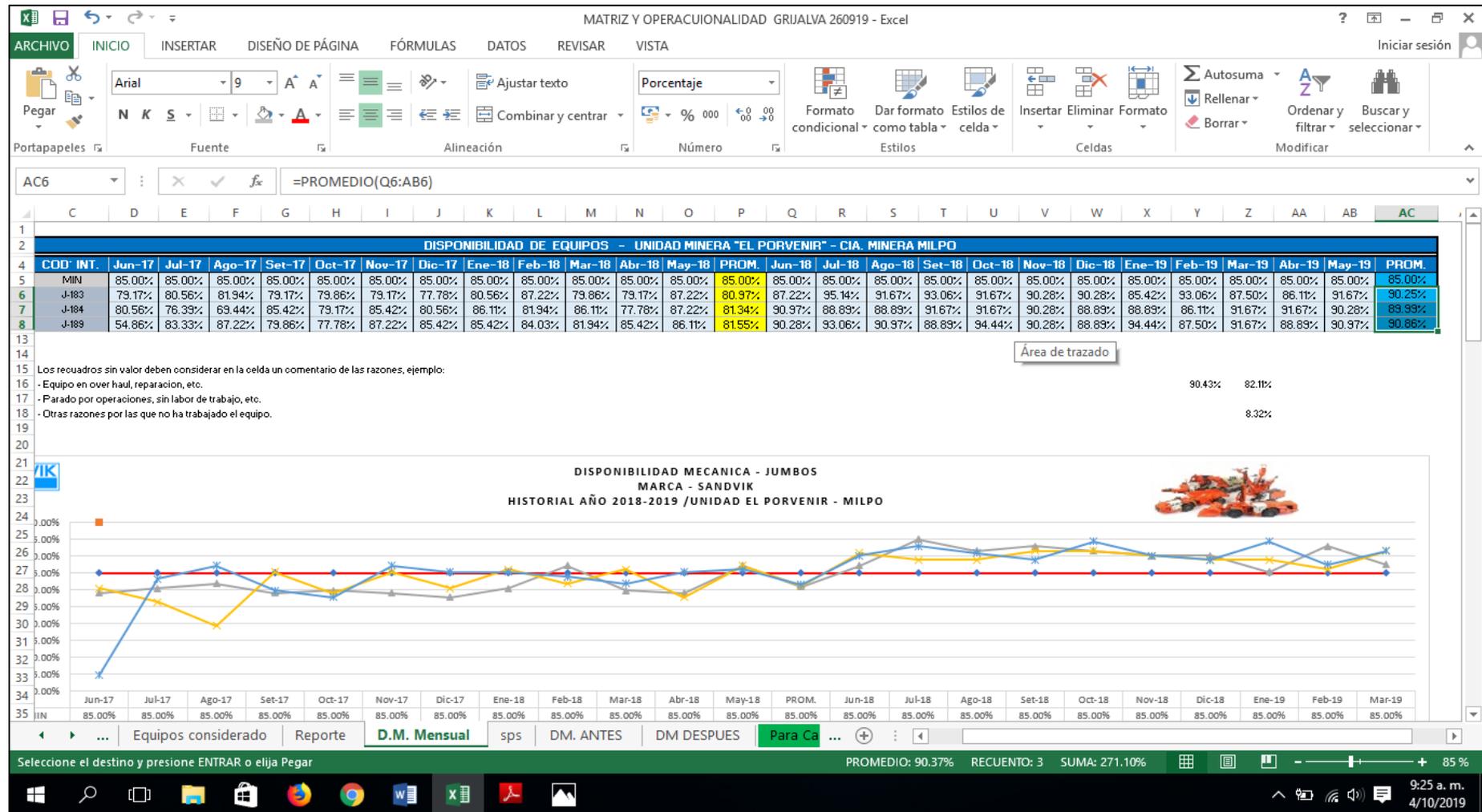
TÍTULO :

"APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LA FLOTA JUMBO DD421 - NEXA EL PORVENIR 2019"

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL.	HIPÓTESIS GENERAL.	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	DISEÑO / MUESTRA
¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019?	Determinar si la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.	La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad sí, incrementa la disponibilidad mecánica de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Plan de Mantenimiento	Proceso	Diseño de la investigación: tipo tecnológico, nivel aplicada correlacional, Metodo científico deductivo, diseño pre experimental
				Análisis de los modos y efectos de fallos	Reducir probabilidades de falla.	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	Población : Cuenta con 6 flotas, con 22 equipos
¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019?	Evaluar si la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad incrementa el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.	La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite incrementar el tiempo operativo de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.	Dependiente Disponibilidad mecánica	Tiempo operativo	h/mes	
¿La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019?	Establecer si la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.	La aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad sí, reduce el tiempo de parada de la flota Jumbo DD421 - Nexa El Porvenir 2019.		Tiempo de parada	h/mes	

Fuente. Elaboración propia

Anexo 2 Instrumento de recopilación de datos anual



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3 Instrumento de recopilación de datos mensual

FECHA	HOROMETRO BRAZO 2			N° Fallas	HORAS DE PARADA								DATOS					
	INICIO	FINAL	HORAS	N° Paradas	Accidente	Soldadura Llanta	Inspeccion	Mantto Preventivo	Reparac. Program.	Mantto Correctivo	Ventana Oportun.	STAND BY	Horas Total	H. Parada Sandvik	H.Parada Externo	Horas Operación	N° Fallas	D.M. (%)
26/07/2017	6,523.9	6,526.7	2.8				1.00					15.00	24.00	1.00	0.00	5.7	0	95.83%
27/07/2017	6,526.7	6,529.3	2.6				1.00					16.10	24.00	1.00	0.00	5.1	0	95.83%
28/07/2017	6,529.3	6,532.9	3.6	1						0.50	0.67	1.90	24.00	0.50	0.00	8.2	1	95.13%
29/07/2017	6,532.9	6,535.9	3.0	1						0.50	1.00	14.00	24.00	0.50	0.00	6.0	1	93.75%
30/07/2017	6,535.9	6,539.9	4.0								1.28	15.00	24.00	0.00	0.00	7.0	0	94.67%
31/07/2017	6,539.9	6,539.9	0					1.00				24.00	24.00	1.00	0.00	0.0	0	95.83%
01/08/2017	6,539.9	6,539.9	0					24.00				16.00	24.00	24.00	0.00	0.0	0	0.00%
02/08/2017	6,539.9	6,540.9	1.0					24.00				19.00	24.00	24.00	0.00	2.0	0	0.00%
03/08/2017	6,540.9	6,543.9	3.0				1.00				0.50	13.00	24.00	1.00	0.00	6.0	0	93.75%
04/08/2017	6,543.9	6,547.9	4.0				1.00				1.50	16.00	24.00	1.00	0.00	8.0	0	89.58%
05/08/2017	6,547.9	6,551.1	3.2									19.70	24.00	0.00	0.00	3.2	0	100.00%
06/08/2017	6,551.1	6,552.7	1.6									10.90	24.00	0.00	0.00	5.6	0	92.38%
07/08/2017	6,552.7	6,555.9	3.2	1						0.67		4.80	24.00	0.67	0.00	9.8	1	97.21%
08/08/2017	6,555.9	6,558.3	2.4									13.20	24.00	0.00	0.00	4.9	0	100.00%
09/08/2017	6,558.3	6,562.1	3.8									8.70	24.00	0.00	0.00	8.1	0	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

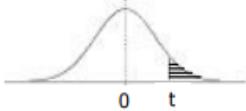
Anexo 4 Instrumento de recopilación diario

IT	FECHA	TURNO	EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	HORAS PARADA	TIPO PARADA	CONDICION DE PARADA	QUESE HIZO	¿PORQUE PARO EL IC
2	26/04/2018	D	J-183D	12:00	13:40	1.67	PARADA	CORRECTIVO	Cambio de mang # 4 x 2.00 mts de manometro de percusión de alta	
3	26/04/2018	D	J-189D	07:00	13:00	6.00	PARADA	CORRECTIVO	Centralizador intermedio B2 se soldo y cambiar llanta P4	Roto centralizador intermedio
19	26/04/2018	N	J-183D	8:00	8:30	0.50	OPORTUNIDAD	CORRECTIVO	Se revisa niveles de fluidos, se rellena aceite H46 al SH 05 Gl, se revisa codigo en el QN H607, necesita cambiar filtro.	
20	26/04/2018	N	J-184D	2:30	3:30	1.00	OPORTUNIDAD	CORRECTIVO	Se elimino falso contacto en el R-46 del sistema electrico de enrollamiento de cable, se realiza limpieza de bornera y ajuste de terminales de las borneras.	
21	26/04/2018	N	J-189D	8:00	10:00	2.00	PARADA	CORRECTIVO	Se reajusto pernos de soporte del cradle del brazo1 y brazo 2, se cambio porta centralizador delantero de brazo1.	Pernos flojos de soporte del cradle.
37	27/04/2018	D	J-183D	10:00	11:30	1.50	OPORTUNIDAD	CORRECTIVO	Se soldo templador de mangueras tramo 1, templado de mangueras	
38	27/04/2018	D	J-184D	11:00	13:00	2.00	PARADA	CORRECTIVO	Ajuste de conectores de ambos brazos	Fuga de aceite
55	27/04/2018	N	J-183D	7:30	8:30	1.00	OPORTUNIDAD	CORRECTIVO	Se reviso niveles de fluidos ok, se ordeno paquete de mangueras del 3er tramo, se realizo engrase de pines y bocinas del brazo.	
56	27/04/2018	N	J-184D	9:00	9:30	0.50	OPORTUNIDAD	CORRECTIVO	Se soluciono problema electrico de enrollamiento de cable 440v, elimino falso contacto el terminales de diodos R20, R21, se ajustaron los pernos del centralizador intermedio y delantero de brazo 1 y 2.	
75	28/04/2018	D	J-189D	11:00	11:30	0.50	OPORTUNIDAD	CORRECTIVO	Ajuste de pernos de mesa perforadora	
91	28/04/2018	N	J-183D	00:00	1:30	1.50	PARADA	CORRECTIVO	Se soluciono arranque de motor diesel y sistema de luces (se cambia transformador A410 prestado del J-152, se realiza auxilio mecanico de arranque con baterias externas.	No arranca motor diesel y no hay luces.
100	29/04/2018	D	J-184D	15:00	15:30	0.50	PARADA	CORRECTIVO	Cambio de manguera de percusión #12 x 2.20 mts de	Manguera rota

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 5. Tabla T- Student

Tabla D.6: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT



0 t

área a la derecha de t

g.d.l	área a la derecha de t															g.d.l
	0,0005	0,0025	0,005	0,0075	0,01	0,015	0,02	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,45	
1	636,619	127,321	63,657	42,433	31,821	21,205	15,895	12,706	6,314	3,078	1,963	1,376	0,727	0,325	0,158	1
2	31,599	14,089	9,925	8,073	6,965	5,643	4,849	4,303	2,920	1,886	1,386	1,061	0,617	0,289	0,142	2
3	12,924	7,453	5,841	5,047	4,541	3,896	3,482	3,182	2,353	1,638	1,250	0,978	0,584	0,277	0,137	3
4	8,610	5,598	4,604	4,088	3,747	3,298	2,999	2,776	2,132	1,533	1,190	0,941	0,569	0,271	0,134	4
5	6,869	4,773	4,032	3,634	3,365	3,003	2,757	2,571	2,015	1,476	1,156	0,920	0,559	0,267	0,132	5
6	5,959	4,317	3,707	3,372	3,143	2,829	2,612	2,447	1,943	1,440	1,134	0,906	0,553	0,265	0,131	6
7	5,408	4,029	3,499	3,203	2,998	2,715	2,517	2,365	1,895	1,415	1,119	0,896	0,549	0,263	0,130	7
8	5,041	3,833	3,355	3,085	2,896	2,634	2,449	2,306	1,860	1,397	1,108	0,889	0,546	0,262	0,130	8
9	4,781	3,690	3,250	2,998	2,821	2,574	2,398	2,262	1,833	1,383	1,100	0,883	0,543	0,261	0,129	9
10	4,587	3,581	3,169	2,932	2,764	2,527	2,359	2,228	1,812	1,372	1,093	0,879	0,542	0,260	0,129	10
11	4,437	3,497	3,106	2,879	2,718	2,491	2,328	2,201	1,796	1,363	1,088	0,876	0,540	0,260	0,129	11
12	4,318	3,428	3,055	2,836	2,681	2,461	2,303	2,179	1,782	1,356	1,083	0,873	0,539	0,259	0,128	12
13	4,221	3,372	3,012	2,801	2,650	2,436	2,282	2,160	1,771	1,350	1,079	0,870	0,538	0,259	0,128	13
14	4,140	3,326	2,977	2,771	2,624	2,415	2,264	2,145	1,761	1,345	1,076	0,868	0,537	0,258	0,128	14
15	4,073	3,286	2,947	2,746	2,602	2,397	2,249	2,131	1,753	1,341	1,074	0,866	0,536	0,258	0,128	15
16	4,015	3,252	2,921	2,724	2,583	2,382	2,235	2,120	1,746	1,337	1,071	0,865	0,535	0,258	0,128	16
17	3,965	3,222	2,898	2,706	2,567	2,368	2,224	2,110	1,740	1,333	1,069	0,863	0,534	0,257	0,128	17
18	3,922	3,197	2,878	2,689	2,552	2,356	2,214	2,101	1,734	1,330	1,067	0,862	0,534	0,257	0,127	18
19	3,883	3,174	2,861	2,674	2,539	2,346	2,205	2,093	1,729	1,328	1,066	0,861	0,533	0,257	0,127	19
20	3,850	3,153	2,845	2,661	2,528	2,336	2,197	2,086	1,725	1,325	1,064	0,860	0,533	0,257	0,127	20
21	3,819	3,135	2,831	2,649	2,518	2,328	2,189	2,080	1,721	1,323	1,063	0,859	0,532	0,257	0,127	21
22	3,792	3,119	2,819	2,639	2,508	2,320	2,183	2,074	1,717	1,321	1,061	0,858	0,532	0,256	0,127	22
23	3,768	3,104	2,807	2,629	2,500	2,313	2,177	2,069	1,714	1,319	1,060	0,858	0,532	0,256	0,127	23
24	3,745	3,091	2,797	2,620	2,492	2,307	2,172	2,064	1,711	1,318	1,059	0,857	0,531	0,256	0,127	24
25	3,725	3,078	2,787	2,612	2,485	2,301	2,167	2,060	1,708	1,316	1,058	0,856	0,531	0,256	0,127	25

Fuente. Datos porcentuales de distribución (Sealy Gosset)

Anexo 6. Especificación técnica de jumbo DD421




DD421 DEVELOPMENT DRILL

TECHNICAL SPECIFICATION

Sandvik DD421 is a two boom electro-hydraulic jumbo for fast and accurate drilling in drifting and tunneling of 8 - 60 m² cross sections.

The improved hydraulic control system with new features enables accurate drilling performance with efficient control.

The new Sandvik RDS25 rock drill has proven to be an efficient drill with smooth penetration and powerful drilling performance.

Optimal coverage is achieved with the proven Sandvik SB60 booms. The drilling performance can be improved with optional instrumentation.

KEY FEATURES

Coverage area	60 m ²
Hydraulic rock drills	2 x RDS25, 25 kW
Drill feeds	2 x TP512, 12 - 16 ft
Booms	2 x SB60
Control system	THC561, hydraulic
Hole length	Up to 4 660 mm
Drift size - class (H x W)	4 500 mm x 4 500 mm
Turning width (T-section)	3 770 mm
Transport width	2 310 mm
Transport height	3 420 mm / 2 680 mm
Transport length	13 050 mm
Total weight	34 900 kg depending on options



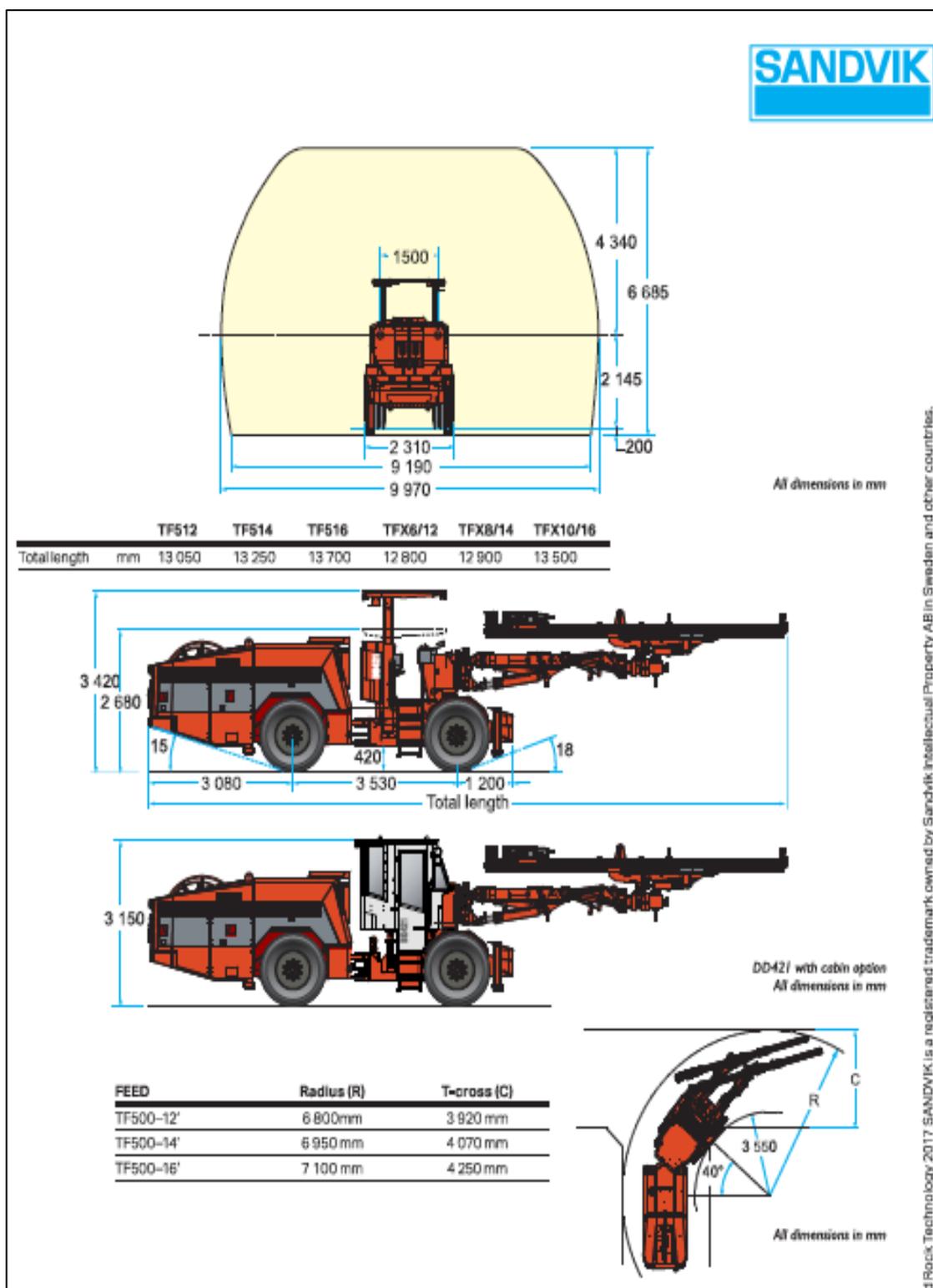
Fuente: Manual De jumbo DD421 Sandvik Del Perú

Anexo 7. Especificaciones técnicas por sistema valores de trabajo, regulaciones de parámetros

HYDRAULIC ROCK DRILL			
Type of rock drill	R0625 (T92-296)		
Percussion power	25 kW		
Percussion pressure	Max. 325 bar		
Percussion rate	93 l/s		
Stabilizer	Hydraulic		
Rotation speed	Max. 400 rpm (with DMS80)		
Rotation torque	400 Nm (with DMS80)		
Hole size (drifting)	43 - 64 mm		
Hole size (cut hole)	76 - 127 mm		
Recommended rod	T38 - H36 - R32 T38 - R30 - R35		
Shank adapter (male)	T38		
Weight	225 kg		
Length	1 010 mm		
Profile height	90 mm		
DRILLING FEED			
Type of feed	TF500-12'	TF500-14'	TF500-16'
Feed force	Max. 25 kN	Max. 25 kN	Max. 25 kN
Total length	5 270 mm	5 880 mm	6 490 mm
Hole length	3 440 mm	4 050 mm	4 660 mm
Rod length	3 700 mm	4 305 mm	4 915 mm
Net weight	590 kg	590 kg	590 kg
BOOM			
Type of boom	S860 (T82-264)		
Parallel coverage	54 m ²		
Parallelism	Automatic hydraulic		
Boom extension	1 200 mm		
Feed extension	1 350 mm		
Boom weight, net	3 250 kg		
Roll-over angle	358°		
Bolt hole drilling	Yes		
HYDRAULIC SYSTEM			
Power pack	2 x HPPs 75 (75 kW)		
Filtration (pressure / return)	20 µ / 10 µ		
Oil tank volume	270 liters		
Oil tank filling pump	Electric		
Cooler for hydraulic oil	DW30 oil-to-water (2 x 30 kW)		
DRILLING CONTROL SYSTEM			
Type of control system	THC561 (5-1030)		
Operating principle	Hydraulic control		
Manual boom control	Direct control Fully proportional Hydraulic parallelism		
Drilling control	Feed / percussion control Flushing control		
Automatic cycle	Stop and return automatics		
ELECTRIC SYSTEM			
Standard voltage	380 - 690 V (± 10%)		
Total installed power	180 kW		
Main switch gear	MSE 20		
IEC classification	Specification T52-132		
Starting method	Star delta 380 V - 690 V Soft starter 575 V		
Automatic cable reel	TCM4E + spooling (In. 135 kW) TCM4EHD+ spooling (In. 180 kW)		
Cable reel control	Operator station and remote control at rear machine		
Auxiliary outlet	1 x 110 V or 1 x 230 V, 16 A		
Battery jump start	Standard		
Cable plug holder	Hook type holder and cable pull sock		
Front and rear lights (combined working and drilling)	10 x 50 W LED (H 200 lm, 6 000 K)		
Parking rear brake / park lights	2 x Red LED		
Seat and service light	LED (24 V)		
AIR AND WATER SYSTEM			
Flushing of holes	Water flushing flow and pressure control, Air-mist flushing, option		
Water booster pump	WBP2HP		
Water pump capacity	185 l/min		
Water pump inlet pressure	2 bar (Min.)		
Flushing water pressure	10 - 15 bar		
Shank lubrication device	SLU2 (air / oil mist)		
Rock drill oil consumption	180 - 250 g/h		
Rock drill air consumption	250 - 350 l/min		
Air compressor	CTN10, 1.0 m ³ /min (7 bar)		
Compressed air outlet	Quick coupling		
OPERATOR'S SAFETY CABIN			
Standard cabin	FCPS / RCPS (50 3-44)		
Type of cabin	Standard height		
Unit height in trimming	3 150 mm		
Operation	Standing drilling, seated trimming		
Operator's seat	For trimming Adjustable with seat belt		
Sound pressure level (EN 791)	Cabin: 72 dB(A)		
Air conditioning	Standard		
Windows	Safety laminated, with edge Stainless steel windows frames		
Front screen protection grill	Standard		

Fuente: Manual De jumbo DD421 Sandvik Del Perú

Anexo 8. Especificaciones técnicas medidas del jumbo DD421



Fuente: Manual De jumbo DD421 Sandvik Del Perú

Anexo 9. Reporte fotográfico de mantenimiento de jumbo DD421 en la mina NV 3470 en la empresa Nexa El Porvenir



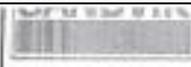
Anexo 10. Reporte fotográfico del sistema estructura- sub sistema brazo



Anexo 11. Reporte fotográfico de bloque de equipo según matriz de bloqueo, pruebas de energía cero



Anexo 12 Pets de mantenimiento de jumbo

	Area: MANTENIMIENTO Código: P0/CNT/104	Versión: 01 Página 1 de 5	MINERA EL PORVENIR
---	---	------------------------------	-----------------------

1. PERSONAL

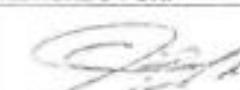
1.1. 02 Técnicos mecánicos.
1.2. 01 Supervisor.

2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

2.1. Protector de cabeza con barbiquejo.
2.2. Lentes de seguridad y/o sobre lentes.
2.3. Protector auricular (orejeras/tapón auditivo).
2.4. Guantes de cuero y/o showa.
2.5. Respirador con filtro contra polvo.
2.6. Overol con cintas reflectivas.
2.7. Correa porta lámpara.
2.8. Lámpara minera.
2.9. Zapato y/o botas con punta de acero metatarsales.
2.10. Auto rescatador en interior mina.

3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES.

3.1 Juego de llaves mixtas 8mm a 32mm.
3.2 Juego de llaves mixtas 3/8" a 1".
3.3 Juego de llaves Allen 0.050 – 3/8"
3.4 Juego de llaves Allen 1.5 – 10 mm.
3.5 Juego de dados 10mm a 30 mm con ancasta de 1/2"
3.6 Juego de dados 3/8" a 1" con ancasta de 1/2".
3.7 Juego de destornilladores plano y estrella.
3.8 Palanca y ratchet de 3/4".
3.9 Extensión de 5" x 1/2".
3.10 Palanca de 3/4".
3.11 Dado 36mm x 3/4".
3.12 Succionador de aceite.
3.13 Martillo de bola de 12 lb.
3.14 Aceitera.
3.15 Medidores de 1gl.
3.16 Embudos.
3.17 Muestrero de aceite.
3.18 Bandejas de contención.
3.19 Escobas.
3.20 Mesa de trabajo.
3.21 Tornillo de banco.
3.22 Kit anti derrame.
3.23 Dispositivos de bloqueo.

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
Nombre: Justo Pablo Tejada Prado Supervisor Sandvik Fecha de Elaboración: 04-11-2017	Nombre: Wilfredo Chamorro C. Residente Sandvik Fecha de Revisión: 19-01-2019	Nombre: Paúl Huamán Marín Jefe de EHS - Sandvik Fecha de Revisión: 24-01-2019	Nombre: Weler Chancasanampa R. Jefe Zonal - Sandvik Fecha de Aprobación: 25-01-2019

SANDVIK	MANTTO PREVENTIVO MOTOR DIESEL – JUMBO		UNIDAD MINERA EL PORVENIR
	Area: MANTENIMIENTO	Version: 01	
	Código: PO.CNT.104	Page 2 of 6	

4. PROCEDIMIENTO

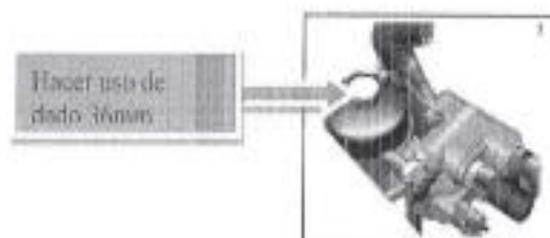
- 4.1. Inspección del área de trabajo y herramientas manuales.
- 4.2. Contar con la orden de trabajo, IPERC liberados por el supervisor de turno indicando el trabajo de calibración de válvulas de motor diesel.
- 4.3. Estacionar el equipo en una superficie plana, buena iluminación y espacio libre para el tránsito peatonal de prioridad un taller.
- 4.4. Delimitar el área de trabajo, usando cintas y/o sogas de bloqueo, conos de seguridad.
- 4.5. Posicionar el brazo del equipo a altura de piso, realizado por el operador del equipo, el personal técnico debe de mantener la distancia de 3 m del equipo.
- 4.6. Realizar el bloqueo de equipo según la matriz de bloqueo (puntos de bloqueo (1, 2, 3))
- 4.7. Realizar el lavado de equipo haciendo uso de agua a presión 2 bar y desengrasante, el desengrasante debe de contar con su respectiva hoja MSDS, los técnicos deben hacer uso adecuado de los EPPS y deben de transitar al momento de lavar pausadamente.
- 4.8. Levantar las cubiertas de la maquina ubicado a altura del motor diesel lado derecho y lado izquierdo abriendo los seguros manualmente.
- 4.9. Abrir la mesa de soporte del compresor de aire, quitando el seguro y abrir manualmente. OBS: si el compresor se encuentra ubicado a altura del motor diesel.

CAMBIO DE ACEITE:

- 4.10. Succione el aceite del motor a través del conducto de varilla de medición, hacer uso del succionador de aceite manualmente y guarde la muestra en la mesa de trabajo.
- 4.11. Colocar la bandeja de contención debajo del tapón de drenaje de aceite, aflojar y retirar el tapón de la manguera de drenaje de aceite hacer uso de la llave mixta 22mm y/o 24mm, abrir la válvula de paso manualmente dejar que salga el aceite.
- 4.12. Abrir la cubierta del filtro de aceite con el dado 36mm x 3/4" y palanca de 3/4" y retirar el filtro de aceite manualmente y desechar en la bandeja de contención.

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
			
Nombre: Juan Pablo Tejada Prado	Nombre: Wilfredo Chamorro C	Nombre: Paúl Huamán Marín	Nombre: Weler Chancasanampa R.
Supervisor Sandvik	Residente Sandvik	Jefe de EHS - Sandvik	Jefe Zonal - Sandvik
Fecha de Elaboración: 04-11-2017	Fecha de Revisión: 19-01-2019	Fecha de Revisión: 24-01-2019	Fecha de Aprobación: 28-01-2019

	Área: MANTENIMIENTO Código: PO-CNT.106	Versión: 01 Page 3 of 8	MINERA EL PORVENIR
---	---	----------------------------	-------------------------------



- 4.13. Colocar el nuevo filtro manualmente, presentar y ajuste la cubierta del filtro ajustar con el dado 36mm x 3/4", palanca de 3/4".
- 4.14. Cerrar el tapón de drenaje de aceite con la llave mixta 22mm, 24mm, añadir aceite limpio al motor por el cuello de la abertura de llenado hasta que el nivel de aceite alcance la marca máxima en la varilla de medición, para el llenado de aceite hacer uso de embudo y medidores de 1gl.

CAMBIO DE FILTROS DE COMBUSTIBLE:

- 4.15. Aflojar y retirar la tapa del filtro de combustible con el dado 36mm x 3/4" y palanca de 3/4", retirar el filtro de combustible manualmente y desecar en la bandeja de contención.
- 4.16. Realizar la limpieza de la tapa, colector hacer uso de trapos.
- 4.17. Colocar el nuevo filtro manualmente en la posición adecuada, aplicar una fina capa de aceite en las juntas del elemento del filtro i anillo de sellado, hacer uso de la acetara con su respectiva hoja MSDS.
- 4.18. Presentar y ajustar la tapa del filtro de combustible, hacer uso del dado 36mm x 3/4" con la palanca de 3/4".
- 4.19. Realizar la limpieza del pre filtro de combustible, aflojar y retira la cuba del filtro, retirar el filtro manualmente.
- 4.20. Insertar el nuevo filtro en la cuba del filtro manualmente y ajuste la tapa.
- 4.21. Cambiar el filtro separador de agua, coloque una bandeja de contención debajo del filtro separador de agua.
- 4.22. Aflojar el filtro haciendo uso del extractor de filtro, retirar de manera manual y llevar a la mesa de trabajo.
- 4.23. Colocar en el tornillo de banco y retirar el filtro separador don el extractor de filtro.
- 4.24. Lubricar el nuevo anillo de la junta con aceite, hacer uso de la acetara con su respectiva hoja MSDS, colocar el filtro separador nuevo y ajustar manualmente en la mesa de trabajo y tornillo de banco.
- 4.25. Presentar y ajustar el filtro separador de combustible en la base manualmente.

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
 Nombre: Juan Pablo Tajada Prado Supervisor Sandvik Fecha de Elaboración: 04-11-2017	 Nombre: Wilfredo Chamorro C. Residente Sandvik Fecha de Revisión: 19-01-2019	 Nombre: Paúl Huamán Marín Jefe de EHS - Sandvik Fecha de Revisión: 24-01-2019	 Nombre: Welier Chancasanampa R. Jefe Zonal - Sandvik Fecha de Aprobación: 25-01-2019

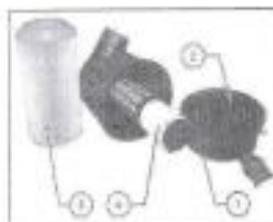
SANDVIK	MANTTO PREVENTIVO MOTOR DIESEL – JUMBO		UNIDAD MINERA EL PORVENIR
	Area: MANTENIMIENTO	Version: 01	
	Código: PO.ONT.104	Página 4 of 8	

- 4.26. Realizar el purgado del sistema de combustible manualmente realizando el cebado correspondiente, para lo cual hacer uso de bandeja de contención lado del purgado de combustible.
- 4.27. Realizar una inspección visual de las mangueras y abrazaderas y pernos racor del sistema de combustible, ajustar si es necesario haciendo uso de destornillador plano y llave mixta 17mm, 19mm.



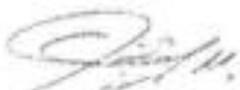
CAMBIO DE FILTRO DE AIRE:

- 4.28. Aflojar las abrazaderas de sujeción de la tapa de porta filtro de aire y retirarlo manualmente.
- 4.29. Retire los filtros de aire primario y seguridad manualmente.



- 4.30. Realice la limpieza de porta filtro de aire haciendo uso de trapo manualmente.
- 4.31. Cambiar los filtros de aire nuevos manualmente, cerrar la tapa de porta filtro manualmente asegurándose que las abrazaderas encajen en su posición correcta de forma visual.

PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Nombre: Juan Pablo Tejada Prado Supervisor Sandvik Fecha de Elaboración: 04-11-2017	Nombre: Wilfredo Chamorro C. Residente Sandvik Fecha de Revisión: 19-01-2019	Nombre: Paúl Huamán Marín Jefe de EHS - Sandvik Fecha de Revisión: 24-01-2019	Nombre: Weler Chancasanampa R. Jefe Zonal - Sandvik Fecha de Aprobación: 26-01-2019

Código: PO-CNT-104		Página 5 of 6		MINERA EL PORVENIR
4.32.	Revisar las abrazaderas y estado de las mangueras del sistema de admisión, ajustar si fuese necesario las abrazaderas con las llaves mixtas 10mm, 11mm, 13mm.			
4.33.	Revisar las abrazaderas y tubos del sistema de escape, si es necesario ajustar hacer uso de la llave mixta 10mm, 11mm, 13mm.			
4.34.	Revisar de forma visual los niveles de refrigerante del motor diesel, el nivel de refrigerante debe encontrarse entre las marcas MIN y MAX.			
				
4.35.	Cerrar la mesa de soporte del compresor de aire, quitando el seguro y abrir manualmente.OBS: si el compresor se encuentra ubicado a altura del motor diesel			
4.36.	Cerrar las cubiertas de la maquina a altura del motor diesel lado derecho y lado izquierdo abriendo los seguros manualmente.			
4.37.	Realizar el desbloqueo de equipo según la matriz de bloqueo (puntos de bloqueo (1, 2, 3).			
4.38.	Arranque el motor diesel para realizar las pruebas, para esta tarea los técnicos estarán ubicados 3 m de distancia del equipo, manteniendo contacto visual con el operador y comunicación oral y de señas mientras dure la prueba.			
5. RESTRICCIONES				
5.1.	No haber realizado el llenado del IPERC y/o no estar liberado por el supervisor de turno.			
5.2.	No contar con la orden de trabajo firmada por el supervisor.			
5.3.	No tener los EPP necesarios para el desarrollo de la actividad			
5.4.	No contar con las herramientas y equipos adecuados.			
5.5.	No tener los dispositivos de seguridad tag out, lock out.			
5.6.	No tener las condiciones necesarias como ventilación, sostenimiento e iluminación.			
5.7.	No contar con tacos.			
5.8.	No contar con el kit anti derrame y bandejas.			
5.9.	No contar con la matriz de bloqueo.			
PREPARADO POR:	REVISADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:	
				
Nombre: Juan Pablo Tejada Prado	Nombre: Wilfredo Chamorro C.	Nombre: Paul Huanán Merín	Nombre: Weler Chancasanampa R.	
Supervisor Sandvik	Residente Sandvik	Jefe de EHS - Sandvik	Jefe Zonal - Sandvik	
Fecha de Elaboración: 04-11-2017	Fecha de Revisión: 19-01-2019	Fecha de Revisión: 24-01-2019	Fecha de Aprobación: 26-01-2019	

Fuente: Sandvik del Peru

Anexo 13. Validación de datos por la Empresa Nexa El Porvenir

Validación de .Matriz de análisis de datos

Equipo	Disponibilidad antes (%)	Disponibilidad Despues (%)	Horas operativas antes (Hr/mes)	Horas operativas Despues (Hr/mes)	Horas de parada antes (Hr/mes)	Horas de parada despues (Hr/mes)
Flota Jumbo	71.53%	89.49%	515.00	644.33	205.21	75.67
Flota Jumbo	80.09%	92.36%	576.18	665.09	143.34	55.00
Flota Jumbo	79.54%	90.51%	572.67	651.65	147.33	68.33
Flota Jumbo	81.48%	91.20%	586.45	656.17	138.37	63.12
Flota Jumbo	78.94%	92.59%	568.33	666.66	151.66	53.33
Flota Jumbo	83.94%	90.28%	604.09	650.00	115.67	70.00
Flota Jumbo	81.25%	89.35%	585.00	643.33	135.11	76.67
Flota Jumbo	84.03%	89.58%	605.00	645.00	115.01	75.01
Flota Jumbo	84.40%	88.89%	607.47	640.76	112.33	80.11
Flota Jumbo	82.64%	90.28%	595.00	650.12	125.01	70.00
Flota Jumbo	80.79%	88.89%	581.12	640.00	138.32	80.00
Flota Jumbo	86.85%	90.97%	625.33	655.00	94.87	65.00

nexa resources

ing. Steve Azarero Ch.
 Planner de Mantenimiento
 U.M. El Porvenir (Atsicocha)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14. Reporte diario de equipos



**ORDEN DE TRABAJO
REPORTE DIARIO DE EQUIPOS**

SNV-RO-PP-01
REV. 01
Creado: 11/11/2018

CODIGO EQUIPO: J-210			CLIENTE: MFB		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4">REPORTE DE INTERVENCION</th> </tr> <tr> <th>SERVICIO</th> <th>CHECK</th> <th>INICIO</th> <th>FIN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Manti. Preventivo</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Manti. Correctivo - Parada</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rep. Programada</td> <td></td> <td>12:00</td> <td>5:20</td> </tr> <tr> <td>Manti. Correctivo - Oper</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inspección</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rep. Accidente</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Parada Operativa (Falla Op.)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				REPORTE DE INTERVENCION				SERVICIO	CHECK	INICIO	FIN	Manti. Preventivo				Manti. Correctivo - Parada				Rep. Programada		12:00	5:20	Manti. Correctivo - Oper				Inspección				Rep. Accidente				Parada Operativa (Falla Op.)				Descripción			
REPORTE DE INTERVENCION																																																
SERVICIO	CHECK	INICIO	FIN																																													
Manti. Preventivo																																																
Manti. Correctivo - Parada																																																
Rep. Programada		12:00	5:20																																													
Manti. Correctivo - Oper																																																
Inspección																																																
Rep. Accidente																																																
Parada Operativa (Falla Op.)																																																
Descripción																																																
FECHA: _____			UNIDAD PRODUCCION: PERUVIER																																													
TURNO DIA: _____ NOCHE: _____			N° O.T. CLIENTE: _____																																													
ESTADO: Operativo: _____ Inoperativo: _____			HOROMETROS																																													
			DIESEL: 15709																																													
			ELECTRICO: 2349																																													
			COMPRESORA: 2410																																													
			PERCUSION 1: 7402																																													
			PERCUSION 2: 1437																																													

UBICACION		ANALISIS DE FALLA	
ZONA: ACTA	CAUSA RAZ: - DESGASTE	SISTEMA: HIDRAULICO	COO: _____
NIVEL: - 100 (3930)		SUB-SISTEMA: PZ-BOMBA	
LABOR: TALLER		COMPONENTE: PERFORADORA	
		CAUSA RAZ: VOTE PZ	

Recomendación técnica:

- realiza las intervenciones con frecuencias mas cortas alas 50 hrs.

DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO

1. Limpieza de ambos brazos (lavado)
2. Desmontaje de 2 perforadoras
3. Se aplica pernos de perforadora
4. Se realiza lavado de perforadora
5. Se cambia centralizadores delantero y cambio de pernos H-20x120
6. Se realiza soldadura tipo todo, bastido de cilindro avance perforadora brazo
7. Uno.
8. Manti motor diesel
9. Manti compresor
10. Trabajos de soldadura en el soporte manubrio agua

COD. TEC.	TECNICO	FIRMA
	J. GANTO	
	J. RIVEROLLO E	
	R. RONCAS S.	

REPUESTOS / INSUMOS INSTALADOS			LUBRICANTES		
NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	CANT.	TIPO	DETALLE	CANT. (G/L)
	Cambio de centralizador	2	NUTO H46		
			MOBIL 15W-40		
			MOBIL 80W-90		
			MOBIL 68W-140		
			MOBIL HD30		
			DESENGRASANTE		
			REFRIGERANTE		
			MOBIL RARUS 46		
			GRASA EP2		

TRABAJOS PENDIENTES				
- Cambiar filtro de admisión motor.				
- Sacar muestra de aceites de corona y mandos finales				
- Reparación de perforadoras.				
- Terminar lavado de equipo.				
- Cambiar shank izquierdo.				

BACKLOG - REQUERIMIENTO DE REPUESTOS				
NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	CANT.	MOTIVO PEDIDO?	CRIT.
12524311	SEAL	01		01



FIRMA TECNICO

NOMBRE



FIRMA SUPERVISOR

NOMBRE

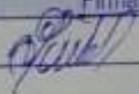
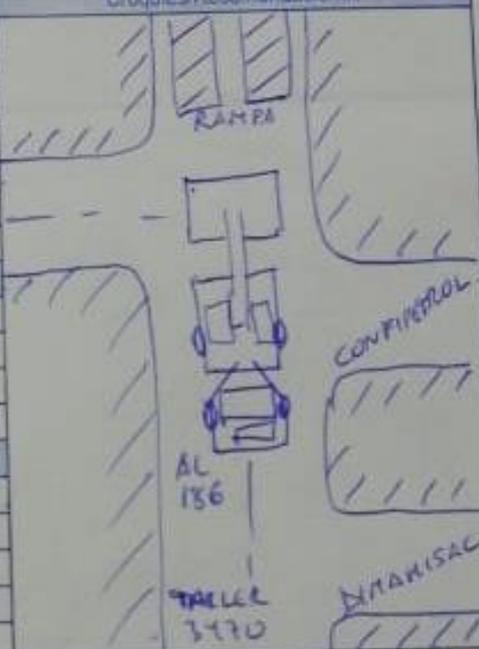


FIRMA CLIENTE

NOMBRE

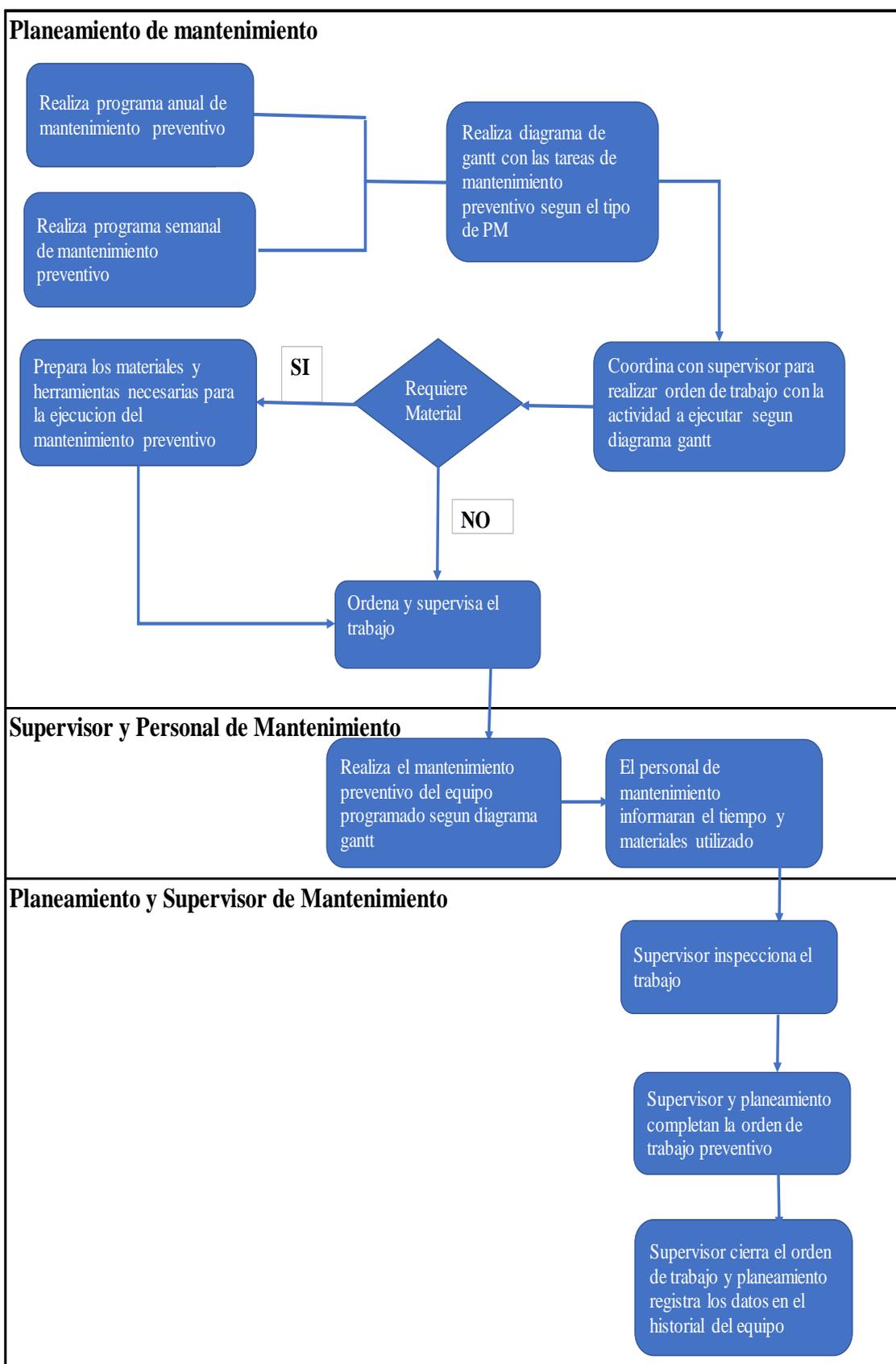
Fuente: Sandvik del peru

Anexo 15.Orden de trabajo

		ORDEN DE TRABAJO		Código: FCNT.005		
				Fecha Elab.	26/06/2018	
				Version:	0.0	
				N°		
Fecha:	07 30 18	Turno:	MA	Hora:	10:00	
Nombre del Supervisor:	Juan Tejada			Area:	Mantenimiento	
Lider de la Tarea:	J. Ganto			Lugar:	Antena Mina	
Nombre del Colaborador:	Jaime Ganto			Nivel/Labora:	3470	
				Firma		
						
Compromiso del colaborador: Si marca (SI) continúe con la actividad y si marca (NO) no inicie la actividad y comuníquese a su líder:					SI	NO
Fue entrenado en los ESTANDARES y PETS para desarrollar la actividad, conoce el procedimiento de la actividad que va a ejecutar?					<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Actividades a Desarrollar			Croquis/Recomendaciones			
1. AL 186.						
2. Reubicar faros posteriores.						
3. Recalibrar de talleres de cavatilla.						
4. Cambio de repuestos de sistema eléctrico.						
5.						
Actividades Críticas a Desarrollar						
1. Realizar el bloqueo de fuentes de energía de acuerdo al método.						
2.						
3.						
4.						
Condiciones de Seguridad						
1. Realizar PRL antes de la actividad						
2. Utilizar el orden de trabajo.						
3. Bloqueo fuentes de energía.						
4. Cumplimiento de los P.D.S.						
5. Realizar orden y limpieza.						
 Firma Supervisor			 Firma Líder			

Fuente: Sandvik del Perú

Anexo 16. Flujograma de mantenimiento preventivo



Fuente: Elaboración propia