



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

OPTIMIZACIÓN DEL STOCK DE COMPONENTES
CRÍTICOS PARA REDUCIR COSTOS E INCREMENTAR
LA DISPONIBILIDAD DE PALAS HIDRÁULICAS EN
MINERÍA.

Tesis para optar el Título Profesional de:
INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Bachiller. Geraldine Cristina Salazar Hernández.
Bachiller. Julio César Puma Veronica.

Asesor:

Mg.Ing. Jimmy Frank Oblitas Cruz

Cajamarca – Perú
2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la Tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Nombres y Apellidos**, denominada:

OPTIMIZACIÓN DEL STOCK DE COMPONENTES CRÍTICOS PARA REDUCIR
COSTOS E INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE PALAS HIDRÁULICAS EN
MINERÍA

Ing. Nombres y Apellidos
ASESOR

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

DEDICATORIA

Dedico ésta tesis, a mis queridos padres: Julio e Isabel; que, de una u otra manera, me han apoyado incondicionalmente dándome ánimo y fuerzas para seguir adelante. Y por haberme enseñado que con mucho esfuerzo, dedicación y constancia todo en ésta vida, poco a poco, se consigue.

A mi hermano Julio Cesar Salazar Hernández, por mostrarme lo bueno que es tener un hermano y poder compartir y aprender cosas de él.

A todas aquellas personas que, de alguna forma, y aún sin saberlo, me ayudaron poniendo a mi disposición sus invaluable conocimientos, aclarando mis dudas, apoyándome e impulsándome para que siguiese adelante.

Geraldine Cristina Salazar Hernández

DEDICATORIA

*Un día cuando mis ojos no miraban el color de la vida,
y la oscuridad venía, le pedí a Dios que el miedo no
llegue a mi corazón y por alguna razón una lágrima
suavemente vence la gravedad de alegría.
Mostrándome las sonrisas y la amistad de niño, el
amor de seres queridos, el miedo retrocedía al
corazón.*

*Esta Tesis la dedico al Amor; al que siento a mi Madre
Viviana, a mi hermana Andrea, al Amor de todos mis
Amigos y Amigas y a Noelia en mostrarme este
sentimiento, pues es la energía que mueve la vida.*

Julio César Puma Veronica

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que nos brindaron sus enseñanzas y nos apoyaron para culminar con éxito nuestra Tesis.

Geraldine Cristina Salazar Hernández

A Dios por ver los colores de la vida.

A todos los integrantes de la Universidad Privada del Norte, porque siempre estamos aprendiendo.

A todos mis compañeros de trabajo del Departamento de Mecánica del Instituto Tecsup Arequipa.

Y a la Familia Salazar Hernández, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

Julio César Puma Veronica

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi

Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Realidad problemática.....	17
1.2. Formulación del problema.....	19
1.3. Justificación.....	19
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	19
1.3.2. <i>Justificación aplicativa o práctica</i>	19
1.3.3. <i>Justificación aplicativa o práctica</i>	19
1.4. Limitaciones.....	19
1.5. Objetivos.....	20
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	20
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	20
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes.....	21
2.1.1. <i>Antecedente Nacional</i>	21
2.1.2. <i>Antecedente Internacional</i>	22
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. <i>Logística</i>	23
2.2.2. <i>Inventarios</i>	24
2.2.3. <i>Almacén</i>	24
2.2.4. <i>Repuestos</i>	25
2.2.5. <i>Métodos de clasificación de repuestos o componentes críticos</i>	27
2.2.6. <i>Pala Hidráulica y operación en mina</i>	33
2.2.7. <i>Cálculo de la producción pala hidráulica aplicación construcción</i>	34
2.2.8. <i>Producción en excavadoras hidráulicas de construcción</i>	35
2.2.9. <i>Tiempos de operación en Minería</i>	37
2.2.10. <i>Métricas de rendimiento para equipos móviles de minería</i>	37
2.2.11. <i>Cálculo de la disponibilidad</i>	39
2.2.12. <i>Análisis de la Confiabilidad</i>	40
2.2.13. <i>Costos</i>	58
2.2.14. <i>Gestión de Repuestos centrado en el nivel de servicio</i>	62

2.2.15.	<i>Gestión de Repuestos centrado en la disponibilidad del sistema</i>	63
2.2.16.	<i>Demanda con Distribución Poisson</i>	66
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA		68
3.1.	Operacionalización de variables.....	68
3.2.	Diseño de investigación.....	68
3.3.	Unidad de estudio.....	68
3.3.1.	<i>Población</i>	68
3.3.2.	<i>Muestra (muestreo o selección)</i>	68
3.4.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	69
3.5.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.....	69
3.5.1.	<i>Análisis de Documentos para identificación de equipo, componentes y costos de producción</i>	69
3.5.2.	<i>Análisis de Documentos para identificar el proceso actual de gestión de stock de componentes críticos</i>	72
3.5.3.	<i>Análisis de Documentos para identificar el tiempo de intercambio óptimo de componentes críticos</i>	73
3.5.4.	<i>Para procesar datos</i>	73
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		75
4.1.	Diagnóstico situacional de la empresa.....	75
4.1.1.	<i>Información del Sector Industrial</i>	75
4.1.2.	<i>Referencias generales de la empresa</i>	75
4.1.3.	<i>Descripción general de la empresa</i>	76
4.1.4.	<i>Organigrama</i>	76
4.1.5.	<i>Proveedores</i>	76
4.1.6.	<i>Clientes</i>	76
4.1.7.	<i>Competidores</i>	76
4.1.8.	<i>Personal</i>	77
4.1.9.	<i>Máquinas y equipo</i>	77
4.1.10.	<i>Análisis FODA</i>	77
4.2.	Diagnóstico situacional del área de estudio.....	77
4.2.1.	<i>Descripción del área</i>	77
4.2.2.	<i>Mapa de procesos del área</i>	77
4.2.3.	<i>Distribución del área</i>	77
4.2.4.	<i>Diagnóstico Situacional del proceso actual</i>	78
4.3.	Resultados de indicadores del diagnóstico – Matriz de Operacionalización de variables.....	83
4.4.	Diseño de la propuesta.....	85
4.5.	Desarrollo de Diseño.....	86
4.5.1.	<i>Analizar los costos y disponibilidad actual de palas hidráulicas en minería</i>	86
4.5.1.1	<i>Disponibilidad inherente</i>	86
4.5.1.2	<i>Costo de producción de pala</i>	91
4.5.1.3	<i>Componentes Críticos</i>	95
4.5.2	Optimización del stock componentes críticos.....	103
4.5.2.1	<i>Swing Bearing</i>	103
4.5.2.2	<i>Probabilidad de falla F(T)</i>	104

4.5.2.9	Resumen de Distribuciones de Probabilidad.....	116
4.5.2.10	Resultados de datos de Distribución Weibull.	119
4.5.7	Detalle de costos del componente.	122
4.5.8	Estimación del MTBI Preventivo.....	123
4.5.8.1.1	MTBI optimo en base a costos Directos e Indirectos.....	123
4.5.11	Optimización maximizando la disponibilidad inherente.....	140
4.5.12	Optimización base a un presupuesto establecido.....	143
4.6	Resultados de los indicadores después del desarrollo del diseño.....	145
4.6.1	Analizar los costos y disponibilidad de palas hidráulicas en minería.....	145
4.7	Resultados del análisis económico.....	146
4.7.1	Inversión por la implementación de la mejora.	146
4.7.2	Análisis de los indicadores.....	147
4.7.3	Flujo de Caja.....	151
4.7.4	Resultados del Flujo de Caja.....	152
5	DISCUSIÓN	153
6.	CONCLUSIONES.....	154
6.	RECOMENDACIONES	156

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. REPUESTOS NO REPARABLES. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013)	26
FIGURA 2. REPUESTOS REPARABLES. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013)	27
FIGURA 3. DIAGRAMA DE PARETO. FUENTE: (DUFFUAA, RAOUF, & DIXON CAMBEL, 2000)	28
FIGURA 4. DIAGRAMA JACK KNIFE DE TIEMPOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	29
FIGURA 5. CUADRANTES JACK KNIFE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	29
FIGURA 6. JACK KNIFE DE TIEMPOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	30
FIGURA 7. JACK KNIFE PARA ARTÍCULOS QUE FUNCIONAN A MÁXIMA DISPONIBILIDAD. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).....	31
FIGURA 8. JACK KNIFE EN LOS QUE LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS ES LA PRIORIDAD. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).....	32
FIGURA 9. DISPERSIÓN DE COSTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	33
FIGURA 10. MPA-FEB-13-2013-BOLETIN-NEWS-3-ZINC-PERU. FUENTE: WWW.MINERIA-PA.COM	33
FIGURA 11. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS. FUENTE: CURSO DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS TECSUP.	34
FIGURA 12. CAMBIOS EN EL VOLUMEN DE LA TIERRA. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	35
FIGURA 13. ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE FALLAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	37
FIGURA 14. CURVA DE LA BAÑERA PARA UNA SERIE DE FALLOS DE DISCOS DUROS. FUENTE: (NAYA FERNANDEZ, 2013)	41
FIGURA 15. MODELOS TÍPICOS DE FALLA (NOWLAN Y HEAP). FUENTE: (TECSUP CURSO CONFIABILIDAD, 2016).....	42
FIGURA 16. HISTOGRAMA DE TIEMPO DE FALLA. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).....	43
FIGURA 17. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD. FUENTE: (LIVING RELIABILITY , 2016)	44
FIGURA 18. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD. FUENTE: (LIVING RELIABILITY , 2016)	45
FIGURA 19. FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD COMUNES. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013). 45	
FIGURA 20. FUNCIONES DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD COMUNES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	46
FIGURA 21. FUNCIÓN DE DENSIDAD ACUMULADA. FUENTE: (LIVING RELIABILITY , 2016)	46
FIGURA 22. FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN ACUMULADAS COMUNES. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013). 47	
FIGURA 23. FUNCIONES DE DENSIDAD DE ACUMULADA COMUNES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	47
FIGURA 24. FUNCIONES DENSIDAD DE PROBABILIDAD F(T), PROBABILIDAD DE FALLA F(T) Y CONFIABILIDAD R(T). FUENTE: (LIVING RELIABILITY , 2016).....	48
FIGURA 25. FUNCIONES DE CONFIABILIDAD COMUNES. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).....	49
FIGURA 26. FUNCIONES CONFIABILIDAD COMUNES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	49
FIGURA 27. FUNCIONES DE TASA DE RIESGO COMUNES. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).....	50
FIGURA 28. TASA DE RIEGOS O FALLA COMUNES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	51
FIGURA 29. FUNCIÓN WEIBULL DE 2 PARÁMETROS. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).	52
FIGURA 30. CURVA DE LA BAÑERA Y BETA B. FUENTE: (MURILLO , 2002).....	53
FIGURA 31. DOS DISTRIBUCIONES DE WEIBULL CON IDÉNTICA UBICACIÓN Y PARÁMETROS DE FORMA, PERO DIFERENTES PARÁMETROS DE ESCALA. FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).	53
FIGURA 32. DISTRIBUCIÓN WEIBULL CON $\gamma > 0$ FUENTE: (JARDINE & TSANG, 2013).	57
FIGURA 33. EJEMPLO DE ESTIMACIÓN DE NIVEL DE SERVICIO Y DE NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS PENDIENTES. FUENTE: (PASCUAL, EL ARTE DE MANTENER, 2008)	64
FIGURA 34. NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS PENDIENTES. FUENTE: (PASCUAL, EL ARTE DE MANTENER, 2008).....	65
FIGURA 35. NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS PENDIENTES. FUENTE: EMPRESA MANTENEDORA	71
FIGURA 36. ORGANIGRAMA CONTRATO MARC YANACOA. TOMADO DE LA EMPRESA, 2015	76
FIGURA 37. DIAGRAMA DE REEMPLAZO DE COMPONENTES CRÍTICOS REPARABLES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	79
FIGURA 38. DIAGRAMA DE REEMPLAZO CON UNA QUINTA INTERVENCIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	79

FIGURA 39. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA SELECCIÓN DE ESTRATEGIA DE CAMBIO DE COMPONENTES CRÍTICOS. FUENTE: (DIPLOMADO INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE ACTIVOS TECSUP, 2017).....	86
FIGURA 40. PROCESO PRODUCTIVO DEL ORO RETIRA1. FUENTE: WWW.YANACocha.COM	87
FIGURA 41. VISTA EN SECCIÓN DEL TAJO DE LA MINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	87
FIGURA 42. GRÁFICO DE CONTROL DE DISPONIBILIDAD VERSUS TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	90
FIGURA 43. GRÁFICO DE CONTROL DE DISPONIBILIDAD SUAVIZADO VERSUS TIEMPO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	91
FIGURA 44. CARTA SP8-AU-E-1 FUENTE: (KITCO, 2016)	95
FIGURA 45. ANALOGÍA DE REPUESTOS CRÍTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	96
FIGURA 46. DIAGRAMA DE ABC DE COMPONENTE CRÍTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	98
FIGURA 47. DIAGRAMA DE JACK KNIFE DE DISPERSIÓN DE TIEMPOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	100
FIGURA 48. DIAGRAMA DE JACK KNIFE DE DISPERSIÓN DE COSTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	102
FIGURA 49. SWING BEARING EN EXCAVADORA HIDRÁULICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	103
FIGURA 50. CONFIABILIDAD R(T) DEL 1º DATO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	105
FIGURA 51. CONFIABILIDAD R(T) DEL 2º DATO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	106
FIGURA 52. PROBABILIDAD DE FALLA F(T) Y CONFIABILIDAD R(T) DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	106
FIGURA 53. PROBABILIDAD DE FALLA DEL 1º DATO DEL TUMBLER SHAFT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	107
FIGURA 54. PROBABILIDAD DE FALLA F(T) Y CONFIABILIDAD R(T) DEL TUMBLER SHAFT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	108
FIGURA 55. CÁLCULO DE LA VARIABLE Y PARA LA DISTRIBUCIÓN NORMAL.	109
FIGURA 56. CÁLCULO DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	109
FIGURA 57. CÁLCULO DE LA MEDIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	110
FIGURA 58. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN NORMAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	110
FIGURA 59. CÁLCULO DE LA VARIABLE Y PARA LA DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	111
FIGURA 60. CÁLCULO DE LA TASA DE FALLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	111
FIGURA 61. CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO PARA LA FALLA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	112
FIGURA 62. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	112
FIGURA 63. CÁLCULO DE LA VARIABLE Y PARA LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	112
FIGURA 64. CÁLCULO DE BETA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	113
FIGURA 65. CÁLCULO DE ETA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	113
FIGURA 66. CÁLCULO DEL TIEMPO PROMEDIO PARA LA FALLA PARA WEIBULL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	114
FIGURA 67. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	114
FIGURA 68. CÁLCULO DEL WEIBULL3P. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	115
FIGURA 69. CÁLCULO DE GAMA PARA WEIBULL3P CON SOLVER. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	115
FIGURA 70. VALOR DE GAMMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	116
FIGURA 71. GRÁFICAS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN R2 DE DISTRIBUCIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	117
FIGURA 72. RESULTADOS DE EXCEL PARA EL TUMBLER SHAFT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	118
FIGURA 73. GRÁFICA DE MINITAB PARA EL TUMBLER SHAFT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	118
FIGURA 74. RESULTADOS DE MINITAB PARA EL TUMBLER SHAFT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	119
FIGURA 75. CÁLCULO DE CONFIABILIDAD DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	120
FIGURA 76. CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE FALLA DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	120
FIGURA 77. CÁLCULO DE LA TASA DE FALLA DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	121
FIGURA 78. CÁLCULO DE FUNCIÓN DE DENSIDAD DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	122

FIGURA 79. DETALLE DE COSTOS DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	122
FIGURA 80. CÁLCULO DE MTBI DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	123
FIGURA 81. VALOR DEL MTBI DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	124
FIGURA 82. CÁLCULO DE LA CONFIABILIDAD CON EL MTBI. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	124
FIGURA 83. CÁLCULO DEL COSTO GLOBAL CORRECTIVO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	125
FIGURA 84. CÁLCULO DEL COSTO GLOBAL PREVENTIVO ACTUAL DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	126
FIGURA 85. CÁLCULO DEL COSTO GLOBAL PREVENTIVO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	127
FIGURA 86. GRÁFICA DE COSTO GLOBAL PREVENTIVO DEL ENGINE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	128
FIGURA 87. CÁLCULO DEL COSTO DIRECTO PREVENTIVO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	128
FIGURA 88. CÁLCULO DEL COSTO ACTUAL DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	129
FIGURA 89. CÁLCULO DEL COSTO OPTIMO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	130
FIGURA 90. CÁLCULO DEL COSTO OPTIMO DEL ENGINE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	130
FIGURA 91. AHORRO POR EL MTBI OPTIMO DE SWING BEARING Y ENGINE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	131
FIGURA 92. AHORRO POR EL MTBI OPTIMO DE LOS 14 COMPONENTES CRÍTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	132
FIGURA 93. DETALLE COSTOS ACTUAL DE TRES COMPONENTES CRÍTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	134
FIGURA 94. AHORRO CON TIEMPO OPTIMO DE COMPONENTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	135
FIGURA 95. CÁLCULO DEL EBO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	135
FIGURA 96. SUMATORIA DEL EBO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	136
FIGURA 97. CÁLCULO DE LA INDISPONIBILIDAD DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA....	136
FIGURA 98. CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL ALMACÉN DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	137
FIGURA 99. CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL MECÁNICA DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	137
FIGURA 100. DISPONIBILIDAD MECÁNICA EN SERIE. FUENTE: (DIPLOMADO INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE ACTIVOS TECSUP, 2017)	138
FIGURA 101. CÁLCULO DE LA DISPONIBILIDAD DEL SISTEMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	138
FIGURA 102. OPTIMIZACIÓN CON UN SOLO COMPONENTES CRITICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ...	139
FIGURA 103. OPTIMIZACIÓN CON UN DOS COMPONENTES CRITICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	139
FIGURA 104. OPTIMIZACIÓN CON CANTIDADES MIXTAS DE COMPONENTES CRÍTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	140
FIGURA 105. SOLVER MAXIMIZANDO LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	141
FIGURA 106. SOLVER EN BASE A PRESUPUESTO REDUCIDO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	143
FIGURA 107.FLUJO DE CAJA OPTIMIZACIÓN 01 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	151
FIGURA 108.FLUJO DE CAJA OPTIMIZACIÓN 02 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	151

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. FACTOR DE LLENADO DE CUCHARÓN. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009).....	36
TABLA 2. FACTOR DE CONVERSIÓN PARA EXCAVADORAS. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	36
TABLA 3. EFICIENCIA DE TRABAJO. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	36
TABLA 4. TIEMPOS DE OPERACIÓN DE MINERÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	37
TABLA 5. VARIABLES UTILIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	68
TABLA 6.TÉCNICAS UTILIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	69
TABLA 7. TÉCNICAS UTILIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	69
TABLA 8. TIEMPOS PROMEDIO ENTRE FALLA DE FLOTA MTBF. FUENTE: EMPRESA MANTENEDORA.....	70
TABLA 9. TIEMPOS PROMEDIO PARA REPARAR DE FLOTA MTTR. FUENTE: EMPRESA MANTENEDORA	71
TABLA 10. ANÁLISIS FODA. ELABORACIÓN PROPIA.....	77
TABLA 11. FUENTE: EMPRESA MANTENEDORA ÁREA DE ALMACENES.	78
TABLA 12. DATOS Y HORAS DE TRABAJO DE LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	80
TABLA 13. DISPONIBILIDAD EN EL ALMACÉN CON 1 MOTOR DIÉSEL EN STOCK. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	81
TABLA 14. DISPONIBILIDAD EN EL ALMACÉN CON 2 MOTORES DIÉSEL EN STOCK. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
TABLA 15. DISPONIBILIDAD EN EL ALMACÉN CON 3 MOTORES DIÉSEL EN STOCK. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
TABLA 16. DISPONIBILIDAD EN EL ALMACÉN CON 4 MOTORES DIÉSEL EN STOCK. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
TABLA 17. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL DEL PROCESO ACTUAL	84
TABLA 18. VARIABLES; RESULTADO ACTUAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	85
TABLA 19.MTBF DE LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	88
TABLA 20. MTTR DE LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	89
TABLA 21. DISPONIBILIDAD INHERENTE DE LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	89
TABLA 22. DISPONIBILIDAD INHERENTE SUAVIZADA DE LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	90
TABLA 23. TIEMPO DE MOVIMIENTO DE PALA HIDRÁULICA EX5500. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, TIEMPOS EXTRAÍDOS DE VIDEO DE OPERACIÓN EN CAMPO	91
TABLA 24. FACTOR DE CONVERSIÓN. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	92
TABLA 25. FACTOR DE LLENADO DE CUCHARON. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	92
TABLA 26. CONDICIÓN DE OPERACIÓN. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	93
TABLA 27. CONDICIÓN DE OPERACIÓN. FUENTE: (HANDBOOK KOMATSU 30, 2009)	94
TABLA 28. CUADRO PARA REALIZAR EL DIAGRAMA DE ABC DE COMPONENTES CRÍTICOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	97
TABLA 29. CUADRO DE JACK KNIFE DE DISPERSIÓN DE TIEMPOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	99
TABLA 30. CUADRO DE JACK KNIFE DE DISPERSIÓN DE COSTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	101
TABLA 31. HORAS DE TRABAJO DEL COMPONENTE SWING BEARING. FUENTE: ÁREA DE PLANEAMIENTO EMPRESA MANTENEDORA	104
TABLA 32.HORAS DE TRABAJO DEL COMPONENTE TUMBLER SHAFT. FUENTE: ÁREA DE PLANEAMIENTO EMPRESA MANTENEDORA	107
TABLA 33. DISTRIBUCIONES DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	116
TABLA 34. DISTRIBUCIONES DEL TUMBLER SHAFT. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	117
TABLA 35. RESULTADOS DE PARÁMETROS WEIBULL DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	119
TABLA 36.RESULTADOS DE COSTO GLOBAL PREVENTIVO ACTUAL DEL SWING BEARING FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	126

TABLA 37.RESULTADOS DEL COSTO GLOBAL PREVENTIVO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	127
TABLA 38.RESULTADOS DEL COSTO DIRECTO PREVENTIVO DEL SWING BEARING. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	129
TABLA 39.AHORRO (1) CON EL MTBI ÓPTIMO FUENTE ELABORACIÓN PROPIA	133
TABLA 40.AHORRO (1) Y (2) CON EL MTBI OPTIMO Y EBO.....	142
TABLA 41.AHORRO (1) Y (2) CON EL MTBI OPTIMO, EBO Y PRESUPUESTO.....	144
TABLA 42.COMPARACIÓN DE MODELOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	145
TABLA 43.INVERSIÓN DE ACTIVOS TANGIBLES E INTANGIBLES ANUAL FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA ...	146
TABLA 44 COSTOS DE ALMACENAMIENTO DE COMPONENTES FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	147
TABLA 45.OPTIMIZACIÓN Nª1 EN COSTOS DE MANTENIMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	148
TABLA 46.OPTIMIZACIÓN Nª2 EN COSTOS DE MANTENIMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	148
TABLA 47 COSTOS Y BENEFICIOS PROYECTADOS OPTIMIZACIÓN 01 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	149
TABLA 48 COSTOS Y BENEFICIOS PROYECTADOS OPTIMIZACIÓN 02 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	150
TABLA 49 FLUJO DE CAJA OPTIMIZACIÓN 01 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	151
TABLA 50 FLUJO DE CAJA OPTIMIZACIÓN 02 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	151
TABLA 51. VARIABLES; RESULTADO ACTUAL VS PROPUESTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	152

ANEXOS

ANEXO 1.LISTA DE COMPONENTES MAYORES.....	159
ANEXO 2.LISTA DE COMPONENTES CRÍTICOS EX5500.	161
ANEXO 3.REGISTRO DE INTERCAMBIO DE COMPONENTES.	162
ANEXO 4.PRODUCCIÓN REAL DE MINA DE YANACOCHA 2016.....	166
ANEXO 5.RESULTADOS DEL SWING BEARING.	167
ANEXO 6.RESULTADOS DEL ENGINE.	171
ANEXO 7.RESULTADOS DEL TUMBLER SHAFT.	175
ANEXO 8.RESULTADOS DEL DRIVE TUMBLER.....	180
ANEXO 9.RESULTADOS DEL SWING TRANSMISION.	186
ANEXO 10.RESULTADOS DEL PUMP TRANSMISION.	192
ANEXO 11.RESULTADOS DEL BUCKEY TILT CYLINDERS.....	197
ANEXO 12.RESULTADOS DEL FRONT IDLERS.	201
ANEXO 13.RESULTADOS DEL TRACK ADJUSTER CYLINDER.....	205
ANEXO 14.RESULTADOS DEL ARM CYLINDER.....	209
ANEXO 15.RESULTADOS DEL CENTER JOINT.	213
ANEXO 16.RESULTADOS DEL BOOM CYLINDER.	218
ANEXO 17.RESULTADOS DEL BUCKET OPEN / CLOSE CYLINDERS.	222
ANEXO 18.RESULTADOS DEL PROPEL TRANSMISIONS.	226

RESUMEN

El costo de operación por hora de las palas hidráulicas es de aproximadamente sobre los 44,000 US\$, por lo que de producirse una falla en el equipo, ocasionaría pérdidas por lucro cesante tanto del equipo como el de los camiones que dejaría de cargar, el plan de atención para estas emergencias que pueden ser programadas o correctivas, es el intercambio de los componentes críticos mayores, donde la indisponibilidad de la máquina se ve afectada por el tiempo de duración del mismo, dicho componente con falla pasa al taller para su reparación que generalmente puede durar más de dos meses depende el componente.

Se ha propuesto realizar un estudio que permita mostrar a la empresa, la necesidad de mejorar la gestión de stock actual; utilizando técnicas de clasificación, probabilidades e información histórica de mantenimientos y cambios de componentes.

En la actualidad la solicitud de los componentes críticos sigue una distribución de probabilidad llamada "Poisson"; la cual utiliza el tiempo de cambio de componentes recomendado por el fabricante y el tiempo de reparación del mismo.

La metodología propuesta agrega al modelo matemático actual llamado poisson, el tiempo de intercambio de componentes óptimo en sus siglas en inglés MTBI (Mean Time Between Interventions) en vez del recomendado por el fabricante, el cual es calculado en base a los datos históricos de falla, además del número promedio de pedidos pendientes o en sus siglas en inglés EBO (Expected Back Orders), resultando una reducción del inventario del 18% equivalente a 1,051,300 dólares en comparación con la propuesta actual, obteniéndose un VAN de \$ 1,861,788 un TIR de 519% y un IR de 20.86 dólares validando el proyecto.

La optimización del stock de componentes críticos, permitirá reducir costos de inventario e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería. Las aportaciones de este trabajo representan una oportunidad para mejorar y administrar activos físicos mejorando las prácticas de negocio relevantes de las empresas en el ramo de maquinaria pesada para la industria de minería y construcción que contribuye al incremento de la productividad y la reducción de costos.

Podemos afirmar, que se logró generar un modelo cuantitativo que ofrece reducir costos de inversión manteniendo la disponibilidad mecánica en el mínimo del 95% de palas hidráulicas en minería.

Se recomienda en adelante, incluir los datos de falla de los componentes reparados, de esta manera mejorar la precisión del tiempo de intercambio óptimo.

ABSTRACT

The hourly operating cost of hydraulic shovels is approximately US \$ 44,000, so if a failure occurs in the equipment, it would cause losses for lost profits of both the equipment and the trucks that would stop loading, the plan of attention for these emergencies that can be programmed or corrective, is the exchange of the major critical components, where the unavailability of the machine is affected by the duration of the same, that component fails to pass to the workshop for repair generally can last more than two months depends on the component.

It has been proposed to conduct a study to show the company the need to improve the current stock management; using classification techniques, probabilities and historical information of maintenance and component changes.

At present the request for critical components follows a probability distribution called "Poisson"; which uses the time of change of components recommended by the manufacturer and the time of repair of the same.

The proposed methodology adds to the current mathematical model called poisson, the optimum time interchange of MTBI (Mean Time Between Interventions) instead of the one recommended by the manufacturer, which is calculated based on historical failure data , in addition to the average number of orders pending or in its English initials EBO (Expected Back Orders), resulting in an inventory reduction of 18% equivalent to 1,051,300 dollars compared to the current proposal, obtaining a NPV of \$ 1,861,788 a TIR of 519 % and an IR of \$ 20.86 validating the project.

The optimization of the stock of critical components, will reduce inventory costs and increase the availability of hydraulic shovels in mining. The contributions of this work represent an opportunity to improve and manage physical assets improving the relevant business practices of the companies in the field of heavy machinery for the mining and construction industry that contributes to increased productivity and reduced costs.

We can affirm that it was possible to generate a quantitative model that offers to reduce investment costs maintaining the mechanical availability in the minimum of 95% of hydraulic shovels in mining. It is recommended from now on to include the fault data of the repaired components, in order to improve the accuracy of the optimum exchange time.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El Instituto Nacional de Estadística e Informática informa que la producción nacional en abril del 2017 creció 0.17%, registrando 93 meses de crecimiento continuo. Este resultado se sustentó en la evolución favorable del sector de telecomunicaciones, pesca, administración pública y defensa, transporte y almacenamiento. Sin embargo, se registró disminución en construcción, manufactura, agropecuario, financiero y en el caso de Minería y Hidrocarburos un 0%, la ponderación de la economía para este sector es del 14.36% en lo que va el año, solo tenemos un crecimiento acumulado del 3.02% y los últimos doce meses, mayo 2016 a abril 2017 la actividad solo creció el 11.41%.

En una entrevista realizada en Febrero 2016 al gerente general de la mina Yanacocha (Cajamarca), Javier Velarde Zapater, al diario Gestión, señaló que la empresa buscará reducir sus costos operativos frente a la menor producción de oro estimada en 630 000 y 660 000 onzas, el volumen sería un 29% menor a lo producido en el 2015.” Como estrategia, se trata de reducir costos con medidas a nivel de producción y reducción de personal”, indicó. (Osorio, 2016). En el proceso de extracción de minerales se caracteriza por la utilización de maquinaria pesada como palas hidráulicas, equipos de gran envergadura y elevado costo de capital, de suma importancia en las operaciones de mina a tajo abierto. Hoy, señalan los expertos del sector, que el desafío de las empresas mantenedoras de palas mineras están en ofrecer la mejor disponibilidad al menor costo para la aplicación del cliente. (Minería Chilena, 2014).

En este actual escenario las empresas de palas hidráulicas de minería vienen atravesando una disminución en sus utilidades. Es por eso que se están revisando los costos para de alguna manera, reducirlos al máximo sin que afecte la normalidad de la operación. Según un estudio de EyChile que analiza el desempeño del capital de trabajo en 80 de las más grandes empresas mineras del mundo. María Javiera Contreras, líder del sector en la consultora, explica. “Una manera de volver más eficientes sus operaciones es disminuir los niveles de capital de trabajo. Eso se puede hacer disminuyendo los niveles de inventario, a través de una gestión óptima de operaciones” (El Mercurio, 2016).

Los inventarios representan entre el 50% hasta el 70% de los activos de la empresa, razón por la cual los altos inventarios ocasionan dificultades financieras de gran impacto para las empresas. Una reserva insuficiente de componentes o repuestos críticos puede afectar el desempeño de las palas. Según (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000) la falta de estos, resulta en penalidades, menor disponibilidad o el aumento de los riesgos operacionales;

ahora, si la inversión se vuelve excesiva, los resultados son elevados costos de capital y altos costos de mantenimiento.

El área de logística de las empresas mantenedoras de palas hidráulicas, tienen como misión brindar una óptima disponibilidad tanto en insumos, repuestos y componentes críticos. Existen dos modelos de palas hidráulicas trabajando en la mina de Yanacocha; las EX2500 y las EX5500 de marca HITACHI con una flota total de 10 equipos cada equipo trabaja aproximadamente 20 horas diarias, la empresa minera solicita a la empresa mantenedora de palas hidráulicas el cumplimiento de la disponibilidad mecánica también llamada inherente entre 93% y 95% como límites, hay que mencionar que la disponibilidad se puede ver afectada por la aplicación y la confiabilidad de los equipos y más aún por las actividades de mantenimiento.

El costo de operación por hora de las palas hidráulicas es elevado aproximadamente sobre los 44,000 US\$, por lo que de producirse una falla en el equipo, por ejemplo al motor de combustión interna componente crítico y vital para el funcionamiento de las palas, ocasionaría pérdidas por lucro cesante tanto del equipo como el de los camiones que dejaría de cargar, el plan de atención para estas emergencias que pueden ser programadas o correctivas, es el intercambio de los componentes críticos mayores, donde la indisponibilidad de la máquina se ve afectada por el tiempo de duración del mismo, dicho componente con falla pasa al taller para su reparación que generalmente puede durar más de dos meses depende el componente.

Las decisiones del stock de componentes críticos (reparables), son realizadas por el área de planeamiento junto con la gerencia de proyectos; el cual aseguran un nivel de servicio o también llamado disponibilidad en el almacén del 100%, el pronóstico de solicitud de los componentes sigue una distribución de probabilidad llamada "Poisson"; la cual utiliza el tiempo de cambio de componentes recomendado por el fabricante e información del área de monitoreo de condición y el tiempo de reparación del mismo para la atención de las 10 palas hidráulicas para una operación de un año.

En este actual escenario la gerencia de proyectos requiere subir la satisfacción del cliente teniendo un mínimo del 95% de disponibilidad mecánica, a la vez de disminuir los costos de inventario, ahí surge la primera pregunta de toma de decisión logística, en encontrar un equilibrio en cuanto componentes críticos tener en stock para la atención de los equipos y con la reducción del presupuesto es decir gastar menos. Se ha propuesto realizar un estudio que permita mostrar a la empresa, la necesidad de mejorar la técnica actual de gestión de stock; utilizando técnicas de clasificación, probabilidades e información de mantenimiento.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la optimización de componentes críticos reducirá los costos e incrementará la disponibilidad de palas hidráulicas en minería?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

La presente tesis, tiene como finalidad contribuir con la mejor gestión de stock de componentes críticos en base a la información histórica de éstos. La información de las horas de trabajo de componentes críticos en una operación minera existe, más no son usadas eficientemente.

1.3.2. Justificación aplicativa o práctica

El desarrollo de la presente investigación, tiene como finalidad la optimización del stock de componentes críticos de una empresa mantenedora, que se traduce en la disminución del costo de inventario e incremento la disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas.

1.3.3. Justificación aplicativa o práctica

Obtener el título profesional de ingeniero industrial.

1.4. Limitaciones

Es preciso mencionar que una de las limitantes identificadas necesarias para el desarrollo del trabajo es en saber el costo por hora de parada de las palas hidráulicas, la cual no pudo ser brindada por el área productiva de la mina de Yanacocha. Sin embargo, con información de la ficha técnica del equipo, analizando los tiempos de carga y descarga hacia el camión y con los reportes de productividad de la página del ministerio de energía y minas se puede obtener este dato.

Además, la empresa mantenedora no proporciono los tiempos de reparación y montaje de componentes críticos, por lo que las estimaciones se realizaron mediante consultas al personal experto de mantenimiento de la empresa.

A pesar de presentarse estas limitaciones no son impedimento para realizar la investigación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Optimizar el stock de componentes críticos, para reducir costos e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el stock actual de componentes críticos para palas hidráulicas en minería.
- Analizar los costos y disponibilidad actual de palas hidráulicas en minería.
- Proponer una metodología para optimizar el stock actual de componentes críticos para palas hidráulicas en minería.
- Analizar los costos y disponibilidad de palas hidráulicas en minería después de la propuesta de metodología.
- Realizar una evaluación económica a través de la metodología costo beneficio.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedente Nacional

Según (Vito Aguilar, 2012), es una investigación que permite reducir el nivel de inversión de inventarios de artículos, sin perjudicar el nivel de servicio. Con la información del área de almacén de 2 años, se realizó una clasificación ABC bidimensional para seleccionar el artículo de mayor relevancia económica, seguidamente se encontró el método de pronóstico de mejor ajuste a la demanda para los 3 meses siguientes y finalmente con la información de la demanda proyectada se propone un modelo probabilístico de inventario.

El proyecto en mención de ha desarrollado teniendo en cuenta indicadores de desempeño como el valor del inventario, rotación de inventarios y metodología de clasificación ABC.

- El presente trabajo de investigación se relaciona en la metodología respecto a la selección del artículo o artículos de mayor relevancia económica, seguido del método de proponer un modelo de pronóstico que ayude a disminuir el nivel de inversión sin que afecte el nivel de servicio o también llamado disponibilidad del almacén.

Según (Apolinario Gabriel , 2008) en la tesis de *Estimación de la confiabilidad en equipos mediante el análisis de Weibull*, da a conocer el procedimiento para estimar uno de los parámetros más importantes en la Ingeniería de Mantenimiento, la confiabilidad. Este parámetro es un indicador del funcionamiento de los diversos sistemas y/o subsistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, etc. de los procesos productivos, pero así mismo es un indicador de desempeño de los equipos que forman parte de un sistema. Para estimar el valor de la confiabilidad se ha considerado la utilización de la herramienta Análisis de Weibull, en el que se da a conocer el procedimiento utilizado y las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el cálculo de la confiabilidad. Ello pasa principalmente por una consistente base de datos, que incluye el modo de falla, el tiempo y la duración de la misma.

- El presente trabajo de investigación se relaciona en el procedimiento para hallar la confiabilidad y mantenibilidad de componentes críticos de equipo pesado, utilizando la distribución de probabilidad Weibull con registros del campo por intercambio de componentes dados por horas de falla utilizando como indicador el coeficiente de correlación R2 y saber si los datos se comportan como una distribución Weibull.

2.1.2. Antecedente Internacional

Según (Louit D. M., 2006) en su tesis doctoral *Optimización de inventarios de repuestos críticos, una perspectiva de confiabilidad*, a través de esta tesis se desarrollan herramientas para integrar las áreas de mantenimiento e ingeniería de confiabilidad para proporcionar modelos dirigidos a optimizar el stock de repuestos, se concentran en modelos estocásticos de inventario de partes críticas utilizando modelos complejos.

Las aportaciones de la investigación son primero presentar un procedimiento de priorización de piezas de repuestos críticos, segundo un modelo de inventario en relación a componentes reparados y en tercer lugar presenta un modelo que combina información interna del componente en el contexto de una estrategia de mantenimiento basado en la condición.

- El presente trabajo de investigación se relaciona en la metodología de selección de componentes críticos utilizando el diagrama de dispersión de costos llamado Jack Knife y en segundo lugar que combina información del área de mantenimiento como información de monitoreo de condición de componentes críticos reparables para el stock de repuestos.

Según (Lobo Pinto, 2006) en la tesis, *Optimización del nivel de inventario de rodamientos de una máquina de papel*, a través de este estudio se determinó el número óptimo de rodamientos SKF 22218E de la sección de rodillos guías y ponedores de la máquina de papel, en una empresa de Venezuela, por medio de la metodología optimización costo – riesgo, tomando en cuenta el comportamiento probabilístico de las variables: tiempo de falla, tiempos de reparación y producción diferida por la ocurrencia de un evento no deseado.

La herramienta utilizada para la estimación del número de rodamientos SKF 22218E fue Raptor V.6.0. Con la finalidad de determinar los niveles de indisponibilidad y consecuencias, y, por ende; obtener la curva de riesgo, asumiendo la posible ocurrencia de eventos, además de costos para generar la curva de costos, la sumatoria de ambas; determino el impacto total generado en el negocio. El número óptimo de rodamientos SKF22218E fue de tres (03) unidades.

- El presente trabajo de investigación se relaciona en que ingresa las variables de; probabilidades de falla tiempo de reparación y costos al modelo de pronóstico para reducir el nivel de inventario de un equipo de planta a través de una simulación en el tiempo con el programa Raptor en nuestro caso se realizó con la hoja de cálculo Excel.

Según (Ghodrati, 2005) en su Tesis de Doctoral, *Reliability and Operating Environment Based Spare Parts Planning*. En esta investigación, se ha desarrollado un enfoque para pronosticar y estimar con precisión los requerimientos de repuestos considerando el entorno operativo y para crear estrategias de pedido de piezas. Posteriormente, dos modelos (exponencial y Weibull Basados en la fiabilidad), considerando que los factores ambientales se desarrollan para estimar el número necesario de piezas de repuesto en un período específico de la vida del producto ciclo. Este estudio sólo analiza los componentes no reparables (cambio / servicio piezas), que deben ser reemplazados en caso de fallo. Para probar los modelos, la recopilación y clasificación de datos se realizó a partir de dos empresas mineras en Irán y Suecia y luego los estudios de casos sobre planificación de piezas basadas en las características de fiabilidad de las piezas, con / sin considerando el entorno operativo. Los resultados muestran diferencias entre los patrones de consumo de las piezas de recambio con y sin teniendo en cuenta los efectos de las covariables (entorno operativo) en la estimación. La discusión final trata un análisis de riesgo de no considerar el funcionamiento del sistema mediante un enfoque de árbol de sucesos no estándar (nuevo) en el que estados organizativos y las decisiones fueron tomadas en consideración en el análisis de riesgo. En otras palabras, usaron los estados no deseados en lugar de las barreras en Combinación con eventos y cambios consecuentes como una función de seguridad en el árbol de eventos análisis. Los resultados de este análisis confirman la conclusión de esta investigación de que el ambiente operativo del sistema debe ser considerado al estimar los requerimientos piezas de repuesto.

- El presente trabajo de investigación se relaciona en la planificación de repuestos ingresando variables de confiabilidad información de mantenimiento importante para mejorar la precisión, en base a lo siguiente; si se puede predecir la probabilidad de falla se puede tomar medidas proactivas para el stock de repuestos en el trabajo se realiza a componentes no reparables en nuestro trabajo de investigación se realiza a componentes reparables.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Logística

Existen múltiples definiciones del término logística; por una parte, debido a su origen en el terreno militar y, por otra, a su aplicación en el campo empresarial, para gestionar y organizar los flujos de mercancías, energía e información.

Etimológicamente la palabra logística proviene del griego “logistikos”, que significa relativo al cálculo. Este concepto nace en el ámbito militar como respuesta a la necesidad de garantizar los

recursos precisos para abastecer a los ejércitos. Las guerras, a medida que fueron implicando mayor número de tropas, supusieron un importante reto a la gestión de la obtención, transporte, almacenamiento y distribución de los víveres, armamento y otros suministros necesarios para asegurar la victoria en el campo de batalla. (Medina García , 2013)

La Real Academia Española recoge esta evolución definiendo la logística en su primera acepción como “parte de la organización militar que atiende al movimiento y mantenimiento de tropas en campaña”. En cambio, su tercera entrada es más propia del mundo empresarial: “conjunto de medios y métodos necesarios para llevar a cabo la organización de una empresa, o de un servicio, especialmente de distribución”.

El fin último de la logística será tener disponible lo que se necesita, en el momento y lugar en que se necesita, y al menor costo posible. (Medina García , 2013)

2.2.2. Inventarios.

El control de inventarios es uno de los temas más complejos y apasionantes en Logística. Es muy común escuchar a los administradores, gerentes y analistas de logística afirmar que uno de sus principales problemas a los que se deben enfrentar es la administración de los inventarios. (Vidal Holguín , 2005).

No sólo los comerciantes deben administrar inventarios. En realidad, los inventarios prevalecen en el mundo de los negocios. Mantenerlos en un buen nivel es necesario para las compañías que operan con productos físicos, como fabricantes, distribuidores y comerciantes. Por ejemplo, los fabricantes necesitan contar con inventarios de materiales que se requieren para la manufactura de productos. También deben almacenar productos terminados en espera de ser enviados. De manera similar, tanto los distribuidores como las tiendas deben mantener inventarios de bienes disponibles para cuando los consumidores los soliciten. (Hillier & Lieberman, 2010)

2.2.3. Almacén

Toda empresa, sin importar su giro o rubro maneja algún tipo de inventario, es por ello que el buen manejo de los mismos es de vital importancia ya que de ellos depende que el proceso productivo no se detenga y haya pérdidas por faltantes de materia prima, refacciones o cualquier cosa que se almacene. Es por eso que, siendo el área bajo estudio un almacén de refacciones, es de vital importancia tener una óptima confiabilidad en el inventario, ya que al no existir refacciones requeridas ya sean para mantenimiento o para reparaciones, retrasarán producción lo cual genera pérdidas monetarias importantes. (Fornés Rivera, Ramirez Maytorena, Ojeda Iñiguez, Conant Pablos , & Cano Carrasco, 2012).

Según (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000) un almacén de mantenimiento típico, entre otras categorías de almacenes, almacena repuestos a fin de minimizar el tiempo muerto del equipo, los repuestos pueden dividirse en las siguientes categorías:

- Piezas relativamente caras.
- Piezas especializadas para emplearse en un número limitado de máquinas.
- Repuestos que tienen tiempos de entrega mayores que la demanda normal.
- Repuestos que tienen una rotación lenta.
- Repuestos críticos, cuya falta de disponibilidad podría causar un costoso tiempo muerto o tener un efecto negativo en la seguridad.

El costo asociado con almacenar (“mantener”) inventarios es también muy alto, quizá un cuarto del valor del inventario. Por lo tanto, los costos en los que se incurre al guardar inventarios en Estados Unidos ascienden a ciento de miles de millones de dólares anuales. Reducir los costos de almacenamiento para evitar inventarios innecesariamente grandes puede mejorar la competitividad de cualquier empresa. (Hillier & Lieberman, 2010).

Los repuestos se almacenan sólo cuando los riesgos de no contar con ellos sobrepasan el costo total de tenerlas en existencia durante un periodo predicho. (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000).

2.2.4. Repuestos

Según (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000) Los repuestos se almacenan a fin de minimizar el tiempo muerto del equipo. Los repuestos pueden subdividirse en las siguientes categorías:

Según (Jardine & Tsang, 2013) los repuestos se clasifican en Componentes no reparables y componentes reparables.

2.2.4.1. Repuestos no reparables:

Cuando un repuesto falla es sustituido inmediatamente por uno del stock (el tiempo de cambio debería ser insignificante), el componente reemplazado no se repara, es decir, se descarta; Figura 01. Se supone que la demanda de piezas de repuesto sigue un proceso, que, para la demanda de piezas de emergencia, ha encontrado un modelo de reposición. Las referencias describen modelos basados en este principio (véase, por ejemplo, Birolini 1999).

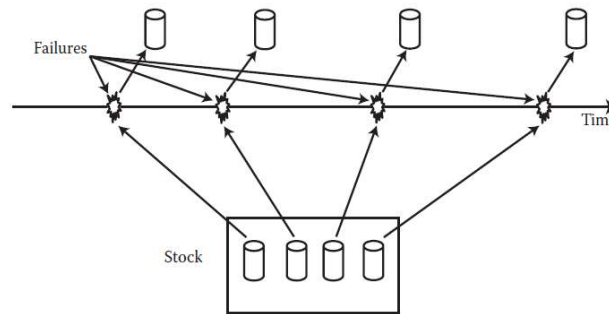


Figura 1. Repuestos no reparables. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013)

2.2.4.2. Repuestos Reparables:

Las ideas básicas asociadas con la identificación óptima de las políticas de tenencia de existencias para reparar componentes se presentarán a través del siguiente ejemplo.

Se ha utilizado un grupo de m componentes independientes durante un intervalo de tiempo de Longitud T , y ahora uno de los componentes se envía al taller de reparaciones después del fallo.

Después de ser reparado, el componente se devuelve al almacén Figura 02. De ésta manera vamos a ahorrar componentes y se podrán substituir inmediatamente los componentes cuando tengamos una emergencia o no contemos con un componente nuevo en almacén. También se supone que la reparación es perfecta; Es decir, el componente reparado se devuelve al estado nuevo. Sólo consideraremos una situación cuando haya sin límite en el número de reparaciones que se pueden realizar simultáneamente (ilimitada capacidad de reparación). Estamos interesados en determinar el número de repuestos que deben mantenerse en stock para limitar el riesgo de recambios, se consideran dos situaciones:

- Los repuestos de fiabilidad instantánea o de punto están disponibles bajo demanda (nosotros no deberíamos quedarnos sin piezas de recambio en un momento dado).
- Intervalo de fiabilidad-recambios están disponibles en todos los momentos durante un determinado intervalo de tiempo (no debemos agotar los repuestos en ningún momento

por un intervalo de tiempo, por ejemplo, durante 12 meses). Esta situación es obviamente más exigente que el caso de confiabilidad instantánea.

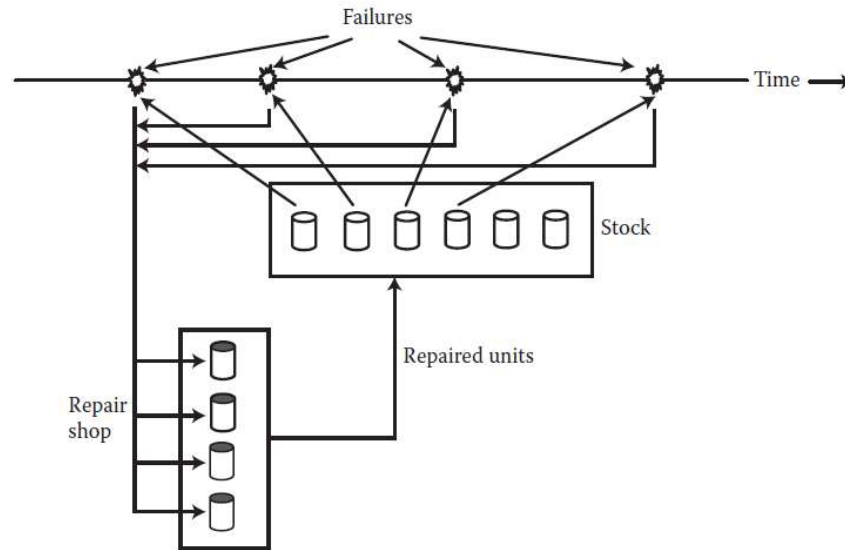


Figura 2. Repuestos Reparables. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013)

2.2.4.3. Repuestos o componentes críticos

Según (Louit D. , 2009) "Llamaremos un repuesto crítico cuando ellos soportan el equipo y es crítico, además reúnen ciertas características transversales una es que tienen un alto costo asociado, tienen alta confiabilidad o requieren una alta confiabilidad y tercero como medida de mitigación no se puede tener varios de ellos en stock, muchos de ellos son monitoreados por condición" indico.

Según, (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000) Al tener una falta de disponibilidad de repuestos o componentes críticos podría causar un costoso tiempo muerto o tener un efecto negativo en la seguridad.

2.2.5. Métodos de clasificación de repuestos o componentes críticos.

2.2.5.1. Análisis ABC

El análisis basado en costos llamado ABC se basa en la ley de Pareto, que establece que los artículos significativos de un grupo generalmente constituyen sólo una pequeña porción del número total de artículos de dicho grupo. Aplicando esta ley a la administración de inventarios, se podrá ver que una porción importante del valor del inventario (es decir, del 70% al 80%) normalmente comprenderá casi el 10% del número de artículos que se tienen en existencia. (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000).

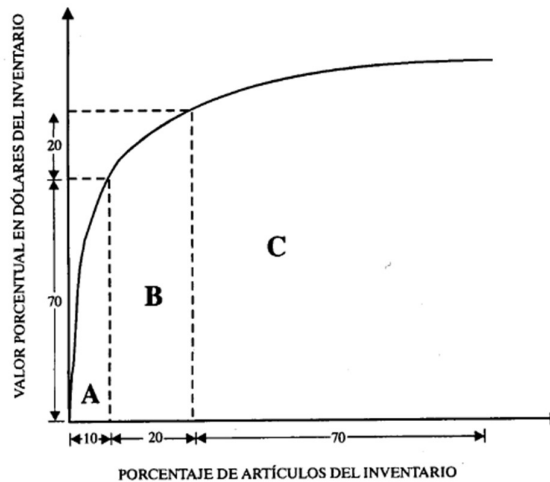


Figura 3. Diagrama de Pareto. Fuente: (Duffuaa, Raouf, & Dixon Cambel, 2000)

2.2.5.2. Análisis Jack Knife de tiempos

Según, (Pascual, El Arte de Mantener, 2008). En un ambiente de escasez de recursos (humanos, materiales, tiempo, etc.), la priorización es un tema clave para enfrentar los desafíos existentes en la administración de activos físicos. Los diagramas de Pareto son una herramienta standard para tal efecto, pero sufren las siguientes deficiencias:

- Los análisis de Pareto pueden ser incapaces de discernir entre eventos individuales con alto costo de falla, y, fallas frecuentes que tienen costos reducidos unitariamente, pero que en conjunto afectan de manera importante la productividad y los costos. Por ejemplo, los faros de un camión minero. Si el camión debe volver al taller cada vez que ocurre la falla, el tiempo perdido para viajar hacia y desde el taller pueden incrementar dramáticamente los costos de falla.
- Normalmente, debido a la gran cantidad de información guardada en los historiales, los análisis de Pareto son realizados solo para los equipos que se consideran más críticos.
- Es difícil hacer análisis de tendencia, dado que las posiciones relativas de los modos de falla pueden cambiar entre dos mediciones.

El diagrama de Jack Knife de tiempos es un gráfico de dispersión logarítmico Figura 04 dirigido a priorizar los eventos de falla en un entorno de mantenimiento, donde se grafican puntos basados en 2 parámetros en el eje Y es el tiempo fuera de servicio TFS y X es la frecuencia de paradas, para graficar los cuadrantes hay que tener en cuenta que la línea paralela al eje X, es

relacionada a la mantenibilidad, y de manera similar la línea paralela al eje Y es a la confiabilidad, gracias a estas líneas se puede distinguir cuatro cuadrantes. (Cordova, 2014)

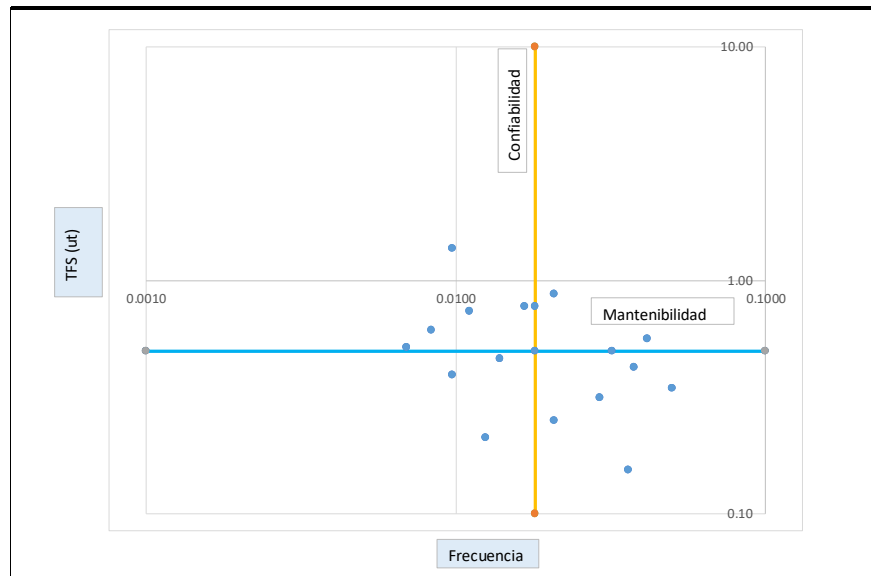


Figura 4. Diagrama Jack Knife de Tiempos. Fuente: Elaboración Propia

Según (Louit D. M., 2006) La metodología Jack Knife se clasifica en cuatro categorías:

- Fallas agudas las que más contribuyen a la medida del tiempo fuera de servicio.
- Las fallas crónicas las que más contribuyen a lo observado en las fallas.
- Fallas agudas y crónicas contribuyen al tiempo fuera de servicio TFS y frecuencia.
- Fracasos inertes con una baja frecuencia y no afecta al tiempo fuera de servicio TFS no son problemas críticos.

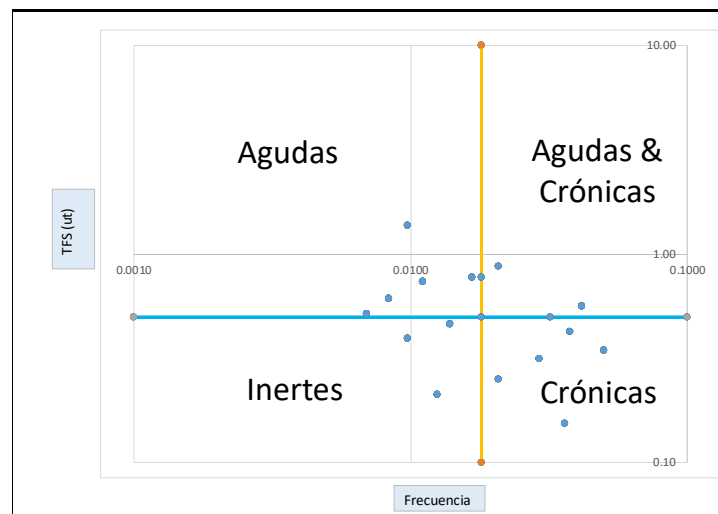


Figura 5. Cuadrantes Jack Knife. Fuente: Elaboración Propia

Una alternativa práctica para mostrar el diagrama Jack Knife de tiempos, considera calcular la indisponibilidad en forma adimensional el cual es la multiplicación de la frecuencia con el tiempo fuera de servicio TFS y establecer las 3 líneas que definen los hemisferios usando valores promedios. Una vez identificados los cuadrantes, el diagrama permite identificar fácilmente problemas de confiabilidad, disponibilidad, y mantenibilidad. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008)

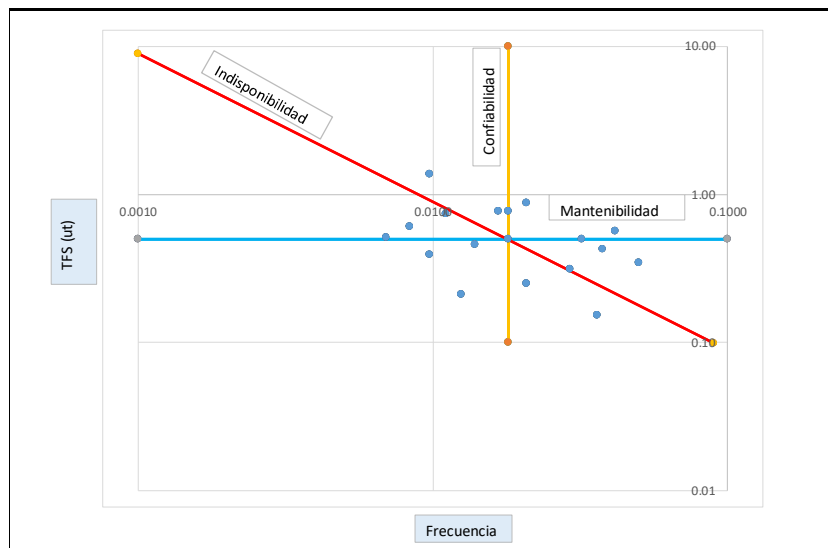


Figura 6. Jack Knife de Tiempos. Fuente: Elaboración Propia.

La determinación de las prioridades de mantenimiento está influenciada por los imperativos del negocio. Cuando los elementos considerados requieren una disponibilidad máxima, el costo de oportunidad de la producción perdida, superará con creces, el costo directo de la reparación y el mantenimiento. En tales situaciones, aumentar la fiabilidad debe tener mayor prioridad que mejorar la capacidad de mantenimiento; El diagrama Jack knife mostrado en la Figura 07 ayuda a identificar estos problemas de mayor prioridad. (Jardine & Tsang, 2013).

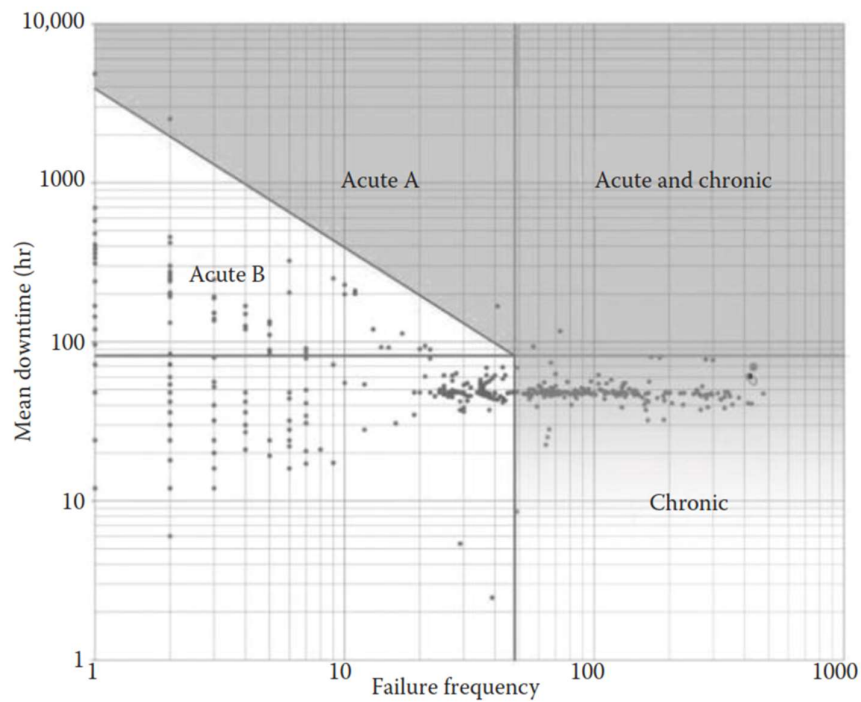


Figura 7. Jack Knife para artículos que funcionan a máxima disponibilidad. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013)

En otro escenario, cuando la alta disponibilidad de elementos no es crítica, o cuando el retorno de la producción es bajo, la reducción del costo directo de reparación y mantenimiento se convertirá en el foco principal de atención. Bajo tales circunstancias, se debería dar mayor prioridad a los problemas de mantenibilidad que resolver problemas de confiabilidad; El diagrama Jack Knife mostrado en la Figura 08 identificará estos problemas de mayor prioridad. (Jardine & Tsang, 2013).

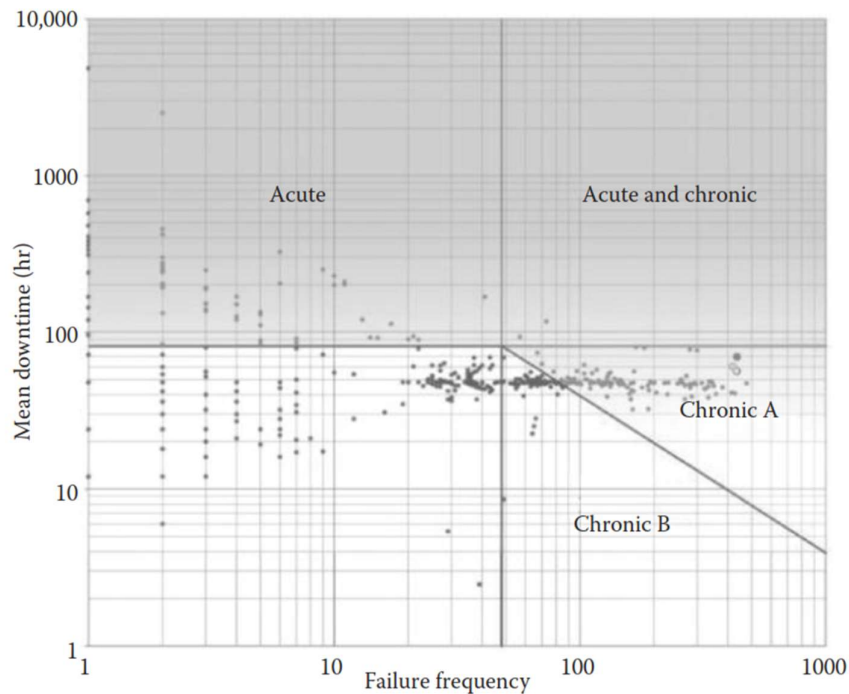


Figura 8. Jack Knife en los que la minimización de costos es la prioridad. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013)

Cuando la prioridad es la minimización de costos, la recomendación es analizar las partes del artículo en el siguiente orden: agudo y crónico, crónico A, agudo y luego el resto de los ítems. (Jardine & Tsang, 2013).

2.2.5.3. Análisis Jack Knife de Costos

El diagrama Jack Knife ya visto solo considera tiempos y frecuencias con lo que no analiza el impacto económico de tener un equipo fuera de servicio. A tal fin, se propone incluir una variable económica y llamada diagrama de dispersión de costo o por sus siglas, DDC. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

El diagrama de Jack Knife de costos es un gráfico de dispersión logarítmico también, figura 09, donde se grafican puntos basados en 2 parámetros en el eje Y es la Indisponibilidad, el cual multiplica el tiempo fuera de servicio TFS con la frecuencia y X es el costo específico, para graficar los cuadrantes hay que tener en cuenta que la línea paralela al eje X, es relacionada a la indisponibilidad, y de manera similar la línea paralela al eje Y es la variable económica.

Una alternativa práctica para mostrar el diagrama Jack Knife de tiempos, considera calcular el costo general, el cual es la multiplicación de la indisponibilidad con el costo específico y establecer las 3 líneas que definen los hemisferios usando valores promedios. Una vez identificados los cuadrantes, el diagrama permite identificar fácilmente problemas de indisponibilidad, costo específico y el costo general. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

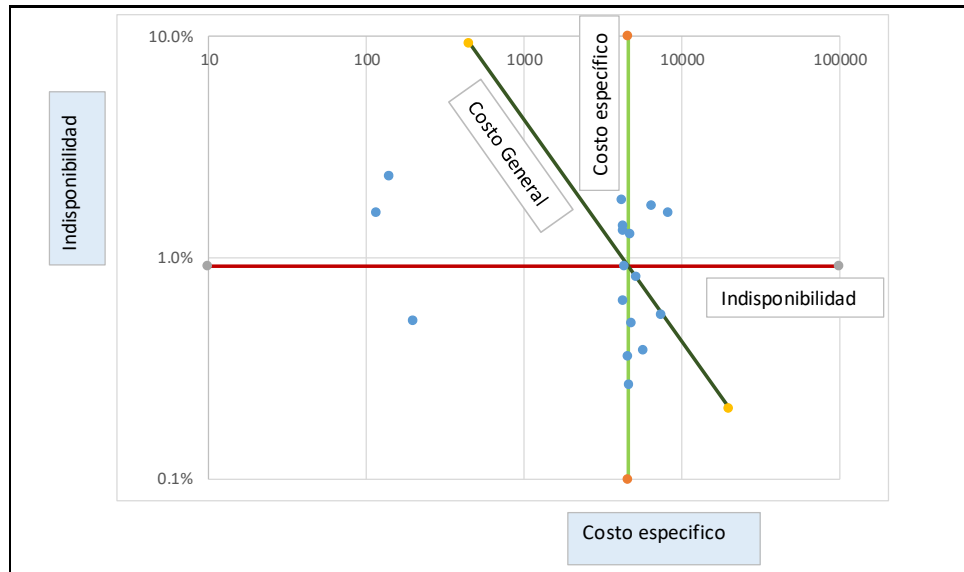


Figura 9. Dispersión de Costos. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.6. Pala Hidráulica y operación en mina.

La pala hidráulica es una maquina autopropulsada, sobre orugas, con una estructura capaz de girar al menos 360° (en un sentido y en otro). (Wikipedia, 2016) Tiene un cucharón instalado a su propio cuerpo como dispositivo de operación, se usa principalmente para excavación sobre la superficie de la tierra y carga de camiones. Figura 10.



Figura 10. MPA-Feb-13-2013-boletin-news-3-Zinc-peru. Fuente: www.mineria-pa.com

La clasificación de las palas hidráulicas está en función de la capacidad de carga del cucharón que están entre 6m³ a 40 m³, existen varias marcas de palas hidráulicas trabajando en minas de tajo abierto en el Perú. (Gestion Equipos Tecsup , 2016).

En la unidad minera de Yanacocha se tiene 10 palas hidráulicas en los modelos EX2500 y EX5500 de la marca japonesa Hitachi con capacidades de 17m³ y 34m³ respectivamente. Figura 11.



























CATERPILLAR							
	6015/ FS 7 m ³	6018/ FS 10 m ³	6030/ FS 16.5 m ³ FS 17.0 m ³ BH	6040/ FS 22 m ³	6050/ FS 26 m ³ FS 28 m ³ BH	6060/ FS 34 m ³	6090 FS 52 m ³
Komatsu							
	PC 1250-8 6.5 m ³ FS 7.3 m ³ BH	PC 2000-8 11 m ³ FS 12 m ³ BH	PC 3000 16 m ³ FS 15 m ³ BH	PC 4000 22 m ³	PC 5500 29 m ³	PC 8000 42 m ³	
Hitachi							
	EX1200-6 6.5 m ³ FS 6.7 m ³ BH	EX1900-6 11 m ³ FS 12 m ³ BH	EX2600-6 15 m ³ FS 17 m ³ BH	EX3600-6 21 m ³ FS 22 m ³ BH	EX5600-6 29 m ³ FS 34 m ³ BH	EX8000 40 m ³	
Liebherr							
	R9100 7.0 m ³ FS 6.8 m ³ BH	R984C 7.0 m ³	R 9250 15 m ³	R 9350 18 m ³	R 9400 22 m ³	R 995 26.5 m ³	R 996 B 36 m ³
							R 9800 42 m ³

Figura 11. Clasificación de Equipos. Fuente: Curso de Productividad de Equipos Tecsup.

2.2.7. Cálculo de la producción pala hidráulica aplicación construcción.

2.2.7.1. Método del cálculo de la producción.

Es habitual expresar la producción de máquinas de construcción en términos de producción por hora (m³ / h o yd³ / h). Esto se calcula básicamente a partir del volumen de transporte por ciclo y el número de ciclos. (Handbook Komatsu 30, 2009).

$$Q = (q) \times \frac{60}{C_m} \times (E)$$

Donde;

Q : Producción por hora (m³ / h o yd³ / h).

q : producción (m³; yd³). Por ciclo de material suelto excavado.

C_m : Tiempo del ciclo (en minutos)

E : Eficiencia de trabajo.

2.2.7.2. Factor de conversión del volumen de la tierra

El volumen de cualquier cantidad de tierra depende de si el suelo está en su condición de tierra natural (es decir, sin excavar), si está suelto o si ha sido compactado. Para obtener sólo la

productividad de una máquina de construcción, el factor de conversión del volumen de tierra se toma de tablas y la productividad de la máquina se expresa en términos de tierra suelta. (Handbook Komatsu 30, 2009). Figura 12.

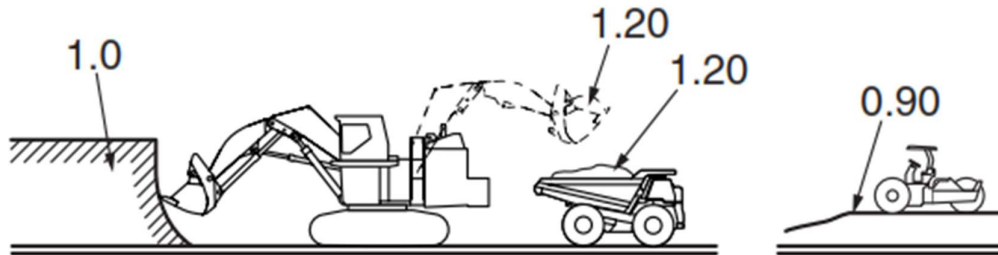


Figura 12. Cambios en el volumen de la tierra. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

2.2.7.3. Eficiencia de trabajo (E).

Al planificar un proyecto, la productividad horaria de las máquinas necesarias en el proyecto es la productividad estándar en condiciones ideales multiplicada por un cierto factor. Este factor se llama eficiencia del trabajo.

La eficiencia del trabajo depende de muchos factores como la topografía, la habilidad del operador, y la selección y disposición apropiadas de las máquinas. Tiempo de uso de una hora de la máquina se utiliza realmente. (Handbook Komatsu 30, 2009).

2.2.8. Producción en excavadoras hidráulicas de construcción.

$$Q = (q) \times \frac{3600}{C_m} \times (E)$$

$$q = (q^1) \times (k)$$

Donde;

Q : Producción por hora (m³ / h o yd³ / h).

q : Producción por ciclo (m³; yd³).

q¹ : Capacidad de cucharón (m³; yd³).

K : Factor de llenado de cucharón.

C_m : Tiempo del ciclo (en segundos)

E : Eficiencia de trabajo.

2.2.8.1. Factor de llenado de cucharón (K).

El factor de llenado del cucharón varía según la naturaleza del material. Se puede seleccionar un factor adecuado de la tabla, teniendo en cuenta las condiciones de excavación aplicables. (Handbook Komatsu 30, 2009)

~ PC2000	Excavating Conditions	Bucket fill factor
Easy	Loading clayey soil, clay, or soft soil	1.0 ~ 1.1
Average	Loading loose soil with small diameter gravel	0.95 ~ 1.0
Rather difficult	Loading well blasted rock	0.90 ~ 0.95
Difficult	Loading poorly blasted rock	0.85 ~ 0.90

Tabla 1. Factor de llenado de cucharón. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

2.2.8.2. Tiempo de ciclo (Cm).

Tiempo de ciclo = Tiempo de excavación + tiempo de giro (cargado) + tiempo de vertido + tiempo de giro (vacío).

Sin embargo, aquí usamos tiempo de ciclo = (tiempo de ciclo estándar) × (factor de conversión)

El tiempo de ciclo estándar para cada máquina se determina a partir de tablas o información real de campo de trabajo del equipo, el factor de conversión se muestra en tablas. (Handbook Komatsu 30, 2009).

Digging condition ($\frac{\text{Digging depth}}{\text{Specified max. digging depth}}$)	Dumping condition			
	Easy (Dump onto spoil pile)	Normal (Large dump target)	Rather difficult (Small dump target)	Difficult (Small dump target requiring maximum dumping reach)
Below 40%	0.7	0.9	1.1	1.4
40 ~ 75%	0.8	1	1.3	1.6
Over 75%	0.9	1.1	1.5	1.8

Tabla 2. Factor de conversión para excavadoras. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

2.2.8.3. Eficiencia de trabajo (E).

La siguiente tabla muestra la eficiencia típica del trabajo como una guía aproximada. Para obtener la cifra real de producción que determine la eficiencia de acuerdo con las condiciones reales de operación. (Handbook Komatsu 30, 2009).

Operating conditions	Job efficiency
Good	0.83
Average	0.75
Rather poor	0.67
Poor	0.58

Tabla 3. Eficiencia de trabajo. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

2.2.9. Tiempos de operación en Minería.

En la siguiente tabla muestra nuestra interpretación de los elementos de tiempo que componen las diversas categorías de operaciones de equipos mineros diarias. (Caterpillar Kpis, 2005)

Total de horas de calendario						
Horas programadas						Horas no Programadas (Fuera de Plan)
Horas Disponibles (mecánicamente disponible; operativa)				Horas Inactivas Programado & Mantenimiento no programado & reparaciones (mecánicamente indisponible; no operativa)		
Horas de funcionamiento (máquina trabajando)	Retrasos		Horas Stand-by	Mantenimiento y Reparaciones	Retrasos	
	Retraso de horas Producción	Retraso de horas Operación			Horas de Reparación	

Tabla 4. Tiempos de operación de Minería. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.10. Métricas de rendimiento para equipos móviles de minería

El rendimiento final de cualquier equipo de minería, depende principalmente de tres factores fundamentales: el diseño del producto, la aplicación en que se utiliza, y el mantenimiento que reciba durante su tiempo en el servicio. Hasta cierto punto, cada uno de estos factores pueden ser controlados, pero algunos mucho más que otros. (Caterpillar Kpis, 2005).

“Lo que no se puede medir, no se puede controlar; lo que no se puede controlar, no se puede administrar; lo que no se puede administrar es un caos” (Drucker, 1954).

Para la filosofía del mantenimiento centrado en la confiabilidad, el control de la gestión del mantenimiento está relacionada con tres indicadores básicos: disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad. (Asme , 2008).

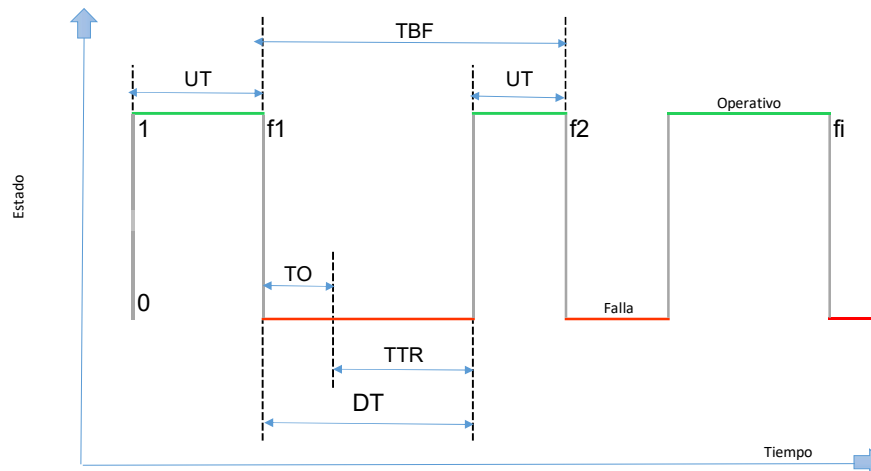


Figura 13. Esquema de distribución de Fallas. Fuente: Elaboración Propia.

Dónde:

1 = condición operacional del equipo.

0 = condición no operacional del equipo.

F_i = falla i -ésima.

UT = up time o tiempo operativo.

TBF = time between failures o tiempo entre fallas.

DT = down time o tiempo no operativo.

TTR = time to repair o tiempo necesario para reparar.

TO = (tiempo difícil de estimar, se relaciona con la logística del mantenimiento: repuestos, transporte, retrasos, ocio).

Para un número de fallas = n .

MTBF = mean time between failures, tiempo medio entre fallas.

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{n}$$

MUT = mean up time, tiempo medio de funcionamiento.

$$MUT = \frac{\sum UT}{n}$$

MDT = mean down time, tiempo medio de indisponibilidad.

$$MDT = \frac{\sum DT}{n}$$

MTTR = mean time to repair, tiempo medio para reparar.

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n}$$

MTO = mean out time, tiempo medio fuera de control

$$MTO = \frac{\sum TO}{n}$$

2.2.10.1. Disponibilidad

Este término, puede expresarse, en una primera aproximación, como la proporción de tiempo que un equipo se encuentra apto para cumplir su misión, en condiciones dadas, respecto al tiempo que debió haber cumplido su misión y no lo hizo. (Asme , 2008).

“La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera”.

La disponibilidad relaciona básicamente los tiempos de reparación de las fallas (MTTR- mantenibilidad) y los tiempos operativos entre fallas (MUT, depende de la tasa de fallas – confiabilidad). (Asme , 2008).

2.2.10.2. Mantenibilidad

La mantenibilidad se relaciona básicamente con el diseño y la complejidad del equipo, con el personal calificado que realice el mantenimiento, con herramientas disponibles y con los procedimientos de mantenimiento. (Asme , 2008).

“La probabilidad de que un equipo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir su misión en un tiempo dado, luego de la aparición de una falla, utilizando procedimientos de mantenimiento preestablecidos”.

El parámetro fundamental para calcular la mantenibilidad lo constituye el tiempo medio de reparación de las fallas (MTTR). Cuando el MTTR de un determinado equipo es alto, se dice que el equipo tiene una baja mantenibilidad. En caso contrario, de que el tiempo medio de reparación de las fallas de un determinado equipo sea baja, se dice que el equipo tiene una alta mantenibilidad. (Asme , 2008).

2.2.10.3. Confiabilidad

La confiabilidad puede definirse como:

“La probabilidad de que un equipo cumpla su misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un periodo determinado”.

La confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio operativo (MTU – tiempo medio operativo). Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el MUT de un equipo disminuya, la confiabilidad del mismo será menor. (Asme , 2008).

2.2.11. Cálculo de la disponibilidad.

De los tres conceptos mencionados anteriormente, la disponibilidad constituye el parámetro cuya información es la más representativa y útil para la gestión del mantenimiento. (Asme , 2008).

2.2.11.1. Disponibilidad Inherente (A_i)

(Barringer, 1997). Vista por el personal de mantenimiento, excluye las paradas por mantenimientos preventivos, demoras en suministros, y demoras administrativas; y es definida como:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

2.2.11.2. Disponibilidad Operacional (A_o)

La disponibilidad operacional es similar a la inherente, solo que esta toma en cuenta el tiempo no operativo del equipo de forma general (desde que el equipo sale fuera de servicio hasta que es otra vez puesto en operación), es decir, que incluye el retraso que trae consigo la logística de las actividades de mantenimiento (compra de repuestos, transportación, tiempo de ocio no determinados, etc.) la ecuación para calcular la disponibilidad operacional (A_o) es:

$$A_o = \frac{MUT}{MUT + MDT} \times 100\%$$

$$\text{Donde: } MDT = MTTR + MTO$$

A_o , considera el diseño del equipo, la disponibilidad del personal de mantenimiento, las políticas y procedimientos de mantenimiento y los factores no tomados en cuenta en el diseño de los equipos. (Asme, 2008).

2.2.12. Análisis de la Confiabilidad.

2.2.12.1. Confiabilidad

La confiabilidad es el estudio de las características aleatorias del fenómeno de falla. Esta incertidumbre se relaciona directamente con el funcionamiento real e ideal del equipo, y se encuentra limitado a la capacidad inherente (de diseño) del equipo, ya que las labores de operación (condiciones de funcionamiento) y mantenimiento no incrementan la confiabilidad. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

El enfoque general de la Ingeniería de Confiabilidad es caracterizar probabilísticamente las fallas para hacer pronósticos y establecer acciones proactivas dirigidas a evitar o disminuir sus efectos.

Así mismo el concepto de confiabilidad operacional está definido como la capacidad de una instalación (procesos, personas, tecnología), para realizar la función deseada dentro de los límites de diseño. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

Pero la confiabilidad operacional está relacionada con parámetros, como la Confiabilidad Humana, Confiabilidad de Procesos y Confiabilidad de Equipos. La variación de una de las variables afectará el comportamiento de la confiabilidad operacional. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

2.2.12.2. Modos de fallas.

Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar una falla de un activo físico (o sistema o proceso). Una máquina puede fallar por diversos motivos. Por otro lado, el mantenimiento proactivo significa manejar los eventos antes de que ocurran, o al menos decidir cómo deberían ser manejados si llegarán a ocurrir. Para ello debemos saber por adelantado qué eventos pueden ocurrir. Los eventos en este contexto son los modos falla. (Moubray, 1997).

La representación de la tasa de fallo frente al tiempo da lugar, en muchos casos, a una curva conocida como curva de la bañera Figura 14. En esta curva aparecen una serie de fallos al principio del proceso conocidos como mortalidad infantil, que suelen ser debidos a los desajustes propios de productos con poco uso, luego aparecen fallos que se distribuyen de forma aleatoria en el tiempo, rama constante de la curva terminando con un incremento de fallos debido al desgaste o envejecimiento propio. (Naya Fernandez, 2013).



Figura 14. Curva de la bañera para una serie de fallos de discos duros. Fuente: (Naya Fernandez, 2013)

Esta gráfica se conoce como la tasa/ rata de riesgo o como la probabilidad condicional de falla. La probabilidad condicional de falla es la probabilidad de que un elemento vaya a fallar durante un intervalo de edad dado que el elemento sobrevive hasta ese intervalo de edad. Es el valor de la confiabilidad más importante para la toma diaria de decisiones. (Living Reliability , 2016)

Las fallas relacionadas con edad frecuentemente van asociadas a la fatiga, corrosión abrasión y evaporación, sin embargo, los equipos en general son muchos más complejos trayendo consigo seis patrones de falla como se muestra en la Figura 15. (Moubray, 1997).

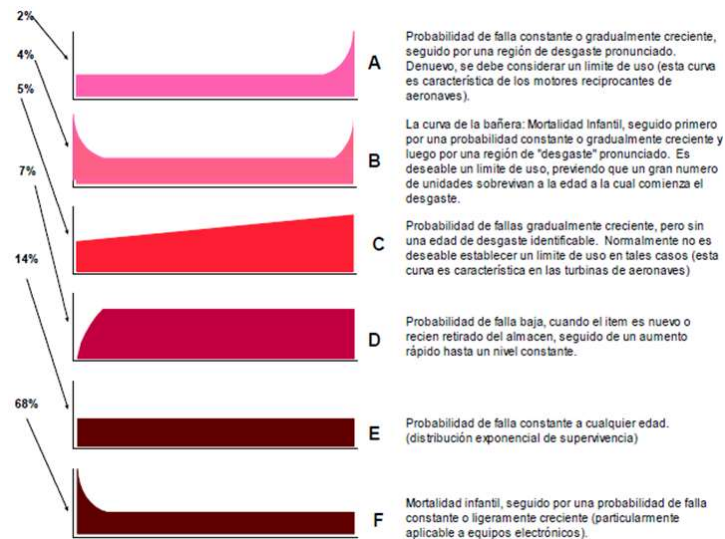


Figura 15. Modelos típicos de falla (Nowlan y Heap). Fuente: (Tecsop Curso Confiabilidad, 2016)

La decisión para realizar TBM (mantenimiento basado en tiempo o edad) serán determinado por el comportamiento basado en la edad del modo de falla cuyas consecuencias deben ser mitigadas. Por lo tanto, es útil para el analista de entender el verdadero significado de estas curvas ya que fueron dibujadas a partir de cuatro estudios independientes. Los patrones de falla o curvas reflejan el comportamiento de falla innato de los activos, independiente del mantenimiento que se hizo sobre ellos. (Living Reliability , 2016).

Las decisiones relacionadas con problemas de mantenimiento probabilístico, como decidir cuándo realizar el mantenimiento preventivo en equipos que están sujetos a avería, requieren información sobre cuándo el equipo alcanzara un estado fallido. El ingeniero nunca sabe exactamente cuándo ocurrirá la transición del equipo de un estado bueno a un estado fallido, pero normalmente es posible obtener información acerca de la probabilidad de que esta transición ocurra en cualquier momento en particular. Cuando se están determinando las decisiones óptimas de mantenimiento, se requiere el conocimiento de las estadísticas para lidiar con tales problemas probabilísticos. (Jardine & Tsang, 2013).

2.2.12.3. Histograma de Frecuencia Relativa

Si pensamos en una serie de equipos similares que están sujetos a avería, no esperamos que cada uno de ellos, fracase después del mismo número de horas de funcionamiento. Observando el tiempo de funcionamiento hasta el fallo de cada equipo, es posible trazar un histograma en el que el área asociada con cualquier intervalo de tiempo muestre la frecuencia relativa de descomposición que se produce en estos intervalos. Esto se ilustra en la Figura 16. (Jardine & Tsang, 2013).

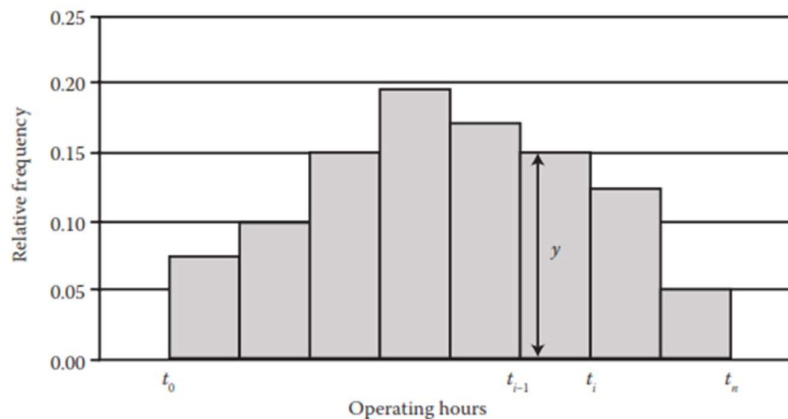


Figura 16. Histograma de tiempo de Falla. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

Si ahora queremos determinar la probabilidad de que ocurra un fallo entre los tiempos t_{i-1} y t_i , simplemente multiplicamos la ordenada y por el intervalo (t_{i-1}, t_i) . Un examen más detallado de la figura 16, revelará que la probabilidad de que se produzca un fallo entre t_0 y t_n , donde t_0 y t_n son las primeras y últimas veces, respectivamente, en las que el equipo ha fallado, es la unidad. Es decir, estamos seguros de que el fallo ocurre en el intervalo (t_0, t_n) , y el área del histograma es equivalente a 1. (Jardine & Tsang, 2013).

Según (Pascual, El Arte de Mantener, 2008), las distribuciones se pueden clasificar según describan eventos discretos (número de fallas...) o continuos (medidas de cantidades físicas tales como la masa,...). Existe una variedad de posibles distribuciones a ser utilizadas en análisis de confiabilidad. Las de uso más frecuentes son: Weibull, exponencial, normal.

2.2.12.4. Función de densidad de probabilidad $f(t)$

En los estudios de mantenimiento, tendemos a utilizar las funciones de densidad de probabilidad (pdf) en lugar de histogramas de frecuencia relativa. Esto se debe a que (1) la variable a modelar, como el tiempo hasta el fallo, es una variable continua, (2) estas funciones son más fáciles de manipular, y (3) debería dar una comprensión más clara de la distribución de falla verdadera. Pdfs son similares a histogramas de frecuencia relativa excepto que se utiliza una

curva continua en lugar de barras, como se muestra en la Figura 17 La ecuación de la curva del pdf se denota por $f(t)$. (Jardine & Tsang, 2013).

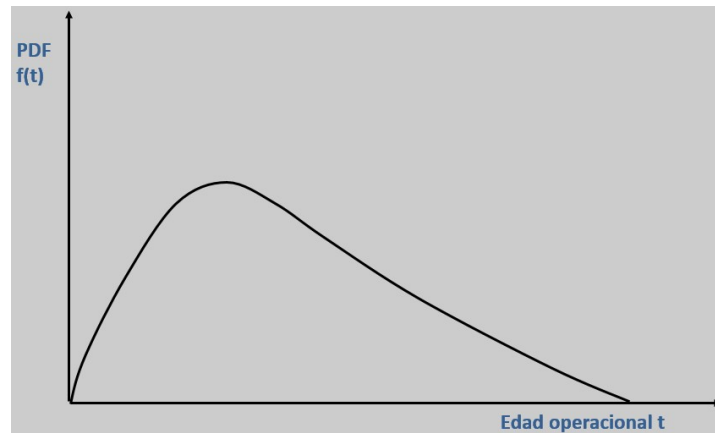


Figura 17. Función de densidad de Probabilidad. Fuente: (Living Reliability , 2016)

2.2.12.4.1 Análisis de la función de la densidad de probabilidad (pdf)

En la función de la densidad de probabilidad $f(t)$, (1) las fallas no ocurren en tiempos determinados, (2) ellas ocurren de forma aleatoria y según su distribución de probabilidad. (3) La función de la densidad de probabilidad (pdf) es la forma usual de representar una distribución de falla (también conocida como "relación de edad confiabilidad"). (Living Reliability , 2016).

En la Figura 18, (1) Como la densidad es igual a la masa por unidad de volumen, la densidad de probabilidad es la probabilidad de falla por unidad de tiempo. (2) Cuando es multiplicado por la longitud de un intervalo pequeño de tiempo ΔT en el instante t , el producto es la probabilidad de falla en ese intervalo. (3) la pdf es la descripción básica del tiempo a la falla de un ítem. (Living Reliability , 2016).

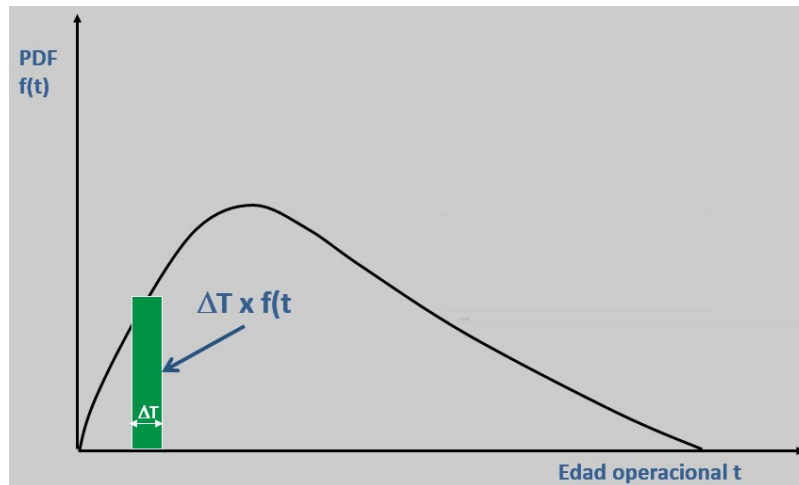


Figura 18. Función de densidad de Probabilidad. Fuente: (Living Reliability , 2016)

Innecesario decir que las características de fallo de diferentes equipos pueden ser diferentes entre sí. Incluso las características de fallo de equipos idénticos pueden no ser las mismas si están operando en diferentes entornos. Hay una serie de Pdfs bien conocidos que se han encontrado en la práctica para describir las características de fallo de los equipos; Algunos se ilustran en la Figura 19. (Jardine & Tsang, 2013).

En la Figura 20, se muestra las formula de funciones de densidad de probabilidad pdf expresado como $f(t)$ más comunes.

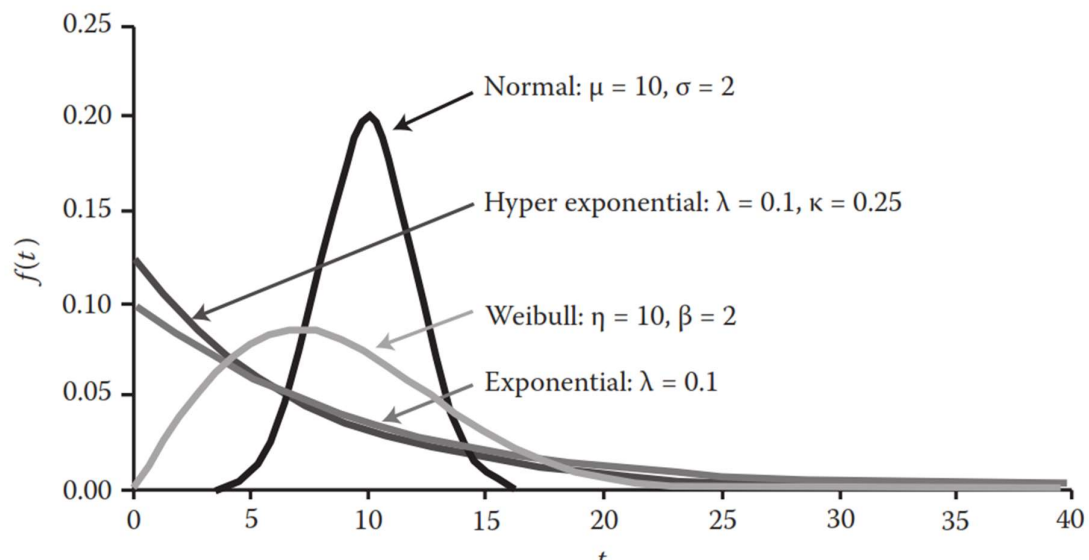


Figura 19. Funciones de densidad de Probabilidad comunes. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

Nombre	PDF Función de densidad de Probabilidad f(t)
Hiper Exponencial	$f(t) = 2k^2\lambda\exp[-2k\lambda t] + 2(1 - k)^2\lambda\exp[-2(1 - k)\lambda t]$
Exponencial	$f(t) = \lambda\exp[-\lambda t] \quad \text{for } t \geq 0$
Normal	$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad \text{for } -\infty < t < \infty$
Weibull	$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad \text{for } t \geq 0$

Figura 20. Funciones de densidad de Probabilidad comunes. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.12.5. Función de distribución acumulada F(t)

En los estudios de mantenimiento, a menudo nos interesa la probabilidad de que ocurra un fallo o también llamado función de densidad acumulado (cdf), antes de un tiempo determinado tiempo t.

Esta probabilidad se puede derivar de la pdf. Ilustración 21 (Jardine & Tsang, 2013).

El área $\Sigma(\Delta t \times f(t))$ debajo de la curva PDF entre 0 y el tiempo t1 es la probabilidad (acumulada) expresado como F(t) de que falle antes de t1. (Living Reliability , 2016).

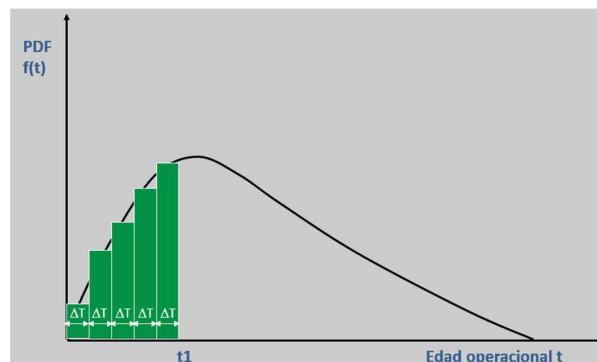


Figura 21. Función de densidad Acumulada. Fuente: (Living Reliability , 2016)

La forma de la función de distribución acumulada de $F(t)$ para las cuatro funciones de densidad descritas anteriormente se muestran en la Figura 22.

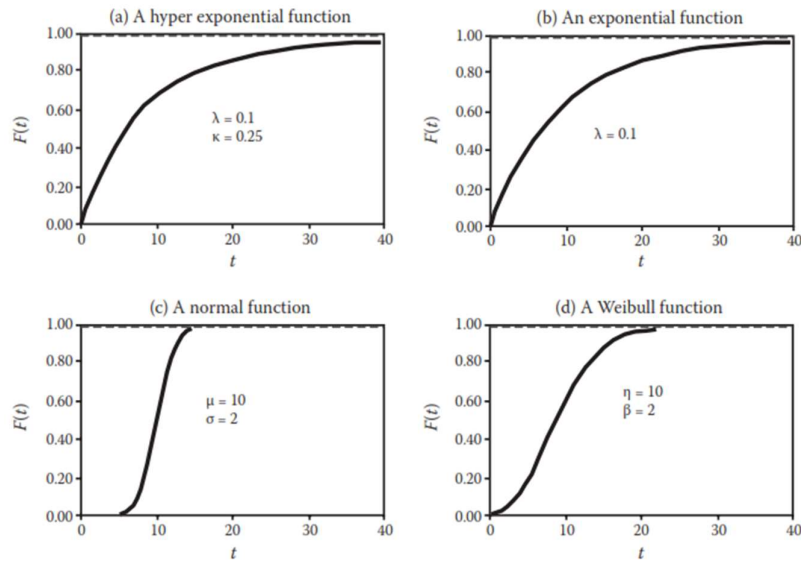


Figura 22. Funciones de distribución Acumuladas comunes. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

En la Figura 23, se muestra las formula de funciones de distribución acumulada cdf expresado como $F(t)$, más comunes.

Nombre	CDF Función de densidad de Acumulada $F(t)$
Hiper Exponencial	$F(t) = 1 - k \exp[-2k\lambda t] - (1 - k) \exp[-2(1 - k)\lambda t]$
Exponencial	$F(t) = 1 - \exp[-\lambda t]$
Normal	$F(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$
Weibull	$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$

Figura 23. Funciones de densidad de Acumulada comunes. Fuente: Elaboración Propia.

La función de densidad de probabilidad (pdf) y la función de distribución acumulativa (cdf) son dos de las funciones estadísticas más importantes en la confiabilidad y están muy estrechamente relacionadas. Cuando se conocen estas funciones, puede obtenerse u obtenerse casi cualquier otra medida de fiabilidad de interés. Ahora examinaremos más de cerca estas funciones y cómo se relacionan con otras medidas de confiabilidad, como la función de confiabilidad y la tasa de fracaso. (ReliaSoft, 2015).

2.2.12.6. Confiabilidad R(t)

Una función complementaria a la función de distribución acumulativa es la función de confiabilidad, también conocida como función de supervivencia. Se determina a partir de la probabilidad de que el equipo sobreviva al menos hasta cierto tiempo especificado, t. La función de confiabilidad se denotará por R (t). y, por supuesto, R (t) es también equivalente a 1 - F (t). Como t tiende al infinito, R (t) tiende a cero. Ilustración 24 (Jardine & Tsang, 2013).

Mientras el valor de la función de densidad, f(t), no contenga ningún significado físico, el área bajo la curva, F(t), es conocida como la probabilidad de falla antes de lograr una duración específica t. Inversamente, el área rayada, R(t), es la probabilidad de sobrevivir una misión de duración t. Puesto que éstas son las únicas dos posibilidades la superficie total debajo de la curva de densidad de probabilidad es unitaria. (Living Reliability , 2016).

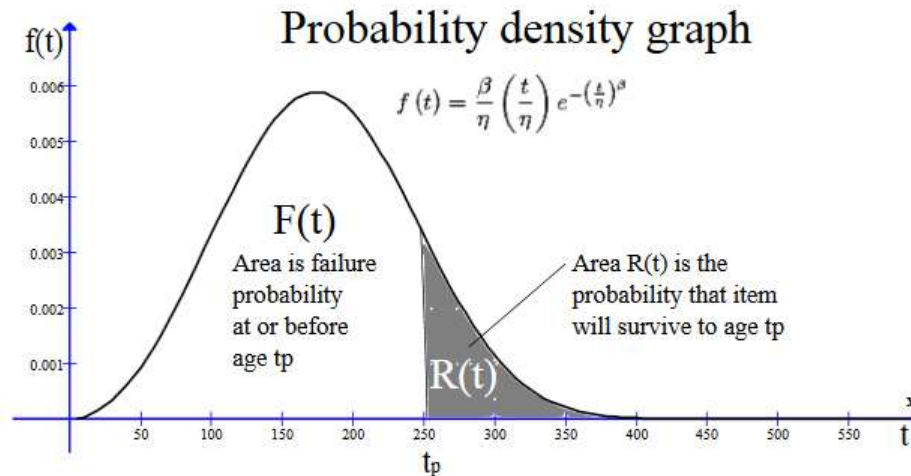


Figura 24. Funciones Densidad de probabilidad f(t), Probabilidad de falla F(t) y Confiabilidad R(t). Fuente: (Living Reliability , 2016)

La forma de la función de confiabilidad para las cuatro funciones de densidad descritas anteriormente se muestra en la Figura 25. (Jardine & Tsang, 2013).

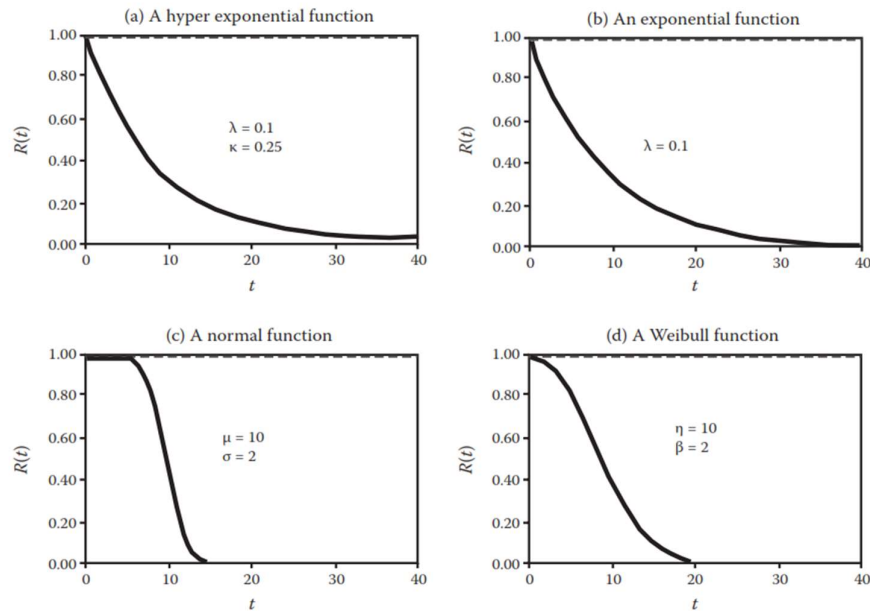


Figura 25. Funciones de Confiabilidad comunes. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

En la Figura 26, se muestra las formula de la función de confiabilidad, expresado como $R(t)$, más comunes.

Nombre	Función de Confiabilidad $R(t)$
Hiper Exponencial	$R(t) = k \exp[-2k\lambda t] + (1 - k) \exp[-2(1 - k)\lambda t]$
Exponencial	$R(t) = \exp[-\lambda t]$
Normal	$R(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_t^{\infty} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right)^2\right] dt$
Weibull	$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right]$

Figura 26. Funciones Confiabilidad comunes. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.12.7. Tasa de Riesgo o Tasa de Falla $h(t)$

Una característica estadística de los equipos utilizados con frecuencia en los estudios de reemplazo es el índice de riesgo. Para introducir la tasa de riesgo, considere una prueba en la que se pone en funcionamiento un gran número de componentes idénticos y se anota el tiempo hasta el fallo de cada componente. Una estimación de la tasa de riesgo de un componente en cualquier momento puede considerarse como la proporción de un número de ítems que fallaron en un intervalo de tiempo (digamos, 1 semana) (Jardine & Tsang, 2013).

Expresado $h(t) = f(t)/R(t)$,

La forma de la tasa de para las cuatro funciones de densidad descritas anteriormente se muestra en la Figura 27. (Jardine & Tsang, 2013).

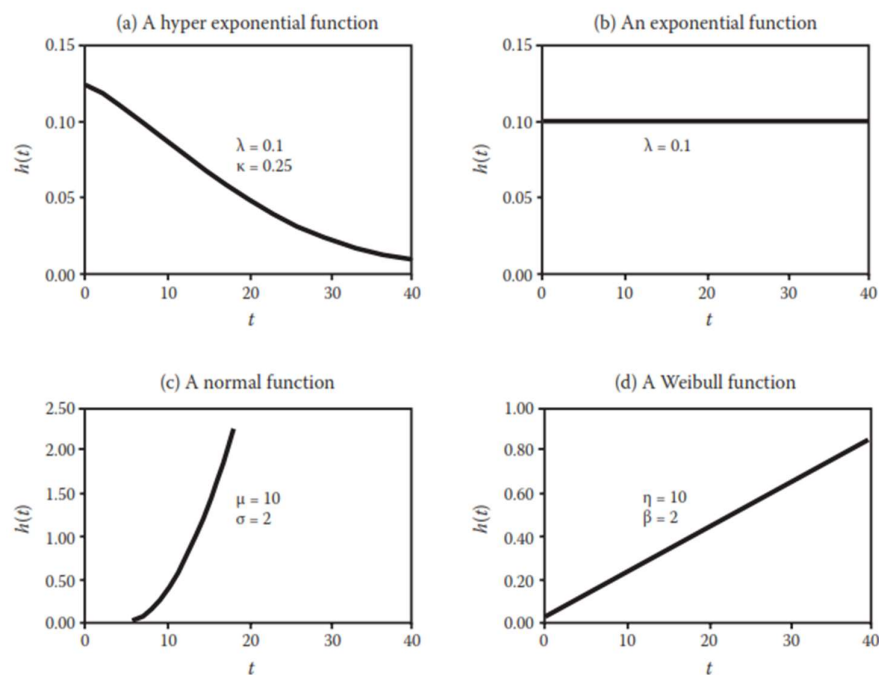


Figura 27. Funciones de tasa de Riesgo comunes. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

En la Figura 28, se muestra las formula de la tasa de falla, expresado como $h(t)$, más comunes.

Nombre	Tasa de Riesgo o Tasa de Falla $h(t)$
Híper Exponencial	$h(t) = \frac{2\lambda [k^2 + (1-k)^2 \exp[-2(1-2k)\lambda t]]}{k + (1-k) \exp[-2(1-2k)\lambda t]}$
Exponencial	$h(t) = \lambda$
Normal	$h(t) = \frac{\exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2]}{\int_t^{\infty} \exp[-(t-\mu)^2/2\sigma^2] dt}$
Weibull	$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$

Figura 28. Tasa de Riesgos o Falla comunes. Fuente: Elaboración Propia.

2.2.12.8. Análisis de la distribución Weibull

El análisis de Weibull es el método más popular del mundo para analizar y predecir fallas y malfuncionamientos de todo tipo. El método identifica la categoría de fracaso: mortalidad infantil, al azar o desgaste. El análisis de Weibull proporciona la información cuantitativa necesaria para tomar decisiones RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), que a menudo se hacen desde un enfoque cualitativo.

2.2.12.8.1 Distribución Weibull

La distribución de Weibull se nombra después de Waloddi Weibull (1887-1979), que encontró que, en general, las distribuciones de datos sobre la vida del producto pueden ser modeladas por una función de la siguiente forma:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad \text{for } t > \gamma$$

$$f(t) = 0 \quad \text{for } t \leq \gamma$$

Los tres parámetros de una distribución de Weibull son β (el parámetro de forma), γ (el parámetro de localización) y η (el parámetro de escala). Cuando β y η son mayores que 0, cuando $\gamma = 0$ y η se mantiene constante; Las distribuciones de Weibull para $\beta = 0.5, 1, 2.5, 3.44$ y 5 se muestran en la ilustración 29. (Jardine & Tsang, 2013).

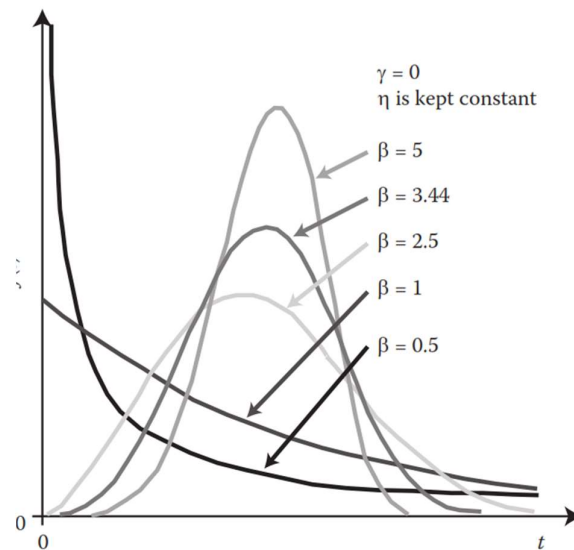


Figura 29. Función Weibull de 2 parámetros. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

2.2.12.8.2 Parámetro de forma β

El valor β determina la forma de la distribución. Cuando $\beta < 1$, la distribución de Weibull tiene una forma hipérbolica con $f(0) = \infty$. Cuando $\beta = 1$, se convierte en una función exponencial. Cuando β excede 1, es una función unimodal en la que la asimetría cambia de izquierda a derecha cuando aumenta el valor de β . Cuando $\beta \approx 3.44$, la distribución de Weibull aproxima la función normal simétrica. Por lo tanto, β se denomina el parámetro de forma. (Jardine & Tsang, 2013).

La curva de la bañera (ilustración 30) puede ayudar a entender la relación entre β y los mecanismos de falla a través de la vida de un componente. Weibull provee una pista acerca de los mecanismos de falla, con las diferentes pendientes o parámetro de forma, implicando en las diferentes formas de falla, en la gráfica se muestra la curva de la bañera y la relación de β . (Murillo, 2002).

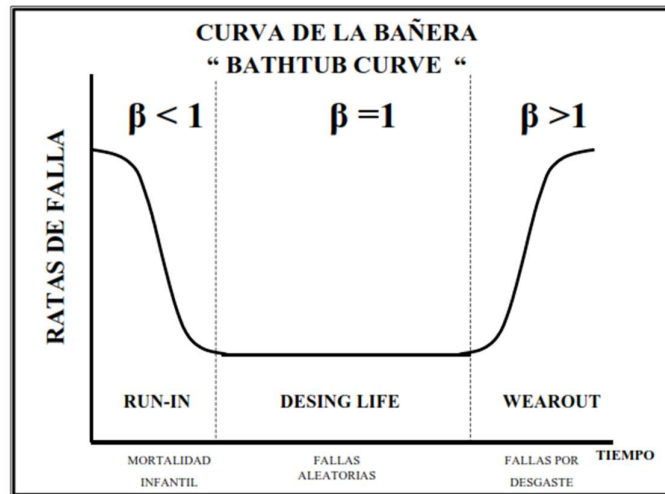


Figura 30. Curva de la Bañera y Beta β . Fuente: (Murillo , 2002)

2.2.12.8.3 Parámetro de escala η

La Figura 31 muestra dos distribuciones de Weibull, ambas con valores γ y β idénticos, pero diferentes en sus valores η . Aunque ambos comparten la misma forma, la distribución de estas distribuciones es proporcional al valor η . Por lo tanto, η se denomina parámetro de escala. (Jardine & Tsang, 2013).

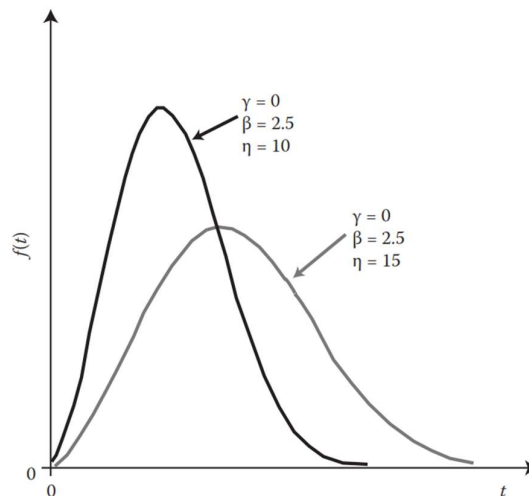


Figura 31. Dos distribuciones de Weibull con idéntica ubicación y parámetros de forma, pero diferentes parámetros de escala. Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

La función de distribución acumulativa, $F(t)$, de la distribución de Weibull es:

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right].$$

Donde

$F(t)$ = Función de distribución Acumulativa cdf.

t = Tiempo de falla.

γ = Parámetro de localización.

η = Parámetro de escala o vida característica.

β = Parámetro de forma o pendiente.

\exp = 2.718281828, base del logaritmo natural.

2.2.12.9. η (Eta) & β (Beta)

Los parámetros β & η de la distribución Weibull son los valores usados para el análisis de vida de los componentes, en la ilustración 31, el eje x es la edad o tiempo (t), el eje y, es la proporción de las unidades que pueden fallar "B live". (Murillo , 2002).

Muchas industrias usan B life como requerimientos de diseño. En la Aeroespacial, B1 life es usado para el inicio de una falla, B0.1 para fallas serias y B0.01 para fallas catastróficas. Algunas organizaciones citan su confiabilidad con un nivel de confianza, como son 99% de confiabilidad con un 95% de seguridad para fallas catastróficas. (Murillo , 2002).

Eta (η) es el parámetro vida y es igual al tiempo promedio para la falla (Mean Time To Failure MTTF) cuando β es igual a 1. la relación entre η y el MTTF es la función gamma de β . (Murillo , 2002).

2.2.12.10. Tiempo medio para la falla MTTF.

La vida media de un componente no reparable es el valor de tiempo esperado para que el componente falle. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$MTTF = \eta \Gamma(1 + 1/\beta)$$

Cuando $\beta = 1.0$, $MTTF = \eta$, es una distribución exponencial

Cuando $\beta > 1.0$, $MTTF$ es menor que η

Cuando $\beta < 1.0$, $MTTF$ es mayor que η

Cuando $\beta = 0.5$, $MTTF = 2 \eta$

η es definida como la edad al cual el 63.2% de las unidades pueden fallar

$$F(t = \eta) = 1 - e^{-\left(\frac{\eta}{\eta}\right)^\beta} = 1 - e^{-1^\beta} = 1 - 1/e = 0.632$$

Cuando $t = \eta$, $F(t) = 1 - \exp(-1)$, o aproximadamente 63.2%, para todos los valores de β . Así, η también se conoce como la vida característica de la distribución de Weibull. (Jardine & Tsang, 2013).

2.2.12.11. Tiempo medio entre fallas MTBF

Un indicador útil es el tiempo medio entre fallas (MTBF); o, en otras palabras, el tiempo promedio en que el equipo no falla. Matemáticamente ello corresponde a la esperanza de T (T siendo el periodo entre 2 fallas), dada la función de distribución $f(t)$ (**Densidad de probabilidad de falla**): (Pascual, El Arte de Mantener, 2008)

$$MTBF = E(t) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

lo que también puede ser escrito (integrando por partes):

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Esta expresión es válida cuando se aplica una estrategia de mantenimiento correctiva. En caso de aplicarse una estrategia preventiva cada T_s ut, que implique una intervención perfecta, o equivalentemente un reemplazo, se tiene: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$MTBF(T_s) = \frac{\int_0^{T_s} R(t) dt}{F(T_s)}$$

donde MTBF (T) corresponde al intervalo medio de tiempo entre 2 intervenciones correctivas. La prueba puede ser obtenida de (Barlow & Proschan, 1996). Nótese que difiere del intervalo de tiempo medio entre 2 intervenciones (ya sean preventivas o correctivas): (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$\begin{aligned} MTBI(T_s) &= T_s R + \frac{\int_0^{T_s} t f dt}{F(T_s)} F(T_s) \\ &= T_s R + \int_0^{T_s} t f dt \end{aligned}$$

Integrando por partes,

$$MTBI(T_s) = \int_0^{T_s} R dt$$

2.2.12.11.1 MTBF y MTTF

El tiempo medio para falla MTTF (por sus siglas en inglés) se define como el tiempo esperado, en el cual, el componente falla siendo que nuevo o como nuevo en $t = 0$. De su definición: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$MTBF = MTTF + MTTR$$

2.2.12.12. Parámetro de localización γ

Por definición, la función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull es cero para $t \leq \gamma$. Es decir, no hay riesgo de fallo antes de γ , que se denomina, por lo tanto, el parámetro de localización o el periodo sin fallos de la distribución. (Jardine & Tsang, 2013).

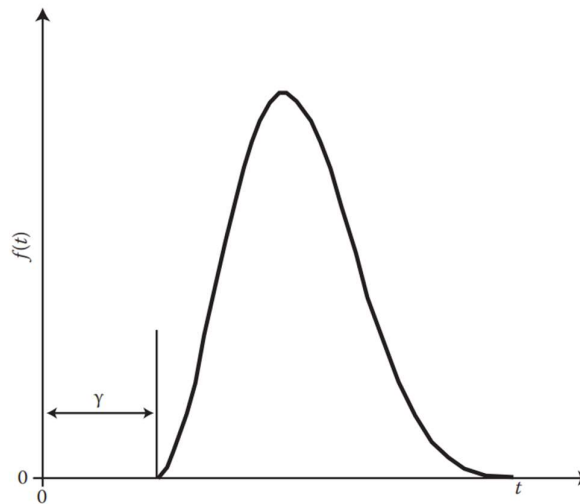


Figura 32. Distribución Weibull con $\gamma > 0$ Fuente: (Jardine & Tsang, 2013).

En la práctica, γ puede ser negativo, en cuyo caso el equipo puede haber sido sometido a un proceso de rodaje o había estado en uso antes de $t = 0$ (Figura 32), (Jardine & Tsang, 2013).

2.2.12.13. Datos censurados o Suspensiones.

Un problema común al generar datos de falla es la censura (también se conoce como suspensión). Ocurre censura cuando los datos son incompletos porque se han detenido (retirado) componentes antes de su falla o porque el ensayo ha terminado antes de que fallen todas las unidades (en el caso de tratar unidades no reparables). Una unidad es removida, por ejemplo, cuando ella falla por otros modos de falla y no por el que está siendo investigada. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

El análisis tradicional de Weibull separa cuidadosamente diferentes modos de falla para obtener datos limpios con suspensiones (es decir, los datos se censuran) de modo que solo los modos de fallo individuales se representan en cada trazado de Weibull de línea recta. (Woodrow T & Barringer, 2000).

Según (Living Reliability, 2016) las suspensiones son:

- Reemplazos preventivos de la parte o componente
- Elementos que no fallaron durante el tiempo de estudio
- Elementos que fallaron por un modo de falla diferente al analizado.

Según (Lewis, 1987) la estimación de la confiabilidad con datos censurados puede ser expresada con la formula siguiente.

$$\hat{R}(t_i) = \frac{n + 1 - i}{n + 2 - i} \hat{R}(t_{i-1})$$

Recursivo;

$$\hat{R}(0) = 1$$

Si en t_i , ocurre una censura

R no se ajusta:

$$\hat{R}(t_i^+) = \hat{R}(t_{i-1})$$



$^+ : \text{censura}$

Luego

$$\hat{R}(t_i) = \left(\frac{n + 1 - i}{n + 2 - i} \right)^{1 - \delta_i} \hat{R}(t_{i-1})$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{si hay censura en } t_i \\ 0 & - \end{cases}$$

2.2.13. Costos.

Según (Murillo , 2002) el costo de unas fallas sin planeación es grande que el costo de reemplazos planeados. Si el intervalo es muy corto, el costo del reemplazo es muy alto; si este es muy largo, el manejo de la falla no planeada total es muy alta. Weibull tiene una estrategia para encontrar el intervalo del costo efectivo para el reemplazo del componente.

El óptimo reemplazo en un intervalo es la edad con el mínimo radio del costo promedio para el MTBF, $C(t)$.

$C(t)$ = Costo por unidad

U = Costo de un reemplazo no planeado.

P = Costo de un reemplazo antes de la falla, $P < U$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

El costo por unidad de tiempo es el radio del costo promedio para el MTTF. la función puede ser expresada como sigue en la ecuación

$$C(t) = \frac{PxR(t) + Ux(1 - R(t))}{\int_0^t e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} dx}$$

Cuando t se reemplaza en un periodo x .

El primer término en el numerador es el costo del reemplazo planeado multiplicado por una fracción del periodo t . Este término decrementa con el tiempo. el segundo término en el numerador es el costo del reemplazo no planeado multiplicado por una la inconfiabilidad durante el periodo de tiempo. El termino incrementa a través del tiempo. El denominador es el MTTF (el área bajo la curva de la confiabilidad en un intervalo de tiempo de 0 a t). Hallando el mínimo de la ecuación se obtiene el tiempo optimo del reemplazo. (Murillo , 2002)

Según (Komonen, 1998) los costos que aparecen del mantenimiento pueden ser divididos en dos grupos: Los costos que aparecen de las operaciones de mantenimiento (costos administrativos, de mano de obra, costo de material, costo de subcontratación, costo de almacenamiento, costo de capital). Y los costos por pérdida de producción debido a detenciones de los equipos de producción o reducciones en su tasa de producción, y perdidas de calidad en el producto debido a mal funcionamiento de los equipos. Esta clasificación enfatiza los dos objetivos del mantenimiento alta disponibilidad de los equipos de producción y costos de mantenimiento bajos.

Los costos son la consecuencia de las cosas si multiplicamos con las probabilidades tenemos el riesgo, en la estructura de costos tenemos los costos visibles y los sumergibles en los costos

visibles están los costos de actividades correctivas y actividades asociadas a las preventivas, los costos sumergibles tenemos las detenciones de la producción que son los costos de falla que pueden ser eventos no planificados y también puede ser por eventos planificados (Consultancy & Training Intercade , 2012).

Otra forma de expresar los costos, según (Pascual, El Arte de Mantener, 2008) es de la siguiente manera:

2.2.13.1. Costo global correctivo por unidad de tiempo

$$c_{gc} = (C_{ic} + C_{fc}) / MTBF$$

Donde:

Cgc Costo Global correctivo por unidad de tiempo

Cic, Cip Costo de intervención correctiva, preventiva. (Cic y Cip pueden ser repuestos, personal requerido asumimos inicialmente igual para correctiva o preventiva).

Cfc, Cfp Costos de falla correctiva, preventiva.

MTBF tiempo promedio entre fallas.

Si Weibull;

$$MTBF = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

2.2.13.2. Costo global preventivo general por unidad de tiempo

$$C_g = \frac{C_{gp} R(T_s) + C_{gc} F(T_s)}{MTBI(T_s)}$$

Donde:

C_g Costo Global por unidad de tiempo

C_{gp} Costo Global preventivo por unidad de tiempo

C_{gc} Costo Global correctivo por unidad de tiempo

$R(T_s)$ Confiabilidad por unidad de tiempo preventivo (T_s)

$F(T_s)$ Probabilidad de falla por unidad de tiempo preventivo (T_s).

$MTBI(T_s)$ Tiempo Medio entre Intervenciones del tiempo preventivo (T_s).

2.2.13.3. Costo global preventivo directo por unidad de tiempo

$$C_i = \frac{C_{ip} R(T_s) + C_{ic} F(T_s)}{MTBI(T_s)}$$

Donde:

C_i Costos directo por unidad de tiempo

C_{ip} Costos directos preventivos.

C_{ic} Costos directos correctivos.

$R(T_s)$ Confiabilidad por unidad de tiempo preventivo (T_s)

$F(T_s)$ Probabilidad de falla por unidad de tiempo preventivo (T_s).

$MTBI(T_s)$ Tiempo Medio entre Intervenciones del tiempo preventivo (T_s).

Para el MTBI;

$$MTBI(T_s) = T_s R(T_s) + T_f F(T_s)$$

$$MTBI = \int_0^{T_s} R(t) dt = T_s R(T_s) + \int_0^{T_s} t f(t) dt$$

Donde

$MTBI(T_s)$ Tiempo Medio entre Intervenciones del tiempo preventivo (T_s).

T_s Tiempo preventivo.

$R(T_s)$ Confiabilidad por unidad de tiempo preventivo (T_s)

T_f Tiempo de falla.

$F(T_s)$ Probabilidad de falla por unidad de tiempo preventivo (T_s).

2.2.14. Gestión de Repuestos centrado en el nivel de servicio.

El modelo básico ilustra las relaciones que afectan los cuatro factores de la disponibilidad (confiabilidad, periodo medio de reposición, nivel de servicio y tamaño de la flota) y el número requerido de repuestos, por ejemplo, En la industria aeronáutica la medida más usada para la confiabilidad es el tiempo medio de operación entre intervenciones no programadas (T_{bur}). En general depende del tiempo de operación acumulado. Es posible entonces definir: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$T_{bur_{ct}} = \frac{T_{bur}}{\eta} \text{ ut calendario}$$

Donde η corresponde a la tasa de uso del equipo (ut operación / ut calendario).

El número de unidades apoyadas un corresponde al número de componentes que están instalados en todos los equipos de las flotas de todas las compañías participantes. La frecuencia de pedidos (no programados) de repuestos percibida por la bodega es: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$\lambda_b = \frac{n_u}{T_{bur_{ct}}} \text{ u/ut}$$

El indicador T_{at} es medio como el periodo transcurrido desde la remoción del componente desde la aeronave y cuando es guardado en bodega, tras su reparación y ésta listo para un nuevo uso. La demanda esperada n_d de repuestos durante T_{at} es: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$n_d = \frac{n_u}{T_{bur_{ct}}} T_{at}$$

$$= \lambda_b T_{at}$$

Si consideramos que las fallas siguen una distribución de Poisson es posible calcular la probabilidad de que ocurra un cierto número de intervenciones no programadas en un periodo de tiempo dado.

$$p(k) = \frac{e^{-(\lambda_b T_{at})} (\lambda_b T_{at})^k}{k!}$$

Donde $p(k)$ corresponde a la probabilidad de que ocurran exactamente k intervenciones correctivas durante T_{at} , k corresponde al número de intervenciones correctivas durante T_{at} . Por definición $p(k)$ es también la probabilidad de que haya exactamente k unidades siendo reparadas en un instante cualquiera y $\lambda_b T_{at}$ también corresponde al número esperado de intervenciones correctivas durante T_{at} . (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

A continuación, introducimos el concepto de nivel de servicio (o disponibilidad de repuesto), $\alpha(k)$ corresponde a la probabilidad de satisfacer un pedido inmediatamente, dado que hay k repuestos para atender las fallas que puedan ocurrir a las n unidades de operación tenemos: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

$$\alpha(k) = \sum_{i=0}^k p(i)$$

Obviamente, cuando no hay unidades de repuesto ($k = 0$), la probabilidad de que se satisfagan siempre las solicitudes es cero.

2.2.15. Gestión de Repuestos centrado en la disponibilidad del sistema.

Consideremos un sistema que requiere I tipos de repuestos reparables y que pertenece a una flota de equipos. La reparación de estos componentes se realiza en un taller y toma un cierto tiempo logístico de reparación (Turnaround Time, T_{at}) Ilustración 33. En logística aeronáutica, este tipo de repuesto es conocido como LRU (Line Replaceable Unit). Se desea una solución según el criterio de disponibilidad del sistema (el conjunto de equipos de la flota). Se contrastará con el criterio de nivel de servicio de cada repuesto, asumiremos que las fallas son independientes y que no aplica la canibalización.

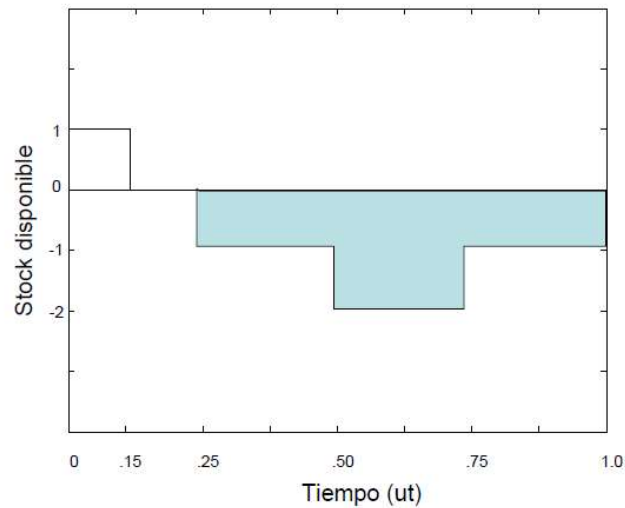


Figura 33. Ejemplo de estimación de nivel de servicio y de número esperado de pedidos pendientes.
 Fuente: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008)

2.2.15.1. Repuestos reparables

En cualquier instante, un repuesto reparable puede estar disponible (stock on hand, OH), siendo reparado (due in, DI), o siendo solicitado pero indisponible (backorder, BO), el balance de masa queda:

$$s = OH(t) + DI(t) - BO(t)$$

Donde s es el nivel de stock del ítem reparable, el cual es constante. Las 3 variables son aleatorias. Cualquier cambio en una de ellas, afecta a las demás. Por ejemplo, cuando una demanda ocurre (por una falla), DI se incrementa en 1 (pues se envía a reparar), si $OH > 0$ entonces se reduce en 1 (se reemplaza el componente dañado), en otro caso, BO se incrementa en 1 (pedido pendiente). Cuando:

$$DI < s \rightarrow OH > 0$$

cuando $DI > s$ hay pedidos pendientes. En sistemas de 2 escalones (base, depósito), DI es la suma de los ítems siendo reparados en la base más lo que son reparados en el depósito.

La figura 39 ilustra el cálculo del nivel de servicio alfa: durante la unidad de tiempo considerada se

pidieron 3 repuestos. Tan solo 1 demanda fue satisfecha con lo cual:

$$\alpha = 1/3$$

El número promedio de pedidos pendientes (EBO) en cada unidad de tiempo, es estimado como el área coloreada dividida por el intervalo observado. En el caso de la Figura 34:

$$MBO = (0.5 * 1 + 0.25 * 2) / 1 = 1 \text{ u}$$

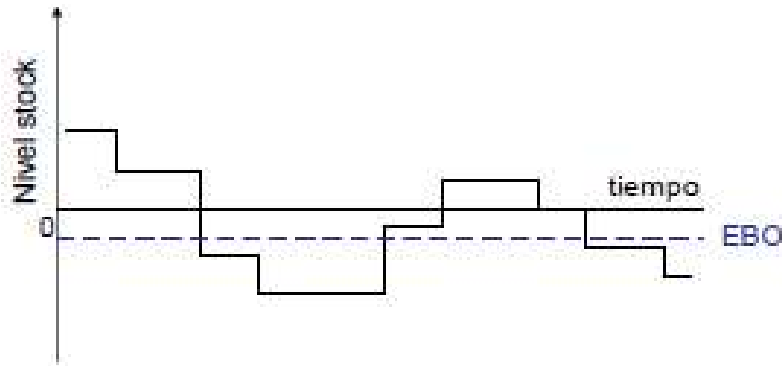


Figura 34. Número esperado de pedidos pendientes. Fuente: (Pascual, El Arte de Mantener, 2008)

Si N es el tamaño de la flota y z_i es la multiplicidad del repuesto en cada equipo, existen Nz_i componentes i en toda la flota. La probabilidad de que alguna de las Nz_i posiciones no tenga un repuesto operativo instalado es:

$$D_i = \frac{EBO_i(s_i)}{Nz_i}$$

lo que corresponde a la indisponibilidad esperada de cada componente de la flota. La disponibilidad esperada de sistema (cada avion, ...), A_s , o sea, la fracción de tiempo en que los equipos pueden operar debido a que hay repuestos disponibles es:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \prod_{i=1}^I A_i \\
 &= \prod_{i=1}^I \left(1 - \frac{EBO_i(s_i)}{Nz_i} \right)^{z_i}
 \end{aligned}$$

y puede ser también considerada como la fracción de tiempo que cualquier aeronave está disponible por repuestos. Al tomar el logaritmo de (44.1), y recordando que:

$$\ln(ab) = \ln a + \ln b$$

Entonces,

$$\ln A_s = \sum_{i=1}^I z_i \ln \left(1 - \frac{EBO_i(s_i)}{N z_i} \right)$$

Recordando que,

$$\ln(1 - D) = -D - \frac{1}{2}D^2 - \dots \approx -D$$

Cuando

$$D < ,1$$

entonces,

$$\ln A_s \approx -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^I EBO_i(s_i)$$

Y

$$A_s \approx e^{-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^I EBO_i(s_i)}$$

Como el máximo de una función coincide con el de su logaritmo, nuestro objetivo es minimizar la suma de los EBOi.

2.2.16. Demanda con Distribución Poisson

Si la demanda de un repuesto sigue una distribución Poisson con parámetro (tasa falla) $1/ut$, y tiempo logístico de reparación Tat ut , el nivel de servicio alfa es:

$$\alpha(s) = \sum_{j=0}^{s-1} \frac{(\lambda T_{at})^j e^{-\lambda T_{at}}}{j!}$$

y el numero esperado de pedidos pendientes:

$$EBO(s) = \sum_{j=s+1}^{\infty} (j - s) \frac{(\lambda T_{at})^j e^{-\lambda T_{at}}}{j!}$$

El producto (tasa) Tat también es denominado pipeline en inglés.

Análisis marginal

Para definir un programa de adquisición de repuestos cuando existe una restricción presupuestaria:

$$\sum_{i=1}^I s_i p_{u_i} \leq B$$

Usaremos el método del análisis marginal. Se denomina así pues en cada paso del proceso iterativo se determina cual es la próxima unidad de repuesto que debe ser adquirida. El origen probable de la técnica se remonta a 1956. El procedimiento empieza con $s_i = 0$, $i = 1 \dots I$. Para cada iteración se evalúa el gradiente de EBO_i con respecto al extra de inversión que supondrá comprar un ítem del i -ésimo repuesto se elige aquel que maximice este valor. La efectividad de cada nuevo ítem adquirido es maximizada.

$$\frac{EBO_i(s_i + 1) - EBO_i(s_i)}{p_{u_i}}$$

En este caso el análisis se ha realizado respecto del costo, también podrá ser realizado respecto de disponibilidad de sistema, por ejemplo.

- Hipótesis

La optimización del stock de componentes críticos, permitirá reducir costos de inventario e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de Variables.

Optimizar el stock de repuestos críticos utilizando distribuciones de probabilidad.

Variable Independiente

- Stock de componentes críticos.

Variable Dependiente.

- Costos y disponibilidad de palas hidráulicas

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Stock de componentes críticos de palas hidráulicas.	Componente Crítico: Cuya falta de disponibilidad, podría causar un costoso tiempo muerto, o tener un efecto negativo en la seguridad	Componentes Instalados en Equipo MTBI (Engine) Disponibilidad de almacén Costo de Inversión Componentes Críticos en Stock	Unidades Horas % \$ Unidades
Costos y disponibilidad de palas hidráulicas.	Costo: El costo de unas fallas sin planeación es más grande que el costo de reemplazos planeados.	Costo global recomendado \$/hr Costo global correct \$/hr Costo global preventivo \$/hr Costo por Horas de intercambio / año	\$ \$ \$ \$
	Disponibilidad: La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera.	Probabilidad de Falla F(t) (Engine) Confiabilidad R(t) (Engine) Tiempo Promedio para la Falla MTTF (Engine) Disponibilidad mecánica	% % Horas %

Tabla 5. Variables utilizadas. Fuente: Elaboración propia

3.2. Diseño de investigación

No Experimental:

Descriptiva.

3.3. Unidad de estudio

La investigación se inició en Julio del 2016 culminando en junio del 2017 al almacén de repuestos de palas hidráulicas de una empresa mantenedora en la mina de Yanacocha Cajamarca.

3.3.1. Población

El estudio se realizó a los componentes críticos reparables de las palas hidráulicas con el registro de intercambio de componentes de Enero del 2011 a Mayo del 2016 en la operación de la mina de Yanacocha Cajamarca.

3.3.2. Muestra (muestreo o selección)

Para la realización del presente proyecto nuestra muestra será igual a nuestra población.

3.4. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

En la Tabla 6 se muestra las técnicas utilizadas para la recolección de datos.

Método	Fuente	Técnica
Cualitativo	Secundaria	Análisis de documentos

Tabla 6. Técnicas utilizadas. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7 a continuación detallamos las técnicas e instrumentos utilizados.

Técnica	Justificación	Instrumentos	Aplica A
Análisis de documentos	Permitirá identificar el modelo de pala hidráulica y sus componentes críticos a estudiar		
	Permitirá realizar un diagnóstico de los procesos actuales en la gestión de Stock de los componentes críticos.	Base de datos Excel Especificaciones de fichas técnicas de las palas	Registros e informes de la empresa.
	Permitirá identificar el tiempo de intercambio óptimo de componentes críticos y sus costos involucrados		

Tabla 7. Técnicas utilizadas. Fuente: Elaboración propia

3.5. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.

3.5.1. Análisis de Documentos para identificación de equipo, componentes y costos de producción.

3.5.1.1. Objetivo:

El análisis de documentos, tuvo como finalidad identificar el modelo de pala hidráulica a trabajar, además de sus costos de producción por hora y los componentes y/o repuestos críticos a estudiar.

3.5.1.2. Procedimiento:

Se solicitó al personal de planeamiento información sobre tiempos entre fallas y tiempos de reparación de toda la flota, además de las recomendaciones de fabrica de los componentes críticos a tener en stock, junto con las fichas técnicas de las palas hidráulicas a estudiar.

3.5.1.3. Instrumentos:

- Registro.
- Manuales de Rendimiento de equipos.
- Internet.

3.5.1.4. Información obtenida para análisis:

Base de datos del tiempo promedio entre fallas MTBF y del tiempo promedio para reparar MTTR desde octubre del 2014 al 2015 de toda la flota de palas hidráulicas en operación. Tabla 8 y 9.

(MTBF) Tiempo promedio entre fallas de la flota de palas hidraulicas modelo EX5500 con 5 equipos y EX2500 con 4 equipos									
Fecha	Pala 1	Pala 2	Pala 4	Pala 5	Pala 7	Pala 6	Pala 8	Pala 9	Pala 10
oct-14	24.0	40.5	57.2	50.7	104.8	365.8	247.0	119.8	104.4
nov-14	71.9	94.1	137.1	81.1	50.2	142.0	172.4	78.2	118.8
dic-14	51.6	0.0	61.4	59.2	34.9	104.7	105.4	105.0	371.7
ene-15	41.4	0.0	32.5	39.0	51.9	122.9	183.6	147.6	181.7
feb-15	49.7	23.8	42.4	0.0	71.9	59.6	81.9	65.8	133.9
mar-15	81.6	51.6	71.8	0.0	55.1	57.1	169.6	141.5	40.0
abr-15	38.5	39.5	32.9	0.0	63.4	357.4	176.6	142.0	119.5
may-15	145.7	35.2	80.8	0.0	88.2	123.3	122.2	123.3	245.4
jun-15	48.9	34.7	54.7	0.0	54.8	118.2	54.8	99.9	102.0
jul-15	59.7	42.3	73.8	0.0	44.4	744.0	81.7	82.0	91.8
ago-15	51.3	53.1	80.6	33.1	31.2	89.3	743.8	744.0	145.8
sep-15	70.9	179.2	77.3	79.1	30.2	85.2	719.7	357.8	119.4
oct-15	46.8	72.3	147.9	743.8	60.0	743.9	247.2	73.8	48.2

Tabla 8. Tiempos promedio entre falla de flota MTBF. Fuente: Empresa Mantenedora

(MTTR) Tiempo promedio para reparar de la flota de palas hidráulicas modelo EX5500 con 5 equipos y EX2500 con 4 equipos									
Fecha	Pala 1	Pala 2	Pala 4	Pala 5	Pala 7	Pala 6	Pala 8	Pala 9	Pala 10
oct-14	0.0	4.4	12.3	4.9	9.1	14.1	11.0	9.5	5.8
nov-14	11.7	16.0	10.0	0.6	5.5	7.5	11.6	7.9	6.6
dic-14	9.9	0.0	0.8	0.8	4.9	1.6	5.3	9.0	17.2
ene-15	2.2	0.0	3.6	2.0	1.2	1.9	11.9	7.0	10.2
feb-15	0.7	2.4	1.6	0.0	12.7	12.0	7.1	10.4	0.5
mar-15	10.4	1.7	0.3	0.0	11.1	1.2	17.0	11.6	7.8
abr-15	3.6	9.4	0.7	0.0	7.8	2.7	11.2	2.1	9.3
may-15	2.8	2.0	1.9	0.0	4.3	0.6	1.6	12.9	2.0
jun-15	2.5	5.4	0.9	0.0	8.3	17.0	6.1	5.8	8.9
jul-15	8.3	6.1	0.8	0.0	6.2	64.7	8.7	7.4	1.1
ago-15	3.7	4.1	7.8	2.9	5.2	8.0	31.4	16.1	18.2
sep-15	7.2	17.6	11.5	0.9	2.5	4.6	18.4	1.7	0.9
oct-15	3.0	2.1	8.6	0.4	7.9	27.0	0.8	13.8	4.7

Tabla 9. Tiempos promedio para reparar de flota MTTR. Fuente: Empresa Mantenedora

- Mediante estos indicadores de confiabilidad y mantenibilidad podemos seleccionar el modelo de pala hidráulica a trabajar; aquel que presente una baja confiabilidad es decir el tiempo promedio entre fallas MTBF menor, y aquel que presente problemas en la mantenibilidad con el MTTR mayor, se puede hallar el indicador de disponibilidad inherente del equipo o equipos a estudiar.
- Información del manual de rendimiento de Palas hidráulicas junto con especificaciones técnicas de los equipos como; volumen de cucharón, tiempo de ciclo de carga, descarga etc. y producción real de la mina de Yanacocha reportado al ministerio de energía y minas del año 2016. Figura 35.



Figura 35. Número esperado de pedidos pendientes. Fuente: Empresa Mantenedora

- Al tener los tiempos de ciclo de carga y descarga de la pala hidráulica seleccionada, tomados de las fichas técnicas o videos de operación, junto con el costo en onzas troy del oro actual y los reportes de producción se puede hallar; el costo por hora en dólares de producción o perdida por lucro cesante por equipo inoperativo.
- Lista de componentes críticos reparables recomendado por fábrica que incluye; los componentes por sistemas, mecánico hidráulico etc., la cantidad de componentes instalados en el equipo y el tiempo de reemplazo de intercambio de componentes. (Anexo 01).
- Lista de componentes críticos instalados en las palas hidráulicas desde el año 2011 al 2015, además del costo de los componentes nuevos. (Anexo 02).
- Al tener la demanda de los componentes mayores instalados en los equipos, y con los costos de los mismos; se puede clasificar los componentes críticos en un diagrama de Pareto o en un análisis basado en costos ABC, además de comparar con diagramas de clasificación de Jack Knife de dispersión de tiempos o al tener el costo de producción de la pala se puede clasificar los componentes en un diagrama Jack Knife de dispersión de costos.

3.5.2. Análisis de Documentos para identificar el proceso actual de gestión de stock de componentes críticos.

3.5.2.1. Objetivo: El análisis de documentos, tiene como finalidad realizar un diagnóstico del proceso actual de la cantidad en stock de los componentes críticos de las palas hidráulicas, para encontrar elementos, tendencias, modelos matemáticos y/o resultados pasados de la gestión de inventarios para evitar errores y realizar un ciclo de mejora continua.

3.5.2.2. Procedimiento: Se solicitó al personal involucrado información sobre el procedimiento de stock y costos de inventario de componentes para atender las flotas de palas hidráulicas para un año de operación.

3.5.2.3. Instrumentos:

- Registro.
- Internet

3.5.2.4. Información obtenida para análisis.

- Lista de componentes críticos reparables indicando; cantidad, frecuencia de intercambios recomendados por fábrica, precio unitario de componentes y tiempo de demora de reparación en taller (Tabla 39).

- Al identificar el proceso de gestión de stock de componentes críticos para un año de operación se puede identificar el modelo matemático probabilístico actual.

3.5.3. Análisis de Documentos para identificar el tiempo de intercambio óptimo de componentes críticos.

- 3.5.3.1. Objetivo:** Identificar el tiempo óptimo de intercambio de componentes críticos expresado en horas en base a los costos directos y sumergibles por intervenciones preventivas o correctivas.
- 3.5.3.2. Procedimiento:** Se solicitó al personal involucrado información sobre la base de seguimiento del historial de intercambio de componentes del año 2011 al 2015 de la flota de palas hidráulicas.
- 3.5.3.3. Instrumentos:** Registro de datos e investigación en internet, participación en cursos y diplomados Internacionales de gestión de activos, Ingeniería de confiabilidad en flotas de maquinaria pesada y libros relacionados con la confiabilidad y costos de activos.
- 3.5.3.4. Información obtenida para análisis:** Lista de componentes críticos reparables indicando; horas de falla de cada componente o también llamado tiempo promedio para la falla MTTF, condición de salida o entrada de componente, que puede ser correctivo llamado falla, o monitoreo de condición llamado suspensiones, además del modelo y numero de pala instalado (Anexo 03).

3.5.4. Para procesar datos

3.5.4.1. Programas:

- Office 2010.
- Microsoft Word: se transcribió información obtenida.
- Microsoft Excel: se procesó los cálculos necesarios de los datos obtenidos, con complementos.

Para el procesamiento de datos se debe seguir los siguientes pasos:

a) Obtener la información de la población o muestra a investigar.

Las cuales fueron mencionados en el análisis de documentos, para obtener el modelo de pala hidráulica a trabajar con sus respectivos componentes críticos, además en hallar el tiempo óptimo de intercambio de los mismos en base a sus costos y por último el modelo matemático probabilístico actual de stock de repuestos.

b) Definir las variables independientes e independientes.

El optimizar el stock de componentes críticos utilizando distribuciones de probabilidad será la variable independiente, al reducir los costos de repuestos y/o mantener o mejorar la disponibilidad inherente respecto a repuestos de la flota serán las variables dependientes.

c) Definir las herramientas estadísticas y el programa de cómputo a utilizar.

El programa a utilizar es Excel las herramientas estadísticas a utilizar son las siguientes:

- Diagrama de Análisis Basados en Costo ABC
- Graficas de control
- Diagrama de Jack Knife de dispersión de tiempos
- Diagrama de Jack Knife de dispersión de costos
- Distribuciones de frecuencias y representación gráficas.
- Distribuciones de probabilidad para hallar la confiabilidad y probabilidad de falla de componentes

d) Introducir los datos en la computadora y activar el programa.

El modelo matemático probabilístico actual el cual considera el tiempo de intercambio de componentes recomendado por el fabricante, será utilizado, pero con el tiempo de intercambio optimo hallado, además de ingresar el tiempo logístico de reparación del componente.

En el modelo matemático propuestos tiene como objetivo maximizar la disponibilidad inherente de la flota con respecto a repuestos, variando la cantidad de componentes a tener en stock y teniendo como restricción el nuevo presupuesto. Todas estas variables serán ingresadas en el programa Excel utilizando el complemento de Solver. Para la optimización final de stock de componentes críticos.

La última etapa de la metodología es la implementación. Esta etapa no se hace parte de esta tesis el cual le corresponde a la empresa mantenedora de palas hidráulicas en llevarla a cabo

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Diagnóstico situacional de la empresa.

4.1.1. Información del Sector Industrial.

La empresa mantenedora, tiene una presencia en la industria minera en Sudamérica por más de 16 años, entregando soporte a los equipos Hitachi y un variado tipo de servicio de mantención, soporte y distribución en base a las necesidades de sus clientes.

Respaldata y garantizada por la seriedad y estabilidad del Grupo Marubeni, a través de más de 150 años de experiencia y además por la presencia en el mercado mundial a través de sus oficinas en más de 67 países.

Marubeni Corporation fundada en Japón en 1858, actualmente es una de las principales empresas a nivel mundial operando en diversos sectores como el minero, construcción, transporte, energía, finanzas, etc.

El soporte que la empresa mantenedora entrega, está fundamentalmente orientado hacia el mantenimiento preventivo de las palas hidráulicas, con el objeto de minimizar y evitar la mantención del tipo correctivo, esto hace que el servicio se diferencie en la industria ya que cuentan con una amplia experiencia en proporcionar un servicio del tipo Tailormade (a la medida) para cada cliente avalado por sus operaciones en el mundo. Adicionalmente sus clientes son apoyados por Hitachi a través de personal de respaldo especializado los cuales monitorearan continuamente la operación de las máquinas durante el desarrollo de su vida operacional.

4.1.2. Referencias generales de la empresa

Con un contrato marco con Minera Yanacocha, en donde asume el mantenimiento completo de 10 palas hidráulicas. La empresa mantenedora viene operando en Yanacocha desde el año 2000 realizando el mantenimiento de toda la flota HITACHI en la operación de Yanacocha.

Se cuenta con personal altamente calificado y con amplia experiencia, que ha trabajado en Palas hidráulicas HITACHI en otras operaciones de Colombia.

Con un almacén principal dentro de la operación, con componentes comprometidos para soportar el mantenimiento de toda la flota. Actualmente representantes directos en Perú de Palas HITACHI orientados solo al sector minero.

Se tiene contacto directo con el fabricante en Japón para cualquier consulta técnica requerida en la operación o en cualquier otra parte a nivel nacional.

La empresa mantenedora tiene mas de 10 años de experiencia exitosa en buenas practicas de mantenimiento en sus equipos siendo esto demostrado por la alta disponibilidad que las Palas Hitachi obtienen día a día en las operaciones dentro de la Minería Peruana

4.1.3. Descripción general de la empresa

La empresa mantenedora forma parte de Marubeni Corporation, estableciéndose en Perú en el 2011 como distribuidor oficial de Hitachi para equipos de gran minería. Actualmente la población de equipos Hitachi en el país, son soportados bajo diversas modalidades de servicios como el contrato de mantenimiento y reparación MARC y Asistencia Técnica con Transferencia Tecnológica; cada una de estas son diseñados a la medida de la necesidad de cada cliente.

4.1.4. Organigrama.

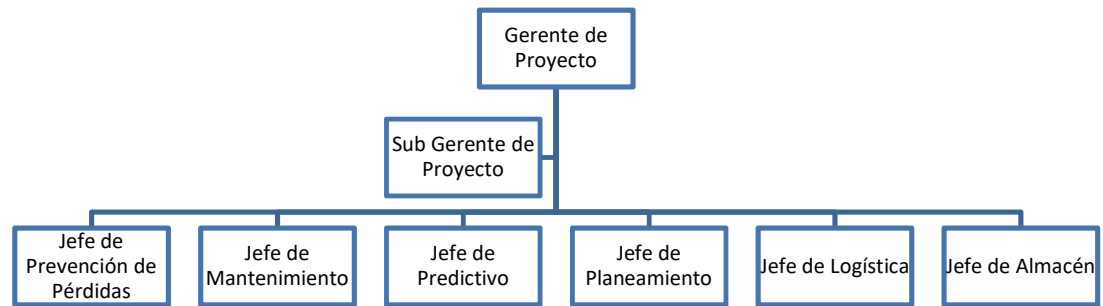


Figura 36. Organigrama Contrato MARC Yanacocha. Tomado de la empresa, 2015

4.1.5. Proveedores.

- Recolsa S.A
- Cummins Perú.
- Transportes Quiroz EIRL.
- American Engineered Products SAC.

4.1.6. Clientes.

Empresas de gran minería.

4.1.7. Competidores.

Distribuidores de palas hidráulicas de las marcas Caterpillar y Komatsu

4.1.8. Personal.

Especializado en el producto.

4.1.9. Máquinas y equipo.

Herramientas y equipos especiales de la marca HITCHI.

4.1.10. Análisis FODA.

Análisis FODA	
FORTALEZAS	OPORTUNIDADES
<ul style="list-style-type: none"> - Experiencia en servicio de mantenimiento de palas hidráulicas desde 2000. - Referentes en el mercado de servicios de mantenimiento minero. - Contrato Marc 16 años (2000 - 2016) - Buenos resultados en contrato de servicio. (96% disponibilidad mecánica) - Mayor experiencia en contratos Marc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento minero en los próximos años. - Clientes cautivos con mucho poder. - Clientes con menor tolerancia a riesgo. - Demanda de metales como el cobre. - Proveedores de equipos con oportunidades de ventas de equipamiento.
DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Rotación de personal especialista. - Competencia a nivel de alianzas estratégicas de otras marcas que se fusionan. - Falta de especialistas en confiabilidad de los equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déficit de personal técnico con experiencia en minería. - Reemplazo de personal con experiencia. - Altas remuneraciones en empresas mineras. - Tendencia a aumento en costos. - Monopolización de proveedores (Caterpillar) - Alta demanda de servicios externos en nuevas mineras.

Tabla 10. Análisis FODA. Elaboración propia.

4.2. Diagnóstico situacional del área de estudio.

4.2.1. Descripción del área.

El almacén de estudio se encuentra dentro del campamento minero Yanacocha, específicamente en talleres Yanacocha norte; existen 04 áreas que han sido habilitadas para almacenar repuestos, componentes mayores, motores y almacén central, también se instalaron ocho container para almacenes adicionales de repuestos menores, consumibles y EPPS.

4.2.2. Mapa de procesos del área.

El proceso de reaprovisionamiento de suministros y otros, empieza con los pedidos que se realizan a través del proceso de requisiciones, estas pueden ser generadas por las áreas operativas o por almacén, según el tipo de artículo (crítico, de alta rotación o tipo back log), luego si se aprueba éstas requisiciones tanto en jefatura de almacén, jefatura logística y gerencia de proyecto; se procede al proceso de compras en el departamento de Compras.

4.2.3. Distribución del área.

Dentro de estos almacenes, uno de ellos está destinado a ser almacén central, un área con patio tipo taller. En el tabla 11 se detalla cada uno de estos almacenes.

DESCRIPCION	DIMENSIONES APROXIMADAS	
	LARGO (m)	ANCHO (m)
Almacén Central	25.00	12.00
Almacén Componentes	60.00	36.00
Almacén Motores	20.00	2.00
Almacén Containers (8)	12.14	2.42

Tabla 11. Fuente: Empresa Mantenedora área de almacenes.

4.2.4. Diagnóstico Situacional del proceso actual.

Las decisiones del stock de componentes críticos (reparables), son realizadas por el área de planeamiento junto con la gerencia de proyectos; usando una distribución de probabilidad llamada "Poisson", este modelo matemático utiliza el tiempo de intercambio de componente recomendado por el fabricante y el tiempo de reparación del mismo teniendo como indicador la disponibilidad del almacén o también llamado nivel de servicio el cual tiene contenido al área de mantenimiento.

En la Figura 37, se puede observar una línea de tiempo de operación de las palas hidráulicas, al ocurrir una primera falla en el motor diésel de la pala N°7, este es retirado del equipo y enviado al taller para su reparación y demora un cierto tiempo en retornar, en tanto se saca uno de la bodega reemplazando el malo por uno bueno y el equipo sigue funcionando. Viene una segunda y tercera intervención en la pala N°5 y pala N°1 siguiendo el mismo procedimiento, el nivel de servicio es decir la disponibilidad del componente en la bodega es buena, de haber una cuarta intervención en la pala N°2 y de manera oportuna el taller envía el motor reparado de la primera intervención.

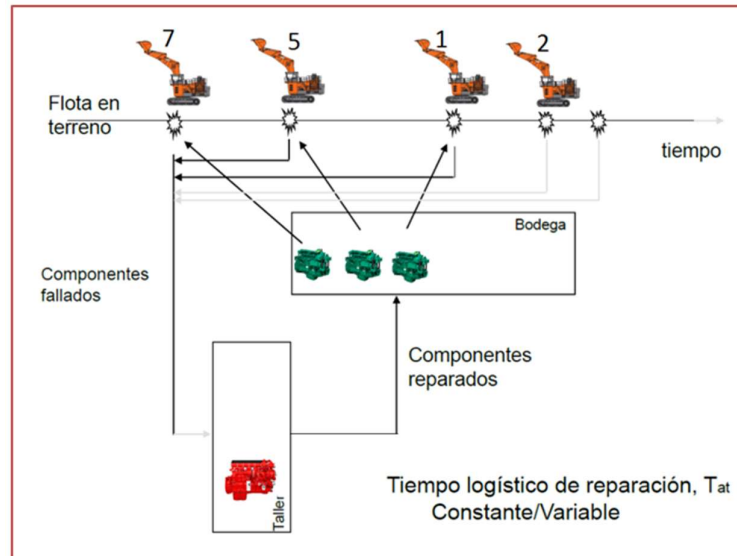


Figura 37. Diagrama de reemplazo de componentes críticos reparables. Fuente: Elaboración Propia.

Pero podría haber una quinta intervención pala N°4 donde no se tendría respaldo con lo que implicaría la detención del equipo y el lucro cesante correspondiente Figura 38; este costo depende si el taller se demorase cero no sucedería, pero en realidad se demora semanas o incluso meses en reparar estos componentes mayores.

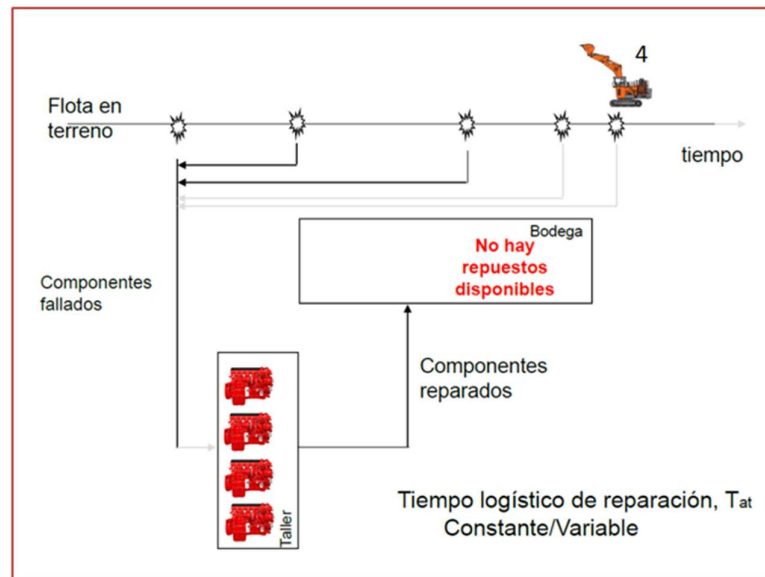


Figura 38. Diagrama de reemplazo con una quinta intervención. Fuente: Elaboración Propia.

El modelo que utiliza la empresa mantenedora para tomar una buena decisión de cuantos componentes críticos tener para el soporte de un año de operación de las palas hidráulicas es la distribución de probabilidad llamada poisson.

$$\alpha(q_w) = \sum_{q=0}^{q_w} \frac{e^{-\lambda T_d} (\lambda T_d)^q}{q!}$$

Donde:

$\alpha(q_w)$ Es la probabilidad de tener hasta (QW) componentes en la bodega o también llamado disponibilidad en el almacén.

q_w Número de componentes en stock para soportar la operación

λ La demanda esperada o tasa de envío de componentes al taller.

T_d Ciclo logístico de reparación o en ingles Turnaround Time llamado TAT.

A continuación, se detalla el proceso actual de gestión del stock del motor diésel, componente crítico para la atención de seis palas hidráulicas del modelo EX5500 el cual trabajan aproximadamente 20 horas diarias haciendo un total de 7300 horas para un año de operación en la mina de Yanacocha. Tabla 12

Datos de Equipo	
Nombre	Excavadora Hidraulica
Marca	Hitachi
Modelo	EX5500-6
Potencia HP (Kw)	2800 (2088)
Cap Cucharon Yd3 (M3)	35.5 (27)
Peso TN	522
Unidad Operativa	Minera Yanacocha
N° de Equipos	6
Hrs de trabado diario	20
Dias de Trabajo x Mes	30
Meses de Operación	12
Hrs de Ope Anual	7300

Tabla 12. Datos y horas de trabajo de la flota de palas hidráulicas. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13 se tiene dos motores diésel instalados en el equipo llamado (Z), 15000 horas es el TBI de fábrica, es el tiempo de intercambio de componentes recomendados por el fabricante con una desviación máxima del 10% (Anexo 02), el TBI actual utilizado por la empresa es de

13,500 horas, 45 días es el ciclo logístico de reparación del motor, también llamado Turnaround Time TAT. La división del TBI actual con las horas de operación anual se tiene el TBI en años, los 45 días de reparación serán 0.12 años el TAT, Lambda es la demanda es decir la cantidad de componentes en operación dividido entre el tiempo de intercambio TBI actual, dando 6.5 unidades al año, enviados al taller y por último el precio unitario del componente nuevo.

La ecuación de poisson utilizada por la empresa mantenedora puede ser expresada en Excel con la siguiente ecuación:

$$\text{En excel: } =\text{poisson}(q_w, \lambda T_d, 1)$$

Con un motor diésel en stock, con 0.12 años de TAT de ciclo logístico de reparación y con 6.5 unidades al año de envíos al taller (si sigue una distribución de poisson) se tiene un nivel de servicio o disponibilidad en el almacén del 81% con una inversión de 359,671 US\$.

Lo que significa que hay la probabilidad del 81% de que haya hasta un motor en la bodega y hay un 19% de probabilidad de que haya más de un motor inoperativo en el taller o una pala hidráulica inoperativa por falta de motor diésel.

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Engine
Comp Instalados (Z)	2
TBI Fabrica hrs	15,000
TBI actual hrs	13,500
TAT dias	45
TBI Años	1.8
TAT Años	0.12
λ u/año	6.5
Precio unitario	359,671
N° de componentes (qw)	1
Disponibilidad en Almacen	81%
Inversion US\$	359,671

Tabla 13. Disponibilidad en el almacén con 1 motor diésel en stock. Fuente: Elaboración propia

Con dos motores diésel en stock, con 0.12 años de TAT de ciclo logístico de reparación y con 6.5 unidades al año de envíos al taller (si sigue una distribución de poisson) se tiene un nivel de servicio o disponibilidad en el almacén del 95% con una inversión de 719,342 US\$.

Lo que significa que hay la probabilidad del 95% de que haya hasta dos motores en la bodega y hay un 5% de probabilidad de que haya más de dos motores inoperativos en el taller o palas hidráulicas inoperativas por falta de motores diésel.

N° de componentes (qw)	2
Disponibilidad en Almacen	95%
Inversion US\$	719,342

Tabla 14. Disponibilidad en el almacén con 2 motores diésel en stock. Fuente: Elaboración propia

Con tres motores diésel en stock, con 0.12 años de TAT de ciclo logístico de reparación y con 6.5 unidades al año de envíos al taller (si sigue una distribución de poisson) se tiene un nivel de servicio o disponibilidad en el almacén del 99% con una inversión de 1,079,013 US\$.

Lo que significa que hay la probabilidad del 99% de que haya hasta tres motores en la bodega y hay un 1% de probabilidad de que haya más de tres motores inoperativos en el taller o palas hidráulicas inoperativas por falta de motores diésel.

N° de componentes (qw)	3
Disponibilidad en Almacen	99%
Inversion US\$	1,079,013

Tabla 15. Disponibilidad en el almacén con 3 motores diésel en stock. Fuente: Elaboración propia

Con cuatro motores diésel en stock, con 0.12 años de TAT de ciclo logístico de reparación y con 6.5 unidades al año de envíos al taller (si sigue una distribución de poisson) se tiene un nivel de servicio o disponibilidad en el almacén del 100% con una inversión de 1,438,684 US\$

Lo que significa que hay la probabilidad del 100% de que haya hasta cuatro motores en la bodega y hay un 0% de probabilidad de que haya más de cuatro motores inoperativos en el taller o palas hidráulicas inoperativas por falta de motores diésel.

N° de componentes (qw)	4
Disponibilidad en Almacen	100%
Inversion US\$	1,438,684

Tabla 16. Disponibilidad en el almacén con 4 motores diésel en stock. Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados de indicadores del diagnóstico – Matriz de Operacionalización de variables.

En la Tabla 17 se muestra los 14 componentes críticos seleccionados en el Jack Knife de dispersión de costos con un total de 27 componentes instalados en una pala hidráulica modelo EX5500. Haciendo un total de 42 componentes críticos, para la atención de seis palas hidráulicas para un año de operación, con un TAT en años de ciclo logístico de reparación por cada componente y con una lambda de unidades al año, de envíos al taller de cada componente (si sigue una distribución de poisson) se tiene un nivel de servicio o disponibilidad en el almacén del 100% con una inversión de 5,969,357 US\$.

Lo que significa que hay la probabilidad del 100% de que haya hasta 42 componentes en la bodega y hay un 0% de probabilidad de que haya más de seis palas hidráulicas inoperativas por falta de componentes.

Datos de Equipo	
Nombre	Excavadora Hidraulica
Marca	Hitachi
Modelo	EX5500-6
Potencia HP (Kw)	2800 (2088)
Cap Cucharón Yd3 (M3)	35.5 (27)
Peso TN	522
Unidad Operativa	Mina de Yanacocha
N° de Equipos	6
Hrs de trabajo diario	20
Días de Trabajo x Mes	30
Meses de Operación	12
Hrs de Ope Anual	7300

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmissions	Totales
Comp Instalados (Z)	1	2	2	2	4	2	2	2	2	1	1	2	2	2	27
TBI Fabrica hrs	40,000	15,000	20,000	20,000	20,000	30,000	12,000	20,000	20,000	13,000	20,000	15,000	6,000	35,000	
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	14,000	14,000	21,000	10,800	14,000	14,000	11,700	14,000	13,500	5,400	24,500	
TAT días	30	45	30	15	30	30	45	15	30	30	15	30	45	45	
TBI Años	3.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2.9	1.5	1.9	1.9	1.6	1.9	1.8	0.7	3.4	
TAT Años	0.08	0.12	0.08	0.04	0.08	0.08	0.12	0.04	0.08	0.08	0.04	0.08	0.12	0.12	
λ u/año	1.6	6.5	6.3	6.3	12.5	4.2	8.1	6.3	6.3	3.7	3.1	6.5	16.2	3.6	
Precio unitario	241,876	359,671	34,697	4,427	276,895	253,470	74,383	75,531	35,429	97,721	13,457	164,439	56,408	228,494	
N° de componentes (qw)	2	4	3	2	4	3	4	2	3	2	2	3	6	2	42
Disponibilidad en Almacén	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%
Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	8,855	1,107,579	760,410	297,533	151,062	106,286	195,442	26,914	493,317	338,447	456,988	5,969,357

Tabla 17. Diagnóstico Situacional del Proceso Actual.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	RESULTADO
				ACTUAL
Stock de componentes críticos de palas hidráulicas.	Componente Crítico: Cuya falta de disponibilidad, podría causar un costoso tiempo muerto, o tener un efecto negativo en la seguridad	Componentes Instalados en Equipo	Unidades	27
		MTBI (Engine)	Horas	13,500
		Disponibilidad de almacén	%	98%
		Costo de Inversión	\$	\$5,969,357
Costos y disponibilidad de palas hidráulicas.	Costo: El costo de unas fallas sin planeación es más grande que el costo de reemplazos planeados.	Componentes Críticos en Stock	Unidades	42
		Costo global recomendado \$/hr	\$	\$119
		Costo global correct \$/hr	\$	\$88
		Costo global preventivo \$/hr	\$	\$110
	Costo por Horas de intercambio / año	\$	\$23,364,718	
	Disponibilidad: La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera.	Probabilidad de Falla F(t) (Engine)	%	60%
		Confiabilidad R(t) (Engine)	%	40%
		Tiempo Promedio para la Falla MTTF (Engine)	Horas	15,924
Disponibilidad mecánica		%	99%	

Tabla 18. Variables; resultado actual. Fuente: Elaboración propia

4.4. Diseño de la propuesta

Para el diseño de la propuesta primero se analizará el costo y disponibilidad solicitada por el cliente de las palas hidráulicas.

Posteriormente optimizar el stock de componentes críticos en base a la disponibilidad Mecánica, el cual considera el tiempo de intercambio óptimo y el número de pedidos pendientes por espera de componentes reparados.

- Al tener el historial de horas de falla de cada componente o subsistema seleccionado, se puede analizar la tendencia e identificar la distribución de probabilidad adecuada para hallar la confiabilidad y probabilidad de falla, estimar parámetros de costos y por último la selección de estrategia adecuada, obteniendo el tiempo de intercambio de componentes críticos
- óptimo expresado en horas de funcionamiento, se muestra un diagrama de bloques en la Figura 39 para hallar lo indicado.

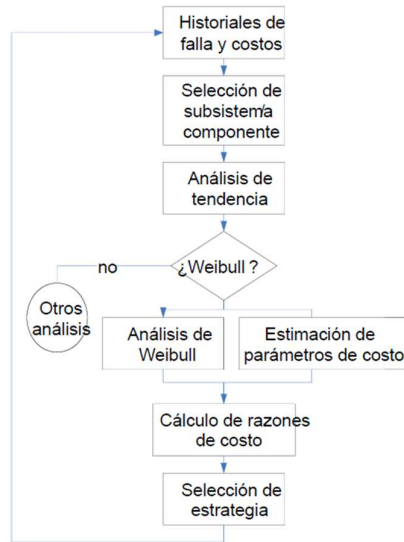


Figura 39. Diagrama de bloques para selección de estrategia de cambio de componentes críticos. Fuente: (Diplomado Internacional de Gestión de Activos Tecsup, 2017)

4.5. Desarrollo de Diseño.

4.5.1. Analizar los costos y disponibilidad actual de palas hidráulicas en minería.

4.5.1.1 Disponibilidad inherente

Para la selección del modelo de pala a trabajar, se analizó la operación de la misma, en la unidad minera de Yanacocha se tiene 10 palas hidráulicas en los modelos EX2500 y EX5500 con capacidades de 17m³ y 34m³ respectivamente.

El proceso de producción de extracción del mineral, empieza con la exploración seguido del preminado y minado, una vez el material es removido pasa al proceso de extracción y carguío para terminar con el proceso de lixiviación, como se puede observar en la Figura 40 es un sistema en serie, siendo las palas hidráulicas equipos críticos en la operación.



Figura 40. Proceso productivo del oro RETIRA1. Fuente: www.yanacocha.com

El modelo de pala hidráulica EX2500 trabaja en la limpieza de material para el acceso al tajo, la pala EX5500 de mayor capacidad trabaja en el área de extracción y carga a los camiones 793C como se puede observar en la Figura 41 de manera cualitativa podemos indicar que el modelo EX5500 es el equipo critico pues controla la producción de la operación de la mina.

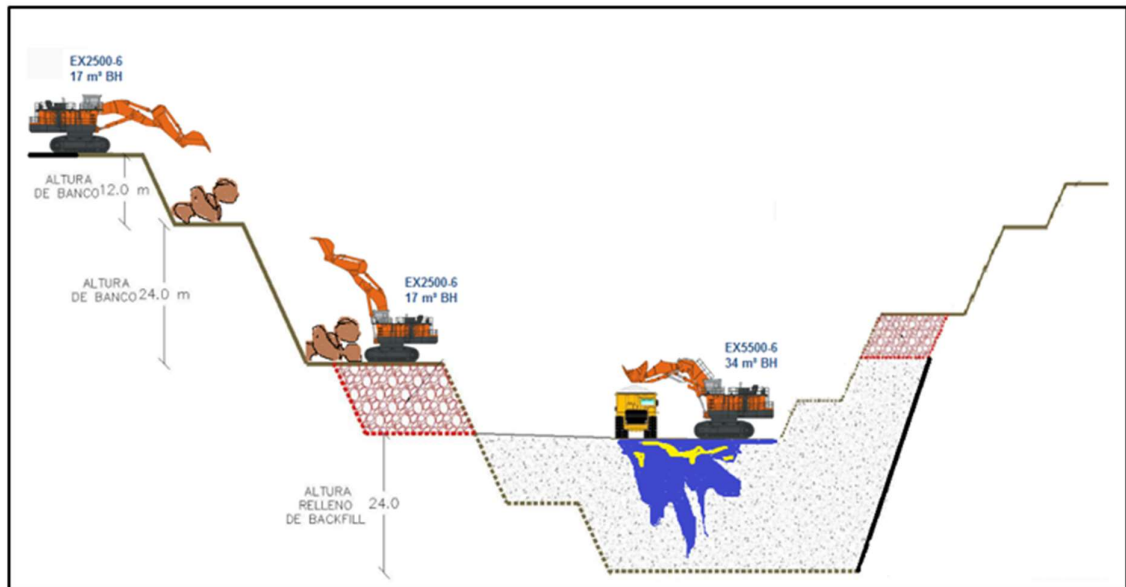


Figura 41. Vista en sección del tajo de la mina. Fuente: Elaboración propia

Con el fin de cuantificar el rendimiento del equipo, un conjunto de criterios de rendimiento se debe poner en su lugar. Las métricas de rendimiento permiten la gestión de distinguir los problemas del producto de los problemas del proyecto. (Caterpillar Kpis, 2005).

La métrica de rendimiento a utilizar, para la selección del modelo de pala a analizar será la fórmula de disponibilidad Inherente, el cual considera la relación de dos indicadores; el tiempo promedio entre fallas llamado MTBF y el tiempo promedio para reparar MTTR, ambos con siglas en ingles.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

En la siguiente Tabla 19 se tiene registro de los tiempos promedio entre falla MTBF, de un año de operación, para los dos modelos de palas hidráulicas, se puede observar que la pala con modelo EX5500 en el mes de enero del 2015 presento una baja confiabilidad, los mismo sucede en el mes de febrero de ese mismo año para el modelo EX2500.

(MTBF) Tiempo promedio entre fallas de la flota de palas hidraulicas modelo EX5500 con 5 equipos y EX2500 con 4 equipos										MTBF EX5500	MTBF EX2500	
Fecha	Pala 1	Pala 2	Pala 4	Pala 5	Pala 7	Pala 6	Pala 8	Pala 9	Pala 10			
oct-14	24.0	40.5	57.2	50.7	104.8	365.8	247.0	119.8	104.4	✓	277.2	837.1
nov-14	71.9	94.1	137.1	81.1	50.2	142.0	172.4	78.2	118.8	✓	434.4	511.5
dic-14	51.6	0.0	61.4	59.2	34.9	104.7	105.4	105.0	371.7	✓	207.1	686.9
ene-15	41.4	0.0	32.5	39.0	51.9	122.9	183.6	147.6	181.7	✓	164.9	635.8
feb-15	49.7	23.8	42.4	0.0	71.9	59.6	81.9	65.8	133.9	✓	187.8	341.2
mar-15	81.6	51.6	71.8	0.0	55.1	57.1	169.6	141.5	40.0	✓	260.1	408.2
abr-15	38.5	39.5	32.9	0.0	63.4	357.4	176.6	142.0	119.5	✓	174.3	795.4
may-15	145.7	35.2	80.8	0.0	88.2	123.3	122.2	123.3	245.4	✓	349.8	614.2
jun-15	48.9	34.7	54.7	0.0	54.8	118.2	54.8	99.9	102.0	✓	193.1	374.8
jul-15	59.7	42.3	73.8	0.0	44.4	744.0	81.7	82.0	91.8	✓	220.3	999.4
ago-15	51.3	53.1	80.6	33.1	31.2	89.3	743.8	744.0	145.8	✓	249.3	1723.0
sep-15	70.9	179.2	77.3	79.1	30.2	85.2	719.7	357.8	119.4	✓	436.7	1282.0
oct-15	46.8	72.3	147.9	743.8	60.0	743.9	247.2	73.8	48.2	✓	1070.9	1113.1

Tabla 19.MTBF de la flota de palas Hidráulicas. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla 20 se tiene registro de los tiempos promedio para reparar MTTR, de un año de operación, para los dos modelos de palas hidráulicas, se puede observar que la pala con modelo EX5500 en el mes de noviembre del 2014, presento problemas de mantenibilidad, lo mismo sucede en el mes de Julio del 2015 para el modelo EX2500.

(MTTR) Tiempo promedio para reparar de la flota de palas hidráulicas modelo EX5500 con 5 equipos y EX2500 con 4 equipos										MTTR EX5500	MTTR EX2500
Fecha	Pala 1	Pala 2	Pala 4	Pala 5	Pala 7	Pala 6	Pala 8	Pala 9	Pala 10		
oct-14	0.0	4.4	12.3	4.9	9.1	14.1	11.0	9.5	5.8	30.6	40.4
nov-14	11.7	16.0	10.0	0.6	5.5	7.5	11.6	7.9	6.6	43.8	33.7
dic-14	9.9	0.0	0.8	0.8	4.9	1.6	5.3	9.0	17.2	16.5	33.2
ene-15	2.2	0.0	3.6	2.0	1.2	1.9	11.9	7.0	10.2	9.0	31.0
feb-15	0.7	2.4	1.6	0.0	12.7	12.0	7.1	10.4	0.5	17.3	30.1
mar-15	10.4	1.7	0.3	0.0	11.1	1.2	17.0	11.6	7.8	23.5	37.7
abr-15	3.6	9.4	0.7	0.0	7.8	2.7	11.2	2.1	9.3	21.5	25.2
may-15	2.8	2.0	1.9	0.0	4.3	0.6	1.6	12.9	2.0	11.0	17.1
jun-15	2.5	5.4	0.9	0.0	8.3	17.0	6.1	5.8	8.9	17.0	37.9
jul-15	8.3	6.1	0.8	0.0	6.2	64.7	8.7	7.4	1.1	21.4	81.9
ago-15	3.7	4.1	7.8	2.9	5.2	8.0	31.4	16.1	18.2	23.5	73.8
sep-15	7.2	17.6	11.5	0.9	2.5	4.6	18.4	1.7	0.9	39.7	25.6
oct-15	3.0	2.1	8.6	0.4	7.9	27.0	0.8	13.8	4.7	22.0	46.4

Tabla 20. MTTR de la flota de palas Hidráulicas. Fuente: Elaboración propia

La siguiente Tabla 21 muestra la disponibilidad inherente de los dos modelos de palas hidráulicas se puede observar que la pala con modelo EX5500 en el mes de abril del 2015 presento una baja disponibilidad, los mismo sucede en el mes de junio de ese mismo año para el modelo EX2500.

Disponibilidad Mecánica de la flota de palas hidráulicas modelos EX5500 y EX2500										Disp. EX5500	Disp. EX2500
Fecha	Pala 1	Pala 2	Pala 4	Pala 5	Pala 7	Pala 6	Pala 8	Pala 9	Pala 10		
oct-14	100%	90%	82%	91%	92%	96%	96%	93%	95%	90%	95%
nov-14	86%	85%	93%	99%	90%	95%	94%	91%	95%	91%	94%
dic-14	84%		99%	99%	88%	98%	95%	92%	96%	93%	95%
ene-15	95%		90%	95%	98%	99%	94%	95%	95%	95%	95%
feb-15	99%	91%	96%		85%	83%	92%	86%	100%	92%	92%
mar-15	89%	97%	100%		83%	98%	91%	92%	84%	92%	92%
abr-15	91%	81%	98%		89%	99%	94%	99%	93%	89%	97%
may-15	98%	95%	98%		95%	99%	99%	91%	99%	97%	97%
jun-15	95%	87%	98%		87%	87%	90%	95%	92%	92%	91%
jul-15	88%	87%	99%		88%	92%	90%	92%	99%	91%	92%
ago-15	93%	93%	91%	92%	86%	92%	96%	98%	89%	91%	96%
sep-15	91%	91%	87%	99%	92%	95%	98%	100%	99%	92%	98%
oct-15	94%	97%	94%	100%	88%	96%	100%	84%	91%	98%	96%

Tabla 21. Disponibilidad Inherente de la flota de palas Hidráulicas. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura 42 se muestra una gráfica de control de la disponibilidad de los dos modelos de palas hidráulicas versus el tiempo de operación, se puede observar que el límite de control corresponde al 93% y al 95% indicadores de disponibilidad mínimo y máximo recomendados por la operación de la mina de Yanacocha dado por el tiempo de horas avanzadas de los equipos.

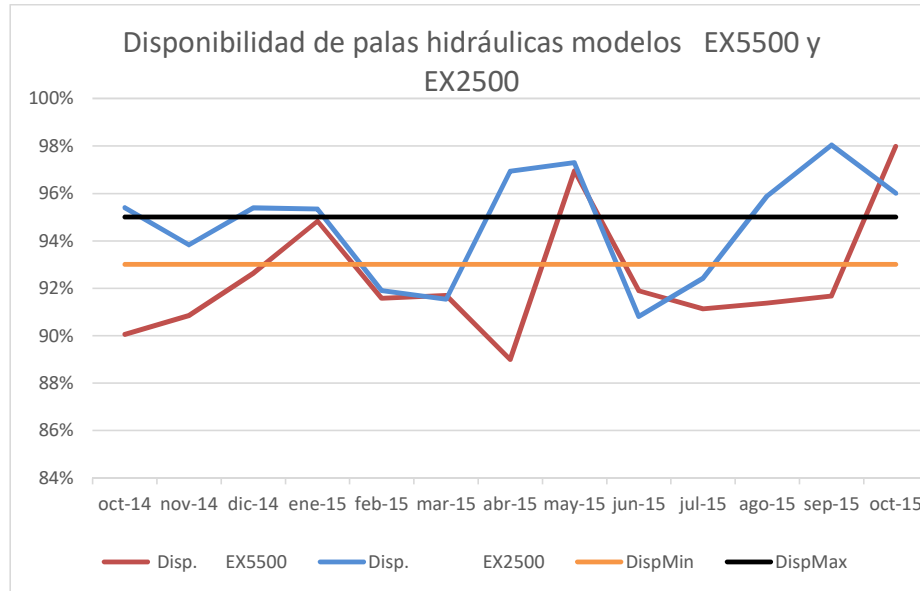


Figura 42. Gráfico de control de Disponibilidad Versus Tiempo. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 42 el gráfico de control no muestra a detalle el modelo de pala hidráulica a seleccionar, será aquel que se encuentre por debajo de la disponibilidad mínima del 93%, para poder identificar se realizará un nuevo cuadro de disponibilidad suavizada el cual considera el promedio móvil de los cinco primeros meses como se muestra en la Tabla 22.

Disponibilidad suavizada mecánica de la flota de palas hidráulicas modelos EX5500 y EX2500										Disp. S EX5500	Disp. S EX2500
Fecha	Pala 1	Pala 2	Pala 4	Pala 5	Pala 7	Pala 6	Pala 8	Pala 9	Pala 10		
Oct-14											
Nov-14											
Dic-14											
Ene-15											
Feb-15	93%	89%	92%	96%	91%	94%	94%	91%	96%	92%	94%
Mar-15	90%	91%	96%	98%	89%	95%	93%	91%	94%	92%	94%
Abr-15	91%	89%	97%	97%	89%	95%	93%	93%	93%	92%	94%
May-15	94%	91%	96%	95%	90%	96%	94%	93%	94%	93%	95%
Jun-15	94%	90%	98%		88%	93%	93%	92%	93%	92%	94%
Jul-15	92%	89%	99%		88%	95%	93%	94%	93%	92%	94%
Ago-15	93%	88%	97%	92%	89%	94%	94%	95%	94%	92%	95%
Set-15	93%	90%	95%	95%	90%	93%	94%	95%	96%	93%	95%
Oct-15	92%	91%	94%	97%	88%	92%	95%	94%	94%	93%	95%

Tabla 22. Disponibilidad Inherente suavizada de la flota de palas hidráulicas. Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Figura 43 se muestra una nueva gráfica de control de la disponibilidad de los dos modelos de palas hidráulicas versus el tiempo de operación, se puede observar que el modelo de pala EX5500 línea roja se encuentra por debajo del límite de control mínimo de disponibilidad inherente correspondiente al 93%, el cual será el modelo a trabajar el stock de componentes críticos.

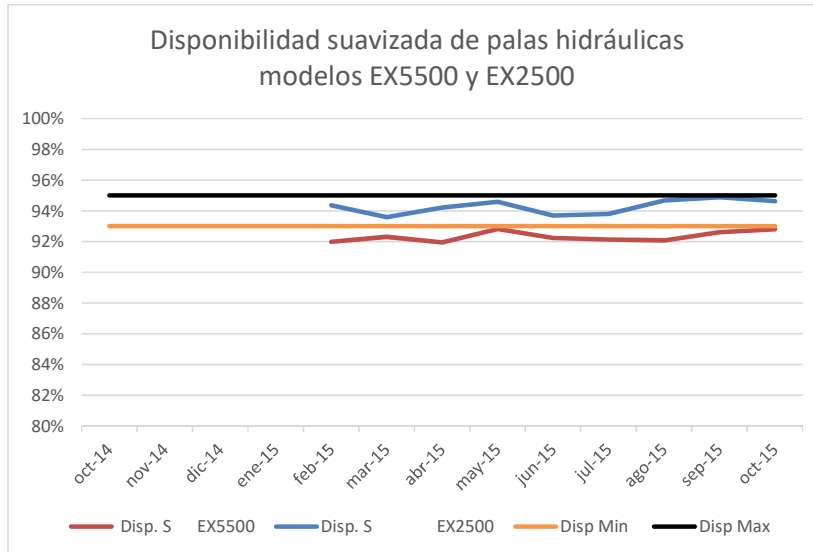


Figura 43. Gráfico de control de Disponibilidad suavizado Versus Tiempo. Fuente: Elaboración propia

4.5.1.2 Costo de producción de pala

Al planificar proyectos de movimiento de tierras, una cuestión muy importante es cómo calcular la producción de las máquinas. El primer paso al estimar la producción es calcular un valor teórico como se explica a continuación. Este valor teórico es entonces ajustado de acuerdo con las cifras reales obtenidas de experiencias anteriores en operaciones similares. (Handbook Komatsu 30, 2009).

Para realizar una comparación económica, se necesita saber el valor de la hora de parada de la pala hidráulica seleccionada. Para ello se requiere tener los tiempos de ciclo de carga y descarga extraídos de un video de monitoreo en campo, además de las fichas técnicas e información del manual de rendimiento de maquinaria pesada para la operación, así se podrá calcular el costo de parada.

Tiempo	Duración en segundos
Tiempo de excavación	15
Tiempo de giro (con carga)	5
Tiempo de descarga	3.3
Tiempo de retorno al banco (sin carga)	8
Tiempo de posicionamiento	5
Suma de tiempo	36.3

Tabla 23. Tiempo de movimiento de Pala Hidráulica EX5500. Fuente: Elaboración propia, tiempos extraídos de video de operación en campo

Las horas de operación por día, son alrededor de 20 horas. Con una condición de operación de trabajo normal.

- Cálculo del tiempo de tiempo de ciclo

$$C_m = (\text{Tiempo de ciclo}) \times (\text{Factor de conversión}) *$$

$$C_m = (36.3s) \times (1.5)$$

$$C_m = 54.45 \text{ s}$$

*Factor de conversión. Condición de excavación 5m / 6 m Relación de profundidad de carga de la pala con la profundidad máxima. (5/6 = 0.83, según tabla corresponde un valor de conversión de 1.5) Tabla 24.

Conversion factor

Digging condition ($\frac{\text{Digging depth}}{\text{Specified max. digging depth}}$)	Dumping condition			
	Easy (Dump onto spoil pile)	Normal (Large dump target)	Rather difficult (Small dump target)	Difficult (Small dump target requiring maximum dumping reach)
Below 40%	0.7	0.9	1.1	1.4
40 ~ 75%	0.8	1	1.3	1.6
Over 75%	0.9	1.1	1.5	1.8

Tabla 24. Factor de Conversión. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

- Cálculo de la producción por ciclo

$$q = (q^1)x(k)**$$

$$q = (35.5 \text{ yd}^3)x(0.9)$$

$$q = 31.95 \text{ yd}^3$$

** k (Factor de llenado del cucharón). Según tabla para una producción de excavación normal, tenemos un factor de 0.9. Tabla 25.

Table 10 Bucket factor (Loading shovel)

Excavating Conditions		Bucket factor
Easy	Loading clayey soil, clay, or soft soil	1.0 ~ 1.1
Average	Loading loose soil with small diameter gravel	0.95 ~ 1.0
Rather difficult	Loading well blasted rock	0.90 ~ 0.95
Difficult	Loading poorly blasted rock	0.85 ~ 0.90

Tabla 25. Factor de llenado de Cucharon. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

- Cálculo de la producción horaria de la pala

$$Q = (q) x \frac{3600}{cm} x (E)^{***}$$

$$Q = (31.95 \text{ yd}^3) x \frac{3600}{54.45} x (0.75)$$

$$Q = 1584.30 \text{ yd}^3/\text{hr}$$

*** E (Condición de operación). Según tabla para una condición normal se usa 0.75 Tabla 26

Operating conditins	Job efficiency
Good	0.83
Average	0.80
Rather poor	0.75
Poor	0.70

Tabla 26. Condición de Operación. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

Según los resultados, tenemos que la pala mueve alrededor de 1584.30 yd^3 (1211.99 m^3) de material por hora.

- Cálculo del peso que mueve la pala por hora

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$1570 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{1211.99 \text{ m}^3}$$

$$m = 1'902,820.54 \text{ kg}$$

$$m = 1902820537 \text{ gr}$$

**** La densidad para un banco suelto de material (25% roca, 75 % tierra), es de 1570 kg/m^3 , según Tabla 27.

PESO* DE LOS MATERIALES	SUELTO		EN BANCO		FACTORES DE CARGA
	kg/m ³	lb/yd ³	kg/m ³	lb/yd ³	
Basalto	1960	3300	2970	5000	0,67
Bauxita, Caolín	1420	2400	1900	3200	0,75
Caliche	1250	2100	2260	3800	0,55
Carnotita, mineral de uranio	1630	2750	2200	3700	0,74
Ceniza	560	950	860	1450	0,66
Arcilla — en su lecho natural	1860	2800	2020	3400	0,82
seca	1480	2500	1840	3100	0,81
mojada	1660	2800	2080	3500	0,80
Arcilla y grava — secas	1420	2400	1660	2800	0,85
mojadas	1540	2600	1840	3100	0,85
Carbón — antracita en bruto	1190	2000	1600	2700	0,74
lavada	1100	1850			0,74
ceniza, carbón bituminoso	530-650	900-1100	590-890	1000-1500	0,93
bituminoso en bruto	950	1600	1280	2150	0,74
lavado	830	1400			0,74
Roca descompuesta —					
75% roca, 25% tierra	1960	3300	2790	4700	0,70
50% roca, 50% tierra	1720	2900	2280	3850	0,73
25% roca, 75% tierra	1570	2650	1960	3300	0,80
Tierra — Apisonada y seca	1510	2550	1900	3200	0,80
Excavada y mojada	1600	2700	2020	3400	0,79
Marga	1250	2100	1540	2600	0,81

Tabla 27. Condición de Operación. Fuente: (Handbook Komatsu 30, 2009)

En la convención Minera PERUMIN 32 en una de las conferencias tecnológicas; “Recuperación de mineral en rampas y taludes finales de tajos abiertos” de la mina Yanacocha el tajo de la Quinua presenta una ley de 0.44 gramos por tonelada y el de Chaquicocha en 0.90. (Mamani , 2015).

Para el cálculo se ha considerado el promedio con 0.67 gramos por tonelada y una onza troy equivale a 31.3 gramos. Cálculo de la cantidad de oro por hora.

$$Au = (1902820537 \text{ gr}) \times \frac{0.67}{1000000}$$

$$Au = 1275 \frac{\text{gr}}{\text{hr}} = 41 \frac{\text{Oz}}{\text{hr}}$$

El cálculo teórico hallado de 1,275 gr/hr es de una sola pala EX5500 trabajando actualmente en el tajo la Quinua, con 24 horas de trabajo y un mes de producción equivale aproximadamente a 917,921 gramos, comparando con los reportes de producción 2016 reales de la Mina Yanacocha de la unidad Chaupiloma Sur al Ministerio de Energía y Minas, se tiene un promedio de producción de 973,035 gramos al mes, (Ministerio de Energía y Minas, 2017) el cual podemos validar el cálculo por tener una diferencia de error pequeña. (Ver Anexo 05).

Considerando que para el 7 de Diciembre del 2016 en la ilustración 41, la onza troy del oro en el mercado ha estado es 1174 dólares. (Kitco, 2016).



Figura 44. Carta SP8-AU-E-1 Fuente: (Kitco, 2016)

Se podría calcular el dinero en bruto que generaría la pala por hora.

$$\text{Generación/hora} = (\text{onza troy}) \times \left(\frac{\text{Costo}}{\text{onza troy}} \right)$$

$$\text{Generación/hora} = 41 \text{ oz} \times 1174 \text{ USD/oz}$$

$$\boxed{\text{Generación/hora} = 48,126 \text{ USD}}$$

Para el desarrollo del informe se trabajará con este primer resultado 48,126 USD por hora de producción de trabajo de la pala, no puede ser considerado como ganancia pues se requiere considerar otros factores como, por ejemplo, el costo de operación de la pala; consumo de combustible, el mantenimiento, lubricantes, repuestos, y toda la logística que envuelve el mantener un equipo de esa envergadura operativo.

4.5.1.3 Componentes Críticos

Una buena analogía para entender los repuestos o componentes críticos, es con el cuerpo humano, ilustración 42, este necesita de varios órganos importantes para su funcionamiento, al igual que el equipo requieren de repuestos o componentes importantes para su operación, Así mismo un corazón es para el cuerpo humano como el motor de combustión es para la pala hidráulica. (Louit D. , 2009).

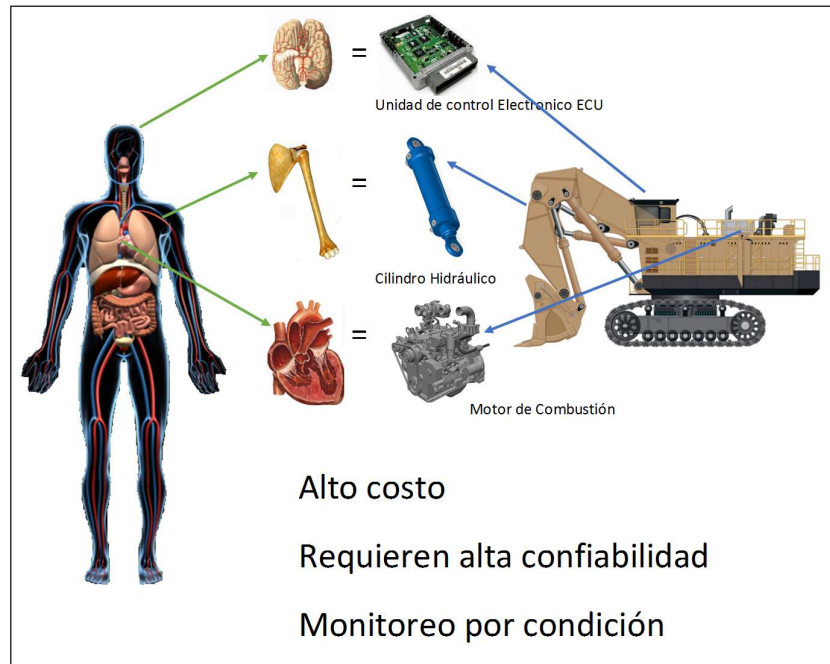


Figura 45. Analogía de repuestos críticos. Fuente: Elaboración Propia

4.5.1.3.1 Análisis Basado en Costos ABC

En el Anexo 02 se muestra 25 componentes críticos recomendados por el fabricante de la pala hidráulica a realizar el estudio, modelo EX5500. Una primera clasificación se realizará con el diagrama de ABC análisis basado en costos al tener el precio unitario de cada componente multiplicado por la demanda de componentes instalados desde el 2011 al 2015 el cual se muestra en la Tabla 19.

Lista de componentes críticos instalados en las 6 palas hidráulicas modelo EX5500 del 2011 al 2015												
Prioridad	Item	Nombre del componente	Precio					Comp instalados	Costo Total	% Relativo	% Acumulado	
			US\$	2011	2012	2013	2014					2015
1	1	Engine	359,671	11	16	12	13	6	58	20,860,918	24%	24%
2	4	Swing Transmissions	276,895	5	16	15	12	6	54	14,952,317	17%	42%
3	6	Main Hydraulic Pumps 7y8, 1y2, 3y4	94,474	17	12	13	11	13	66	6,235,285	7%	49%
4	15	Boom Cylinders	164,439	11	6	6	6	7	36	5,919,798	7%	56%
5	19	Bucket Open/Close Cylinders	56,408	21	19	23	15	21	99	5,584,382	6%	62%
6	3	Pump Transmissions	253,470	3	6	1	4	1	15	3,802,048	4%	67%
7	8	Aux. Pumps	63,367	14	10	7	9	11	51	3,231,741	4%	71%
8	18	Bucket Tilt Cylinders	74,383	10	11	9	7	2	39	2,900,946	3%	74%
9	16	Arm Cylinder	97,721	5	5	9	5	5	29	2,833,905	3%	77%
10	5	Propel Transmissions	228,494	2	3	4	1	1	11	2,513,434	3%	80%
11	9	Swing Motors	26,994	24	11	24	12	19	90	2,429,451	3%	83%
12	7	Main Hydraulic Pumps 5y6, 11y12	73,873	5	10	6	8	3	32	2,363,933	3%	86%
13	23	Front Idlers	75,531	3	7	9	8	2	29	2,190,399	3%	88%
14	24	Track Adjuster Cylinder	35,429	11	10	9	10	16	56	1,984,009	2%	91%
15	25	Swing Bearing	241,876	3	1	2	2		8	1,935,005	2%	93%
16	10	Propel Motors	57,106	2	18	2	2	1	25	1,427,657	2%	94%
17	17	Level Cylinder	74,408	3	5	3	1	6	18	1,339,340	2%	96%
18	13	Hydraulic Oil Coolers	9,035	69	24	18	16	10	137	1,237,850	1%	97%
19	2	Radiator	36,354	7	10	4	1	2	24	872,488	1%	98%
20	22	Tumbler Shaft	34,697	4	2	3			9	312,269	0%	99%
21	14	Main Control Valves	10,087	1	11	10	3	2	27	272,352	0%	99%
22	21	Drive Tumblers	4,427	14	13	15	9	8	59	261,210	0%	99%
23	11	Hyd. Oil Cooler Fan Motors	6,191	9	5	5	8	2	29	179,538	0%	100%
24	12	Center Joint	13,457	6	2	1	3	0	12	161,484	0%	100%
25	20	Fast Fill Cylinder	6,641	5	12				17	112,896	0%	100%
										85,914,655		

Tabla 28. Cuadro para realizar el diagrama de ABC de componentes críticos. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el diagrama de ABC Figura 46; son 9 componentes críticos a priorizar empezando por el motor (Engine) hasta el cilindro hidráulico de brazo (Arm Cylinder) el cual equivale al 20% de los componentes que representa el 80% de los costos.

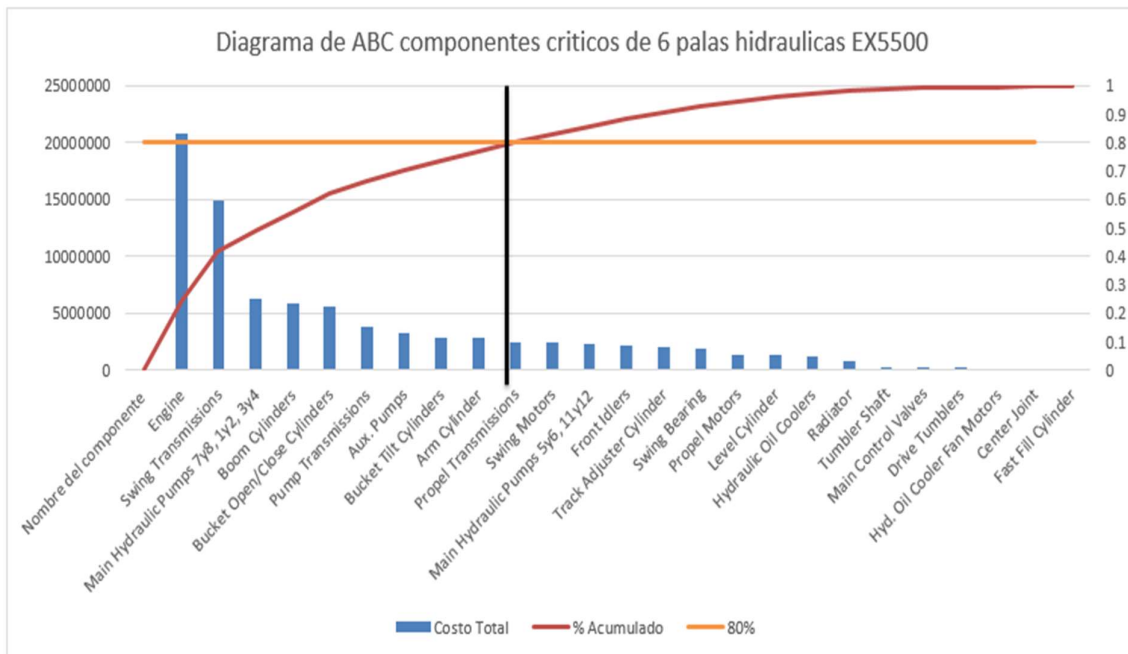


Figura 46. Diagrama de ABC de componente críticos. Fuente: Elaboración Propia.

4.5.1.3.2 Jack Knife de dispersión de tiempos.

El diagrama de Jack Knife de dispersión de tiempos es un gráfico de dispersión logarítmico el cual considera el tiempo entre intercambios de componentes recomendado por el fabricante llamado TBI y el tiempo fuera de servicio llamado TFS, este tiempo es cuando la pala hidráulica se encuentra inoperativo por el intercambio de componente.

En la tabla 29 se muestra la frecuencia de paradas que será graficada en el eje X y el tiempo fuera de servicio TFS en el eje Y, la multiplicación de ambos se llama indisponibilidad la cual afecta a la disponibilidad inherente del equipo.

Prioridad	Tabla Jack Knife de dispersión de tiempos				X	Z
	Item	Nombre del componente	TBI (Hrs)	TFS (Hrs)	Frecuencia 1/hrs	Indisponibilidad %
1	25	Swing Bearing	40000	240	0.0000250	0.60%
2	1	Engine	15,000	30	0.0000667	0.20%
3	21	Drive Tumblers	20000	36	0.0000500	0.18%
4	22	Tumbler Shaft	20000	36	0.0000500	0.18%
5	3	Pump Transmissions	30000	48	0.0000333	0.16%
6	4	Swing Transmissions	20000	30	0.0000500	0.15%
7	12	Center Joint	20000	30	0.0000500	0.15%
8	18	Bucket Tilt Cylinders	12000	18	0.0000833	0.15%
9	23	Front Idlers	20000	30	0.0000500	0.15%
10	24	Track Adjuster Cylinder	20000	30	0.0000500	0.15%
11	16	Arm Cylinder	13000	18	0.0000769	0.14%
12	15	Boom Cylinders	15000	18	0.0000667	0.12%
13	5	Propel Transmissions	35000	36	0.0000286	0.10%
14	17	Level Cylinder	20000	20	0.0000500	0.10%
15	19	Bucket Open/Close Cylinders	6000	6	0.0001667	0.10%
16	2	Radiator	15000	12	0.0000667	0.08%
17	14	Main Control Valves	35000	24	0.0000286	0.07%
18	6	Main Hydraulic Pumps 7y8, 1y2, 3y4	18000	12	0.0000556	0.07%
19	7	Main Hydraulic Pumps 5y6, 11y12	18000	12	0.0000556	0.07%
20	9	Swing Motors	15000	4	0.0000667	0.03%
21	8	Aux. Pumps	18000	4	0.0000556	0.02%
22	13	Hydraulic Oil Coolers	30000	5	0.0000333	0.02%
23	10	Propel Motors	25000	3	0.0000400	0.01%
24	11	Hyd. Oil Cooler Fan Motors	25000	3	0.0000400	0.01%
25	20	Fast Fill Cylinder	36000	2	0.0000278	0.01%
				18	0.0000500	0.0009

Tabla 29. Cuadro de Jack Knife de dispersión de tiempos. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 47 se puede observar los 25 componentes críticos recomendados por fabrica, distribuidos en un gráfico logarítmico, todos los componentes que se encuentran a lado derecho del eje vertical llamado confiabilidad son componentes con fallas crónicas, los componentes por encima del eje horizontal llamado mantenibilidad son componentes con fallas agudas y todos los 15 componentes identificados de color rojo, que se encuentran por encima del eje inclinado llamado indisponibilidad son los componentes a priorizar empezando con el rodamiento de giro (1 Swing Bearing) y después con el motor (2 Engine) y así sucesivamente pues estos se encuentran alejados de manera perpendicular del eje de indisponibilidad a continuación se puede observar el orden de prioridad.

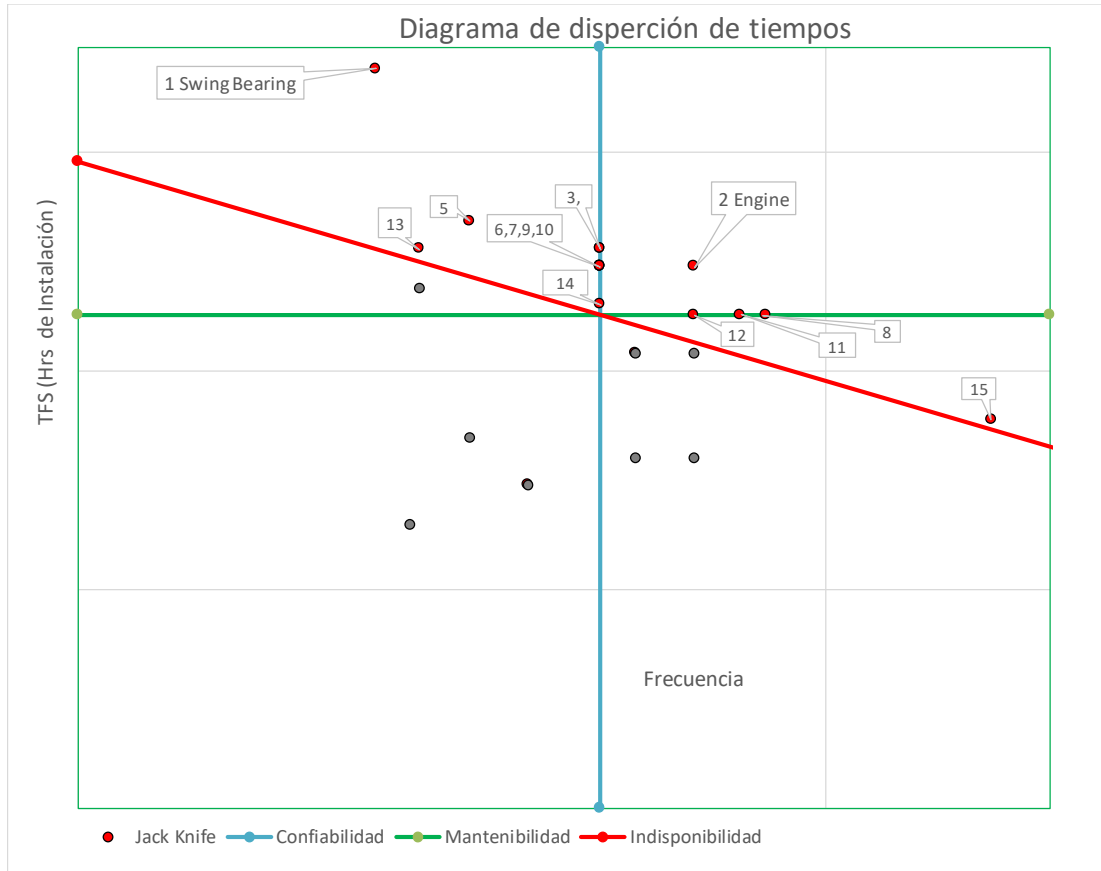


Figura 47. Diagrama de Jack Knife de Dispersión de tiempos. Fuente: Elaboración Propia.

4.5.1.3.3 Jack Knife de dispersión de costos.

El diagrama de Jack Knife de dispersión de costos es un gráfico de dispersión logarítmico el cual considera también el tiempo entre intercambios de componentes recomendado por el fabricante llamado TBI y el tiempo fuera de servicio llamado TFS que es el tiempo de la pala inoperativo por el intercambio de componentes, además del costo de cada componente Anexo 02 y el lucro cesante equivalente a 48,126.00 \$/Hora hallado en el cálculo de producción de la pala hidráulica EX5500.

En la Tabla 21 se muestra el costo específico que considera el costo del componente más el lucro cesante que será graficada en el eje X y la indisponibilidad en el eje Y, la multiplicación de ambos es el costo general el cual afecta a los costos relacionados a la disponibilidad inherente del equipo.

Prioridad	Tabla Jack Knife de dispersión de costos									
	Item	Nombre del componente	Precio US\$	TBI (Hrs)	TFS (Hrs)	Frecuencia	Y Indisponibilidad	X Costo Especifico	Z \$/Hrs	\$/año
1	25	Swing Bearing	241,876	40000	240	0.00003	0.60%	49,134	295	2,152,061
2	1	Engine	359,671	15,000	30	0.00007	0.20%	60,115	120	877,679
3	22	Tumbler Shaft	34,697	20000	36	0.00005	0.18%	49,090	88	645,040
4	21	Drive Tumblers	4,427	20000	36	0.00005	0.18%	48,249	87	633,992
5	4	Swing Transmissions	276,895	20000	30	0.00005	0.15%	57,356	86	628,046
6	3	Pump Transmissions	253,470	30000	48	0.00003	0.16%	53,407	85	623,789
7	18	Bucket Tilt Cylinders	74,383	12000	18	0.00008	0.15%	52,258	78	572,230
8	23	Front Idlers	75,531	20000	30	0.00005	0.15%	50,644	76	554,549
9	24	Track Adjuster Cylinder	35,429	20000	30	0.00005	0.15%	49,307	74	539,911
10	16	Arm Cylinder	97,721	13000	18	0.00008	0.14%	53,555	74	541,317
11	12	Center Joint	13,457	20000	30	0.00005	0.15%	48,575	73	531,891
12	15	Boom Cylinders	164,439	15000	18	0.00007	0.12%	57,261	69	501,611
13	19	Bucket Open/Close Cylinders	56,408	6000	6	0.00017	0.10%	57,527	58	419,949
14	5	Propel Transmissions	228,494	35000	36	0.00003	0.10%	54,473	56	409,015
15	17	Level Cylinder	74,408	20000	20	0.00005	0.10%	51,846	52	378,479
16	2	Radiator	36,354	15000	12	0.00007	0.08%	51,155	41	298,748
17	6	Main Hydraulic Pumps 7y8, 1y2, 3y4	94,474	18000	12	0.00006	0.07%	55,999	37	272,528
18	7	Main Hydraulic Pumps 5y6, 11y12	73,873	18000	12	0.00006	0.07%	54,282	36	264,173
19	14	Main Control Valves	10,087	35000	24	0.00003	0.07%	48,546	33	243,009
20	9	Swing Motors	26,994	15000	4	0.00007	0.03%	54,874	15	106,822
21	8	Aux. Pumps	63,367	18000	4	0.00006	0.02%	63,968	14	103,770
22	13	Hydraulic Oil Coolers	9,035	30000	5	0.00003	0.02%	49,933	8	60,752
23	10	Propel Motors	57,106	25000	3	0.00004	0.01%	67,161	8	58,833
24	11	Hyd. Oil Cooler Fan Motors	6,191	25000	3	0.00004	0.01%	50,190	6	43,966
25	20	Fast Fill Cylinder	6,641	36000	2	0.00003	0.01%	51,446	3	20,864
						0.0010		52,258	54	

Lucro Cesante (usd/hora-f.s.)

48,126 \$/hr

Horas de Operación de Pala

7,300 Hrs/año

Tabla 30. Cuadro de Jack Knife de dispersión de costos. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 48 se puede observar los 25 componentes críticos recomendados por fabrica Anexo 02, distribuidos en un gráfico logarítmico, todos los componentes que se encuentran a lado derecho del eje vertical llamado costo especifico son componentes con fallas crónicas, los componentes por encima del eje horizontal llamado indisponibilidad son componentes con fallas agudas y todos los 14 componentes identificados de color azul, que se encuentran por encima del eje inclinado llamado costo general son los componentes a priorizar empezando con el rodamiento de giro (1 Swing Bearing) y después con el motor (2 Engine) y así sucesivamente pues estos se encuentran alejados de manera perpendicular del eje del costo general en la Tabla 30 se puede observar el orden de prioridad.

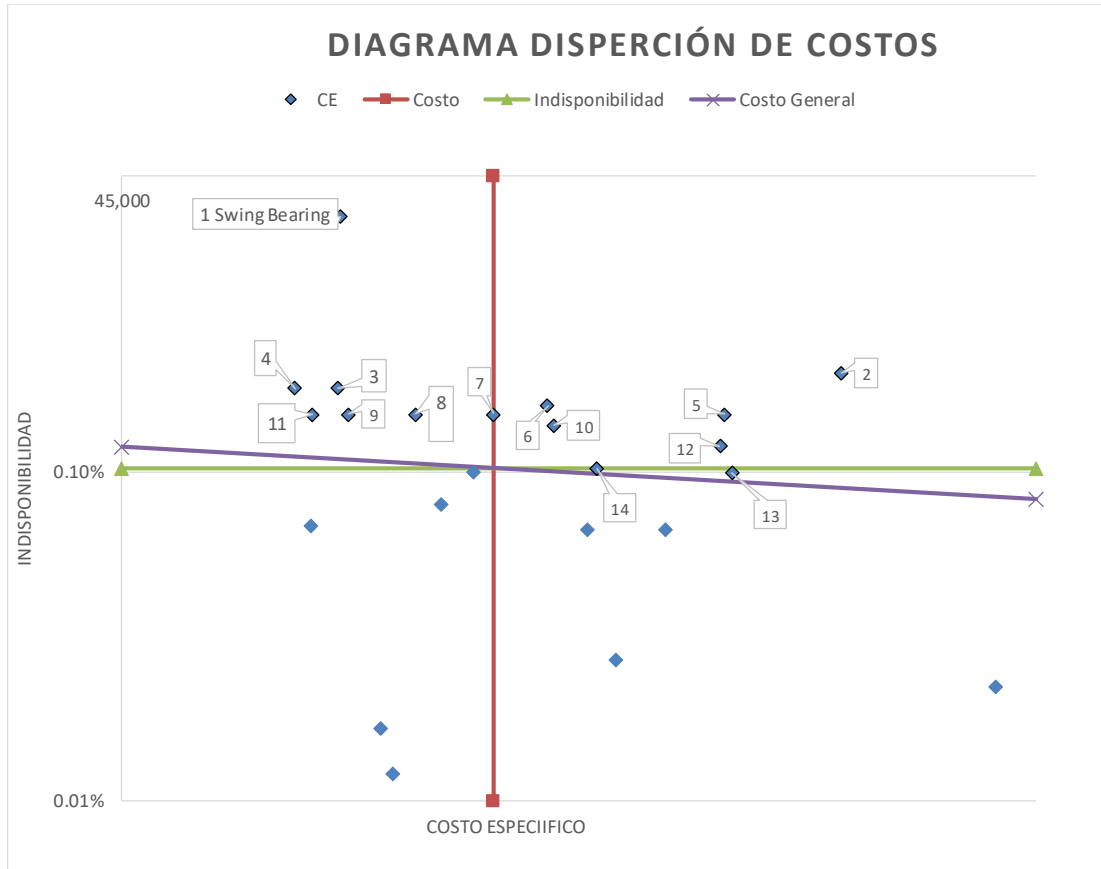


Figura 48. Diagrama de Jack Knife de Dispersión de Costos. Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2 Optimización del stock componentes críticos.

Para cumplir con la metodología el siguiente paso es identificar el tiempo óptimo de intercambio de los 14 componentes seleccionados, expresado con las siglas MTBI óptimo en horas, en base a los costos globales y directos, dado por intervenciones preventivas o correctivas.

A continuación, se detalla la metodología para la obtención del tiempo óptimo en base a costos de operación del Swing Bearing, la estrategia es la misma para el resto de componentes, al final se presentará un resumen con los costos correspondiente al tiempo de intercambio de componentes actual, designado con las siglas MTBI actual versus el MTBI óptimo, calculados con la distribución de probabilidad Weibull.

4.5.2.1 Swing Bearing.

La excavadora hidráulica modelo EX5500 posee un componente mayor llamado rodamiento de giro de tornamesa llamado en inglés Swing Bearing Figura 49, este componente sirve de apoyo a la estructura superior, permitiendo a esta girar al menos 360° (en un sentido y en otro. y de forma ininterrumpida) mientras la estructura inferior permanece en estación, de dentado exterior o interior a tacado por un piñón con motor independiente y dotado de freno. (Wikipedia, 2016).

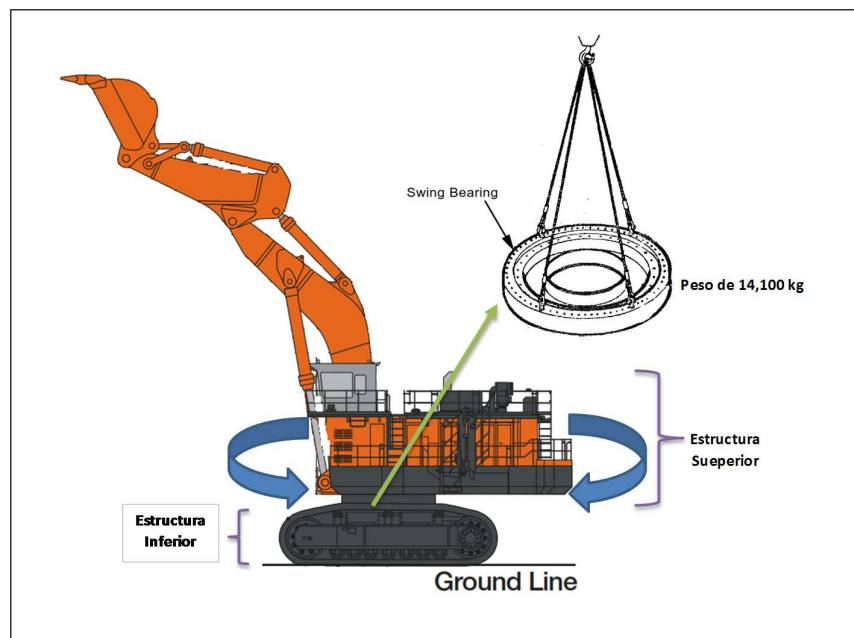


Figura 49. Swing Bearing en excavadora Hidráulica. Fuente: Elaboración Propia.

Para hallar el tiempo óptimo es necesario hallar la confiabilidad del Swing Bearing con datos históricos, la cual se muestra en la Tabla 31. Este historial corresponde, a las horas de falla expresado en horas de trabajo en maquina; el cual es la diferencia de las horas de instalación y

cambio; además la tabla muestra la condición de salida del componente; Correctivo cuando el componente es removido por falla. Condición cuando el componente es removido por horas recomendadas por fábrica o por el área de monitoreo de condición la cual llamaremos datos censurados o suspendidos.

En primer lugar, se deben ordenar las horas de operación (hours worked in the machine) desde el menor número hasta el mayor de estos.

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Swing Bearing	SH007	New	Condición	56460.1	65994.9	9,535
Swing Bearing	SH007	New	Correctivo	65994.9	76742.5	10,748
Swing Bearing	SH001	New	Correctivo	101195	113439	12,244
Swing Bearing	SH002	New	Correctivo	89642.9	112358.6	22,716
Swing Bearing	SH004	New	Correctivo	80044.3	107276.1	27,232

Tabla 31. Horas de trabajo del componente Swing Bearing. Fuente: Área de Planeamiento empresa Mantenedora

4.5.2.2 Probabilidad de falla F(T)

Una vez ordenados los datos históricos de falla se identificará si el componente retirado del equipo sale por condición, siendo un dato censurado identificado como delta 1 y correctivo identificado con delta 0 al ser una falla. A continuación se procede a estimar la probabilidad de falla también llamado función de densidad acumulado cdf expresado como F(t), si los datos históricos tiene datos censurados se utilizara la fórmula de (Lewis, 1987), el cual estima la probabilidad de falla F(t) a partir de la confiabilidad R(t), si los datos históricos tiene datos de falla, identificado con delta 0, se utilizara la fórmula de rangos medios de Bernard para muestras menores de 100.

$$\hat{R}(t_i) = \left(\frac{n+1-i}{n+2-i} \right)^{1-\delta_i} \hat{R}(t_{i-1})$$

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{si hay censura en } t_i \\ 0 & - \end{cases}$$

$$F(i) = \frac{i-0.3}{n+0.4}$$

4.5.2.3 Datos Censurados con formula Lewis

Para el rodamiento de giro (Swing Bearing) se tiene datos históricos censurados al inicio, en este caso se utilizará la fórmula de Lewis.

$$\hat{R}(t_i) = \left(\frac{n+1-i}{n+2-i} \right)^{1-\delta_i} \hat{R}(t_{i-1})$$

Donde

$R(t_i)$: Es la confiabilidad de los datos históricos

n : Es el número de muestra de datos.

i : Es el número de orden de falla.

Delta : 1 si hay censura; 0 si es falla.

$R(t_{i-1})$: Es la confiabilidad anterior.

Para el primer dato de falla del Swing Bearing se obtiene una confiabilidad $R(t)$ del 100% se puede observar en la Figura 50 que la confiabilidad anterior $R(t_{i-1})$ para este primer dato es multiplicado por 1 dando como resultado la probabilidad de falla $F(t)$ del 0%.

N °(i)	TTF (t _i)	Delta	F(t)	R(t)
1	9,535	1	0%	100%
2	10,748	0		
3	12,244	0		
4	22,716	0		
5	27,232	0		

n

$R(t_i) = \left(\frac{(n+1-i)}{(n+2-i)} \right)^{1-\delta_i} * 1$

Figura 50. Confiabilidad $R(t)$ del 1º dato del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

Para el segundo dato de falla del Swing Bearing se obtiene una confiabilidad $R(t)$ del 80% se puede observar en la Figura 51 que la confiabilidad anterior $R(t_{i-1})$ es de 100% dando como resultado la probabilidad de falla $F(t)$ del 20%.

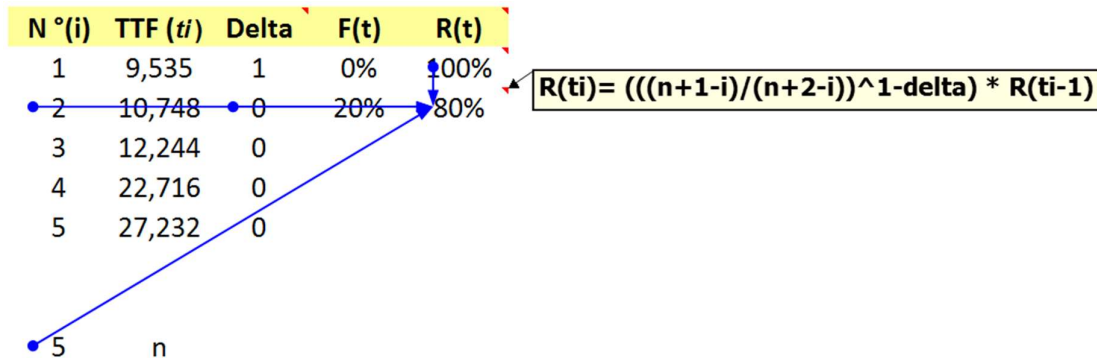


Figura 51. Confiabilidad R(t) del 2º dato del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

Para el tercer dato de falla y los siguientes del Swing Bearing se obtiene una confiabilidad R(t) del 60% se puede observar en la Figura 52, que la confiabilidad anterior R(ti-1) es de 80% dando como resultado la probabilidad de falla F(t) del 40%. En el lado derecho de la tabla se tiene el resultado final de probabilidad de falla F(t) y confiabilidad R(t) de los datos históricos del Swing Bearing obsérvese que solo se considera los datos de falla con delta 0 cuando se tiene datos censurados haciendo un total de 4 datos n.

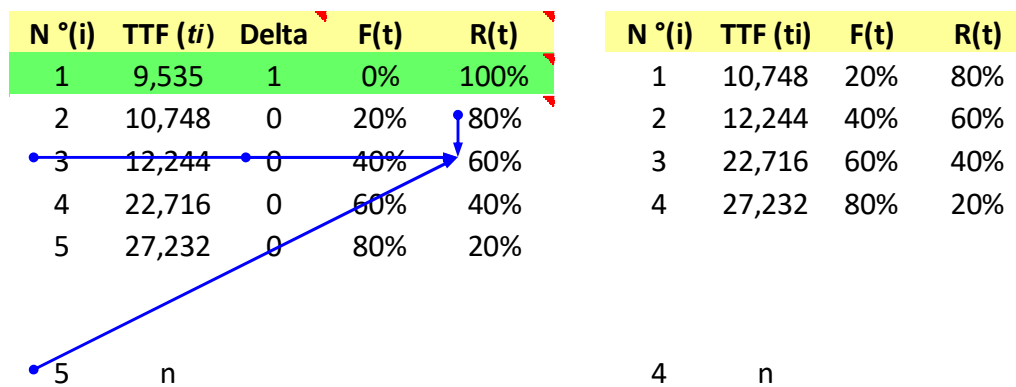


Figura 52. Probabilidad de falla F(t) y confiabilidad R(t) del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.4 Datos de Falla con fórmula Bernard

Para el eje de propulsión (Tumbler Shaft) como se observa en la Tabla 32 se tiene datos históricos de falla, identificado como componente (Out componet condición) como correctivo. En este caso para estimar la probabilidad de falla F(t), se utilizará la fórmula de rangos medios de Bernard para muestras menores de 100 formula.

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Tumbler Shaft	SH007	New	Correctivo	43145.8	47856	4,710
Tumbler Shaft	SH004	New	Correctivo	74678.5	87756	13,078
Tumbler Shaft	SH001	New	Correctivo	100317.4	113439	13,122
Tumbler Shaft	SH005	New	Correctivo	78422	94371	15,949
Tumbler Shaft	SH001	New	Correctivo	96818	113439	16,621
Tumbler Shaft	SH007	New	Correctivo	60080.4	76742.5	16,662
Tumbler Shaft	SH005	New	Correctivo	76642	94371	17,729
Tumbler Shaft	SH004	New	Correctivo	87756	107276.1	19,520

Tabla 32. Horas de trabajo del componente Tumbler Shaft. Fuente: Área de Planeamiento empresa Mantenedora

$$F(i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

Donde:

$F(i)$: Es la probabilidad de falla de los datos históricos

i : Es el número de orden de falla.

n : Es el número de muestra de datos.

Delta : 1 si hay censura; 0 si es falla.

Para el primer dato de falla del Tumbler Shaft se obtiene una probabilidad de falla $F(t)$ del 8% se puede observar en la Figura 53 que la confiabilidad resultante $R(t)$ para este primer dato es del 92% el cual se obtiene con $1-F(t)$.

N °(i)	TTF (t _i)	Delta	F(t)	R(t)
1	4,710	0	8%	92%
2	13,078	0		
3	13,122	0		
4	15,949	0		
5	16,621	0		
6	16,662	0		
7	17,729	0		
8	19,520	0		
8	n			

$R(t) = 1 - F(t)$

$F(t) = (i - 0.3) / (n + 0.4)$

Figura 53. Probabilidad de falla del 1º dato del Tumbler Shaft. Fuente: Elaboración propia

Para el segundo dato de falla y los siguientes del Tumbler Shaft se obtiene una probabilidad de falla $F(t)$ del 20% se puede observar en la Figura 54 que la confiabilidad resultante $R(t)$ para este segundo dato es del 80% el cual se obtiene con $1-F(t)$. En el lado derecho de la tabla se tiene el resultado final de probabilidad de falla $F(t)$ y confiabilidad $R(t)$ de los datos históricos del Tumbler Shaft obsérvese que se considera todos los datos de falla con delta 0 haciendo un total de 8 datos n .

N °(i)	TTF (ti)	Delta	F(t)	R(t)	N °(i)	TTF (ti)	F(t)	R(t)
1	4,710	0	8%	92%	1	4,710	8%	92%
2	13,078	0	20%	80%	2	13,078	20%	80%
3	13,122	0	32%	68%	3	13,122	32%	68%
4	15,949	0	44%	56%	4	15,949	44%	56%
5	16,621	0	56%	44%	5	16,621	56%	44%
6	16,662	0	68%	32%	6	16,662	68%	32%
7	17,729	0	80%	20%	7	17,729	80%	20%
8	19,520	0	92%	8%	8	19,520	92%	8%
8	n				8	n		

Figura 54. Probabilidad de falla $F(t)$ y confiabilidad $R(t)$ del Tumbler Shaft. Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado la probabilidad de falla $F(t)$ del rodamiendo de giro, se procedera a identificar la distribución de probabilidad que mas se ajuste a los datos historicos de falla . Se utilizara el método de linealización el cual grafica los datos de falla expresado como TTF(ti) y la probabilidad de falla expresado como $F(t)$ trazando los puntos tanto en X como de Y respectivamente, la aplicación de la regresion permite validar el grado de linealización atravez del coeficiente de correlación R^2 , el mas proximo a 1 sera la distribución de probabilidad adecuada.

Para hallar el tiempo optimo de intercambio de componentes es necesario que la distribución se ajuste a Weibull de dos parametros o de tres parametros, los cuales seran corroborados con el método de minimos cuadrados que avalan la aceptación del 85% del coeficiente de correlación R^2 obtenidos del programa Minitab 17.

4.5.2.5 Distribucion Normal

En la Figura 55 se muestra el calculo para la variable Y obtenido de la probabilidad de falla $F(t)$ para una Distribución Normal.

N °(i)	Swing Bearing			Normal	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Y=F ⁻¹ (t)
1	10,748	20%	80%	10,748	-0.842
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.253
3	22,716	60%	40%	22,716	0.253
4	27,232	80%	20%	27,232	0.842

=INV.NORM.ESTAND(Ft)

Figura 55. Cálculo de la variable Y para la Distribución Normal.

En la Figura 56 se muestra el cálculo para hallar la desviación estandar con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t).

N °(i)	Swing Bearing			Normal	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Y=F ⁻¹ (t)
1	10,748	20%	80%	10,748	-0.842
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.253
3	22,716	60%	40%	22,716	0.253
4	27,232	80%	20%	27,232	0.842

4 N

σ 11,677

=1/PENDIENTE (Y,X)

Figura 56. Cálculo de la Desviación Estándar. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 57 se muestra el cálculo para hallar la media con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t).

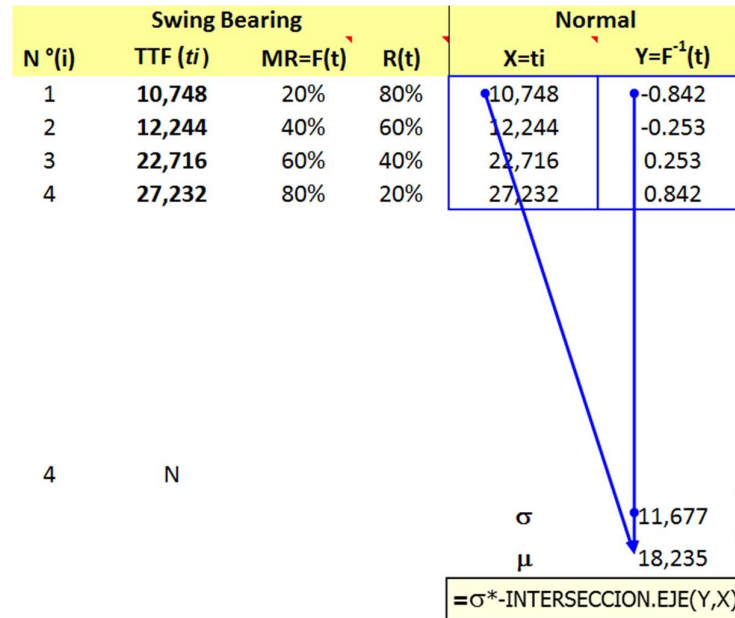


Figura 57.Cálculo de la Media. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 58 se muestra el cálculo para hallar el coeficiente de correlación R2 con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución Normal.

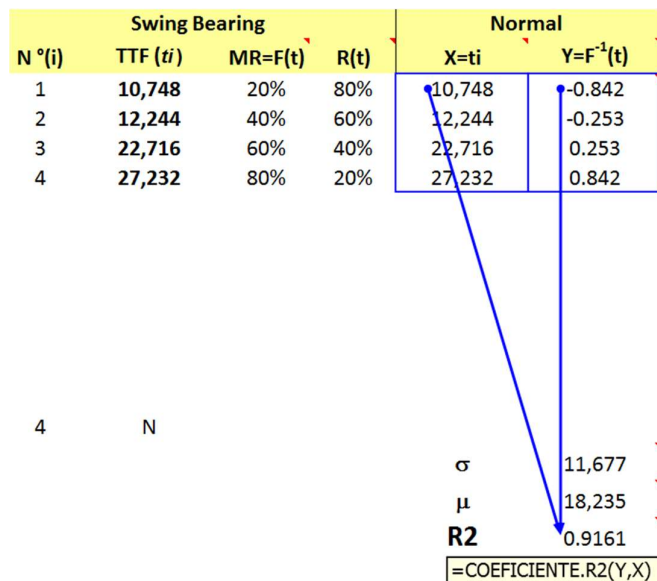


Figura 58.Cálculo del Coeficiente de Correlación para la Distribución Normal. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.6 Linealización con la con Distribución Exponencial.

En la Figura 59 se muestra el cálculo para la variable Y obtenido de la probabilidad de falla F(t) para una Distribución Exponencial.

N °(i)	Swing Bearing			Exponencial	
	TTF (t _i)	MR=F(t)	R(t)	X=t _i	Y=Ln R(t)
1	10,748	20%	80%	10,748	-0.223
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.511
3	22,716	60%	40%	22,716	-0.916
4	27,232	80%	20%	27,232	-1.609

=LN R(t)

Figura 59. Cálculo de la variable Y para la Distribución Exponencial. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 60 se muestra el cálculo para hallar la tasa de falla, con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t).

N °(i)	Swing Bearing			Exponencial	
	TTF (t _i)	MR=F(t)	R(t)	X=t _i	Y=Ln R(t)
1	10,748	20%	80%	10,748	-0.223
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.511
3	22,716	60%	40%	22,716	-0.916
4	27,232	80%	20%	27,232	-1.609

4	N	λ	0.00007
---	---	-----------	---------

=-PENDIENTE(y,x)

Figura 60. Cálculo de la Tasa de Falla. Fuente: Elaboración propia

El tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF, para una distribución exponencial puede hallarse con la tasa de falla Lambda.

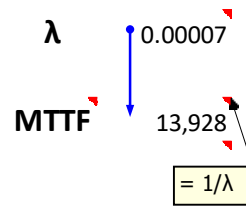


Figura 61. Cálculo del Tiempo Promedio para la Falla. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 62 se muestra el cálculo para hallar el coeficiente de correlación R2 con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución Exponencial.

Swing Bearing				Exponencial	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Y=Ln R(t)
1	10,748	20%	80%	10,748	0.223
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.511
3	22,716	60%	40%	22,716	-0.916
4	27,232	80%	20%	27,232	-1.609

4	N	λ	0.00007
		MTTF	13,928
		R2	0.9175
		$= \text{COEFICIENTE.R2}(Y,X)$	

Figura 62. Cálculo del Coeficiente de Correlación para la Distribución Exponencial. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.7 Distribucion Weibull 2 Parámetros.

En la Figura 63 se muestra el calculo para linealizar los datos historicos de falla TTF(ti) y probabilidad de falla F(t), para una Distribución Weibull de dos parametros. Para la variable X sera el logatimo de TTF(ti) y para la variable Y sera el doble logaritmo de la confiabilidad R(t).

Swing Bearing				Weibull 2P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	9.282	-1.500
2	12,244	40%	60%	9.413	-0.672
3	22,716	60%	40%	10.031	-0.087
4	27,232	80%	20%	10.212	0.476

Figura 63. Cálculo de la variable Y para la Distribución Weibull. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 64 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de forma Beta con los datos obtenidos de probabilidad de falla $F(t)$.

Swing Bearing				Weibull 2P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	9.282	-1.500
2	12,244	40%	60%	9.413	-0.672
3	22,716	60%	40%	10.031	-0.087
4	27,232	80%	20%	10.212	0.476

4	N	β	1.76
---	---	---------	------

=PENDIENTE(y.x)

Figura 64. Cálculo de Beta. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 65 se muestra el cálculo para hallar el parámetro de escala eta, con los datos obtenidos de probabilidad de falla $F(t)$.

Swing Bearing				Weibull 2P	
N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	9.282	-1.500
2	12,244	40%	60%	9.413	-0.672
3	22,716	60%	40%	10.031	-0.087
4	27,232	80%	20%	10.212	0.476

4	N	β	1.76
		η	21,772

=EXP(-INTERSECCION.EJE(y,x)/ β)

Figura 65. Cálculo de Eta. Fuente: Elaboración propia

El tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF. Figura 66, para una distribución Weibull de dos parámetros donde gamma es cero, puede hallarse con los parámetros Beta y Eta.

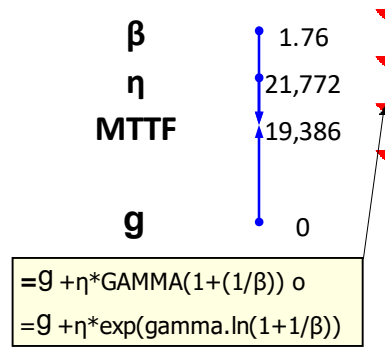


Figura 66. Cálculo del Tiempo Promedio para la Falla para Weibull. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 67 se muestra el cálculo para hallar el coeficiente de correlación R2 con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución Weibull de dos parámetros.

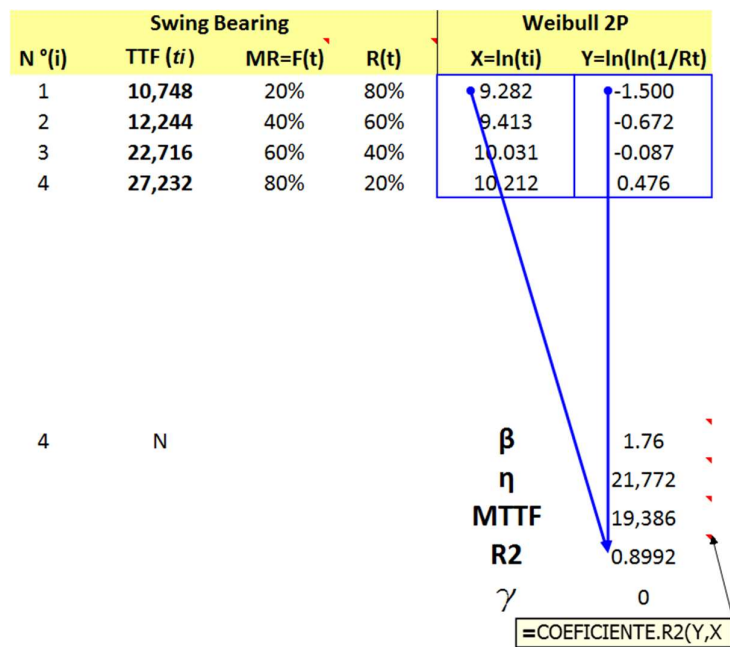


Figura 67. Cálculo del Coeficiente de Correlación para la Distribución Weibull. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.8 Distribucion Weibull 3 Parámetros.

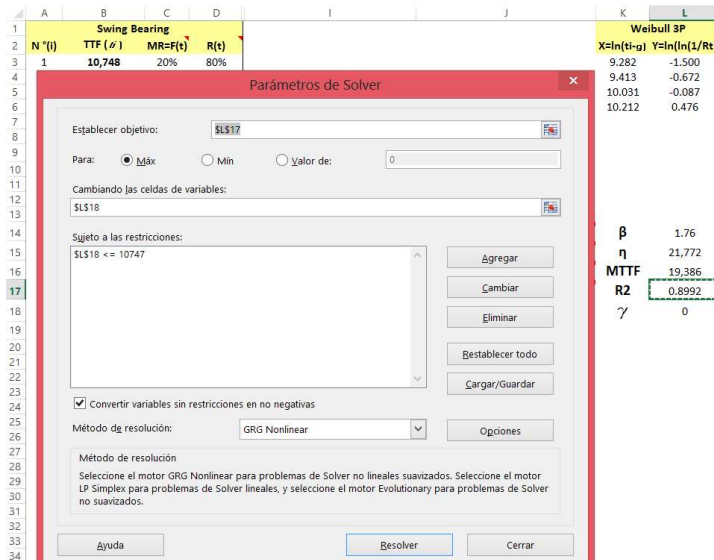
En la Figura 68 se muestra el calculo para hallar el parametro de ubicacion llamado gamma en una Distribución Weibull de dos parametros. Para la variable X sera el logatimo de TTF(ti) menos gamma y para la variable Y sera el doble logaritmo de la confiabilidad R(t).

N ^o (i)	Swing Bearing			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	9.282	-1.500	9.282	-1.500
2	12,244	40%	60%	9.413	-0.672	9.413	-0.672
3	22,716	60%	40%	10.031	-0.087	10.031	-0.087
4	27,232	80%	20%	10.212	0.476	10.212	0.476

4	N	β	1.76	β	1.76
		η	21,772	η	21,772
		MTTF	19,386	MTTF	19,386
		R2	0.8992	R2	0.8992
		g	0	g	0

Figura 68. Cálculo del Weibull 3P. Fuente: Elaboración propia

Para hallar el valor del parámetro de ubicación llamado gamma, se utilizara un complemento del Excel llamado solver como se muestra en la ilustración 66; donde el objetivo es maximizar el coeficiente de correlación R2 cambiando la gamma, con la restricción de que gamma sea menor o igual al primer numero de orden de falla N^o(i).



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

Swing Bearing				Weibull 3P	
N ^o (i)	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	9.282	-1.500
2	12,244	40%	60%	9.413	-0.672
3	22,716	60%	40%	10.031	-0.087
4	27,232	80%	20%	10.212	0.476

The Solver Parameters dialog box is open, showing:

- Establecer objetivo: \$L\$17
- Para: Máx
- Cambiando las celdas de variables: \$L\$18
- Sujeto a las restricciones: \$L\$18 <= 10747
- Método de resolución: GRG Nonlinear

The spreadsheet also shows the calculated Weibull 3P parameters:

β	1.76
η	21,772
MTTF	19,386
R2	0.8992
γ	0

Figura 69. Cálculo de Gama para Weibull 3P con Solver. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 70 se muestra el valor de gamma encontrado con el complemento solver ademas se observa el coeficiente de correlación R2 con los datos obtenidos de probabilidad de falla F(t) para una Distribución Weibull de tres parámetros.

N °(i)	Swing Bearing			Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	9.282	-1.500	5.749	-1.500
2	12,244	40%	60%	9.413	-0.672	7.501	-0.672
3	22,716	60%	40%	10.031	-0.087	9.416	-0.087
4	27,232	80%	20%	10.212	0.476	9.729	0.476
4	N			β	1.76	β	0.45
				η	21,772	η	8,930
				MTTF	19,386	MTTF	32,948
				R2	0.8992	R2	0.9570
				g	0	g	10,434

Figura 70. Valor de Gamma. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.9 Resumen de Distribuciones de Probabilidad

En la tabla 33 se puede observar que el coeficiente de correlación R2 mas proximo a 1 es el de Weibull con tres parametros, lo que significa que los datos de falla historicos del rodamiento de giro en ingles Swing Bearing se ajustan a esta distribución, al trazar los puntos tanto en X como en Y como se observa en la Figura 71 se aproxima a una recta.

N °(i)	Swing Bearing			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Y=F ⁻¹ (t)	X=ti	Y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	10,748	-0.842	10,748	-0.223	9.282	-1.500	5.749	-1.500
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.253	12,244	-0.511	9.413	-0.672	7.501	-0.672
3	22,716	60%	40%	22,716	0.253	22,716	-0.916	10.031	-0.087	9.416	-0.087
4	27,232	80%	20%	27,232	0.842	27,232	-1.609	10.212	0.476	9.729	0.476
4	N					λ	0.00007	β	1.76	β	0.45
				σ	11,677			η	21,772	η	8,930
				μ	18,235	MTTF	13,928	MTTF	19,386	MTTF	32,948
				R2	0.9161	R2	0.9175	R2	0.8992	R2	0.9570
								g	0	g	10,434

Tabla 33. Distribuciones del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

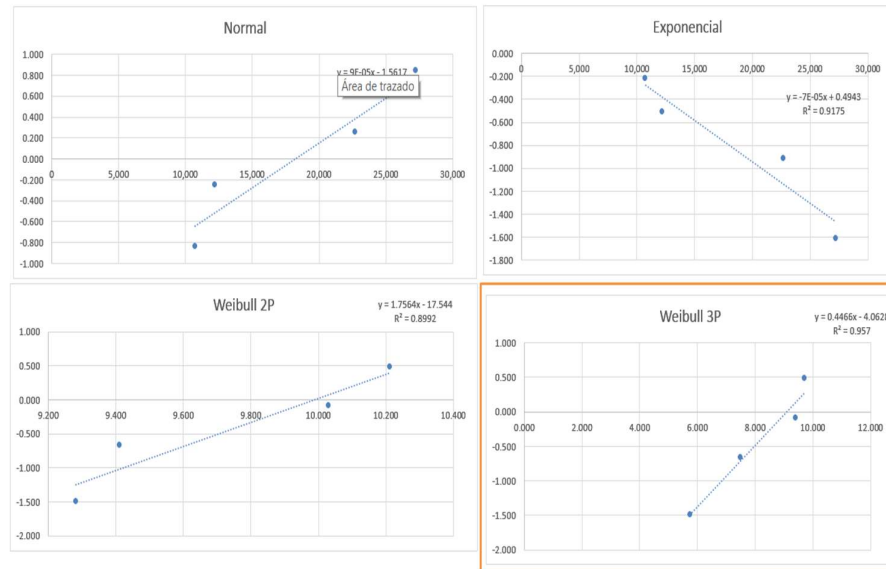


Figura 71. Graficas del Coeficiente de Correlación R2 de Distribuciones. Fuente: Elaboración propia

En el caso del componente eje de impulsión en inglés Tumbler Shaft, se puede observar en la tabla 34 que el coeficiente de correlación R2 mas proximo a 1 es la distribución normal lo que significa que los datos de falla historicos se ajustan a esta distribución, para hallar el tiempo optimo de intercambio de componentes es necesario que la distribución se ajuste a una Weibull.

N °(j)	Tumbler Shaft				Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (t)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))	
1	4,710	8%	92%	4,710	-1.383	4,710	-0.087	8.457	-2.442	8.457	-2.442	
2	13,078	20%	80%	13,078	-0.833	13,078	-0.226	9.479	-1.487	9.479	-1.487	
3	13,122	32%	68%	13,122	-0.464	13,122	-0.388	9.482	-0.947	9.482	-0.947	
4	15,949	44%	56%	15,949	-0.150	15,949	-0.581	9.677	-0.544	9.677	-0.544	
5	16,621	56%	44%	16,621	0.150	16,621	-0.820	9.718	-0.199	9.718	-0.199	
6	16,662	68%	32%	16,662	0.464	16,662	-1.135	9.721	0.127	9.721	0.127	
7	17,729	80%	20%	17,729	0.833	17,729	-1.598	9.783	0.469	9.783	0.469	
8	19,520	92%	8%	19,520	1.383	19,520	-2.485	9.879	0.910	9.879	0.910	
8	N											
				σ	5610.11		λ	0.00013	β	2.13	β	2.13
				μ	14674			η	17,422	η	17,422	
				R2	0.8178		MTTF	7437	MTTF	15,429	MTBF	15,429
							R2	0.5833	R2	0.7821	R2	0.7821
								g	0	g	0	

Tabla 34. Distribuciones del Tumbler Shaft. Fuente: Elaboración propia

Todos los componentes donde el coeficiente de correlación R2 se ajusten a una distribución normal se utilizara la distribución de Weibull debido a que los parametros beta y eta pueden ajustarse a una normal cuando Beta es mas que 1, para validar la distribución los datos serán

ingresados al programa de Minitab 17 los cuales seran corroborados con el metodo de mínimos cuadrados que avalan la aceptación del 85% de R2. Como se puede observar en la ilustración 71 y 72 para el Tumbler Shaft donde el coeficiente de correlación es de 0.884 el cual los datos se comportan como una distribución de Weibull

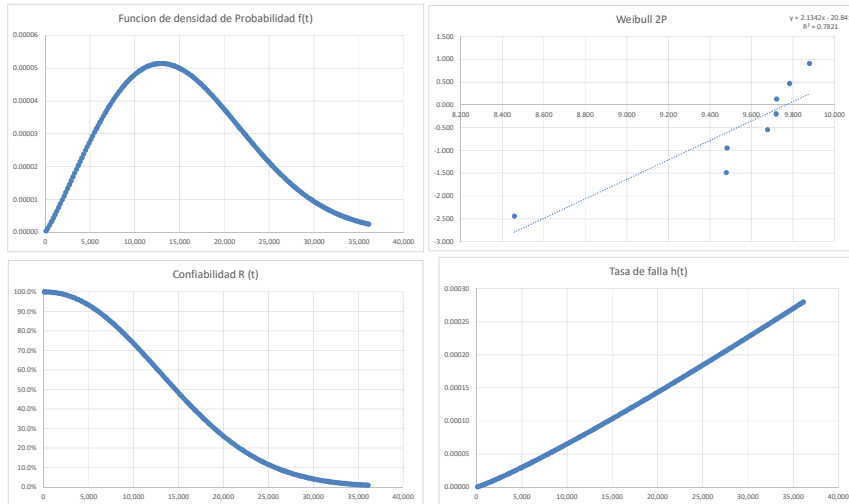


Figura 72. Resultados de Excel para el Tumbler Shaft. Fuente: Elaboración propia

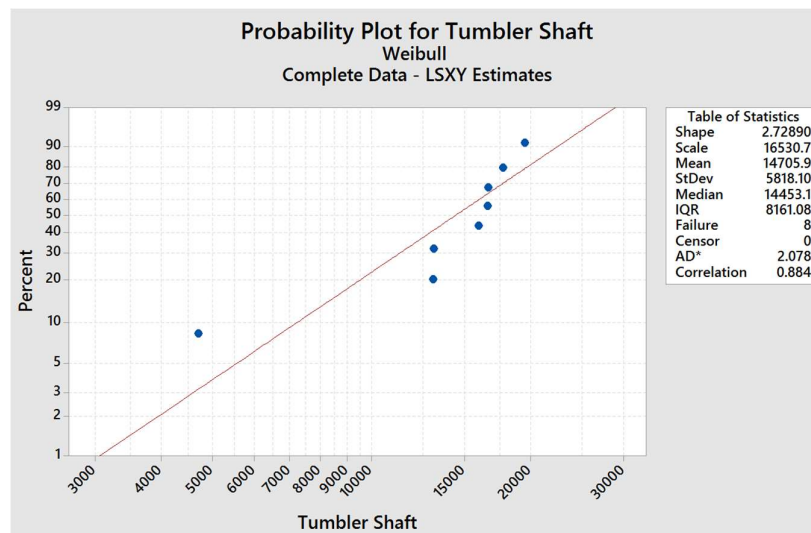


Figura 73. Grafica de Minitab para el Tumbler Shaft. Fuente: Elaboración propia

05/15/2017 1:29:51 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Tumbler Shaft

Variable: Tumbler Shaft

Censoring Information Count
Uncensored value 8

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	2.72890	2.25686	0.539540	13.8023
Scale	16530.7	2449.03	12364.8	22100.3

Log-Likelihood = -79.099

Goodness-of-Fit
Anderson-Darling (adjusted) = 2.078
Correlation Coefficient = 0.884

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	14705.9	2081.00	11144.0	19406.3
Standard Deviation	5818.10	4489.72	1282.11	26402.0
Median	14453.1	2226.16	10687.0	19546.5
First Quartile (Q1)	10471.6	3755.37	5184.99	21148.2
Third Quartile (Q3)	18632.6	3780.21	12519.3	27731.1
Interquartile Range (IQR)	8161.08	6291.45	1801.14	36978.3

Figura 74. Resultados de Minitab para el Tumbler Shaft. Fuente: Elaboración propia

4.5.2.10 Resultados de datos de Distribución Weibull.

En la Tabla 35 se observa los resultados de la distribución de Weibull para el Swing Bearing donde los componentes fallan por mortalidad infantil es decir al ser Beta menos que 1, por temas de fábrica o instalación del componente en el equipo, el parámetro de escala eta es de 8,930 horas, gamma el parámetro de ubicación, significa que en 10,434 horas no se presentara fallas en el componente es la garantía del producto. Cada 32,948 horas será la próxima falla expresado en la siglas MTTF, la vida característica significa que a 19,363 horas habrá fallado el 63.2% de los componentes, lo mismo significa con el B10 donde a las 10,491 horas habrá fallado el 10% de los rodamientos de giro.

Datos Weibull del Swing Beraring	
Forma β	0.45
Escala η	8,930
Localizacion θ	10,434
Vida Esperada MTTF	32,948
Vida Característica	19,363
Vida B10	10,491
Desviacion estandar σ	1.85
Mediana μ	8.46

Tabla 35. Resultados de parámetros Weibull del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Confiabilidad R(t) en base al tiempo.

En la Figura 75 se puede observar el cálculo de la confiabilidad del Swing Bearing representado en una gráfica del tiempo versus la confiabilidad R(t) se observa gamma donde la confiabilidad es del 100% y disminuye al aumentar el tiempo de funcionamiento.

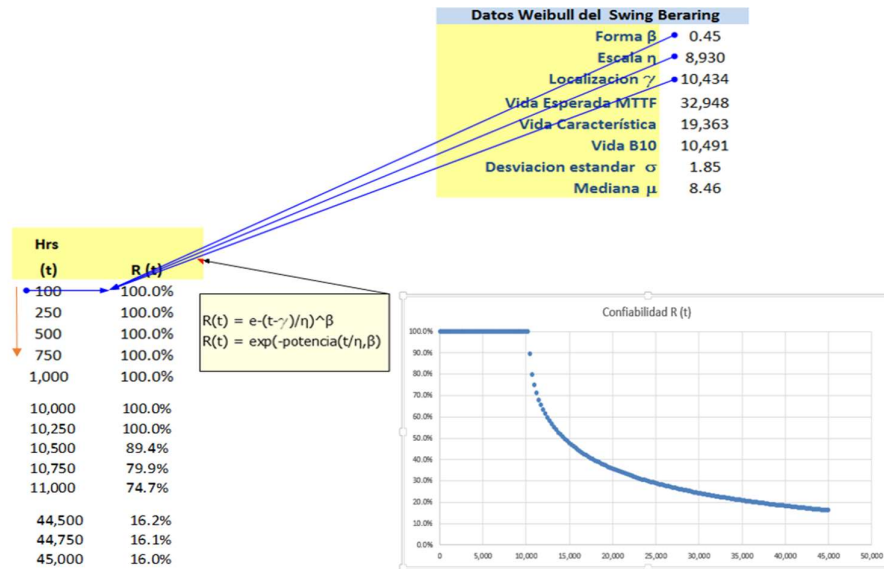


Figura 75. Cálculo de Confiabilidad del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Probabilidad de falla F(t) en base al tiempo.

En la Figura 76 se puede observar el cálculo de la probabilidad de falla del Swing Bearing representado en una gráfica del tiempo versus la probabilidad de falla F(t) se observa gamma donde la probabilidad de falla es del 0% y aumenta al aumentar el tiempo de funcionamiento.

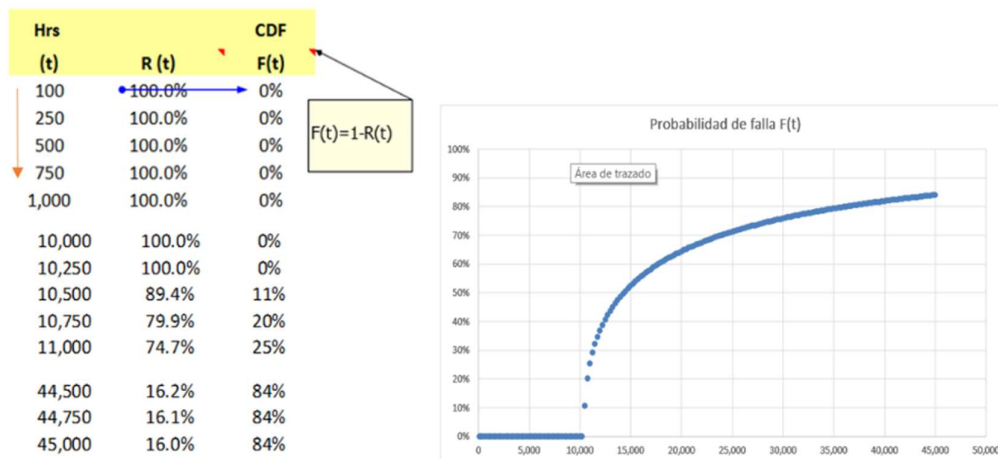


Figura 76. Cálculo de Probabilidad de Falla del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.5 Tasa de falla $h(t)$ en base al tiempo.

En la Figura 77 se puede observar el cálculo de la tasa de falla del Swing Bearing representado en una gráfica del tiempo versus la tasa de falla $h(t)$ se observa la tasa de falla es cero al inicio del funcionamiento hasta llegar a γ 10,343 horas aproximadamente y disminuye al aumentar el tiempo de funcionamiento, graficando la zona de mortalidad infantil de la curva de la bañera.

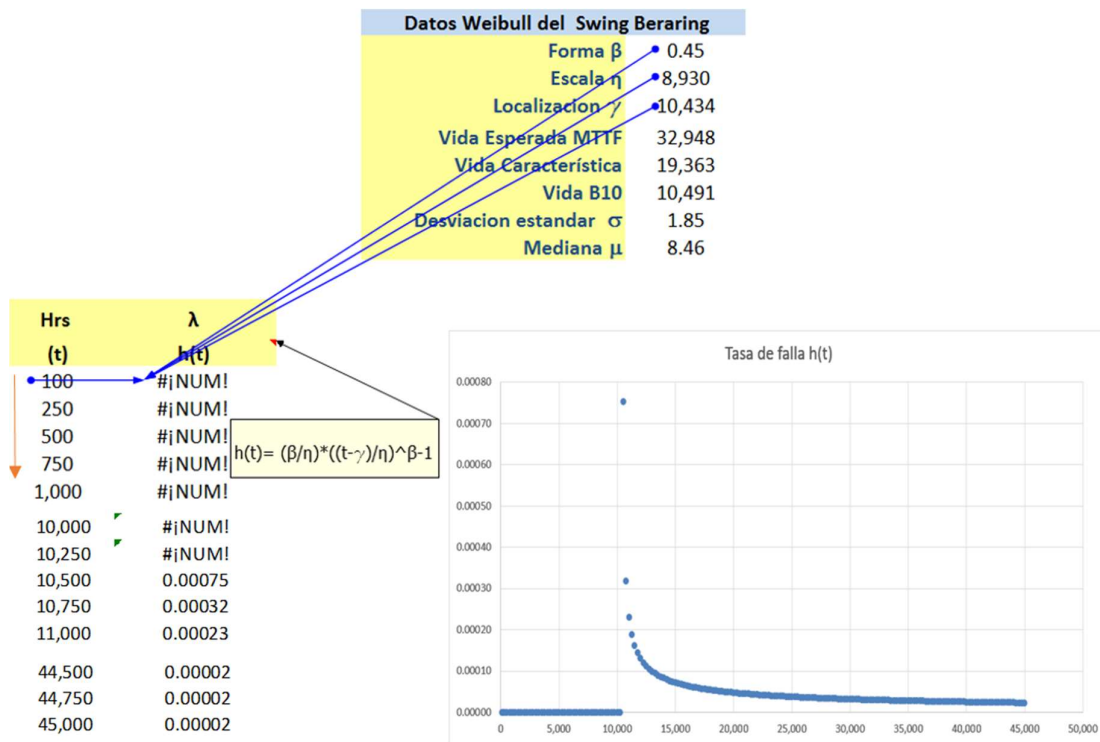


Figura 77. Cálculo de la Tasa de Falla del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.6 Función de Densidad $f(t)$ en base al tiempo.

En la Figura 78 se puede observar; al multiplicar la confiabilidad $R(t)$ y la tasa de falla $h(t)$ podemos obtener la función de densidad de probabilidad expresado como $f(t)$ de los datos históricos del Swing Bearing representado en una gráfica del tiempo de funcionamiento.

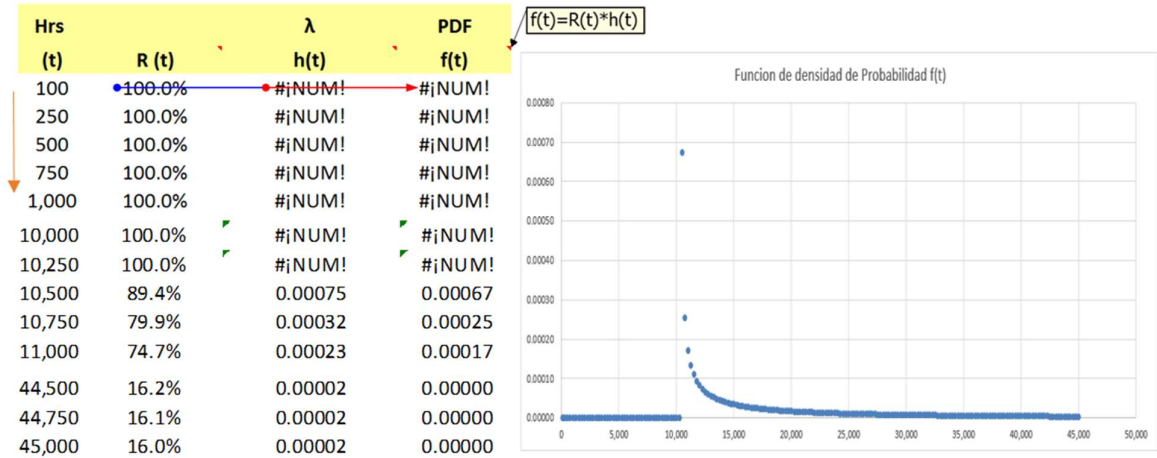


Figura 78. Cálculo de Función de Densidad del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.7 Detalle de costos del componente.

En la Figura 79, el componente nuevo Swing Bearing tiene un costo de USD 241,876, el tiempo de instalación en la excavadora dado por un mantenimiento preventivo o correctivo es de 240 horas, el costo de mano de obra interno de la empresa mantenedora es de USD 15 dólares por hora.

El costo de una intervención preventiva, será la suma del costo directo preventivo (Cip) de USD 245,476 dólares más el costo de falla preventiva (Cfp) de cero dólares haciendo un total de USD 245,476 dólares. El costo de una intervención correctiva, será la suma del costo directo correctivo (Cic) de USD 245,476 dólares más el costo de falla correctivo de USD 736,427 dólares haciendo un total de USD 981,902 dólares.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Swing Bearing
Cantidad en máquina	1
Estado	nuevo
MTBI actual en horas	28,000
Hrs de instalacion en máquina	240
días de reparacion TAT	30
Costo del componente USD	241,876
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	245,476
Cic USD	245,476
Cfp USD	0
Factor del costo de falla correctivo	3
Cfc USD	736,427

Figura 79. Detalle de Costos del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

El factor de costo de falla correctivo utilizado en los 14 componentes es de 3, este valor ha sido tomado de la exposición de gestión de activos, dado a la experiencia en distintas unidades mineras en relación a los costos de los componentes mayores de equipos de gran minería. (Tecsop Curso Confiabilidad, 2016).

4.5.8 Estimación del MTBI Preventivo

En la Figura 80 se puede observar el cálculo del tiempo de intercambio óptimo del componente expresado con las siglas MTBI(p) el cual utiliza los parámetros obtenidos de la distribución Weibull.

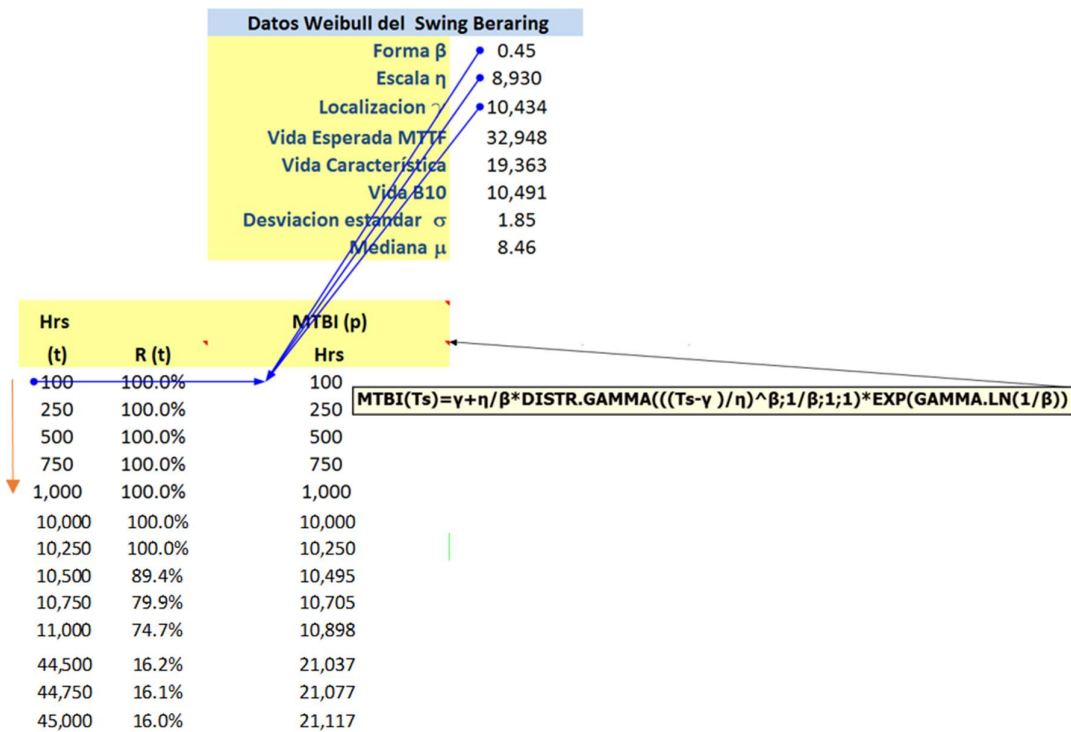


Figura 80. Cálculo de MTBI del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.8.1.1 MTBI óptimo en base a costos Directos e Indirectos

Para estimar el tiempo óptimo de intercambio de componentes es necesario hallar el costo por hora cuando se realiza un intercambio por una intervención correctiva con costos generales expresado con las siglas MTBIc compararlo con los costos generales de una intervención preventiva expresado con las siglas MTBIp y el costo por hora actual el cual utiliza el tiempo recomendado por el fabricante expresado como MTBIp Actual.

4.5.8.2 MTBI Correctivo con Costos Generales

Para estimar el tiempo de intercambio del componente por una intervención correctiva con costos generales expresado con las siglas MTBIc, se utilizará el tiempo promedio para la falla expresado con las siglas MTTF como se muestra en la Figura 81.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Swing Bearing
Cantidad en máquina	1
Costo del componente USD	241,876
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	245,476
Cic USD	245,476
Cfp USD	0
Factor del costo de falla correctivo	3
Cfc USD	736,427

Datos Weibull del Swing Beraring	
Forma β	0.45
Escala η	8,930
Localizacion g	10,434
Vida Esperada MTTF	32,948
Vida Característica	19,363

Política Correctiva Falla	
MTBIc cambio hasta la falla	32,948
Confiabilidad	
Costo global correct \$/hr	

Figura 81. Valor del MTBI del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

Después se hallará la confiabilidad $R(t)$ correspondiente al tiempo de intercambio por falla del componente como se muestra en la Figura 82.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Swing Bearing
Cantidad en máquina	1
Costo del componente USD	241,876
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	245,476
Cic USD	245,476
Cfp USD	0
Factor del costo de falla correctivo	3
Cfc USD	736,427

Datos Weibull del Swing Beraring	
Forma β	0.45
Escala η	8,930
Localizacion g	10,434
Vida Esperada MTTF	32,948
Vida Característica	19,363

Política Correctiva Falla	
MTBIc cambio hasta la falla	32,948
Confiabilidad	22%
Costo global correct \$/hr	

$$R(t) = \exp(-(t-g)/\eta)^\beta$$

$$R(t) = \exp(-potencia((t-g) / \eta, \beta))$$

Figura 82. Cálculo de la Confiabilidad con el MTBI. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 83 se puede observar el cálculo del costo por hora para una intervención correctiva con costos generales utilizando el tiempo de falla del componente MTBIc.

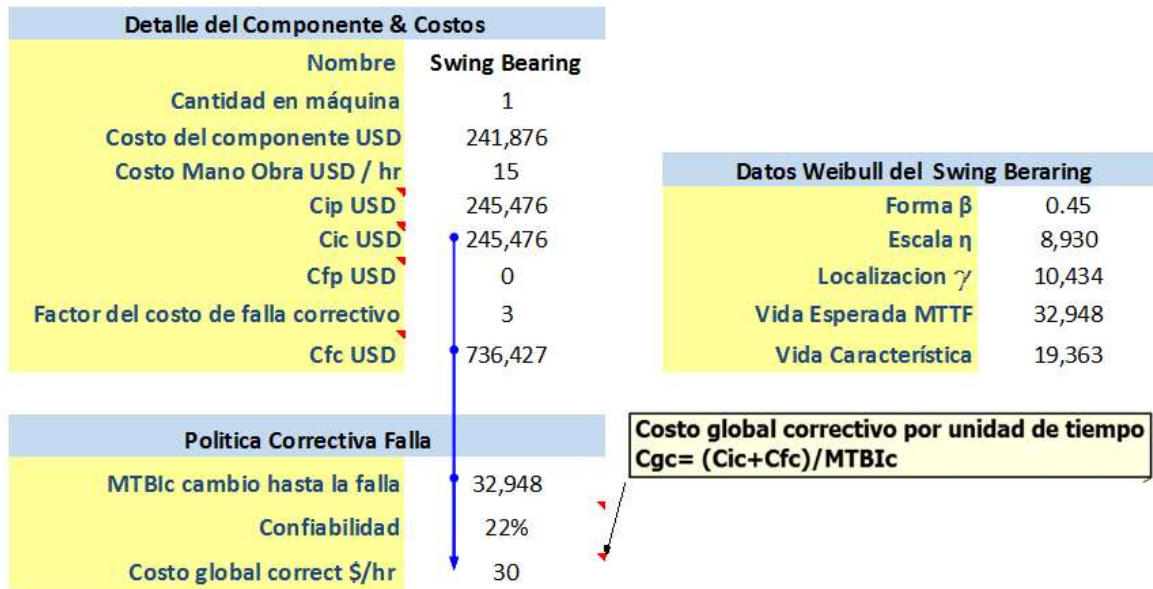


Figura 83. Cálculo del Costo Global Correctivo del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.8.3 MTBI Preventivo Actual con Costos Generales

Para estimar el tiempo de intercambio del componente por una intervención preventiva actual con costos generales expresado con las siglas MTBIp, se utilizará la fórmula que se muestra en la Figura 84 el cual considera la confiabilidad $R(t)$ y la probabilidad de falla $F(t)$ multiplicando por los costos directos e indirectos dividido entre el tiempo optimo expresado con las siglas MTBI. Una vez calculado el costo por intervención es graficando con el tiempo de funcionamiento, para ubicar el costo a las horas recomendadas por el fabricante.

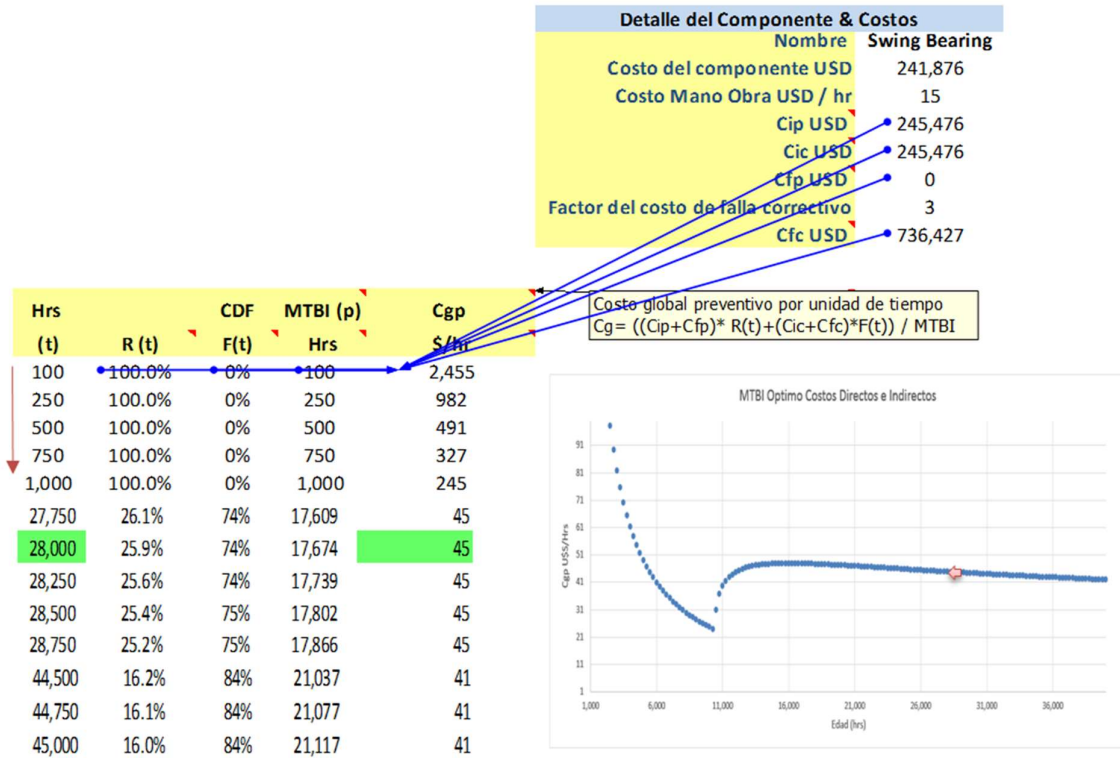


Figura 84. Cálculo del Costo Global Preventivo Actual del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En este caso para el Swing Bearing la hora actual de cambio del componente es de 28,000 horas que equivale a un costo de 45 dólares la hora.

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	28,000
Confiabilidad	26%
Costo global recomendado \$/hr	45

Tabla 36. Resultados de Costo Global Preventivo Actual del Swing Bearing Fuente: Elaboración propia

4.5.8.4 MTBI Preventivo Óptimo con Costos Generales

Para estimar el tiempo de intercambio del componente por una intervención preventiva optima con costos generales expresado con las siglas MTBIp, se utilizará la formula anterior que se muestra en la Figura 85.

Una vez calculado el costo por intervención es graficando con el tiempo de funcionamiento, para ubicar el costo mínimo y encontrar el tiempo óptimo.

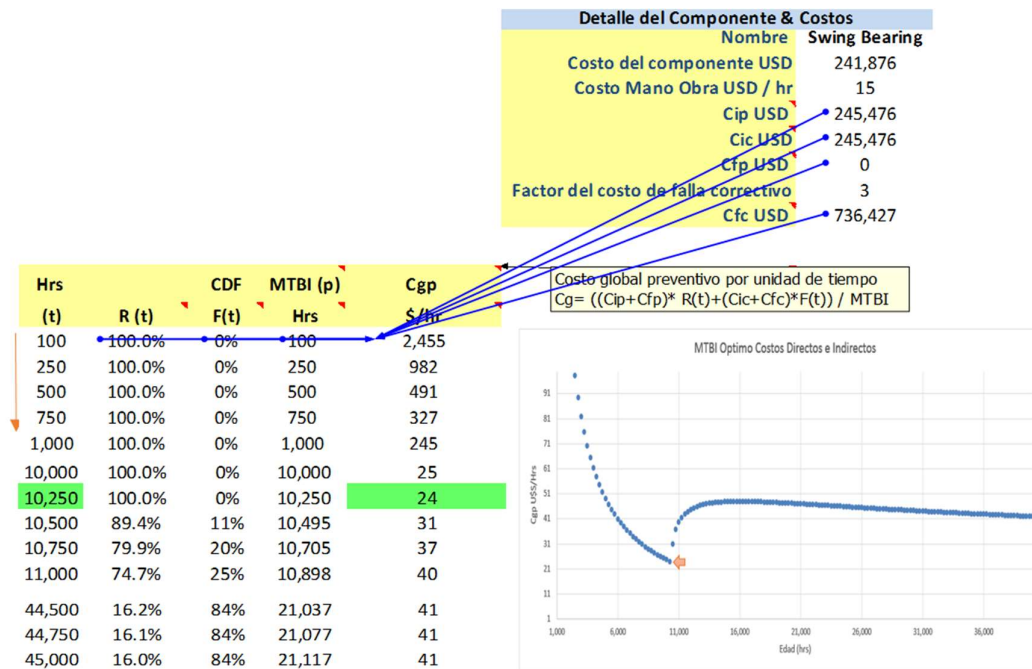


Figura 85. Cálculo del Costo Global Preventivo del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En este caso para el Swing Bearing el tiempo óptimo MTBIp es de 10,250 horas que equivale a un costo de 24 dólares la hora.

Política Preventiva C. Generales	
MTBIp preventivo	10,250
Confiabilidad	100%
Costo global preventivo \$/hr	24

Tabla 37. Resultados del Costo Global Preventivo del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En el caso del motor diésel en ingles Engine, se puede observar en la Figura 86 que el costo por hora no muestra un mínimo a medida que el tiempo de funcionamiento aumenta, por lo que la política de optima recomendada sera con el tiempo de falla expresado con las siglas MTBIc.

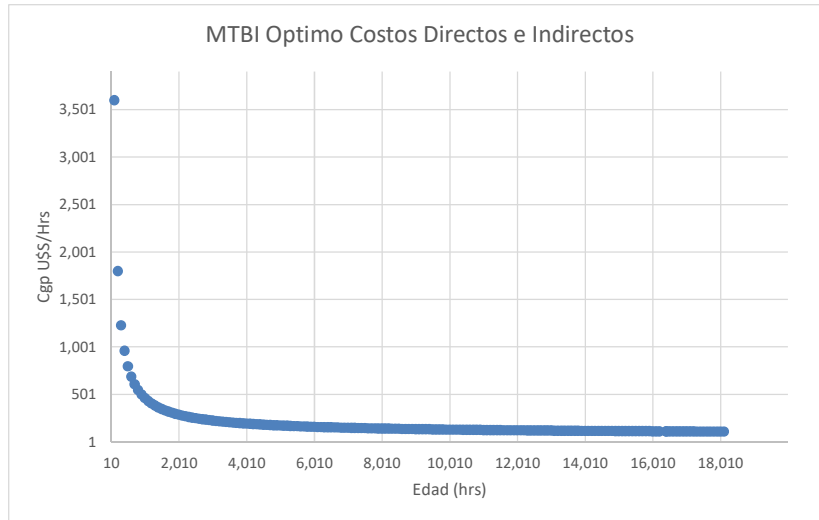


Figura 86. Gráfica de Costo Global Preventivo del Engine. Fuente: Elaboración propia

4.5.8.5 MTBI Preventivo Óptimo con Costos Directos.

Para estimar el tiempo de intercambio del componente por una intervención preventiva con costos directos expresado con las siglas MTBIp, se utilizará la fórmula que se muestra en la Figura 87 el cual considera la confiabilidad $R(t)$ y la probabilidad de falla $F(t)$ multiplicando por los costos directos dividido entre el tiempo óptimo expresado con las siglas MTBI.

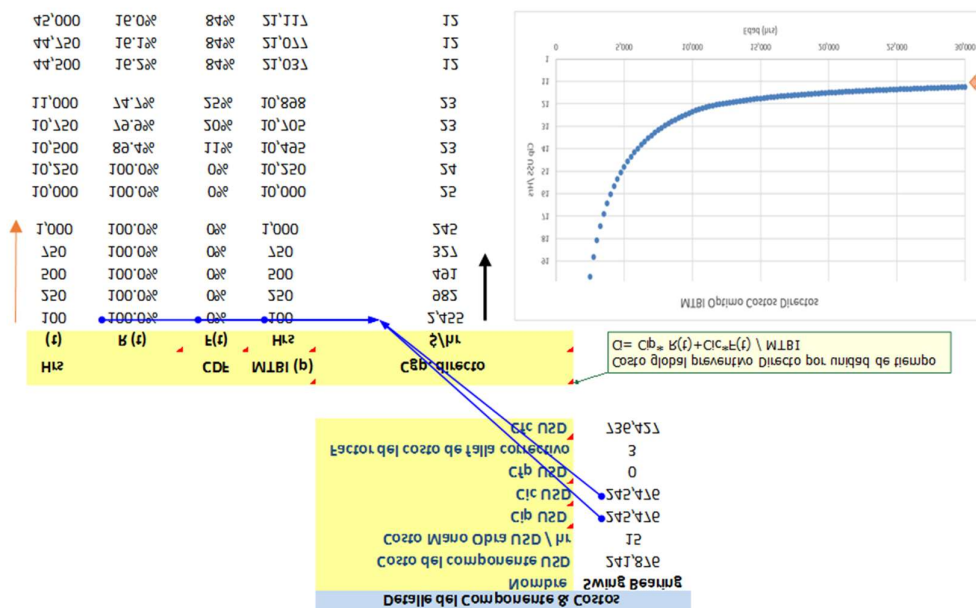


Figura 87. Cálculo del Costo Directo Preventivo del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 87 que el costo por hora no muestra un mínimo a medida que el tiempo de funcionamiento aumenta.

Política Preventiva C Directos	
MTBIP preventivo	45,000
Confiabilidad	16%
Costo Directos preventivos \$/hr	12

Tabla 38. Resultados del Costo Directo Preventivo del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

4.5.9 Selección del MTBI óptimo

En la Figura 88, se puede observar que para hallar el número óptimo de componentes críticos la empresa mantenedora utiliza el tiempo de intercambio de componentes recomendado por el fabricante; por ejemplo para el rodamiento de giro (Swing Bearing) el recomendado es de 40,000 horas con una desviación del 30% la empresa cambia el componente con 28,000 horas el cual equivale a la 44.78 dólares la hora, multiplicando con el número total de equipos y 7300 horas de trabajo aproximadamente para un año de operación se tiene un costo total de 1,961,539.00 dólares. Para el motor diésel (Engine) ocurre lo mismo con 13,500 horas de intercambio de componentes se tiene un costo total de 5,202,613 dólares al año.

Datos de Equipo		
Nombre	Excavadora Hidraulica	
Marca	Hitachi	
Modelo	EX5500-6	
Potencia HP (Kw)	2800 (2088)	
Cap Cucharon Yd3 (M3)	35.5 (27)	
Peso TN	522	
Unidad Operativa	Mina de Yanacocha	
N° de Equipos	6	
Hrs de trabado diario	20	
Dias de Trabajo x Mes	30	
Meses de Operación	12	
Hrs de Ope Anual	7300	
Política de intercambio de componentes		
MTBI Actual	Swing Bearing	Engine
MTBI Actual	28,000	13,500
Confiabilidad	26%	40%
Costo global actual \$/hr	44.78	118.78
Costo total por flota \$ /año	1,961,539	5,202,613

Figura 88. Cálculo del costo Actual del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados para Swing Bearing el tiempo de intercambio óptimo será a las 10,250 horas, al tener el menor costo de operación por hora y al ser la confiabilidad R(t) mayor para una actividad de cambio preventiva MTBIP. Ilustración 87.

Datos de Equipo	
N° de Equipos	6
Hrs de trabado diario	20
Días de Trabajo x Mes	30
Meses de Operación	12
Hrs de Ope Anual	7300
Política de intercambio de componentes MTBI Óptimo Propuesto	
Swing Bearing	
Forma β	0.45
Escala (hrs) η	8,930
Localizacion (hrs) g	10,434
Vida Esperada (hrs) MTF	32,948
Vida Característica (hrs)	19,363
Vida B10 (hrs)	10,491
MTBic cambio hasta la falla	32,948
Confiabilidad	22%
Costo global correct \$/hr	29.80
MTBip Preventivo	10,250
Confiabilidad	100%
Costo global preventivo \$/hr	23.95
Costo total por flota \$ /año	1,048,959

Figura 89. Cálculo del costo Óptimo del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

Analizando los resultados para Engine el tiempo de intercambio óptimo será a las 16,397 horas, al tener el menor costo de operación por hora y al ser la confiabilidad $R(t)$ mayor para una actividad de cambio correctiva MTBic. Ilustración 88.

Datos de Equipo	
N° de Equipos	6
Hrs de trabado diario	20
Días de Trabajo x Mes	30
Meses de Operación	12
Hrs de Ope Anual	7300
Política de intercambio de componentes MTBI Óptimo Propuesto	
Engine	
Forma β	0.83
Escala (hrs) η	14,574
Localizacion (hrs) g	260
Vida Esperada (hrs) MTF	16,397
Vida Característica (hrs)	14,834
Vida B10 (hrs)	1,220
MTBic cambio hasta la falla	16,397
Confiabilidad	34%
Costo global correct \$/hr	87.85
MTBip Preventivo	18,100
Confiabilidad	31%
Costo global preventivo \$/hr	109.56
Costo total por flota \$ /año	3,847,737

Figura 90. Cálculo del costo Óptimo del Engine. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 91 al utilizar el tiempo de intercambio de componentes óptimo se tiene un ahorro de 912,579 dólares para el Swing Bearing y de 1,354,876 dólares para el Engine en un año de operación.

Política de intercambio de componentes		
MTBI Actual	Swing Bearing	Engine
MTBI Actual	28,000	13,500
Confiabilidad	26%	40%
Costo global actual \$/hr	44.78	118.78
Costo total por flota \$ /año	1,961,539	5,202,613
Política de intercambio de componentes		
MTBI Óptimo Propuesto	Swing Bearing	Engine
MTBIc cambio hasta la falla	32,948	16,397
Confiabilidad	22%	34%
Costo global correct \$/hr	29.80	87.85
MTBIp Preventivo	10,250	18,100
Confiabilidad	100%	31%
Costo global preventivo \$/hr	23.95	109.56
Costo total por flota \$ /año	1,048,959	3,847,737
Ahorro (1) MTBI Óptimo		
	Swing Bearing	Engine
MTBI Óptimo	10,250	16,397
Confiabilidad	100%	34%
Costo global correct o prevent \$ /año	23.95	87.85
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876

Figura 91. Ahorro por el MTBI Óptimo de Swing Bearing y Engine. Fuente: Elaboración propia

4.5.9.1 Optimización en costos al seleccionar el MTBI óptimo

En la Figura 92 se muestra un resumen del costo total para una política de intercambio de componentes actual de 23,364,718 dólares en una operación de un año, seguido del costo total de 17,341,679 dólares para una política de intercambio de componentes óptimo, el cual puede ser preventivo o retirar el componente hasta la falla, el último bloque muestra el Ahorro (1) dado por el MTBI óptimo de 6,023,039 dólares en una operación de un año para el soporte de seis palas modelo EX5500, en la Tabla 29 se muestra los 14 componentes críticos seleccionados.

Política de intercambio de componentes MTBI Actual		Swing Bearing	Engine	Totales
MTBI Actual		28,000	13,500	
Confiabilidad		26%	40%	
Costo global actual \$/hr		44.78	118.78	
Costo total por flota \$ /año		1,961,539	5,202,613	23,364,718

Política de intercambio de componentes MTBI Óptimo Propuesto		Swing Bearing	Engine	Totales
MTBIc cambio hasta la falla		32,948	16,397	
Confiabilidad		22%	34%	
Costo global correct \$/hr		29.80	87.85	
MTBIp Preventivo		10,250	18,100	
Confiabilidad		100%	31%	
Costo global preventivo \$/hr		23.95	109.56	
Costo total por flota \$ /año		1,048,959	3,847,737	17,341,679

Ahorro (1) MTBI Optimo		Swing Bearing	Engine	Totales
MTBI Optimo		10,250	16,397	
Confiabilidad		100%	34%	
Costo global correct o prevent \$ /año		23.95	87.85	
Ahorro por Flota \$ / año		912,579	1,354,876	6,023,039

Figura 92. Ahorro por el MTBI Óptimo de los 14 Componentes Críticos. Fuente: Elaboración propia

Datos de Equipo																
Nombre	Excavadora Hdy															
N° de Equipos	6															
Hrs de trabajo diario	20															
Días de Trabajo x Mes	30															
Meses de Operación	12															
Hrs de Ope Anual	7300															
Política de intercambio de componentes	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump *Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	* Arm Cylinder	* Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	* Propel Transmissions	Totales	
MTBI Actual	28,000	13,500	14,000	14,000	14,000	21,000	10,800	14,000	14,000	11,700	14,000	13,500	5,400	24,500		
Confiabilidad	26%	40%	53%	50%	38%	50%	28%	51%	1%	45%	49%	54%	45%	9%		
Costo global actual \$/hr	44.78	118.78	7.29	1.19	91.07	36.61	28.81	15.83	11.82	31.27	3.71	37.69	44.79	59.80		
Costo total por flota \$ /año	1,961,539	5,202,613	319,302	52,122	3,988,866	1,603,518	1,261,878	693,354	517,716	1,369,609	162,498	1,650,822	1,961,802	2,619,080	23,364,718	
Política de intercambio de componentes	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump *Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	* Arm Cylinder	* Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	* Propel Transmissions	Totales	
MTBI Óptimo Propuesto	0.45	0.83	2.13	1.14	0.87	2.21	1.94	1.02	14.22	1.17	0.66	1.21	0.63	2.30		
Forma β	8,930	14,574	17,422	19,512	14,650	24,904	7,585	11,933	12,522	14,196	23,638	20,190	7,722	16,552		
Escala (hrs) η	10,434	260	0	0	0	0	2,261	5,893	0	0	0	0	0	0		
Localización (hrs) θ	32,948	16,397	15,429	18,596	15,706	22,055	8,987	17,712	12,071	13,457	31,686	18,943	10,980	14,664		
Vida Esperada (hrs) MTF	19,363	14,834	17,422	19,512	14,650	24,904	9,846	17,826	12,522	14,196	23,638	20,190	7,722	16,552		
Vida Característica (hrs)	10,491	1,220	6,069	2,730	1,105	8,980	4,644	7,218	10,689	2,061	787	3,154	214	6,219		
Vida B10 (hrs)	32,948	16,397	15,429	18,596	15,706	22,055	8,987	17,712	12,071	13,457	18,473	18,943	10,980	14,664		
MTBIc cambio hasta la falla	22%	34%	46%	39%	35%	47%	45%	37%	55%	39%	43%	40%	29%	47%		
Confiabilidad	29.80	87.85	9.14	1.07	70.63	46.10	33.41	17.11	11.89	29.18	2.96	34.82	20.80	62.51		
Costo global correct \$/hr	10,250	18,100	10,100	26,950	26,950	14,100	4,940	5,950	9,600	18,000	37,600	21,100	13,500	9,300		
MTBIp Preventivo	100%	31%	73%	24%	18%	75%	88%	100%	98%	27%	26%	35%	24%	77%		
Confiabilidad	23.95	109.56	6.93	1.09	78.67	34.25	21.34	12.89	4.00	29.80	2.36	34.95	30.89	45.27		
Costo global preventivo \$/hr	1,048,959	3,847,737	303,435	46,798	3,093,691	1,500,040	934,809	564,657	175,061	1,278,103	129,761	1,525,031	910,845	1,982,752	17,341,679	
Ahorro (1) MTBI Óptimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump *Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	* Arm Cylinder	* Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	* Propel Transmissions	Totales	
MTBI Óptimo	10,250	16,397	10,100	18,596	15,706	14,100	4,940	5,950	9,600	13,457	18,473	18,943	10,980	9,300		
Confiabilidad	100%	34%	73%	39%	35%	75%	88%	100%	98%	39%	43%	40%	29%	77%		
Costo global correct o prevent \$ /año	23.95	87.85	6.93	1.07	70.63	34.25	21.34	12.89	4.00	29.18	2.96	34.82	20.80	45.27		
Ahorro por Flota \$ /año	912,579	1,354,876	15,867	5,324	895,175	103,478	327,069	128,697	342,655	91,506	32,737	125,791	1,050,957	636,328	6,023,039	

Tabla 39. Ahorro (1) con el MTBI Óptimo Fuente Elaboración propia

4.5.10 Stock de repuestos centrado en la disponibilidad mecánica

A continuación, se detalla la metodología para obtener un modelo que ayude a disminuir los costos de los componentes críticos sin afectar la disponibilidad mecánica, para los tres primeros componentes la cual utiliza el número promedio de pedidos pendientes EBO y el tiempo de intercambio óptimo MTBI, la estrategia es la misma para el resto de componentes.

Se observa en la Figura 93, el modelo de Poisson actual, para el stock de componentes críticos el cual utiliza el tiempo de cambio de componentes recomendado por el fabricante y el tiempo de reparación del mismo. Se tiene como resultado 9 componentes para tener una disponibilidad en el almacén del 100% con un costo total de 2,026,525 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación.

Datos de Equipo				
Nombre	Excavadora Hidraulica			
N° de Equipos	6			
Hrs de trabado diario	20			
Días de Trabajo x Mes	30			
Meses de Operación	12			
Hrs de Ope Anual	7300			

Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	
N° de componentes (qw)	2	4	3	9
Disponibilidad en Almacen	100%	100%	100%	100%
Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525

Figura 93. Detalle costos Actual de tres componentes críticos. Fuente: Elaboración propia

Si a la formula actual de poisson es reemplazada por el tiempo optimo hallado anteriormente se obtendrá como resultado; 10 componentes, con una disponibilidad en el almacén del 100% con un costo total de 1,943,426 dólares para la atención de seis palas hidráulicas y soportar un año de operación; se puede observar un ahorro de 83,099 dólares. Ilustración 95.

Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales		Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100			10,250	16,397	10,100	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322					
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica									
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000						
N° de componentes (qw)	2	4	3	9		3	3	4	10
Disponibilidad en Almacen	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%
Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525		725,627	1,079,013	138,786	1,943,426
				83,099					

Figura 94. Ahorro con tiempo Optimo de Componentes. Fuente: Elaboración propia

4.5.10.1 EBO para el Swing Bearing

En la Figura 95, se puede observar el cálculo del EBO para una simulación de cien pedidos con las siglas i del rodamiento de giro en ingles Swing Bearing.

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO		Swing Bearing
Comp Instalados (Z)		1
MTBI Optimo		10,250
TAT días		30
MTBI Años		1.4
TAT Años		0.08
λ u/año		4.3
N° de componentes (s)		1
i		
0		0
1		0
2		0.043410479
3		0.010164405
4		0.001338726
5		0.000125383
99		7.6028E-200
100		2.6975E-202

$= (i-s) * \text{Poisson}(i, \lambda * \text{Tat}, 0)$

Figura 95. Cálculo del EBO del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 96 se puede observar el valor de EBO para el Swing Bearing el cual es la sumatoria de la simulación de cien pedidos con las siglas i. (Pascual, El Arte de Mantener, 2008).

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO		Swing Bearing
Comp Instalados (Z)		1
MTBI Optimo		10,250
TAT Años		0.08
λ u/año		4.3
EBO		0.0550
N° de componentes (s)		1

i	Poisson(i, λ*Tat, 0)
0	0
1	0
2	0.043410479
3	0.010164405
4	0.001338726
5	0.000125383
99	7.6028E-200
100	2.6975E-202

$EBO = \sum (i-s) * Poisson(i, \lambda * Tat, 0)$

Figura 96. Sumatoria del EBO del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 97 se puede observar el cálculo de la indisponibilidad con sus siglas Di que genera el Swing Bearing el cual afecta a la disponibilidad Inherente del equipo por espera del componente.

Datos de Equipo	
Nombre	Excavadora
N° de Equipos	6
Hrs de trabado diario	20

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO		Swing Bearing
Comp Instalados (Z)		1
MTBI Optimo		10,250
TAT Años		0.08
λ u/año		4.3
EBO		0.0550
Di		1%
N° de componentes (s)		1

$Di = EBO / (N * Z)$

Figura 97. Cálculo de la Indisponibilidad del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 98, se puede observar el cálculo de la disponibilidad del almacén para un número de un componente (s) de 1, que corresponde al 70%.

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO		Swing Bearing
Comp Instalados (Z)		1
MTBI Optimo		10,250
TAT Años		0.08
λ u/año		4.3
EBO		0.0550
Di		1%
N° de componentes (s)		1
Disponibilidad en Almacen		70%

=Poisson(s-1, λ *Tat, 1)

Figura 98. Cálculo de la Disponibilidad del Almacén del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 100 se puede observar el cálculo de la disponibilidad Inherente con sus siglas A_i del Swing Bearing el cual está en función a los componentes instalados dando como resultado un 99%.

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO		Swing Bearing
Comp Instalados (Z)		1
MTBI Optimo		10,250
TAT Años		0.08
λ u/año		4.3
EBO		0.0550
Di		1%
N° de componentes (s)		1
Disponibilidad en Almacen		70%
Disponibilidad Mecánica		99%

$A_i = (1 - D_i)^Z$

Figura 99. Cálculo de la Disponibilidad del Mecánica del Swing Bearing. Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 102 se puede observar el cálculo de la disponibilidad Inherente de todo el sistema, si el equipo solo contara con 03 componentes. El cuál es la multiplicación de las disponibilidades, al ser un sistema en serie Figura 100.

- A_i
 - disponibilidad de comp. I
 - “probabilidad de que todos operen”

$$A_S = \prod_{i=1}^n A_i$$

Sistema

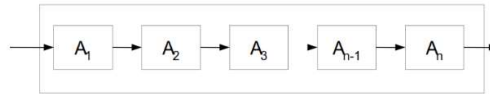


Figura 100. Disponibilidad Mecánica en Serie. Fuente: (Diplomado Internacional de Gestión de Activos Tecsup, 2017)

Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
Comp Instalados (Z)	1	2	2	5
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
TAT Años	0.08	0.12	0.08	
λ u/año	4.3	5.3	8.7	
EBO	0.0550	0.1762	0.2031	
Di	1%	1%	2%	
N° de componentes (s)	1	1	1	3
Disponibilidad en Almacén	70%	52%	49%	57%
Disponibilidad Mecánica	99%	97%	97%	93%
Inversion	241,876	359,671	34,697	636,243

Disponibilidad Sistema
 $A(s) = A_1 * A_2 * A_3$

Figura 101. Cálculo de la Disponibilidad del Sistema. Fuente: Elaboración propia

En la i Figura 102 se muestra el modelo matemático propuesto; el cual tiene como resultado 3 componentes, para tener una disponibilidad en el almacén del 57% y una disponibilidad inherente del 93% con una inversión total de 636,243 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación, comparando con el modelo matemático actual se tiene un ahorro de 1,390,282 dólares y un ahorro general de 3,673,604 dólares con el ahorro del tiempo de intercambio MTBI óptimo.

Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	
N° de componentes (qw)	2	4	3	9
Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
N° de componentes (s)	1	1	1	3
Disponibilidad en Almacen	70%	52%	49%	57%
Disponibilidad Mecanica	99%	97%	97%	93%
Inversion	241,876	359,671	34,697	636,243
Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año				1,390,282
Optimizacion Total Propuesta N° (1) \$/ año				3,673,604

Figura 102. Optimización con un solo Componentes Critico. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 103 se muestra el modelo matemático propuesto; el cual tiene como resultado 6 componentes, para tener una disponibilidad en el almacén del 88% y una disponibilidad inherente del 99% con una inversión total de 1,272,486 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación, comparando con el modelo matemático actual se tiene un ahorro de 754,039 dólares y un ahorro general de 3,037,361 dólares con el ahorro del tiempo de intercambio MTBI óptimo.

Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	
N° de componentes (qw)	2	4	3	9
Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
N° de componentes (s)	2	2	2	6
Disponibilidad en Almacen	95%	86%	84%	88%
Disponibilidad Mecanica	100%	99%	99%	99%
Inversion	483,751	719,342	69,393	1,272,486
Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año				754,039
Optimizacion Total Propuesta N° (1) \$/ año				3,037,361

Figura 103. Optimización con un dos Componentes Critico. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 104 se muestra el modelo matemático propuesto; el cual tiene como resultado 7 componentes, para tener una disponibilidad en el almacén del 92% y una disponibilidad inherente del 99% con una inversión total de 1,307,183 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación, comparando con el modelo matemático actual se tiene un ahorro de 719,342 dólares y un ahorro general de 3,002,664 dólares con el ahorro del tiempo de intercambio MTBI óptimo.

Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	
N° de componentes (qw)	2	4	3	9
Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
N° de componentes (s)	2	2	3	7
Disponibilidad en Almacen	95%	86%	96%	92%
Disponibilidad Mecanica	100%	99%	100%	99%
Inversion	483,751	719,342	104,090	1,307,183
Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año				719,342
Optimizacion Total Propuesta N° (1) \$/ año				3,002,664

Figura 104. Optimización con cantidades mixtas de Componentes Críticos. Fuente: Elaboración propia

4.5.11 Optimización maximizando la disponibilidad inherente

Para la optimización de los componentes será necesario utilizar el complemento del Excel que se llama Solver como se muestra en la Figura 105 donde el objetivo es minimizar la inversión variando la cantidad de componentes (s), con la restricción que los componentes tienen que ser enteros mayores a cero y que la disponibilidad inherente tiene que ser mayor o igual a 98%.

Como resultado se muestra en total 5 componentes, con el siguiente detalle; (2) Swing Bearing, (1) Engine y (2) Tumbler Shaft para tener una disponibilidad en el almacén del 77% y una disponibilidad inherente del 96% con una inversión total de 912,815 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación, comparando con el modelo matemático actual se tiene un ahorro de 1,113,710 dólares y un ahorro general de 3,397,032 dólares con el ahorro del tiempo de intercambio MTBI óptimo.

	A	B	C	D	E	F	K	L	M	N	O	P
10	Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales							
11	MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100								
12	Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322							
13	Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica											
14	TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000								
15	N° de componentes (qw)	2	4	3	9							
16	Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525							
17	Reducir el presupuesto con 98% Disp											
18	Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO											
19	MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100								
20	N° de componentes (s)	2	1	2	5							
21	Disponibilidad en Almacen	95%	52%	84%	77%							
22	Disponibilidad Mecanica	100%	97%	99%	96%							
23	Inversion	483,751	359,671	69,393	912,815							
24	Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año				1,113,710							
25	Optimizacion Total Prop. N° (1) \$/ año				3,397,032							

Figura 105. Solver maximizando la Disponibilidad Mecánica Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 40 se muestra un resumen de los 14 componentes críticos utilizando el complemento de Solver para la Optimización. Como resultado se muestra en total de 40 componentes, para tener una disponibilidad en el almacén del 95% y una disponibilidad inherente del 98% con una inversión total de 5,338,718 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación.

Tabla 40. Ahorro (1) y (2) con el MTBI Optimo y EBO.

Nombre N° de Equipos	Excavadora 6														
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmissions	Totales
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	14,000	14,000	21,000	10,800	14,000	14,000	11,700	14,000	13,500	5,400	24,500	
N° de componentes (s)	2	4	3	2	4	3	4	2	3	2	2	3	6	2	42
Disponibilidad en Almacen	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Inversion	483,751	1,438,684	104,090	8,855	1,107,579	760,410	297,533	151,062	106,286	195,442	26,914	493,317	338,447	456,988	5,969,357
Reducir el presupuesto con 98% Disp															
Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	*Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	* Arm Cylinder	* Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	* Propel Transmissions	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	18,596	15,706	14,100	4,940	5,950	9,600	13,457	18,473	18,943	10,980	9,300	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	5,324	895,175	103,478	327,069	128,697	342,655	91,506	32,737	125,791	1,050,957	636,328	6,023,039
Optimización de repuestos críticos reparables con EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmissions	Totales
Comp Instalados (Z)	1	2	2	2	4	2	2	2	2	1	1	2	2	2	27
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	18,596	15,706	14,100	4,940	5,950	9,600	13,457	18,473	18,943	10,980	9,300	
TAT días	30	45	30	15	30	30	45	15	30	30	15	30	45	45	
MTBI Años	1.4	2.2	1.4	2.5	2.2	1.9	0.7	0.8	1.3	1.8	2.5	2.6	1.5	1.3	
TAT Años	0.08	0.12	0.08	0.04	0.08	0.08	0.12	0.04	0.08	0.08	0.04	0.08	0.12	0.12	
λ u/año	4.3	5.3	8.7	4.7	11.2	6.2	17.7	14.7	9.1	3.3	2.4	4.6	8.0	9.4	
Precio unitario	241,876	359,671	34,697	4,427	276,895	253,470	74,383	75,531	35,429	97,721	13,457	164,439	56,408	228,494	
EBO	0.0061	0.0346	0.0071	0.0011	0.0173	0.0173	0.0097	0.0039	0.0085	0.0028	0.0046	0.0046	0.0076	0.0015	
Dí	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
N° de componentes (s)	2	2	3	2	3	2	6	3	3	2	1	2	4	5	40
Disponibilidad en Almacen	95%	86%	96%	98%	93%	91%	98%	98%	96%	97%	91%	94%	98%	99%	95%
Disponibilidad Mecanica	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%
Inversion	483,751	719,342	104,090	8,855	830,684	506,940	446,299	226,593	106,286	195,442	13,457	328,878	225,632	1,142,470	5,338,718
Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año															630,639
Optimizacion Total Propuesta N° (1) \$/ año															6,653,678
i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.004306483	0	0	0
3	0.005082202	0.02464597	0	0.000996356	0	0.013317463	0	0	0.002441867	0.000279748	0.006257995	0	0	0	0
4	0.000892484	0.00811638	0.00527518	9.64417E-05	0.011769532	0.003400203	0	0.00304905	0.006227489	0.000326621	1.02219E-05	0.001189299	0	0	0
5	9.40374E-05	0.00160373	0.00150421	5.60101E-06	0.00431623	0.000520882	0	0.000737921	0.001868247	2.6213E-05	2.65605E-07	0.000135612	0.002869306	0	0
99	7.5252E-200	5.981E-173	1.415E-169	2.1569E-225	7.5919E-159	7.9109E-184	4.7752E-122	1.4005E-176	2.0778E-167	1.6158E-211	7.306E-255	1.8213E-196	7.4216E-156	8.4708E-149	
100	2.6703E-202	3.98E-175	0.1019E-171	4.2185E-228	7.0329E-161	4.0813E-186	1.0552E-123	8.5616E-179	1.5746E-169	4.3671E-214	7.1915E-258	6.994E-199	7.3769E-158	9.9417E-151	

Fuente: Elaboración propia

4.5.12 Optimización base a un presupuesto establecido.

Para la optimización de los componentes será necesario utilizar el complemento del Excel que se llama Solver como se muestra en la ilustración 107 donde el objetivo es maximizar la disponibilidad mecánica o llamada también inherente variando la cantidad de componentes (s), con la restricción que los componentes tienen que ser enteros mayores a cero y que la inversión sea menor o igual a un presupuesto de reducción establecido.

Como resultado se muestra en total 4 componentes, con el siguiente detalle; (1) Swing Bearing, (2) Engine y (1) Tumbler Shaft para tener una disponibilidad en el almacén del 68% y una disponibilidad inherente del 95% con una inversión total de 995,914 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación, comparando con el modelo matemático actual se tiene un ahorro de 1,030,611 dólares y un ahorro general de 3,313,933 dólares con el ahorro del tiempo de intercambio MTBI óptimo.

	A	B	C	D	E
10	Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
11	MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
12	Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	2,283,322
13					
14	Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
15	TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	
16	N° de componentes (qw)	2	4	3	9
18	Inversion US\$	483,751	1,438,684	104,090	2,026,525
19	Reducir el 30% el presupuesto \$/año				1,026,525
20					
21	Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando Poisson / EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Totales
23	MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	
31	N° de componentes (s)	1	2	1	4
32	Disponibilidad en Almacén	70%	86%	49%	68%
33	Disponibilidad Mecánica	99%	99%	97%	95%
34	Inversion	241,876	719,342	34,697	995,914
35					
36	Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año				1,030,611
37					
38	Optimizacion Total Prop. N° (2) \$/ año				3,313,933

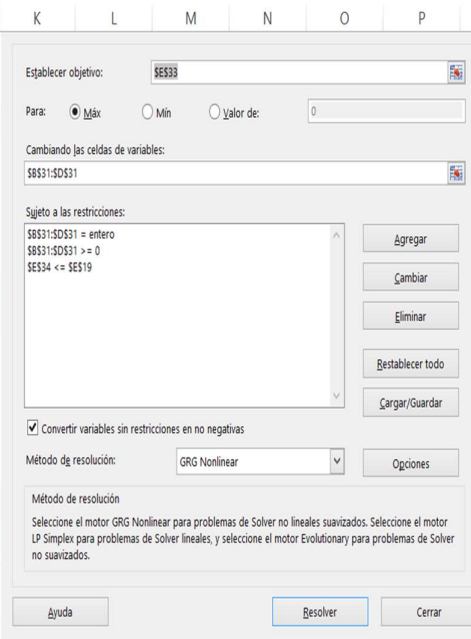


Figura 106. Solver en base a presupuesto reducido. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41 se muestra un resumen de los 14 componentes críticos utilizando el complemento de Solver para la Optimización con un presupuesto reducido. Como resultado se muestra en total de 44 componentes, para tener una disponibilidad en el almacén del 93% y una disponibilidad inherente del 96% con una inversión total de \$ 4,918,057 dólares para la atención de seis palas hidráulicas para soportar un año de operación.

Tabla 41. Ahorro (1) y (2) con el MTBI Optimo, EBO y Presupuesto.

Nombre	Excavadora														Totales
N° de Equipos	6														
Cálculo del stock de componentes críticos actual, utilizando las horas de intercambio recomendado por fábrica	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmissions	
TBI actual hrs	28,000	13,500	14,000	14,000	14,000	21,000	10,800	14,000	14,000	11,700	14,000	13,500	5,400	24,500	
N° de componentes (s)	2	4	3	2	4	3	4	2	3	2	2	3	6	2	42
Disponibilidad en Almacén	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Inversion	483,751	1,438,684	104,090	8,855	1,107,579	760,410	297,533	151,062	106,286	195,442	26,914	493,317	338,447	456,988	5,969,357
Presupuesto 2017 \$/año															4,969,357
Ahorro (1) MTBI Optimo	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	* Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	* Arm Cylinder	* Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	* Propel Transmissions	Totales
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	18,596	15,706	14,100	4,940	5,950	9,600	13,457	18,473	18,943	10,980	9,300	
Ahorro por Flota \$ / año	912,579	1,354,876	15,867	5,324	895,175	103,478	327,069	128,697	342,655	91,506	32,737	125,791	1,050,957	636,328	6,023,039
Optimización de repuestos críticos reparables con EBO	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmissions	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmissions	Totales
Comp Instalados (Z)	1	2	2	2	4	2	2	2	2	1	1	2	2	2	27
MTBI Optimo	10,250	16,397	10,100	18,596	15,706	14,100	4,940	5,950	9,600	13,457	18,473	18,943	10,980	9,300	
TAT días	30	45	30	15	30	30	45	15	30	30	15	30	45	45	
MTBI Años	1.4	2.2	1.4	2.5	2.2	1.9	0.7	0.8	1.3	1.8	2.5	2.6	1.5	1.3	
TAT Años	0.08	0.12	0.08	0.04	0.08	0.08	0.12	0.04	0.08	0.08	0.04	0.08	0.12	0.12	
λ u/año	4.3	5.3	8.7	4.7	11.2	6.2	17.7	14.7	9.1	3.3	2.4	4.6	8.0	9.4	
Precio unitario	241,876	359,671	34,697	4,427	276,895	253,470	74,383	75,531	35,429	97,721	13,457	164,439	56,408	228,494	
EBO	0.0061	0.0346	0.0010	0.0000	0.0173	0.0173	0.0097	0.0005	0.0085	0.0002	0.0000	0.0639	0.0220	0.0388	
Di	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	
N° de componentes (s)	2	2	4	4	3	2	6	4	3	3	4	1	3	3	44
Disponibilidad en Almacén	95%	86%	99%	100%	93%	91%	98%	100%	96%	100%	100%	68%	92%	89%	93%
Disponibilidad Mecánica	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	99%	96%
Inversion	483,751	719,342	138,786	17,709	830,684	506,940	446,299	302,124	106,286	293,163	53,828	164,439	169,224	685,482	4,918,057
Ahorro (2) Stock de Comp. \$ / año															1,051,300
Optimizacion Total Propuesta N° (2) \$/ año															7,074,339
i	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.049393608	0	0	0
3	0.005082202	0.02464597	0	0	0	0.013317463	0	0	0	0	0	0.01251599	0	0	0
4	0.000892484	0.00811638	0	0	0.011769532	0.003400203	0	0	0.006227489	0.00016331	0	0.001783948	0.014585423	0.023725207	0
5	9.40374E-05	0.00160373	0.0007521	1.867E-06	0.00431623	0.000520882	0	0.000368961	0.001868247	1.74753E-05	6.64013E-08	0.000180816	0.005738613	0.011020741	0
99	7.5252E-200	5.981E-173	1.4E-169	2.1124E-225	7.5919E-159	7.9109E-184	4.7752E-122	1.3859E-176	2.0778E-167	1.5991E-211	7.0823E-255	1.8401E-196	7.4997E-156	8.651E-149	0
100	2.6703E-202	3.98E-175	1.009E-171	4.1324E-228	7.0329E-161	4.0813E-186	1.0552E-123	8.4733E-179	1.5746E-169	4.3225E-214	6.9736E-258	7.0654E-199	7.4538E-158	1.0151E-150	0

Fuente: Elaboración propia

4.6 Resultados de los indicadores después del desarrollo del diseño

4.6.1 Analizar los costos y disponibilidad de palas hidráulicas en minería

En la siguiente Tabla 42 se muestra los resultados del modelo propuesto para la atención de seis palas de la marca Hitachi modelo EX5500 para la atención de un año de operación equivalente a 7300 horas.

Optimización en costos por horas de intercambio de componente críticos	Modelo Actual (MTBI Fábrica)	Modelo Propuesto (MTBI Optimo)	Ahorro USD
Costo total por flota \$ /año	23,364,718	17,341,679	6,023,039

Propuesta N°1 para la Optimización de componentes críticos	Modelo Actual (Poisson+MTBI Fabrica+ TAT)	Modelo Propuesto (Poisson+MTBI optimo+EBO+TAT)	Ahorro USD
Componentes Instalados en equipo	27	27	
N° de componentes en Stock	42	40	
Disponibilidad en Almacén	100%	95%	
Disponibilidad Mecánica	95%	98%	
Inversión USD	5,969,357	5,338,718	630,639

Propuesta N°2 para la Optimización de componentes críticos	Modelo Actual (Poisson+MTBI Fabrica+ TAT)	Modelo Propuesto (Poisson+MTBI optimo+EBO+TAT)	Ahorro USD
Componentes Instalados en equipo	27	27	
N° de componentes en Stock	42	44	
Disponibilidad en Almacén	100%	93%	
Disponibilidad Mecánica	95%	96%	
Inversión USD	5,969,357	4,918,057	1,051,300

Tabla 42. Comparación de Modelos. Fuente: Elaboración propia

4.7 Resultados del análisis económico

A continuación se analiza el costo de la implementación de las dos propuestas de optimización de stock de componentes críticos, con la metodología costo/ beneficio los costos que se deben incurrir son los siguientes:

4.7.1 Inversión por la implementación de la mejora.

Para el análisis de costo de la mejora de gestión de stock, los beneficios que se valoran se establecieron de acuerdo al almacenamiento de los componentes, personal para procesar los datos, licencias de programas de confiabilidad, e implementación de un área de soporte. En la Tabla 43 se muestra la inversión correspondiente

Inversión de Activos Tangibles e Intangibles Anual					
Item	Cantidad	Unidad Medida	Precio Unitario	Total Inversión	
UTILES DE ESCRITORIO					
Archivadores	24	Unidad	S/.8.00	S/.192.00	
Tinta para impresora	40	Unidad	S/.10.00	S/.400.00	
Papel A4 (millar)	60	Millar	S/.15.00	S/.900.00	
UTILES DE OFICINA					
Impresora	2	Unidad	S/.650.00	S/.1,300.00	
Camara fotografica	2	Unidad	S/.850.00	S/.1,700.00	
Laptop	1	Unidad	S/.8,500.00	S/.8,500.00	
Computadoras de escritorio	2	Unidad	S/.3,500.00	S/.7,000.00	
Escritorio	3	Unidad	S/.450.00	S/.1,350.00	
MATERIALES DE IMPLEMENTACIÓN					
Señalización	50	Unidad	S/.5.00	S/.250.00	
Afiches	30	Unidad	S/.5.00	S/.150.00	
Micas Acrilicas de de 12 x 12 cm	50	Unidad	S/.2.50	S/.125.00	
EQUIPOS DE IMPLEMENTACIÓN					
Codificador de Componetes	2	Unidad	S/.250.00	S/.500.00	
Soportes metálicos de componentes	44	unidad	S/.3,500.00	S/.154,000.00	
Software					
Costo del hadware- instalación	3	maquinas	S/.5,600.00	S/.16,800.00	
Total Inversión				S/.193,167.00	
Otros Gastos					
Item	Cantidad	Unidad Medida	Precio Unitario	Total Inversión	
Costos de mejora del ambiente	12	meses	S/.1,500.00	S/.18,000.00	
Mantenimiento de equipos y software	4	veces	S/.1,500.00	S/.6,000.00	
Inventario de items	12	meses	S/.250.00	S/.3,000.00	
Impresiones y modificaciones de manuales y formatos	12	meses	S/.180.00	S/.2,160.00	
Total Otros Gastos				S/.29,160.00	
Gastos del Personal					
Item	Cantidad	Unidad Medida	Precio Unitario	N° Personas	Total Inversión
Personal de diagnóstico y propuesta de mejora	2	mes	S/.4,000.00	1	S/.8,000.00
Personal para la implementación	2	mes	S/.2,500.00	2	S/.10,000.00
Personal para políticas de inventario	6	mes	S/.1,500.00	1	S/.9,000.00
Personal para aplicación del software Minitab 18	12	mes	S/.1,000.00	2	S/.24,000.00
Total Gastos del Personal					S/.51,000.00
Gastos de Capacitación					
Item	Cantidad	Unidad Medida	Precio Unitario	Total Inversión	
Capacitación del personal	4	veces	S/.3,500.00	S/.14,000.00	
Total de Inversion				S/.287,327.00	

Tabla 43. Inversión de Activos Tangibles e Intangibles Anual Fuente: Elaboración propia

4.7.2 Análisis de los indicadores.

Para el análisis de los indicadores se establecieron los costos en que se incurrirían la gestión de stock en la Tabla 44 se muestra el costo de almacenamiento de los componentes para ambas propuestas

Propuesta 01 Costo de Almacenamiento	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmisio ns	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmisio ns	Totales
Precio unitario	241,876	359,671	34,697	4,427	276,895	253,470	74,383	75,531	35,429	97,721	13,457	164,439	56,408	228,494	
N° de componentes (s)	2	2	3	2	3	2	6	3	3	2	1	2	4	5	
% Tasa del Mercado	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
% de Costo Almacenamiento	8%	10%	5%	5%	8%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
Inversion US\$	62,888	107,901	10,409	885	107,989	50,694	44,630	22,659	10,629	19,544	1,346	32,888	22,563	114,247	609,272

Propuesta 02 Costo de Almacenamiento	Swing Bearing	Engine	Tumbler Shaft	Drive Tumblers	Swing Transmisio ns	Pump Transmissions	Bucket Tilt Cylinders	Front Idlers	Track Adjuster Cylinder	Arm Cylinder	Center Joint	Boom Cylinders	Bucket Open/Close Cylinders	Propel Transmisio ns	Totales
Precio unitario	241,876	359,671	34,697	4,427	276,895	253,470	74,383	75,531	35,429	97,721	13,457	164,439	56,408	228,494	
N° de componentes (s)	2	2	4	4	3	2	6	4	3	3	4	1	3	3	
% Tasa del Mercado	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
% de Costo Almacenamiento	8%	10%	5%	5%	8%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
Inversion US\$	62,888	107,901	13,879	1,771	107,989	50,694	44,630	30,212	10,629	29,316	5,383	16,444	16,922	68,548	567,206

Tabla 44 Costos de Almacenamiento de componentes Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los beneficios Tabla 45 se muestra la primera propuesta de optimización del stock de componentes críticos utilizando la distribución de probabilidad llamada Weibull para reducir los costos y mantener la disponibilidad mecánica del mínimo del 95% dando como resultado:

En la primera optimización se tiene un ahorro por el MTBI óptimo de 6,023,039 dólares equivalente a una reducción del 26% con respecto al actual y de 630,639 dólares dado por el número de pedidos pendientes EBO equivalente a una reducción del 11% haciendo un ahorro general de 6,653,678 dólares equivalente al 23% de los costos de mantenimiento.

Optimización N°1 del Stock de componentes críticos	Modelo Actual	Modelo Propuesto	Ahorro USD	Ahorro %
Costo por flota \$ /año	23,364,718	17,341,679	6,023,039	26%
Disponibilidad en Almacén	100%	95%		
Disponibilidad Mecánica	95%	98%		
Inversión USD	5,969,357	5,338,718	630,639	11%
Costo total por flota \$ /año	29,334,075	22,680,397	6,653,678	23%

Tabla 45. Optimización N°1 en costos de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

En una segunda propuesta de optimización Tabla 46 se tiene un ahorro por el MTBI óptimo de 6,023,039 dólares equivalente a una reducción del 26% con respecto al actual y de 1,051,300 dólares dado por el número de pedidos pendientes EBO equivalente a una reducción del 18% haciendo un ahorro general de 7,074,339 dólares equivalente al 24% de los costos de mantenimiento.

Optimización N°2 del Stock de componentes críticos	Modelo Actual	Modelo Propuesto	Ahorro USD	Ahorro %
Costo por flota \$ /año	23,364,718	17,341,679	6,023,039	26%
Disponibilidad en Almacén	100%	93%		
Disponibilidad Mecánica	95%	96%		
Inversión USD	5,969,357	4,918,057	1,051,300	18%
Costo total por flota \$ /año	29,334,075	22,259,737	7,074,339	24%

Tabla 46. Optimización N°2 en costos de mantenimiento. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 47 se muestra el proyectado de los costos y beneficios correspondientes a la primera propuesta de optimización con respecto al inventario actual de la empresa mantenedora.

ITEMS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN DE ACTIVOS TANGIBLES	S/.277,327.00					
UTILES DE ESCRITORIO	S/.1,492.00					
Archivadores	S/.192.00		S/.192.00		S/.192.00	
Tinta para impresora	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00
Papel A4 (millar)	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00
UTILES DE OFICINA	S/.19,850.00					
Impresora	S/.1,300.00			S/.1,300.00		
Camara fotografica	S/.1,700.00		S/.1,700.00		S/.1,700.00	
Laptop	S/.8,500.00			S/.8,500.00		
Computadoras de escritorio	S/.7,000.00			S/.7,000.00		
Escritorio	S/.1,350.00					
MATERIALES DE IMPLEMENTACIÓN	S/.525.00					
Señalización	S/.250.00		S/.250.00		S/.250.00	
Afiches	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00
Micas Acrilicas de de 12 x 12 cm	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00
EQUIPOS DE IMPLEMENTACIÓN	S/.161,300.00					
Codificador de Componentes	S/.500.00		S/.500.00		S/.500.00	
Soportes Metalicos	S/.144,000.00					
Costo del hardware- instalación	S/.16,800.00					
OTROS GASTOS	S/.29,160.00					
Inventario de ítems	S/.3,000.00					
Costos de mejora del ambiente	S/.18,000.00					
Mantenimiento de equipos y software	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00
Impresiones y modificaciones de manuales y formatos	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00
GASTOS PERSONAL	S/.51,000.00					
Personal de diagnóstico y propuesta de mejora	S/.8,000.00					
Personal para la implementación	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00
Personal para políticas de inventario	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00
Personal para aplicación del software Minitab 18	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00
GASTOS CAPACITACIÓN	S/.14,000.00					
Capacitación del personal	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00
TOTAL S/	S/.277,327.00	S/.66,735.00	S/.69,377.00	S/.83,535.00	S/.69,377.00	S/.66,735.00
TOTAL US\$ T.C S/ 3.22	\$86,126	\$20,725	\$21,546	\$25,943	\$21,546	\$20,725
Costo de Almacenamiento		\$609,272	\$609,272	\$609,272	\$609,272	\$609,272
TOTAL US\$		\$629,997	\$630,818	\$635,215	\$630,818	\$629,997

ANÁLISIS DE LOS INDICADORES

Indicador	Antes	Despues	Beneficio
Valor inventario	\$5,969,357	\$5,338,718	\$630,639

INGRESOS PROYECTADOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
	\$630,639	\$630,639	\$630,639	\$630,639	\$630,639

Tabla 47 Costos y Beneficios Proyectados optimización 01 Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 48 se muestra el proyectado de los costos y beneficios correspondientes a la segunda propuesta de optimización con respecto al inventario actual de la empresa mantenedora.

ITEMS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN DE ACTIVOS TANGIBLES	S/.287,327.00					
UTILES DE ESCRITORIO	S/.1,492.00					
Archivadores	S/.192.00		S/.192.00		S/.192.00	
Tinta para impresora	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00
Papel A4 (millar)	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00	S/.900.00
UTILES DE OFICINA	S/.19,850.00					
Impresora	S/.1,300.00			S/.1,300.00		
Camara fotografica	S/.1,700.00		S/.1,700.00		S/.1,700.00	
Laptop	S/.8,500.00			S/.8,500.00		
Computadoras de escritorio	S/.7,000.00			S/.7,000.00		
Escritorio	S/.1,350.00					
MATERIALES DE IMPLEMENTACIÓN	S/.525.00					
Señalización	S/.250.00		S/.250.00		S/.250.00	
Afiches	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00	S/.150.00
Micas Acrilicas de de 12 x 12 cm	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00	S/.125.00
EQUIPOS DE IMPLEMENTACIÓN	S/.171,300.00					
Codificador de Componetes	S/.500.00		S/.500.00		S/.500.00	
Soportes Metalicos	S/.154,000.00					
Costo del hardware - instalación	S/.16,800.00					
OTROS GASTOS	S/.29,160.00					
Inventario de items	S/.3,000.00					
Costos de mejora del ambiente	S/.18,000.00					
Mantenimiento de equipos y software	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00	S/.6,000.00
Impresiones y modificaciones de manuales y formatos	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00	S/.2,160.00
GASTOS PERSONAL	S/.51,000.00					
Personal de diagnóstico y propuesta de mejora	S/.8,000.00					
Personal para la implementación	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00	S/.10,000.00
Personal para políticas de inventario	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00	S/.9,000.00
Personal para aplicación del software Minitab 18	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00	S/.24,000.00
GASTOS CAPACITACIÓN	S/.14,000.00					
Capacitación del personal	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00	S/.14,000.00
TOTAL S/	S/.287,327.00	S/.66,735.00	S/.69,377.00	S/.83,535.00	S/.69,377.00	S/.66,735.00
TOTAL US\$ T.C S/ 3.22	\$89,232	\$20,725	\$21,546	\$25,943	\$21,546	\$20,725
Costo de Almacenamiento		\$567,206	\$567,206	\$567,206	\$567,206	\$567,206
TOTAL US\$		\$587,931	\$588,752	\$593,148	\$588,752	\$587,931

ANALISIS DE LOS INDICADORES

Indicador	Antes	Despues	Beneficio
Valor inventario	\$5,969,357	\$4,918,057	\$1,051,300

INGRESOS PROYECTADOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
	\$1,051,300	\$1,051,300	\$1,051,300	\$1,051,300	\$1,051,300

Tabla 48 Costos y Beneficios Proyectados optimización 02 Fuente: Elaboración Propia

4.7.3 Flujo de Caja.

A continuación se presenta el flujo de caja de la mejora con los costos proyectados a 5 años, frente a los beneficios en términos de ahorro para la empresa mantenedora de palas hidráulicas.

FLUJO DE CAJA NETO PROYECTO

AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
-86,126.40	\$642	-\$179	-\$4,576	-\$179	\$642

Tabla 49 Flujo de Caja Optimización 01 Fuente: Elaboración Propia

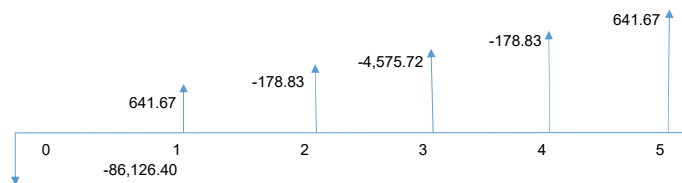


Figura 107. Flujo de Caja Optimización 01 Fuente: Elaboración propia

FLUJO DE CAJA NETO PROYECTO

AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
-89,231.99	\$463,369	\$462,548	\$458,151	\$462,548	\$463,369

Tabla 50 Flujo de Caja Optimización 02 Fuente: Elaboración Propia

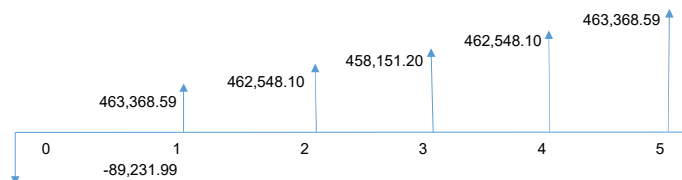


Figura 108. Flujo de Caja Optimización 02 Fuente: Elaboración propia

4.7.4 Resultados del Flujo de Caja

Considerando la inversión en el mercado de bonos, se utilizó para la evaluación del proyecto una tasa de 7.65% como la mejor elección; toda vez que no existía estados financieros que nos permiten calcular el valor de COK más real, debido a que no se cuenta con la información necesaria.

Para la primera propuesta se obtuvo un VAN -\$89,042 un TIR del -71% y un IR de -0.03 al tener los valores negativos no se acepta el proyecto.

Para la segunda propuesta se obtuvo un VAN de \$ 1,861,788 un TIR del 519% y un IR de 20.86 al tener los valores positivos se acepta el proyecto.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADOR	RESULTADO	
				ACTUAL	PROPUESTA
Stock de componentes críticos de palas hidráulicas.	Componente Crítico: Cuya falta de disponibilidad, podría causar un costoso tiempo muerto, o tener un efecto negativo en la seguridad	Componentes Instalados en Equipo MTBI (Engine)	Unidades	27	27
		Disponibilidad de almacén	Horas	13,500	16,397
		Costo de Inversión	%	98%	93%
		Componentes Críticos en Stock	\$	\$5,969,357	\$4,918,057
			Unidades	42	44
Costos y disponibilidad de palas hidráulicas.	Costo: El costo de unas fallas sin planeación es más grande que el costo de reemplazos planeados.	Costo global recomendado \$/hr	\$	\$119	\$88
		Costo de inventario por flota	\$	\$29,334,075	\$22,259,737
		Costo global preventivo \$/hr	\$	\$110	\$110
		Costo por Horas de intercambio / año	\$	\$23,364,718	\$17,341,679
	Disponibilidad: La probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones de cumplir su misión en un instante cualquiera.	Probabilidad de Falla F(t) (Engine)	%	60%	66%
		Confiabilidad R(t) (Engine)	%	40%	34%
		Tiempo Promedio para la Falla MTTF (Engine)	Horas	15,924	16,397
	Disponibilidad mecánica	%	99%	96%	

Tabla 51. Variables; resultado actual vs Propuesta. Fuente: Elaboración propia

5 DISCUSIÓN

A partir de los resultados encontrados, aceptamos la hipótesis alternativa general que establece que existe relación, en la optimización del stock de componentes críticos, con las distribuciones de probabilidad, el cual permite reducir los costos e incrementar o mantener la disponibilidad inherente de las palas hidráulicas. El cálculo del tiempo de intercambio óptimo de los 14 componentes críticos seleccionados por el Jack Knife de costos, se pueden obtener a través de los parámetros de la distribución Weibull los cuales fueron procesados en la hoja de Excel, una de las limitaciones encontradas fue que 6 de los componentes críticos se comportan como una distribución normal según el coeficiente de correlación R^2 , para poder validar que dichos componentes se comportan con una distribución Weibull necesario para el cálculo del tiempo óptimo, se utilizó el programa de Minitab 17 para validar los datos con el método de mínimos cuadrados que avalan la aceptación del 85% del coeficiente de correlación R^2 .

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Ghodrati, 2005) en su tesis doctoral, Reliability and Operating Environment Based Spare Parts Planning. Que señala la estimación de componentes no reparables considerando los factores de fiabilidad, el cual estima el número necesario de piezas de repuesto en un período específico de la vida del producto, además lo que indica (Sherbrooke, 2004) en su libro Optimal Inventory Modeling of Systems, el cual considera la estimación de la cantidad de repuestos óptimo a través de un modelo de sistema multiescalon en base a un análisis respecto al costo y disponibilidad de sistema. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla. Pero en lo que no concuerda el estudio de los autores referidos con el presente, es que ellos mencionan que es aplicable a componentes no reparables además que el modelo matemático es aplicado para todo el ciclo de vida y operación de los equipos. En este estudio no se encuentra estos resultados. En lo que respecta a que el modelo es también aplicado a componentes reparables, además que la propuesta solo aplica al inicio de la operación con componentes nuevos, de ahí en adelante se puede realizar un estudio de fiabilidad con componentes reparados usando la distribución de Weibull mixto durante todo el ciclo de vida y operación de los equipos.

A lo largo de este trabajo se han podido constatar los beneficios de implementar un método específico para realizar la estimación del stock de repuestos, considerando el histórico de fallas, el cual considera la confiabilidad del componente y su probabilidad de falla, además de agregar el número promedio de pedidos llamado EBO, al modelo de Poisson actual. Esta propuesta actualmente es aplicada en la industria aeronáutica (Pascual, El Arte de Mantener, 2008), también puede ser aplicada a cualquier equipo móvil o componente mecánica que trabaje con componentes mayores para su funcionamiento en una operación inicial. Por otro lado, la principal limitación que se encontraría en aplicar el presente estudio es el de no contar con información histórica. Sin embargo, el estudio puede realizarse a componentes críticos individuales pues el mismo cuenta con subsistemas y/o repuestos.

6. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados de la investigación realizada y aplicación de la metodología propuesta para optimizar el stock de componentes críticos, utilizando distribuciones de probabilidad se logró generar un modelo cuantitativo que ofrece reducir costos de inversión e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería.

Las aportaciones de este trabajo representan una oportunidad para mejorar y administrar activos físicos mejorando las prácticas de negocio relevantes de las empresas en el ramo de maquinaria pesada para la industria de minería y construcción que contribuye al incremento de la productividad y la reducción de costos.

Por lo tanto, los objetivos planteados al inicio de esta investigación fueron cumplidos exitosamente:

- Se analizó el stock actual de 14 componentes críticos, para la atención de seis palas hidráulicas modelo EX5500 para un año de operación; el cual utiliza la distribución de probabilidad llamada Poisson, donde emplea el tiempo de intercambio de componentes recomendado por el fabricante haciendo un costo de operación actual de 23,364,718 US\$/año teniendo como resultado la cantidad de 42 componentes críticos en stock con una disponibilidad del almacén del 100% y una inversión de 5,969,357 US\$.
- Se propuso una metodología para optimizar el stock actual de 14 componentes críticos para la atención de seis palas hidráulicas del modelo EX5500, para un año de operación; el cual agrega al modelo matemático actual, el tiempo de intercambio óptimo, además del número promedio de pedidos pendientes o en sus siglas en inglés EBO (Expected Back Orders), para realizar un análisis en base a la disponibilidad mecánica o también llamada inherente donde el cliente solicita en un mínimo del 95% con respecto a repuestos.
- Se Analizó los costos y disponibilidad de palas hidráulicas en minería después de la propuesta, dando como resultado; en una primera optimización, con el empleo del tiempo de intercambio de componentes óptimo, un costo de operación de 17,341,679 US\$/año teniendo como resultado la cantidad de 40 componentes críticos en stock, con una disponibilidad del almacén del 95% y disponibilidad mecánica del 98% con una inversión de 5,338,718 US\$. Y en una segunda optimización, con el empleo del tiempo de intercambio de componentes óptimo, un costo de operación de 17,341,679 US\$/año teniendo como resultado la cantidad de 44 componentes críticos en stock con una disponibilidad del almacén del 93% y disponibilidad mecánica del 96% con una inversión de 4,918,057 US\$.

- Se obtuvo en la segunda propuesta un VAN de \$ 1,861,788 un TIR del 519% y un IR de 20.86 al tener los valores positivos se acepta el proyecto y el índice de rentabilidad indica que por cada dólar invertido retorna 19.86 dólares de rentabilidad.
- Finalmente si tenemos un componente o repuesto operando en un equipo por ejemplo un perno y no contamos con información de la condición o uso del mismo, en este caso si queremos tomar decisiones en cuanto tener en inventario, es solo una decisión de inventario pero si nosotros sabemos que ese perno tiene mucho uso, un uso mediano o esta nuevo, la decisión que tomaremos estará en base al inventario pero adicionalmente estamos incluyendo información de mantenimiento; la cual difiere a otras tesis en lo que respecta al pedido de reposición de repuestos. Lo que permite en integrar el área de planeamiento de la empresa con el área de logística, para mejorar el modelo actual de stock de repuestos críticos en un ciclo de mejora continua.

6. RECOMENDACIONES

- Para la selección del modelo de pala hidráulica a trabajar se utilizó como indicador la disponibilidad inherente, se recomienda utilizar como indicador la disponibilidad operacional el cual sincera la situación real de la gestión de activos. Para la selección de los componentes críticos lo recomendable es utilizar un diagrama de dispersión de costos, donde se puede identificar en un diagrama tridimensional; que componente o modo falla afecta a la indisponibilidad del equipo, y cual al costo general.
- Se recomienda calcular la confiabilidad de los componentes reparados y agregar la confiabilidad de los componentes nuevo para obtener el tiempo de intercambio óptimo proveniente de un Weibull mixto. El estudio se realizó en algunas componentes con Weibull de 3 parámetros es recomendable agregar una variable adicional proveniente del área de monitoreo de condición precisando de esta manera el tiempo de intercambio óptimo el cual es llamado Weibull de 4 parámetros.
- En el cuadro de resultados de parámetros de Weibull de los 14 componentes en estudio, se recomienda realizar un análisis de causa raíz en sus siglas ACR o análisis de falla con sus siglas AFA, de aquellos componentes que presentan una beta menos que 1 pues las fallas son dadas por el producto o en la instalación del componente al encontrarse en el área de mortalidad infantil de la curva de la bañera.
- Es recomendable en el cálculo del stock óptimo de componente críticos donde el indicador es la disponibilidad mecánica del sistema. Utilizar los 25 componentes críticos recomendados por fabrica, pues los mismos trabajan en un sistema en serie, además en identificar cual componente tiene el mayor número promedio de pedidos pendientes o en sus siglas en ingles EBO (Expected Back Orders), para realizar un análisis de mejora continua o de calidad como Six Sigma en las demoras de reparación de dicho componente reparable.
- En un proceso de mejora continua se recomienda actualizar en base a las condiciones de operación de la pala hidráulica; de ésta manera optimizar constantemente las cantidades a pedir, según las variables de costo de inventario y vida la pala hidráulica.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

- Apolinario Gabriel , M. A. (2008). *Estimación de la confiabilidad en equipos mediante el análisis de Weibull*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica, Lima.
- Asme . (2008). *Curso Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*.
- Barringer, P. (1997). DISPONIBILIDAD, CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD. Obtenido de http://tsi_ltda.co.tripod.com/_parte_i.pdf
- Caterpillar Kpis. (Mayo de 2005). Performance Metrics for Mobile Mining Equipment.
- Consultancy & Training Intercade . (2012). Curso virtual de Gestion de activos .
- Cordova, M. (24 de 01 de 2014). *Marco* . Obtenido de <http://confiandoenlaingenieria.blogspot.pe/2014/01/como-elaborar-un-diagrama-de-jack-knife.html>
- Diplomado Internacional de Gestión de Activos Tecsup. (2017). Diplomado Internacional de Gestión de activos y confiabilidad de equipo de Gran Minería. Arequipa.
- Drucker, P. F. (1954). La práctica del management. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Peter_F._Drucker
- Duffuaa, S., Raouf, A., & Dixon Cambel, J. (2000). *Sistema de Mantenimiento Planeacion y Control*. (F. R. Vásquez, Trad.) Mexico: Limusa S.A.
- El Mercurio. (2016, 02 01). Mineras pierden dinero por mala gestión del capital de trabajo en el pasado. *MInería Chilena*, 1. Obtenido de <http://www.mch.cl/2016/02/01/mineras-pierden-dinero-por-mala-gestion-del-capital-de-trabajo-en-el-pasado/>
- Fornés Rivera, R., Ramirez Maytorena, A., Ojeda Iñiguez, R., Conant Pablos , M., & Cano Carrasco, A. (2012). *Propuesta de mejora en el control de inventarios del almacén de refacciones de una empresa agroindustrial de la región*. Instituto Tecnológico de Sonora , Mexico.
- Fraga Guerra, E., & Brito Vallina, M. L. (2005). *Papel de la estadística en la formación del ingeniero mecánico*. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría” , La Habana Cuba.
- Gestion Equipos Tecsup . (14 de 08 de 2016). Productividad de Equipo Pesado. *Curso de gestión de equipos* . Arequipa.
- Ghodrati, B. (2005). *Reliability and Operating Environment Based Spare Parts Planning*. Luleå University of Technology , Luleå.
- Handbook Komatsu 30. (2009). *Specifications & Application Handbook* (Vol. Edition 30). Komatsu.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la Investigación de operaciones*. (Novena ed.). Mc Graw Hill.
- Jardine, A. K., & Tsang, A. H. (2013). *Maintenance, Replacement, and Reability*. Boca Raton London New York: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Kitco. (7 de 12 de 2016). www.kitconet.com. Obtenido de <http://www.kitconet.com/>
- Komonen, K. (1998). *The structure and effectiveness of Industrial Maintenance*. Finnish Academy of Technology.
- Lewis. (1987). *Introduction to Reliability Engineering* .
- Living Reliability . (2016). *Análisis de la Confiabilidad 2 dimensiones*.
- Lobo Pinto , M. J. (2006). *Optimizaci3n del nivel de inventario de rodamientos de una máquina de papel*. Universidad de Simon Bolivar, Venezuela.
- Louit, D. (2009).
- Louit, D. M. (2006). *Optimization of critical spare parts inventories: a reability perspective*. University of Toronto , Toronto Canada.

- Mamani , J. (2015). Recuperación de mineral en rampas y taludes finales de tajos abiertos. *Encuentro de tecnología e investigación Perumin 32*, (pág. 26). Arequipa. Obtenido de <https://www.convencionminera.com/perumin32/doc/conferencias/tecnologia/jmamani.pdf>
- Medina García , L. (2013). *Logística de los sistemas de armas del ministerio de defensa: Modelos de previsión de demanda y análisis de coste- riesgo* .
- Minería Chilena. (2014, Mayo Jueves). Palas para minería: Mayor carga a menor costo. *Minería Chilena*, 1. Obtenido de <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/palas-para-mineria-mayor-carga-menor-costo/>
- Ministerio de Energía y Minas. (02 de 03 de 2017). Obtenido de http://www.minem.gob.pe/_estadisticaSector.php?idSector=1&idCategoria=10
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*.
- Murillo , W. (2002). *Confiabilidad y análisis estadísticos para la predicción de fallas, seguridad, supervivencia, riesgo, costo, y garantías de los equipos*. Obtenido de <http://www.rcmingenieria.com/sites/default/files/4.14%20Weibull%20Analisis%20para%20prediccion%20de%20fallas%20Ver1.pdf>
- Naya Fernandez, S. (2013). *Fiabilidad estadística: Estado del arte y nuevos retos*. Universidad de A Coruña , Matemáticas, España . Obtenido de <http://alammi.info/revista2/index.php/revista/article/viewFile/19/5>
- Osorio, W. H. (25 de 02 de 2016). Newmont buscará reducir costos ante menor producción en mina Yanacocha. *Diario Gestión*, pág. 1. Recuperado el Jueves de Febrero de 2016, de <http://gestion.pe/economia/newmont-buscar-reducir-costos-ante-menor-produccion-mina-yanacocha-2155215>
- Parra, C. (2010). *Índices Técnicos de gestión del mantenimiento* . ASME .
- Pascual, R. (2008). *El Arte de Mantener*. Santiago, Chile: Dpto de Ingeniería Mecánica U. de Chile.
- Pascual, R. (12 de Enero de 2015). *Canal You tube Rodrigo Pascual*. Obtenido de Rodrigo Pascual: <https://www.youtube.com/channel/UCD8FL8wGrKP1RA6f6sZGkHg>
- ReliaSoft. (2015). *System Analysis Reference Reliability, Availability & Optimization* . Arizona USA .
- Rodriguez Ojeda, L. (2007). *Probabilidad y Estadística básica para Ingenieros* . Guayaquil Ecuador.
- Sherbrooke, C. C. (2004). *Optimal Inventory Modeling of Systems Multi- Echelon Techniques* (Vol. Segunda Edición). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Tecsup Curso Confiabilidad. (2016). *Curso de mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM*. Arequipa.
- Vidal Holguín , C. (2005). *Fundamentos de gestión de inventarios*. Santiago de Cali, Colombia.: Universidad del Valle .
- Vito Aguilar, E. H. (2012). *Propuesta de optimización del sistema de administración de inventarios para artículos con demanda independiente en el área de almacén de la unidad minera Orcopampa*. Universidad Católica Santa María , Ingeniería Industrial , Arequipa.
- Wikipedia. (13 de 12 de 2016). *Wikipedia la Enciclopedia libre* . Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Pala_excavadora
- Woodrow T, R., & Barringer, P. (2000). *New Reliability Tool for the Millennium: Weibull Analysis of Production Data*. Obtenido de <http://www.barringer1.com/pdf/Roberts-Barringer-Paper.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Lista de Componentes Mayores.

SCHEDULE D (1) - EX5500 Components & Major Repairs					
This data will form the basis of the Maintenance Plan, however, must not be used neither for cost nor for expected life time guarantees.					
Items	New or Rebuild	Qty/Machine	Maximum deviation on interval hours	Allowable rebuild times	Replacement hours for projection
MECHANICAL COMPONENTS					
Engine	Mid-life Repair	2	10%		7,500
	New		10%		15,000
	Rebuild		10%	2	15,000
Radiator	New Radiator Assembly	2	10%		15,000
Pump Transmissions	New	2	30%		30,000
	Rebuild		30%	2	20,000
Swing Transmissions	New	4	30%		20,000
	Rebuild		30%	2	10,000
Propel Transmissions	New	2	30%		35,000
	Rebuild		30%	2	25,000
Mainframe, Boom, Arm, Track Frames, and Center Track Frame	Repair	N/A	N/A		
HYDRAULIC COMPONENTS					
Main Hydraulic Pumps	New	6	30%		18,000
Aux. Pumps	New	2	30%		18,000
Swing Motors	New	4	35%		15,000
Propel Motors	New	4	30%		25,000
Hyd. Oil Cooler Fan Motors	New	2	30%		25,000
Center Joint	New	1	30%		20,000
	Rebuild		30%	As appropriate	20,000
Hydraulic Oil Coolers	New	2	30%		30,000
Main Control Valves	New	6	20%		35,000
Travel Brake Valves	New	4	30%		20,000
Pilot Control Valves	New (as a Group)	1	20%		25,000
HYDRAULIC CYLINDERS					
Boom Cylinders	New	2	10%		15,000
	Rebuild		10%	3	15,000
Arm Cylinder	New	1	10%		13,000
	Rebuild		10%	3	10,000
Level Cylinder	New	1	10%		20,000
	Rebuild		10%	3	15,000
Bucket Tilt Cylinders	New	2	10%		12,000
	Rebuild		10%	3	10,000
Bucket Open/Close Cylinders	New	2	10%		6,000
	Repair		10%	5	5,000
Fast Fill Cylinder	New	4	20%		36,000

UNDERCARRIAGE COMPONENTS					
Drive Tumblers	New	2	30%		20,000
Tumbler Shaft	New	2	30%		20,000
Front Idlers	New	2	30%		20,000
Upper Rollers	New	6	30%		20,000
Lower Rollers	New	14	30%		30,000
Track Shoes	New (Track Shoes & Hardware)	2	30%		20,000
Track Adjuster Cylinder	New	2	30%		20,000
	Rebuild		30%	2	20,000
Track Adjuster Accumulators	New (Accumulator Assembly)	2	20%		40,000
MAJOR REPAIRS					
High Pressure Hose Replacement	New	1	20%		20,000
Pilot Hose Replacement	New	1	20%		24,000
Front Attachment Hose Replacement	New	1	20%		18,000
Propel Hose Replacement	New	1	20%		18,000
Boom Foot Pin/Bushing Replacement	New - Pins	2	20%		20,000
	New - Bushings	4	20%		20,000
	New - Bushings	4	20%		20,000
Boom-Arm Pin/Bushing Replacement	New - Pins	2	20%		20,000
	New - Bushings	4	20%		20,000
	New - Bushings	4	20%		20,000
Arm-Bucket	New - Pins	2	35%		5,000
	New - Bushings	4	35%		5,000
	New - Bushings	4	35%		5,000
Swing Bearing	New - Swing Bearing	1	30%		40,000
	New - Hardware	1	30%		40,000

*Swing bearings on unmodified mainframes should be replaced at 30,000 hours

Fuente: Información de la Empresa

Anexo 2. Lista de Componentes Críticos EX5500.

Item	Nombre del componente	Precio US\$	MTBI Fabrica	Max Desviación en Hrs	MTBI Actual	Cantidad en Maquina	Hrs Inst.	Dias Rep.	Instalación de componentes				
									2011	2012	2013	2014	2015
1	Engine	359,671	15,000	10%	13,500	2	30	45	11	16	12	13	6
2	Radiator	36,354	15,000	10%	13,500	2	12	15	7	10	4	1	2
3	Pump Transmissions	253,470	30,000	30%	21,000	2	48	30	3	6	1	4	1
4	Swing Transmissions	276,895	20,000	30%	14,000	4	30	30	5	16	15	12	6
5	Propel Transmissions	228,494	35,000	30%	24,500	2	36	45	2	3	4	1	1
6	Main Hydraulic Pumps 7y8, 1y2, 3y4	94,474	18,000	30%	12,600	3	12	45	17	12	13	11	13
7	Main Hydraulic Pumps 5y6, 11y12	73,873	18,000	30%	12,600	3	12	45	5	10	6	8	3
8	Aux. Pumps	63,367	18,000	30%	12,600	2	4	1	14	10	7	9	11
9	Swing Motors	26,994	15,000	35%	9,750	4	4	2	24	11	24	12	19
10	Propel Motors	57,106	25,000	30%	17,500	4	3	40	2	18	2	2	1
11	Hyd. Oil Cooler Fan Motors	6,191	25,000	30%	17,500	2	3	15	9	5	5	8	2
12	Center Joint	13,457	20,000	30%	14,000	1	30	15	6	2	1	3	0
13	Hydraulic Oil Coolers	9,035	30,000	30%	21,000	2	5	15	69	24	18	16	10
14	Main Control Valves	10,087	35,000	20%	28,000	6	24	13	1	11	10	3	2
15	Boom Cylinders	164,439	15,000	10%	13,500	2	18	30	11	6	6	6	7
16	Arm Cylinder	97,721	13,000	10%	11,700	1	18	30	5	5	9	5	5
17	Level Cylinder	74,408	20,000	10%	18,000	1	20	15	3	5	3	1	6
18	Bucket Tilt Cylinders	74,383	12,000	10%	10,800	2	18	45	10	11	9	7	2
19	Bucket Open/Close Cylinders	56,408	6,000	10%	5,400	2	6	45	21	19	23	15	21
20	Fast Fill Cylinder	6,641	36,000	20%	28,800	4	2	15	5	12			
21	Drive Tumblers	4,427	20,000	30%	14,000	2	36	15	14	13	15	9	8
22	Tumbler Shaft	34,697	20,000	30%	14,000	2	36	30	4	2	3		
23	Front Idlers	75,531	20,000	30%	14,000	2	30	15	3	7	9	8	2
24	Track Adjuster Cylinder	35,429	20,000	30%	14,000	2	30	30	11	10	9	10	16
25	Swing Bearing	241,876	40,000	30%	28,000	1	240	30	3	1	2	2	

Costo de Mano de obra USD/hr 15

Factor del costo de falla * 3

Fuente: Información de la Empresa

Anexo 3.Registro de Intercambio de Componentes.

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Swing Bearing	SH007	New	Condición	56460.1	65994.9	9,535
Swing Bearing	SH007	New	Correctivo	65994.9	76742.5	10,748
Swing Bearing	SH001	New	Correctivo	101195	113439	12,244
Swing Bearing	SH002	New	Correctivo	89642.9	112358.6	22,716
Swing Bearing	SH004	New	Correctivo	80044.3	107276.1	27,232

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Engine	SH007	New	Correctivo	43145.8	45284	2,138
Engine	SH007	New	Correctivo	43145.8	48114	4,968
Engine	SH007	New	Condición	48114	63913	15,799
Engine	SH003	New	Correctivo	74436	90633	16,197
Engine	SH004	New	Correctivo	81308	99028	17,720

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Tumbler Shaft	SH007	New	Correctivo	43145.8	47856	4,710
Tumbler Shaft	SH004	New	Correctivo	74678.5	87756	13,078
Tumbler Shaft	SH001	New	Correctivo	100317.4	113439	13,122
Tumbler Shaft	SH005	New	Correctivo	78422	94371	15,949
Tumbler Shaft	SH001	New	Correctivo	96818	113439	16,621
Tumbler Shaft	SH007	New	Correctivo	60080.4	76742.5	16,662
Tumbler Shaft	SH005	New	Correctivo	76642	94371	17,729
Tumbler Shaft	SH004	New	Correctivo	87756	107276.1	19,520

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Drive Tumbler	SH007	New	Correctivo	75913	76742.5	829.5
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	53978.7	56460.1	2481.4
Drive Tumbler	SH007	New	Correctivo	71532	76742.5	5210.5
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	47856.7	53978.7	6122
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	101045	107276.1	6231.1
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	100745	107276.1	6531.1
Drive Tumbler	SH002	New	Correctivo	105380.2	112358.6	6978.4
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	82577.7	89642.9	7065.2
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	102351.4	111483	9131.6
Drive Tumbler	SH001	New	Correctivo	87418	96818	9400
Drive Tumbler	SH005	New	Correctivo	76642	86758.4	10116.4
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	49462	60080.4	10618.4
Drive Tumbler	SH004	New	Condición	75811.7	86785.8	10974.1
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	60080.4	71532	11451.6
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	74678.5	86348.8	11670.3
Drive Tumbler	SH005	New	Condición	78418	90953	12535
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	80444	93021.9	12577.9
Drive Tumbler	SH003	New	Condición	80428.7	93110.3	12681.6
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	89642.9	102351.4	12708.5
Drive Tumbler	SH001	New	Correctivo	100317.4	113439	13121.6
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	87756	101045	13289

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Swing Transmissions	SH003	New	Correctivo	91467.2	92161.6	694.4
Swing Transmissions	SH005	New	Correctivo	93276	94371	1095
Swing Transmissions	SH007	New	Condición	53212.5	56460.1	3247.6
Swing Transmissions	SH007	New	Correctivo	49462	53212.5	3750.5
Swing Transmissions	SH002	New	Correctivo	89642.9	93763.3	4120.4
Swing Transmissions	SH007	New	Condición	65994.9	74275	8280.1
Swing Transmissions	SH004	New	Condición	89109.4	98213.7	9104.3
Swing Transmissions	SH004	new	Condición	92233.5	102058	9824.5
Swing Transmissions	SH007	New	Condición	65994.9	75913	9918.1
Swing Transmissions	SH007	New	Correctivo	65994.9	76742.5	10747.6
Swing Transmissions	SH004	New	Correctivo	94706.7	107276.1	12569.4
Swing Transmissions	SH004	New	Correctivo	80044.3	94706.7	14662.4
Swing Transmissions	SH002	New	Correctivo	95034	112358.6	17324.6
Swing Transmissions	SH002	New	Correctivo	89642.9	112358.6	22715.7

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Pump Transmissions	SH007	New	Correctivo	65994.9	76742.5	10747.6
Pump Transmissions	SH001	New	Correctivo	99139	113439	14300
Pump Transmissions	SH004	New	Correctivo	83039.9	107276.1	24236.2
Pump Transmissions	SH002	New	Correctivo	86689	112358.6	25669.6
Pump Transmissions	SH004	New	Correctivo	74344	107276.1	32932.1

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Bucket Tilt Cylinders	SH005	New	Correctivo	70722	75159.1	4437.1
Bucket Tilt Cylinders	SH003	New	Correctivo	90120.1	95892	5771.9
Bucket Tilt Cylinders	SH004	New	Correctivo	80044.3	86785.8	6741.5
Bucket Tilt Cylinders	SH003	New	Correctivo	80425	88783	8358
Bucket Tilt Cylinders	SH001	New	Correctivo	91643	100468.4	8825.4
Bucket Tilt Cylinders	SH005	New	Correctivo	73580	84394.3	10814.3
Bucket Tilt Cylinders	SH002	New	Correctivo	99577.6	112358.6	12781
Bucket Tilt Cylinders	SH001	New	Correctivo	100468.4	113439	12970.6

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Front Idlers	SH003	New	Correctivo	88909	95892	6983
Front Idlers	SH007	New	Condición	57920	65150.4	7230.4
Front Idlers	SH001	New	Condición	96818	104805.9	7987.9
Front Idlers	SH007	New	Correctivo	68214.6	76742.5	8527.9
Front Idlers	SH004	New	Correctivo	95799.2	106109	10309.8
Front Idlers	SH005	New	Correctivo	83250.22	94371	11120.78
Front Idlers	SH001	New	Condición	87865.6	100317.4	12451.8
Front Idlers	SH002	New	Condición	93763.3	107297	13533.7
Front Idlers	SH001	New	Correctivo	81191	96818	15627
Front Idlers	SH002	New	Condición	86689	102774	16085
Front Idlers	SH004	New	Condición	80351	100039.8	19688.8

Fuente: Información de la Empresa

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Condición	73670	75913	2243
Track Adjuster Cylinder	SH004	New	Condición	88363.9	93938.1	5574.2
Track Adjuster Cylinder	SH002	New	Condición	79811.1	85698	5886.9
Track Adjuster Cylinder	SH001	New	Condición	89353	98239.7	8886.7
Track Adjuster Cylinder	SH002	New	Condición	101656	110568	8912
Track Adjuster Cylinder	SH005	New	Correctivo	83250.22	94371	11120.78
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Correctivo	60080.4	71803	11722.6
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Correctivo	47856.7	60080.4	12223.7
Track Adjuster Cylinder	SH001	New	Correctivo	90214	102816.6	12602.6
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Condición	57920	72689	14769

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Arm Cylinder	SH002	New	Correctivo	109060	112358.6	3298.6
Arm Cylinder	SH005	New	Condición	79658	85444	5786
Arm Cylinder	SH001	New	Condición	80380	92051	11671
Arm Cylinder	SH001	New	Condición	92051	104146.4	12095.4
Arm Cylinder	SH007	New	Correctivo	48054.2	60720.5	12666.3

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Center Joint	SH001	Rebuild	Correctivo	80404.1	81481	1076.9
Center Joint	SH004	Rebuild	Correctivo	75353.9	76522	1168.1
Center Joint	SH002	Rebuild	Correctivo	106546	112358.6	5812.6
Center Joint	SH001	New	Condición	81481	87415	5934
Center Joint	SH004	Rebuild	Condición	90435	98213.7	7778.7
Center Joint	SH004	Repair	Correctivo	98213.7	107276.1	9062.4
Center Joint	SH007	Rebuild	Correctivo	65994.9	76742.5	10747.6
Center Joint	SH005	Rebuild	Condición	82310	94371	12061
Center Joint	SH004	Repair	Condición	76522	90435	13913
Center Joint	SH001	Rebuild	Condición	87415	113439	26024

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Boom Cylinder	SH004	New	Correctivo	102945	107276.1	4331.1
Boom Cylinder	SH007	New	Condición	54636.5	59135	4498.5
Boom Cylinder	SH003	New	Correctivo	90754	95892	5138
Boom Cylinder	SH002	New	Condición	96120.6	108634	12513.4
Boom Cylinder	SH004	New	Condición	82568.2	100745	18176.8
Boom Cylinder	SH003	New	Correctivo	76925	95892	18967
Boom Cylinder	SH005	New	Correctivo	75389.3	94371	18981.7
Boom Cylinder	SH001	New	Correctivo	91072	113439	22367

Fuente: Información de la Empresa

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Bucket Open/Close Cyl	SH004	New	correctivo	90571.5	90846.4	274.9
Bucket Open/Close Cyl	SH007	New	Correctivo	73262	74555	1293
Bucket Open/Close Cyl	SH004	New	Condición	102058	104447	2389
Bucket Open/Close Cyl	SH005	New	Correctivo	90953	93750	2797
Bucket Open/Close Cyl	SH004	New	Condición	100039.8	105554	5514.2
Bucket Open/Close Cyl	SH001	New	Condición	102816.6	108723	5906.4
Bucket Open/Close Cyl	SH001	New	Correctivo	88981.5	98159	9177.5

Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine
Propel Transmissions	SH007	Rebuild	Correctivo	71532	76742.5	5210.5
Propel Transmissions	SH007	Rebuild	Correctivo	67647	76742.5	9095.5
Propel Transmissions	SH005	Rebuild	Correctivo	81344	94371	13027
Propel Transmissions	SH004	Rebuild	Correctivo	93408.6	107276.1	13867.5
Propel Transmissions	SH004	Rebuild	Correctivo	92233.5	107276.1	15042.6
Propel Transmissions	SH002	Rebuild	Correctivo	95758	112358.6	16600.6
Propel Transmissions	SH003	Rebuild	Correctivo	76925	95892	18967
Propel Transmissions	SH001	Rebuild	Correctivo	90214	113439	23225

Fuente: Información de la Empresa

Anexo 4. Producción Real de Mina de Yanacocha 2016.

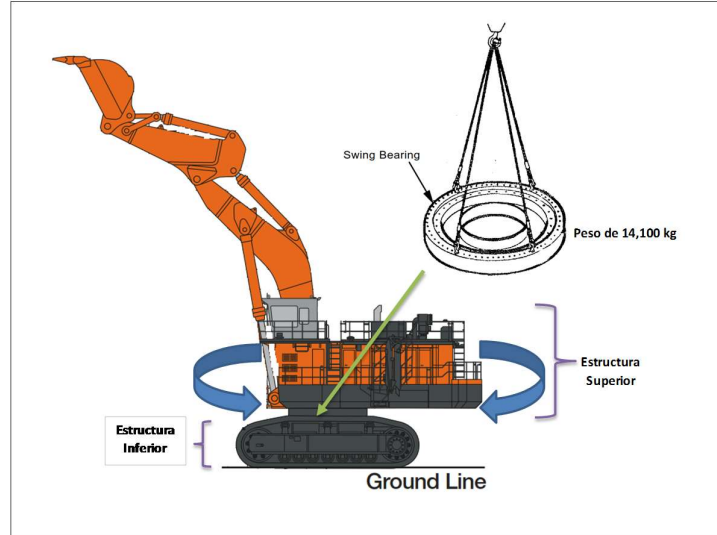
Producción 2016 Real

PRODUCCIÓN MINERA METÁLICA DE ORO (Grs.f) - 2016/2015

UNIDAD	REGION	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio Gr/Mes
CHAUPILOMA SUR	CAJAMARCA	1,378,950	1,739,270	1,380,894	951,940	959,029	1,092,563	811,059	1,262,301	932,805	305,458	348,671	513,476	973,035
CHAUPILOMA OESTE	CAJAMARCA	402,856	412,097	249,500	289,012	155,323	244,010	217,680	237,652	196,683	232,339	421,257	1,220,868	356,606
CHAUPILOMA NORTE	CAJAMARCA	42,495	44,241	146,857	55,876	32,549	22,416	18,623	29,187	19,643	29,934	43,760	49,920	44,625
ACUMULACION CHAQUICOCHA	CAJAMARCA	0	0	224,325	309,949	345,435	379,270	309,070	230,095	319,466	1,220,956	863,751	89,317	357,636
	Totales	1,824,301	2,195,608	2,001,577	1,606,776	1,492,336	1,738,259	1,356,433	1,759,234	1,468,597	1,788,686	1,677,438	1,873,580	1,723,181

Fuente: Información del Ministerio de Energía y Minas

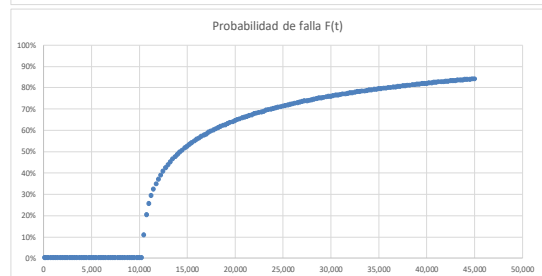
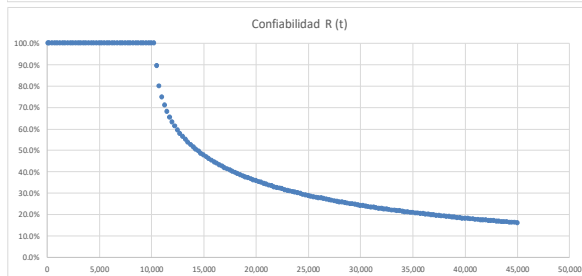
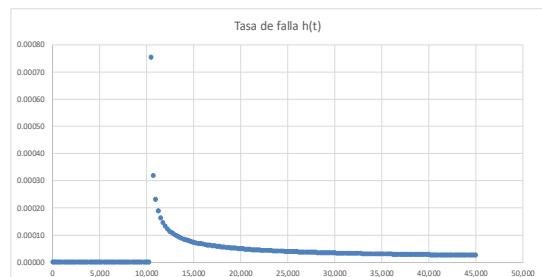
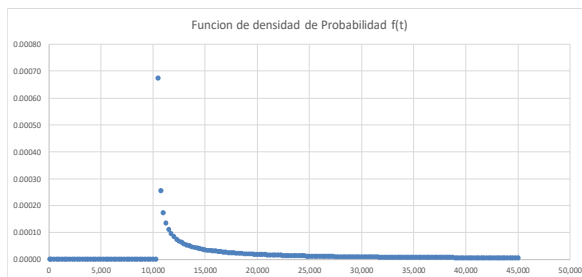
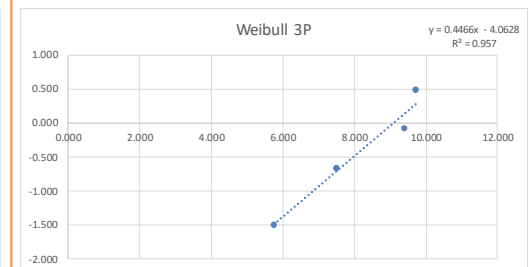
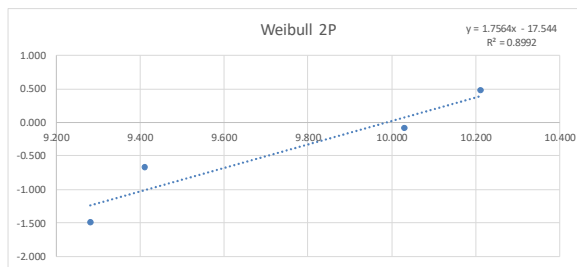
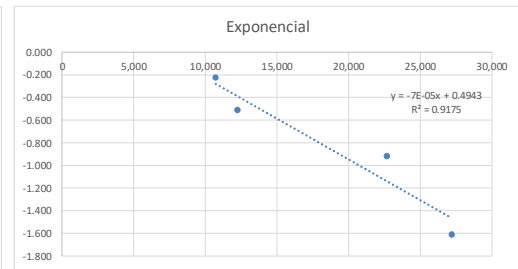
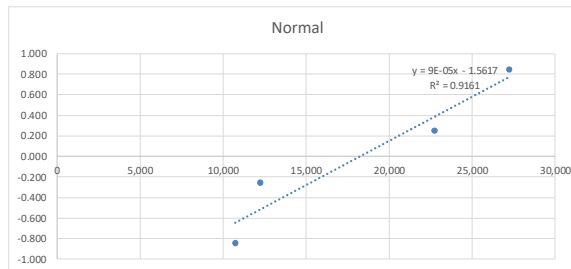
Anexo 5. Resultados del Swing Bearing.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (t#)	Delta	F(t)	R(t)
Swing Bearing SH007		New	Condición	56460.1	65994.9	9,535	1	9,535	1	0%	100%
Swing Bearing SH007		New	Correctivo	65994.9	76742.5	10,748	2	10,748	0	20%	80%
Swing Bearing SH001		New	Correctivo	101195	113439	12,244	3	12,244	0	40%	60%
Swing Bearing SH002		New	Correctivo	89642.9	112358.6	22,716	4	22,716	0	60%	40%
Swing Bearing SH004		New	Correctivo	80044.3	107276.1	27,232	5	27,232	0	80%	20%

N °(i)	Swing Bearing			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (t#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	20%	80%	10,748	-0.842	10,748	-0.223	9.282	-1.500	5.749	-1.500
2	12,244	40%	60%	12,244	-0.253	12,244	-0.511	9.413	-0.672	7.501	-0.672
3	22,716	60%	40%	22,716	0.253	22,716	-0.916	10.031	-0.087	9.416	-0.087
4	27,232	80%	20%	27,232	0.842	27,232	-1.609	10.212	0.476	9.729	0.476
4	N										
				σ	11676.59	λ	0.00007	β	1.76	β	0.45
				μ	18235	MTTF	13928	η	21,772	η	8,930
				R2	0.9161	R2	0.9175	MTTF	19,386	MTTF	32,948
								R2	0.8992	R2	0.9570
								g	0	g	10,434

Fuente Elaboración Propia



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Swing Bearing
Cantidad en máquina	1
Estado	nuevo
Hrs de reemplazo de fábrica	28,000
Hrs de instalacion en máquina	240
días de reparacion TAT	30
Costo del componente USD	241,876
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	245,476
Cic USD	245,476
Cfp USD	0
Factor del costo de falla	3
Cfc USD	736,427

Datos Weibull del Swing Beraring	
Forma β	0.45
Escala η	8,930
Localizacion g	10,434
Vida Esperada MTTF	32,948
Vida Característica	19,363
Vida B10	10,491
Desviacion estandar σ	1.85
Mediana μ	8.46

Hrs (t)	R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	100	2,455	2,455
250	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	250	982	982
500	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	500	491	491
750	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	750	327	327
1,000	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	1,000	245	245
9,000	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	9,000	27	27
9,250	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	9,250	27	27
9,500	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	9,500	26	26
9,750	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	9,750	25	25
10,000	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	10,000	25	25
10,250	100.0%	0%	#jNUM!	#jNUM!	10,250	24	24
10,500	89.4%	11%	0.00075	0.00067	10,495	31	23
27,500	26.3%	74%	0.00003	0.00001	17,544	45	14
27,750	26.1%	74%	0.00003	0.00001	17,609	45	14
28,000	25.9%	74%	0.00003	0.00001	17,674	45	14
28,250	25.6%	74%	0.00003	0.00001	17,739	45	14
28,500	25.4%	75%	0.00003	0.00001	17,802	45	14
43,000	16.8%	83%	0.00002	0.00000	20,789	41	12
43,250	16.7%	83%	0.00002	0.00000	20,831	41	12
43,500	16.6%	83%	0.00002	0.00000	20,872	41	12
43,750	16.5%	83%	0.00002	0.00000	20,914	41	12
44,000	16.4%	84%	0.00002	0.00000	20,955	41	12
44,250	16.3%	84%	0.00002	0.00000	20,996	41	12
44,500	16.2%	84%	0.00002	0.00000	21,037	41	12
44,750	16.1%	84%	0.00002	0.00000	21,077	41	12
45,000	16.0%	84%	0.00002	0.00000	21,117	41	12

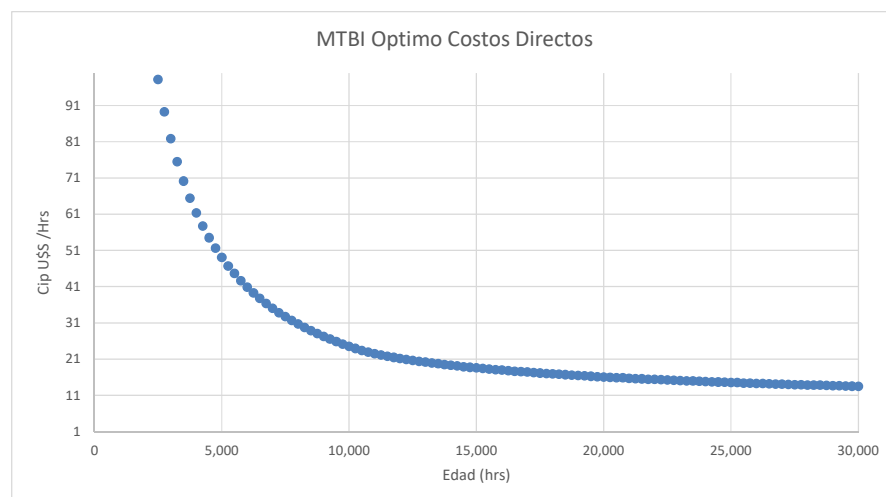
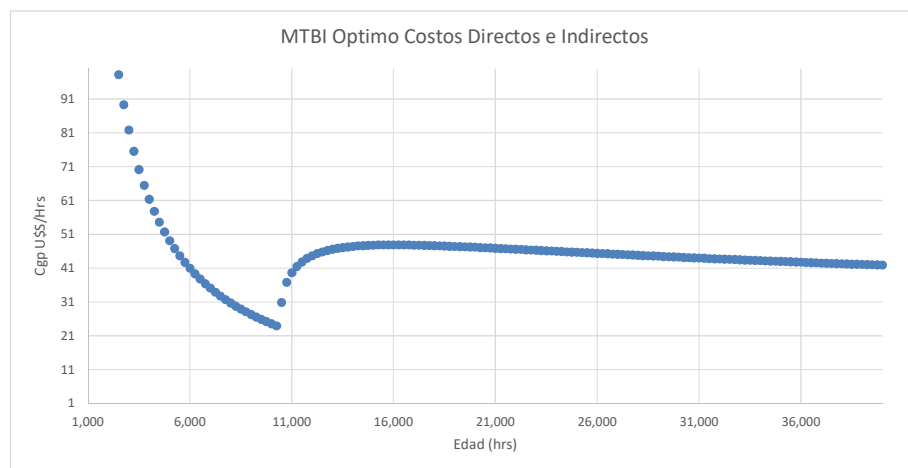
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBIfc cambio hasta la falla	32,948
Confiabilidad	22%
Costo global correct \$/hr	30

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	28,000
Confiabilidad	26%
Costo global recomendado \$/hr	45

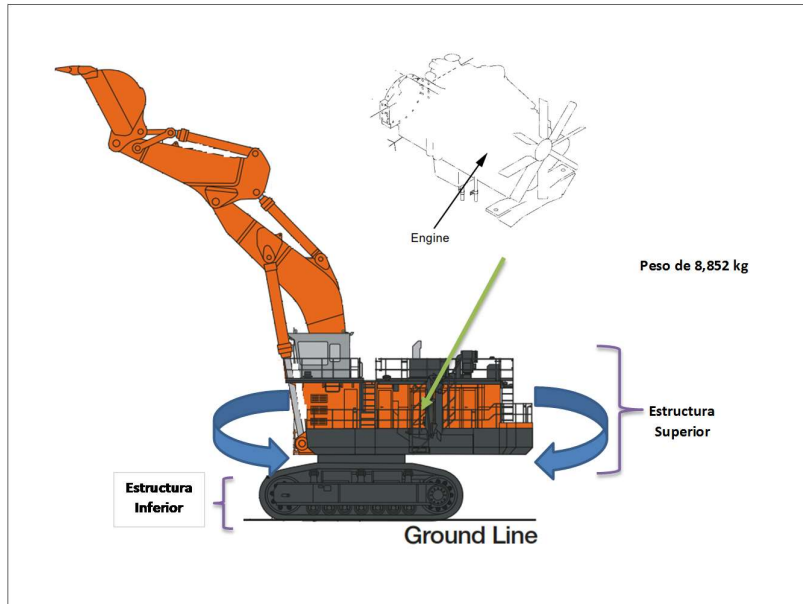
Política Preventiva C. Generales	
MTBIfp preventivo	10,250
Confiabilidad	100%
Costo global preventivo \$/hr	24

Política Preventiva C Directos	
MTBIfp preventivo	45,000
Confiabilidad	16%
Costo Directos preventivos \$/hr	12



Fuente: Elaboración propia.

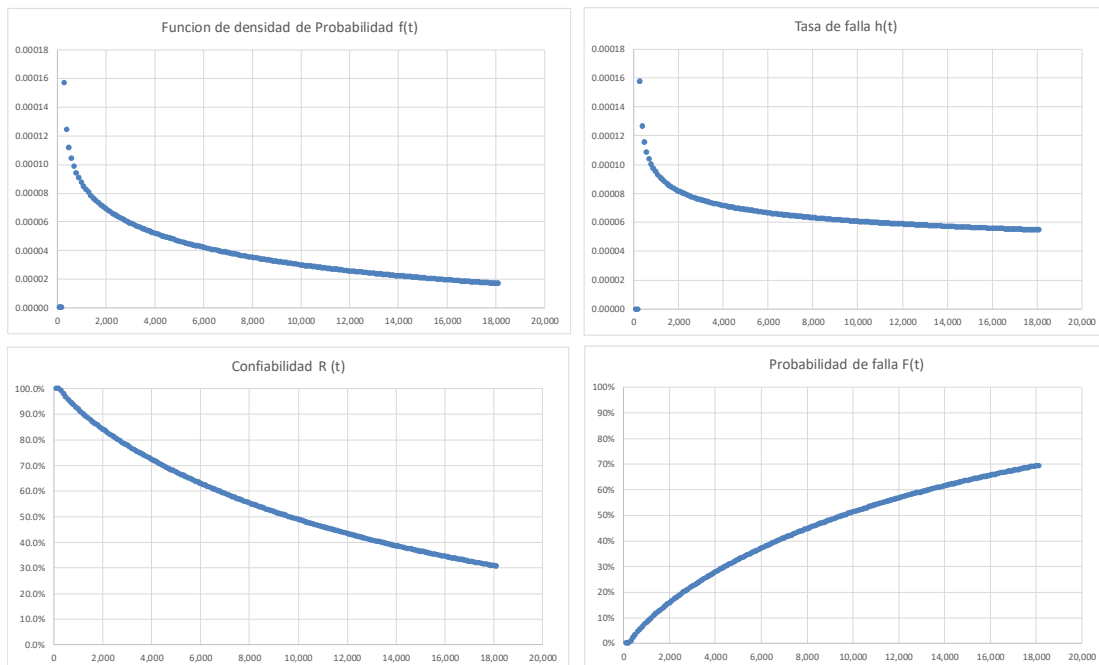
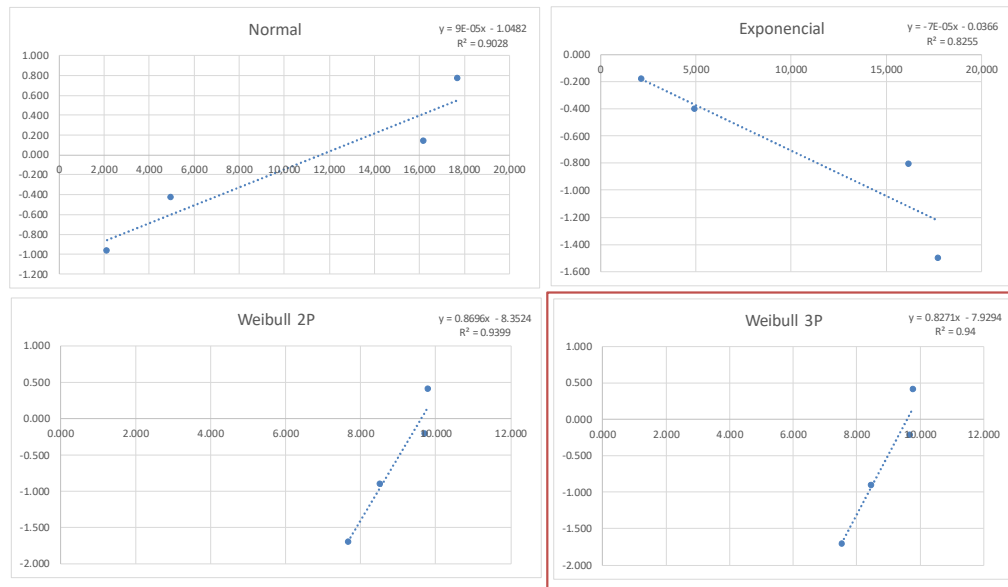
Anexo 6. Resultados del Engine.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N *(i)	TTF (#)	Delta	F(t)	R(t)
Engine	SH007	New	Correctivo	43145.8	45284	2,138	1	2,138	0	17%	83%
Engine	SH007	New	Correctivo	43145.8	48114	4,968	2	4,968	0	33%	67%
Engine	SH007	New	Condición	48114	63913	15,799	3	15,799	1	33%	67%
Engine	SH003	New	Correctivo	74436	90633	16,197	4	16,197	0	56%	44%
Engine	SH004	New	Correctivo	81308	99028	17,720	5	17,720	0	78%	22%

N *(i)	Engine				Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))	
1	2,138	17%	83%	2,138	-0.967	2,138	-0.182	7.668	-1.702	7.538	-1.702	
2	4,968	33%	67%	4,968	-0.431	4,968	-0.405	8.511	-0.903	8.457	-0.903	
3	16,197	56%	44%	16,197	0.140	16,197	-0.811	9.693	-0.210	9.676	-0.210	
4	17,720	78%	22%	17,720	0.765	17,720	-1.504	9.782	0.408	9.768	0.408	
4	N											
				σ	11090.64	λ	0.00007	β	0.87	β	0.83	
				μ	11625	MTTF	14884	η	14841	η	14,574	
				R2	0.9028	R2	0.8255	MTTF	15924	MTBF	16,397	
								R2	0.9399	R2	0.9400	
								g	0	g	260	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Datos Weibull del Engine	
Nombre	Engine	Forma β	0.83
Cantidad en máquina	2	Escala η	14,574
Estado	nuevo	Localizacion θ	260
Hrs de reemplazo de fábrica	13,500	Vida Esperada MTTF	16,397
Hrs de instalacion en máquina	30	Vida Característica	14,834
días de reparacion TAT	45	Vida B10	1,220
Costo del componente USD	359,671	Desviacion estandar σ	1.06
Costo Mano Obra USD / hr	15	Mediana μ	9.07
Cip USD	360,121		
Cic USD	360,121		
Cfp USD	0		
Factor del costo de falla	3		
Cfc USD	1,080,363		

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	100	3,601	3,601
200	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	200	1,801	1,801
300	99.2%	1%	0.00016	0.00016	300	1,228	1,201
400	97.9%	2%	0.00013	0.00012	398	961	904
500	96.7%	3%	0.00012	0.00011	496	798	727
13,300	40.2%	60%	0.00006	0.00002	8,436	119	43
13,400	39.9%	60%	0.00006	0.00002	8,476	119	42
13,500	39.7%	60%	0.00006	0.00002	8,516	119	42
13,600	39.5%	61%	0.00006	0.00002	8,555	119	42
13,700	39.3%	61%	0.00006	0.00002	8,595	118	42
16,100	34.3%	66%	0.00006	0.00002	9,475	113	38
16,200	34.1%	66%	0.00006	0.00002	9,509	113	38
16,397	33.7%	66%	0.00006	0.00002	9,576	112	38
16,400	33.7%	66%	0.00006	0.00002	9,577	112	38
16,500	33.5%	67%	0.00006	0.00002	9,611	112	37
17,400	31.9%	68%	0.00006	0.00002	9,905	111	36
17,500	31.7%	68%	0.00006	0.00002	9,937	111	36
17,600	31.5%	68%	0.00006	0.00002	9,968	110	36
17,700	31.3%	69%	0.00006	0.00002	10,000	110	36
17,800	31.2%	69%	0.00005	0.00002	10,031	110	36
17,900	31.0%	69%	0.00005	0.00002	10,062	110	36
18,000	30.8%	69%	0.00005	0.00002	10,093	110	36
18,100	30.7%	69%	0.00005	0.00002	10,124	110	36

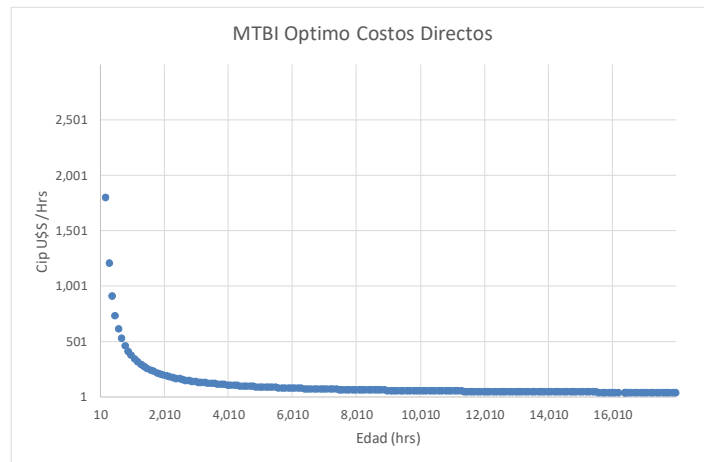
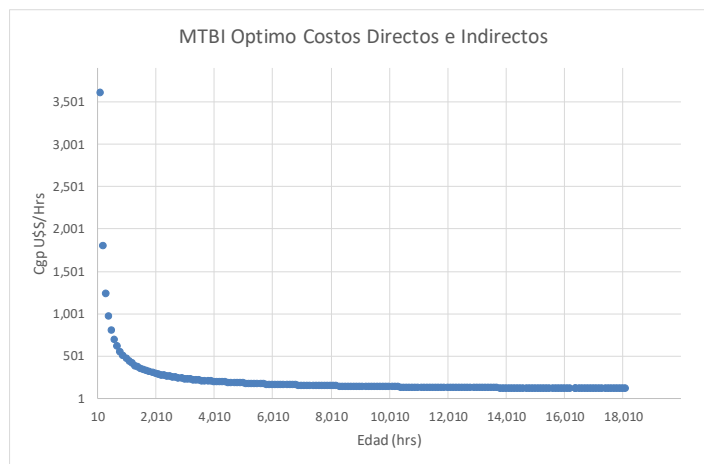
Fuente: Elaboración propia.

Politica Correctiva Falla	
MTBIc cambio hasta la falla	16,397
Confiabilidad	34%
Costo global correct \$/hr	88

Politica Preventiva Actual	
MTBI Actual	13,500
Confiabilidad	40%
Costo global recomendado \$/hr	119

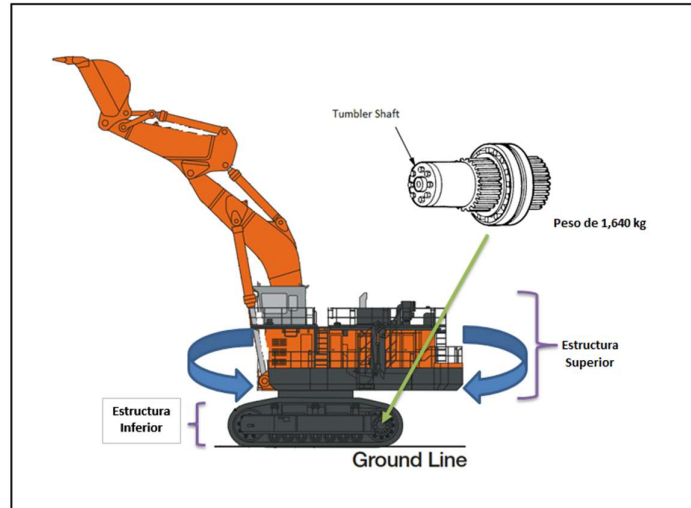
Politica Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	18,100
Confiabilidad	31%
Costo global preventivo \$/hr	110

Politica Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	18,100
Confiabilidad	31%
Costo Directos preventivos \$/hr	36



Fuente: Elaboración propia.

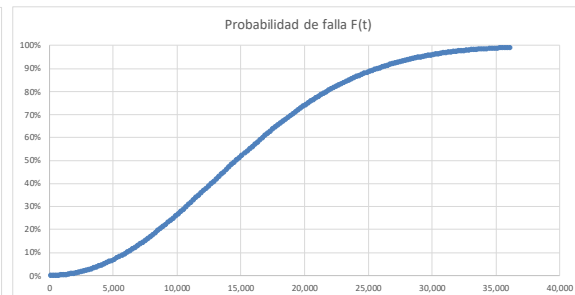
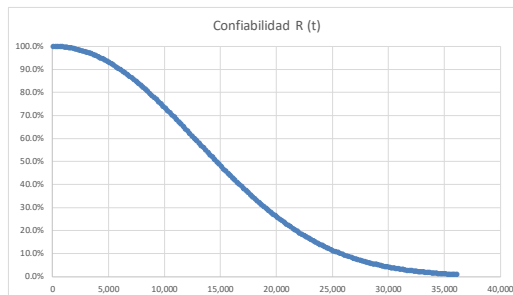
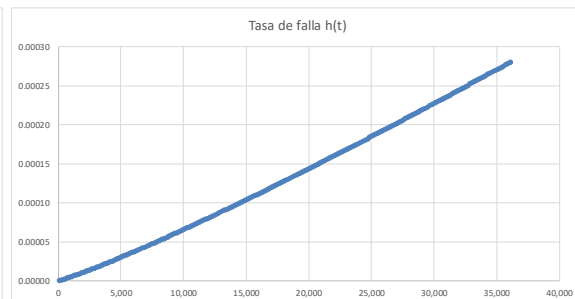
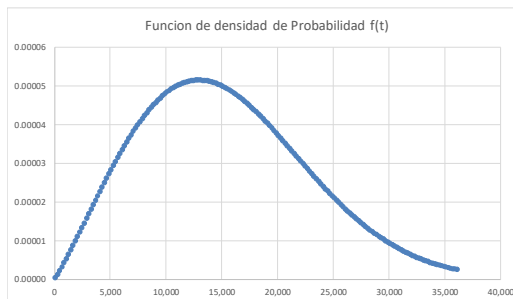
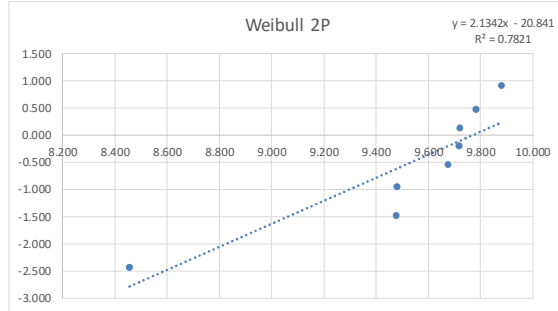
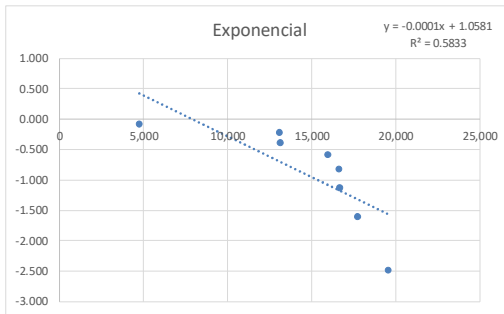
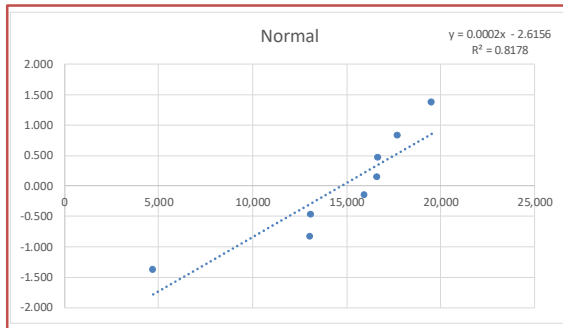
Anexo 7. Resultados del Tumbler Shaft.



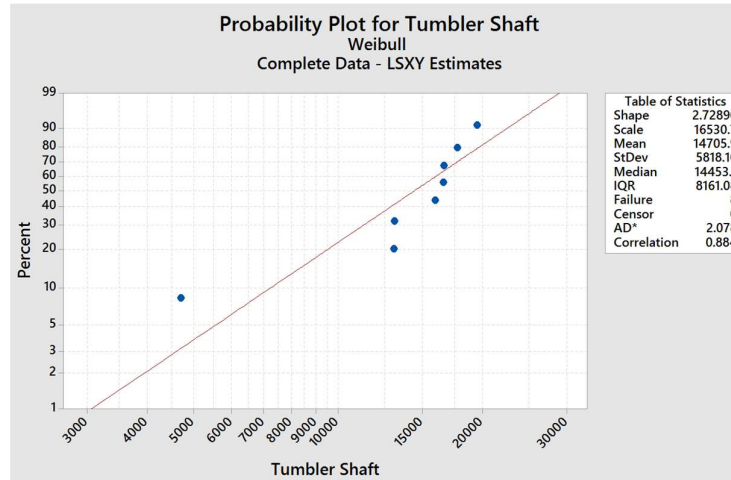
Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)
Tumbler Shaft	SH007	New	Correctivo	43145.8	47856	4710	1	4,710	8%	92%
Tumbler Shaft	SH004	New	Correctivo	74678.5	87756	13078	2	13,078	20%	80%
Tumbler Shaft	SH001	New	Correctivo	100317.4	113439	13122	3	13,122	32%	68%
Tumbler Shaft	SH005	New	Correctivo	78422	94371	15949	4	15,949	44%	56%
Tumbler Shaft	SH001	New	Correctivo	96818	113439	16621	5	16,621	56%	44%
Tumbler Shaft	SH007	New	Correctivo	60080.4	76742.5	16662	6	16,662	68%	32%
Tumbler Shaft	SH005	New	Correctivo	76642	94371	17729	7	17,729	80%	20%
Tumbler Shaft	SH004	New	Correctivo	87756	107276.1	19520	8	19,520	92%	8%

N °(i)	Tumbler Shaft				Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))	
1	4,710	8%	92%	4,710	-1.383	4,710	-0.087	8.457	-2.442	8.457	-2.442	
2	13,078	20%	80%	13,078	-0.833	13,078	-0.226	9.479	-1.487	9.479	-1.487	
3	13,122	32%	68%	13,122	-0.464	13,122	-0.388	9.482	-0.947	9.482	-0.947	
4	15,949	44%	56%	15,949	-0.150	15,949	-0.581	9.677	-0.544	9.677	-0.544	
5	16,621	56%	44%	16,621	0.150	16,621	-0.820	9.718	-0.199	9.718	-0.199	
6	16,662	68%	32%	16,662	0.464	16,662	-1.135	9.721	0.127	9.721	0.127	
7	17,729	80%	20%	17,729	0.833	17,729	-1.598	9.783	0.469	9.783	0.469	
8	19,520	92%	8%	19,520	1.383	19,520	-2.485	9.879	0.910	9.879	0.910	
8	N											
				σ	5610.11	λ	0.00013	β	2.13	β	2.13	
				μ	14674	MTTF	7437	η	17,422	η	17,422	
				R2	0.8178	R2	0.5833	MTTF	15,429	MTBF	15,429	
								R2	0.7821	R2	0.7821	
								g	0	g	0	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



05/15/2017 1:29:51 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Tumbler Shaft

Variable: Tumbler Shaft

Censoring Information Count
Uncensored value 8

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	2.72890	2.25686	0.539540	13.8023
Scale	16530.7	2449.03	12364.8	22100.3

Log-Likelihood = -79.099

Goodness-of-Fit
Anderson-Darling (adjusted) = 2.078
Correlation Coefficient = 0.884

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	14705.9	2081.00	11144.0	19406.3
Standard Deviation	5818.10	4489.72	1282.11	26402.0
Median	14453.1	2226.16	10687.0	19546.5
First Quartile (Q1)	10471.6	3755.37	5184.99	21148.2
Third Quartile (Q3)	18632.6	3780.21	12519.3	27731.1
Interquartile Range (IQR)	8161.08	6291.45	1801.14	36978.3

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Datos Weibull del Tumbler Shaft	
Nombre	Tumbler Shaft	Forma β	2.13
Cantidad en máquina	2	Escala η	17,422
Estado	nuevo	Localizacion g	0
Hrs de reemplazo de fábrica	14,000	Vida Esperada MTTF	15,429
Hrs de instalacion en máquina	36	Vida Característica	17,422
dias de reparacion TAT	30	Vida B10	6,069
Costo del componente USD	34,697	Desviacion estandar σ	0.45
Costo Mano Obra USD / hr	15	Mediana μ	9.70
Cip USD	35,237		
Cic USD	35,237		
Cfp USD	0		
Factor del costo de falla	3		
Cfc USD	105,710		

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	0.00000	0.00000	100	352	352
300	100.0%	0%	0.00000	0.00000	300	118	117
500	99.9%	0%	0.00000	0.00000	500	71	70
700	99.9%	0%	0.00000	0.00000	700	51	50
900	99.8%	0%	0.00000	0.00000	899	39	39
9,700	75.1%	25%	0.00006	0.00005	8,884	7	4
9,900	74.1%	26%	0.00006	0.00005	9,033	7	4
10,100	73.2%	27%	0.00007	0.00005	9,180	6.9	4
10,300	72.2%	28%	0.00007	0.00005	9,326	7	4
10,500	71.2%	29%	0.00007	0.00005	9,469	7	4
13,700	54.9%	45%	0.00009	0.00005	11,490	7	3
13,900	53.9%	46%	0.00009	0.00005	11,598	7	3
14,000	53.4%	47%	0.00010	0.00005	11,652	7	3
14,300	51.9%	48%	0.00010	0.00005	11,810	7	3
14,500	50.9%	49%	0.00010	0.00005	11,913	7	3
34,700	1.3%	99%	0.00027	0.00000	15,385	9	2
34,900	1.2%	99%	0.00027	0.00000	15,388	9	2
35,100	1.2%	99%	0.00027	0.00000	15,390	9	2
35,300	1.1%	99%	0.00027	0.00000	15,393	9	2
35,500	1.0%	99%	0.00027	0.00000	15,395	9	2
35,700	1.0%	99%	0.00028	0.00000	15,397	9	2
35,900	0.9%	99%	0.00028	0.00000	15,399	9	2
36,100	0.9%	99%	0.00028	0.00000	15,400	9	2

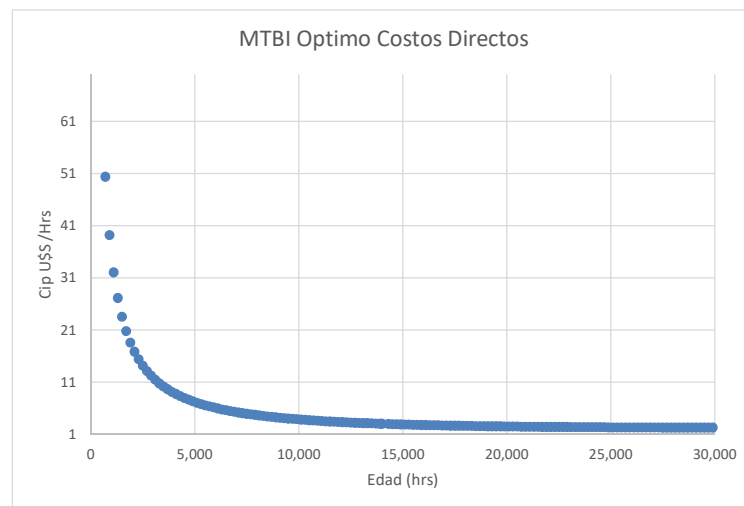
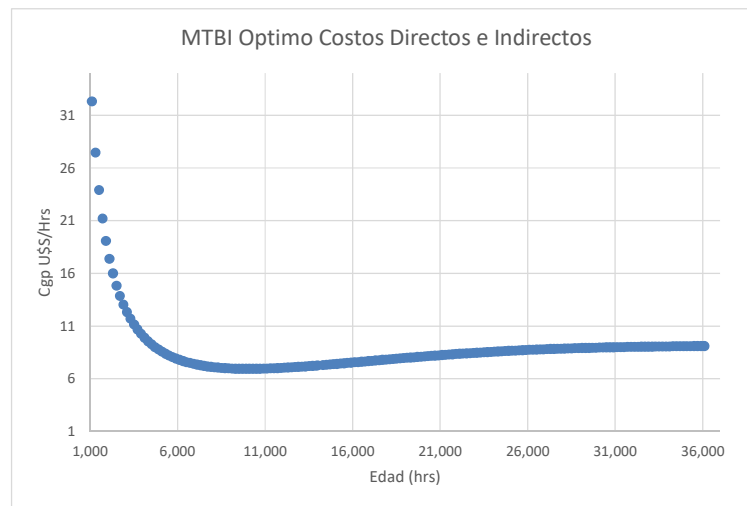
Fuente: Elaboración propia.

Politica Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	15,429
Confiabilidad	46%
Costo global correct \$/hr	9

Politica Preventiva Actual	
MTBI Actual	14,000
Confiabilidad	53%
Costo global recomendado \$/hr	7.29

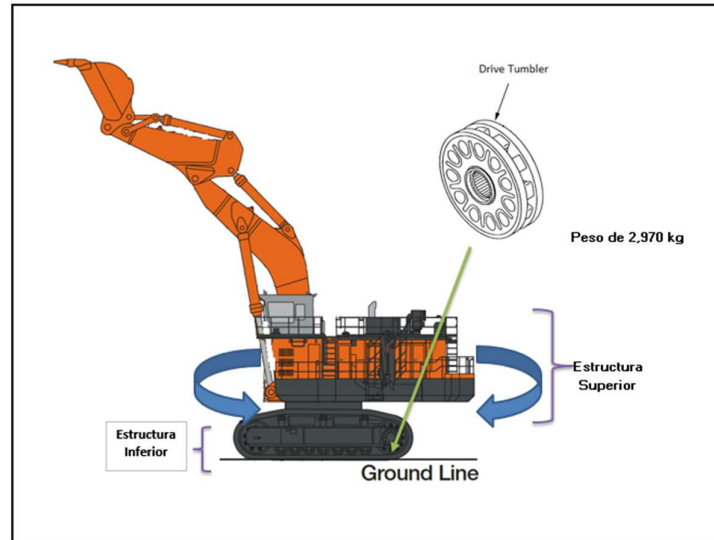
Politica Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	10,100
Confiabilidad	73%
Costo global preventivo \$/hr	6.93

Politica Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	20,500
Confiabilidad	24%
Costo Directos preventivos \$/hr	2.29



Fuente: Elaboración propia.

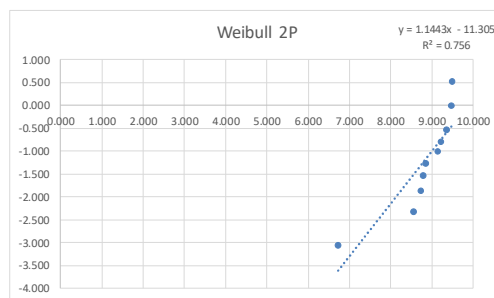
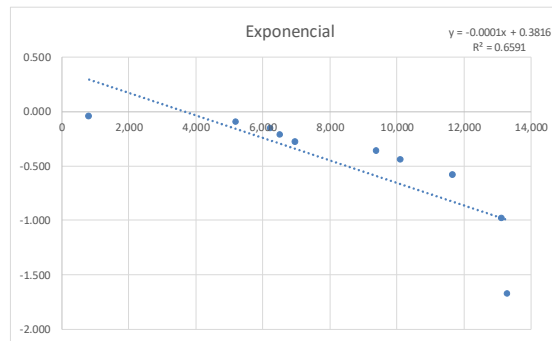
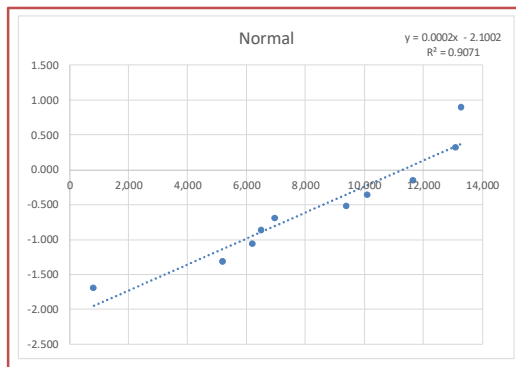
Anexo 8. Resultados del Drive Tumbler.



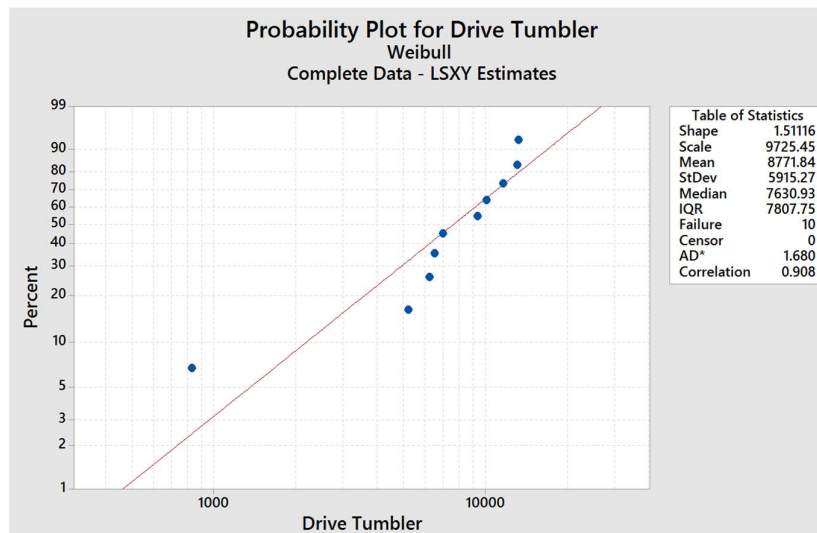
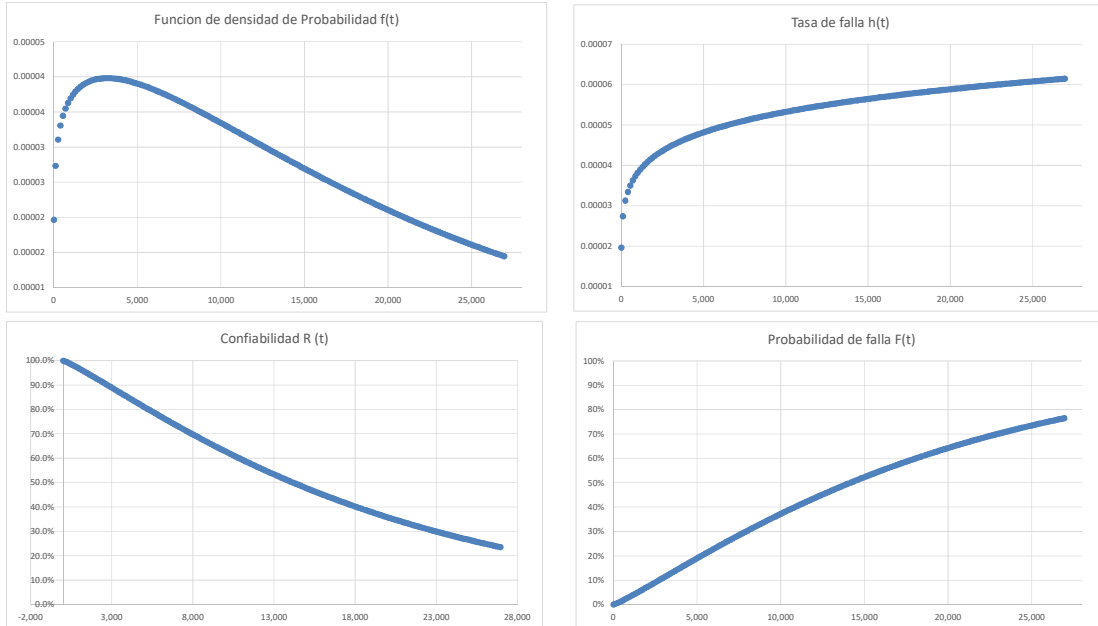
Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (ti)	Delta	F(t)	R(t)
Drive Tumbler	SH007	New	Correctivo	75913	76742.5	829.5	1	830	0	5%	95%
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	53978.7	56460.1	2481.4	2	2,481	1	5%	95%
Drive Tumbler	SH007	New	Correctivo	71532	76742.5	5210.5	3	5,211	0	9%	91%
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	47856.7	53978.7	6122	4	6,122	1	9%	91%
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	101045	107276.1	6231.1	5	6,231	0	14%	86%
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	100745	107276.1	6531.1	6	6,531	0	19%	81%
Drive Tumbler	SH002	New	Correctivo	105380.2	112358.6	6978.4	7	6,978	0	24%	76%
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	82577.7	89642.9	7065.2	8	7,065	1	24%	76%
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	102351.4	111483	9131.6	9	9,132	1	24%	76%
Drive Tumbler	SH001	New	Correctivo	87418	96818	9400	10	9,400	0	30%	70%
Drive Tumbler	SH005	New	Correctivo	76642	86758.4	10116.4	11	10,116	0	36%	64%
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	49462	60080.4	10618.4	12	10,618	1	36%	64%
Drive Tumbler	SH004	New	Condición	75811.7	86785.8	10974.1	13	10,974	1	36%	64%
Drive Tumbler	SH007	New	Condición	60080.4	71532	11451.6	14	11,452	1	36%	64%
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	74678.5	86348.8	11670.3	15	11,670	0	44%	56%
Drive Tumbler	SH005	New	Condición	78418	90953	12535	16	12,535	1	44%	56%
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	80444	93021.9	12577.9	17	12,578	1	44%	56%
Drive Tumbler	SH003	New	Condición	80428.7	93110.3	12681.6	18	12,682	1	44%	56%
Drive Tumbler	SH002	New	Condición	89642.9	102351.4	12708.5	19	12,709	1	44%	56%
Drive Tumbler	SH001	New	Correctivo	100317.4	113439	13121.6	20	13,122	0	63%	37%
Drive Tumbler	SH004	New	Correctivo	87756	101045	13289	21	13,289	0	81%	19%

Fuente: Elaboración propia.

N ^o (i)	Drive Tumbler			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	Y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
0	830	5%	95%	830	-1.691	830	-0.047	6.721	-3.068	6.721	-3.068
2	5,211	9%	91%	5,211	-1.321	5,211	-0.098	8.558	-2.325	8.558	-2.325
3	6,231	14%	86%	6,231	-1.064	6,231	-0.155	8.737	-1.865	8.737	-1.865
4	6,531	19%	81%	6,531	-0.863	6,531	-0.216	8.784	-1.534	8.784	-1.534
5	6,978	24%	76%	6,978	-0.692	6,978	-0.280	8.851	-1.272	8.851	-1.272
6	9,400	30%	70%	9,400	-0.517	9,400	-0.360	9.148	-1.021	9.148	-1.021
7	10,116	36%	64%	10,116	-0.357	10,116	-0.447	9.222	-0.805	9.222	-0.805
8	11,670	44%	56%	11,670	-0.150	11,670	-0.581	9.365	-0.543	9.365	-0.543
9	13,122	63%	37%	13,122	0.324	13,122	-0.986	9.482	-0.014	9.482	-0.014
10	13,289	81%	19%	13,289	0.891	13,289	-1.679	9.495	0.518	9.495	0.518
10	N										
				σ	5358.45	λ	0.00010	β	1.14	β	1.14
				μ	11254	MTTF	9622	η	19512	η	19512
				R2	0.9071	R2	0.6591	MTTF	18596	MTBF	18596
								R2	0.7560	R2	0.7560
								g	0	g	0



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

05/15/2017 2:37:25 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Drive Tumbler

Variable: Drive Tumbler

Censoring Information Count
Uncensored value 10

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	1.51116	0.842890	0.506443	4.50911
Scale	9725.45	2237.09	6196.02	15265.4

Log-Likelihood = -98.047

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 1.680

Correlation Coefficient = 0.908

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	8771.84	2200.06	5365.40	14341.0
Standard Deviation	5915.27	3917.49	1615.29	21661.9
Median	7630.93	1861.09	4731.29	12307.7
First Quartile (Q1)	4264.32	2020.54	1684.72	10793.7
Third Quartile (Q3)	12072.1	3369.41	6985.61	20862.1
Interquartile Range (IQR)	7807.75	4148.59	2755.79	22121.0

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos							
Nombre		Drive Tumbler					
Cantidad en máquina		2					
Estado		nuevo					
Hrs de reemplazo de fábrica		14,000					
Hrs de instalacion en máquina		36					
dias de reparacion TAT		15					
Costo del componente USD		4,427					
Costo Mano Obra USD / hr		15					
Cip USD		4,967					
Cic USD		4,967					
Cfp USD		0					
Factor del costo de falla		3					
Cfc USD		14,902					
				Datos Weibull de Drive Tumbler			
				Forma β		1.14	
				Escala η		19,512	
				Localizacion θ		0	
				Vida Esperada MTTF		18,596	
				Vida Característica		19,512	
				Vida B10		2,730	
				Desviacion estandar σ		0.83	
				Mediana μ		8.82	
Hrs	R	CDF	λ	PDF	MTBI (p)	Cgp. general	Cgp. Directo
(t)	R (t)	F(t)	h(t)	f(t)	Hrs	\$/hr	\$/hr
10	100.0%	0%	0.00002	0.00002	10	497.02	496.77
100	99.8%	0%	0.00003	0.00003	100	50.09	49.73
250	99.3%	1%	0.00003	0.00003	249	20.34	19.93
400	98.8%	1%	0.00003	0.00003	398	12.92	12.49
550	98.3%	2%	0.00004	0.00003	546	9.56	9.10
13,900	50.7%	49%	0.00006	0.00003	10,332	1.19	0.48
14,000	50.5%	50%	0.00006	0.00003	10,382	1.19	0.48
14,200	49.9%	50%	0.00006	0.00003	10,483	1.19	0.47
14,350	49.5%	51%	0.00006	0.00003	10,557	1.18	0.47
14,500	49.1%	51%	0.00006	0.00003	10,631	1.18	0.47
18,250	39.6%	60%	0.00006	0.00002	12,288	1.14	0.40
18,400	39.3%	61%	0.00006	0.00002	12,347	1.14	0.40
18,596	38.8%	61%	0.00006	0.00002	12,424	1.13	0.40
18,700	38.6%	61%	0.00006	0.00002	12,464	1.13	0.40
18,850	38.2%	62%	0.00006	0.00002	12,522	1.13	0.40
25,900	25.1%	75%	0.00006	0.00002	14,725	1.10	0.34
26,050	24.9%	75%	0.00006	0.00002	14,763	1.09	0.34
26,200	24.6%	75%	0.00006	0.00002	14,800	1.09	0.34
26,350	24.4%	76%	0.00006	0.00001	14,837	1.09	0.33
26,500	24.2%	76%	0.00006	0.00001	14,873	1.09	0.33
26,650	24.0%	76%	0.00006	0.00001	14,909	1.09	0.33
26,800	23.7%	76%	0.00006	0.00001	14,945	1.09	0.33
26,950	23.5%	76%	0.00006	0.00001	14,980	1.09	0.33

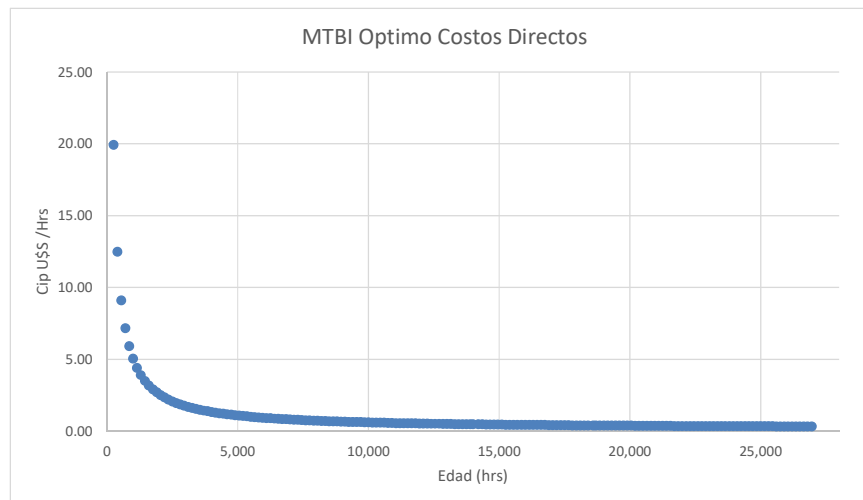
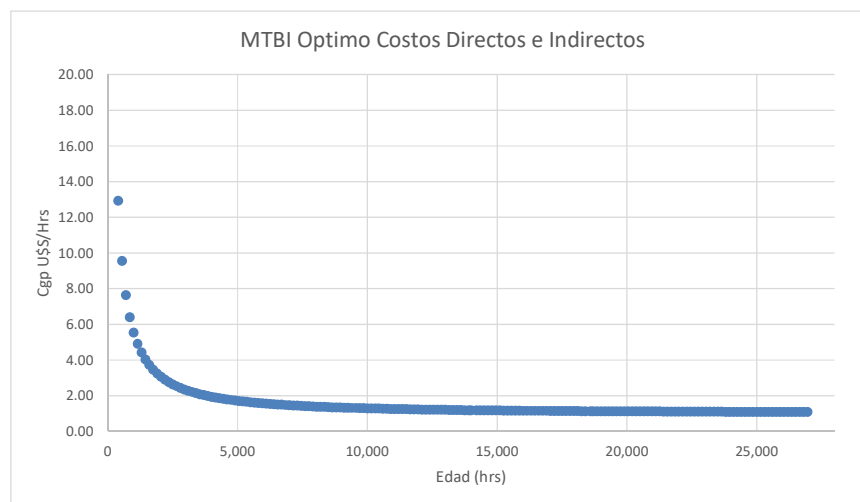
Fuente: Elaboración propia.

Politica Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	18,596
Confiabilidad	39%
Costo global correct \$/hr	1.07

Politica Preventiva Actual	
MTBI Actual	14,000
Confiabilidad	50%
Costo global recomendado \$/hr	1.19

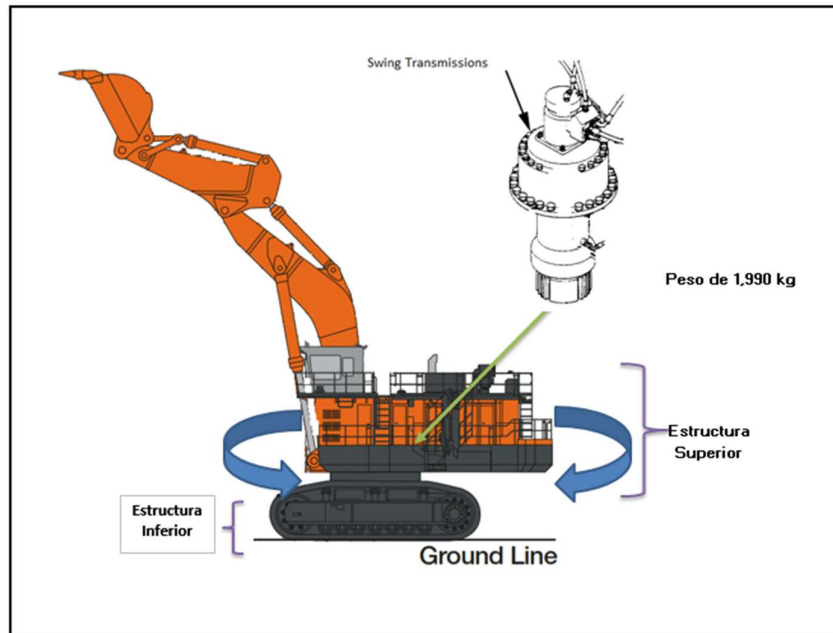
Politica Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	26,950
Confiabilidad	24%
Costo global preventivo \$/hr	1.09

Politica Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	26,950
Confiabilidad	24%
Costo Directos preventivos \$/hr	0.33



Fuente: Elaboración propia.

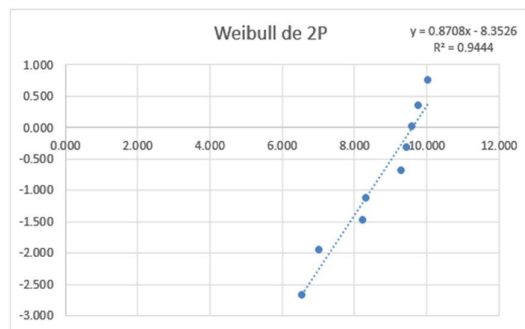
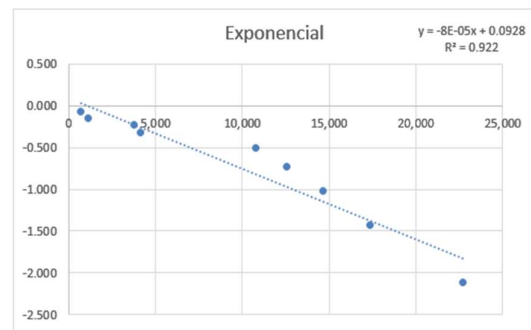
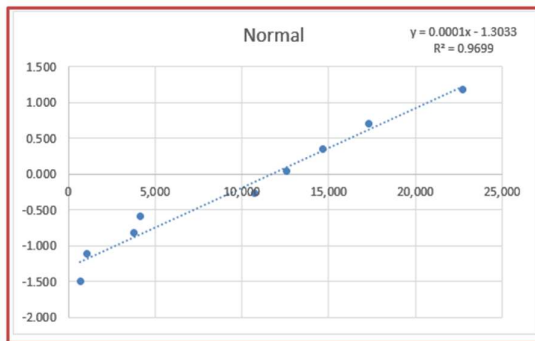
Anexo 9. Resultados del Swing Transmision.



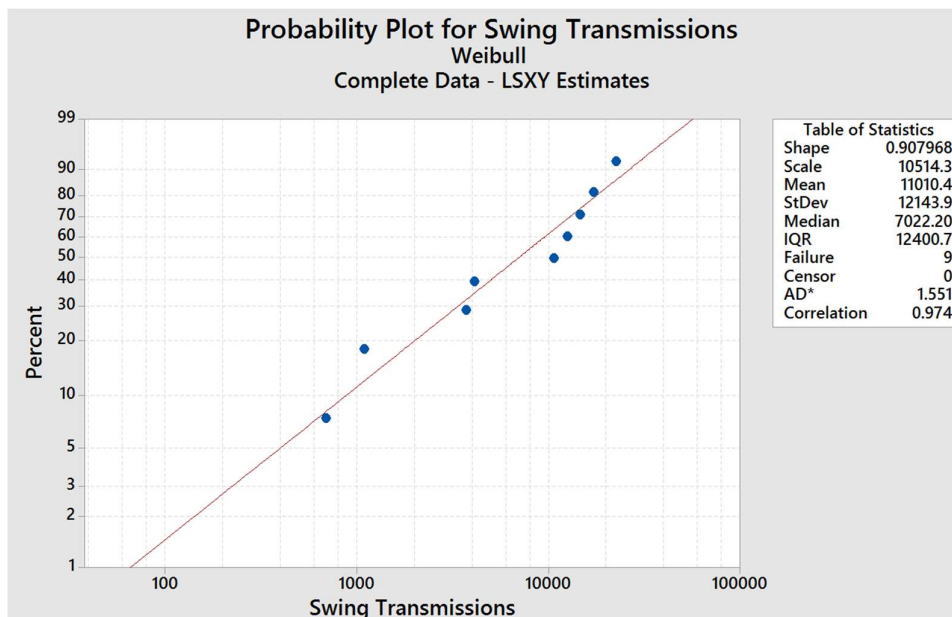
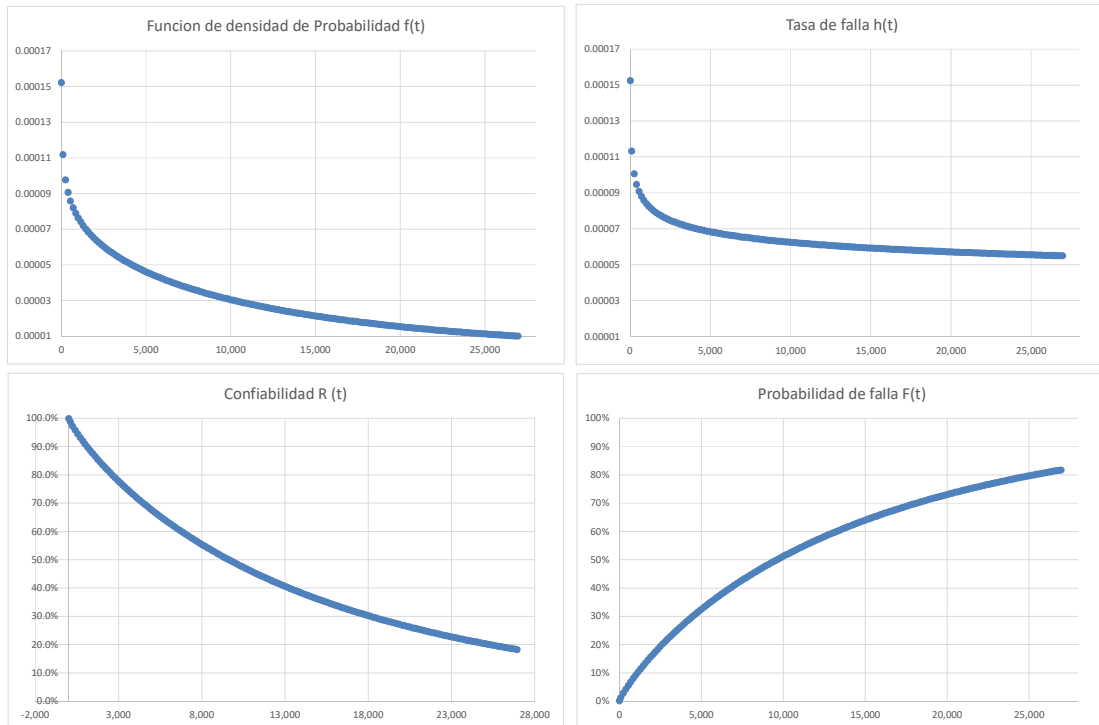
Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#)	Delta	F(t)	R(t)
Swing Transmissions	SH003	New	Correctivo	91467.2	92161.6	694.4	1	694	0	7%	93%
Swing Transmissions	SH005	New	Correctivo	93276	94371	1095	2	1,095	0	13%	87%
Swing Transmissions	SH007	New	Condición	53212.5	56460.1	3247.6	3	3,248	1	13%	87%
Swing Transmissions	SH007	New	Correctivo	49462	53212.5	3750.5	4	3,751	0	21%	79%
Swing Transmissions	SH002	New	Correctivo	89642.9	93763.3	4120.4	5	4,120	0	28%	72%
Swing Transmissions	SH007	New	Condición	65994.9	74275	8280.1	6	8,280	1	28%	72%
Swing Transmissions	SH004	New	Condición	89109.4	98213.7	9104.3	7	9,104	1	28%	72%
Swing Transmissions	SH004	new	Condición	92233.5	102058	9824.5	8	9,825	1	28%	72%
Swing Transmissions	SH007	New	Condición	65994.9	75913	9918.1	9	9,918	1	28%	72%
Swing Transmissions	SH007	New	Correctivo	65994.9	76742.5	10747.6	10	10,748	0	40%	60%
Swing Transmissions	SH004	New	Correctivo	94706.7	107276.1	12569.4	11	12,569	0	52%	48%
Swing Transmissions	SH004	New	Correctivo	80044.3	94706.7	14662.4	12	14,662	0	64%	36%
Swing Transmissions	SH002	New	Correctivo	95034	112358.6	17324.6	13	17,325	0	76%	24%
Swing Transmissions	SH002	New	Correctivo	89642.9	112358.6	22715.7	14	22,716	0	88%	12%

Fuente: Elaboración propia.

N °(i)	Swing Transmissions			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	694	7%	93%	694	-1.501	694	-0.069	6.543	-2.674	6.543	-2.674
2	1,095	13%	87%	1,095	-1.111	1,095	-0.143	6.999	-1.944	6.999	-1.944
3	3,751	21%	79%	3,751	-0.822	3,751	-0.230	8.230	-1.469	8.230	-1.469
4	4,120	28%	72%	4,120	-0.589	4,120	-0.325	8.324	-1.123	8.324	-1.123
5	10,748	40%	60%	10,748	-0.258	10,748	-0.508	9.282	-0.678	9.282	-0.678
6	12,569	52%	48%	12,569	0.046	12,569	-0.731	9.439	-0.313	9.439	-0.313
7	14,662	64%	36%	14,662	0.355	14,662	-1.019	9.593	0.018	9.593	0.018
8	17,325	76%	24%	17,325	0.704	17,325	-1.424	9.760	0.353	9.760	0.353
9	22,716	88%	12%	22,716	1.173	22,716	-2.117	10.031	0.750	10.031	0.750
9	N					λ	0.00008	β	0.87	β	0.87
				σ	9013.62			η	14,650	η	14650
				μ	11748	MTTF	11847	MTTF	15,706	MTBF	15706
				R2	0.9699	R2	0.9220	R2	0.9444	R2	0.9444
								g	0	g	0



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: *Elaboración propia.*

05/15/2017 2:47:27 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Swing Transmissions

Variable: Swing Transmissions

Censoring Information Count
Uncensored value 9

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	0.907968	0.355356	0.421630	1.95528
Scale	10514.3	4070.85	4922.89	22456.5

Log-Likelihood = -91.907

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 1.551

Correlation Coefficient = 0.974

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	11010.4	4648.25	4813.38	25185.7
Standard Deviation	12143.9	8413.99	3123.16	47219.3
Median	7022.20	3033.50	3011.37	16375.0
First Quartile (Q1)	2665.94	1843.67	687.366	10339.8
Third Quartile (Q3)	15066.6	6012.53	6891.80	32938.1
Interquartile Range (IQR)	12400.7	5691.90	5043.65	30489.2

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Datos Weibull de Swing Transmision	
Nombre	Swing Transmissions	Forma β	0.87
Cantidad en máquina	4	Escala η	14,650
Estado	nuevo	Localizacion θ	0
Hrs de reemplazo de fábrica	14,000	Vida Esperada MTTF	15,706
Hrs de instalacion en máquina	30	Vida Característica	14,650
días de reparacion TAT	30	Vida B10	1,105
Costo del componente USD	276,895	Desviacion estandar σ	1.25
Costo Mano Obra USD / hr	15	Mediana μ	9.28
Cip USD	277,345		
Cic USD	277,345		
Cfp USD	0		
Factor del costo de falla	3		
Cfc USD	832,034		

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
10	99.8%	0%	0.00015	0.00015	10	27,906.13	27,760.44
100	98.7%	1%	0.00011	0.00011	99	2,901.01	2,792.77
250	97.2%	3%	0.00010	0.00010	246	1,222.80	1,126.60
400	95.7%	4%	0.00009	0.00009	391	800.19	709.61
550	94.4%	6%	0.00009	0.00009	533	606.87	519.90
13,750	38.8%	61%	0.00006	0.00002	8,591	91.54	32.28
13,900	38.5%	62%	0.00006	0.00002	8,649	91.26	32.07
14,000	38.2%	62%	0.00006	0.00002	8,687	91.07	31.93
14,200	37.8%	62%	0.00006	0.00002	8,763	90.72	31.65
14,350	37.5%	63%	0.00006	0.00002	8,820	90.45	31.45
15,400	35.2%	65%	0.00006	0.00002	9,201	88.75	30.14
15,550	34.9%	65%	0.00006	0.00002	9,254	88.53	29.97
15,706	34.6%	65%	0.00006	0.00002	9,308	88.30	29.80
15,850	34.3%	66%	0.00006	0.00002	9,357	88.09	29.64
16,000	34.0%	66%	0.00006	0.00002	9,408	87.87	29.48
26,050	19.2%	81%	0.00006	0.00001	12,002	79.13	23.11
26,200	19.0%	81%	0.00006	0.00001	12,030	79.05	23.05
26,350	18.9%	81%	0.00006	0.00001	12,059	78.97	23.00
26,500	18.7%	81%	0.00006	0.00001	12,087	78.90	22.95
26,650	18.6%	81%	0.00006	0.00001	12,115	78.82	22.89
26,800	18.4%	82%	0.00005	0.00001	12,143	78.74	22.84
26,950	18.3%	82%	0.00005	0.00001	12,170	78.67	22.79

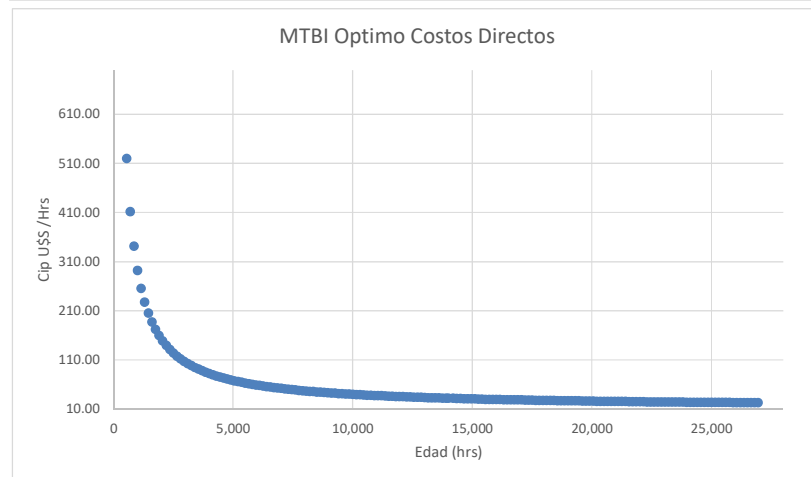
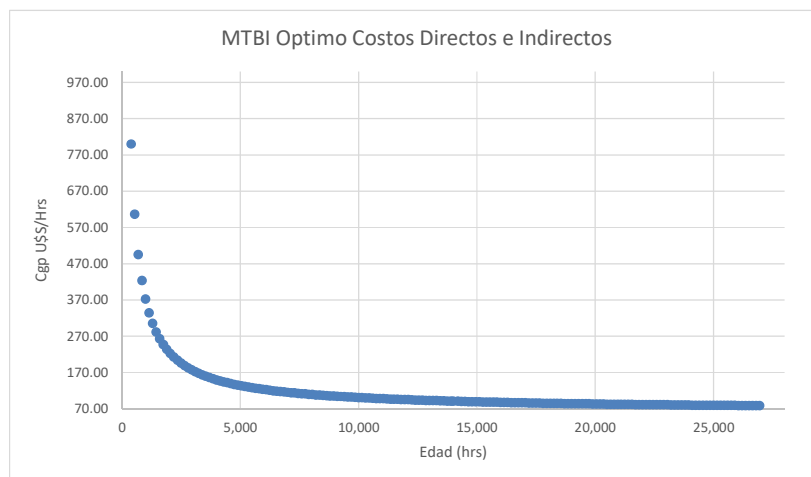
Fuente: Elaboración propia.

Politica Correctiva Falla	
MTBIc cambio hasta la falla	15,706
Confiabilidad	35%
Costo global correct \$/hr	70.63

Politica Preventiva Actual	
MTBI Actual	14,000
Confiabilidad	38%
Costo global recomendado \$/hr	91.07

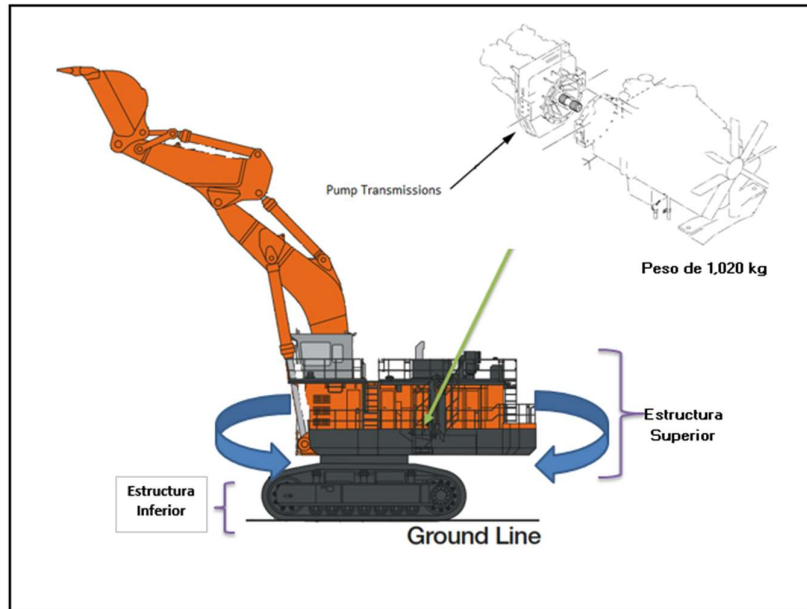
Politica Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	26,950
Confiabilidad	18%
Costo global preventivo \$/hr	78.67

Politica Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	26,950
Confiabilidad	18%
Costo Directos preventivos \$/hr	22.79



Fuente: Elaboración propia.

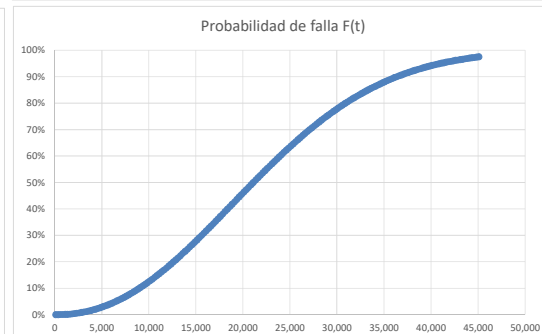
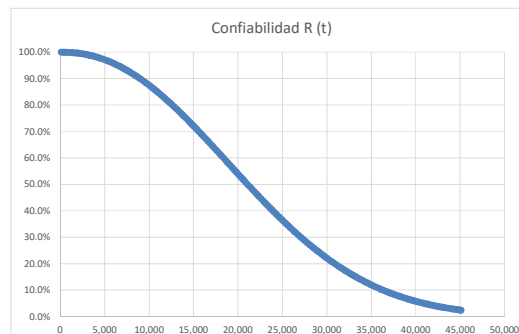
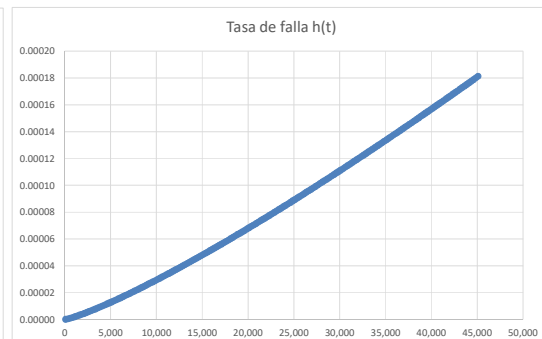
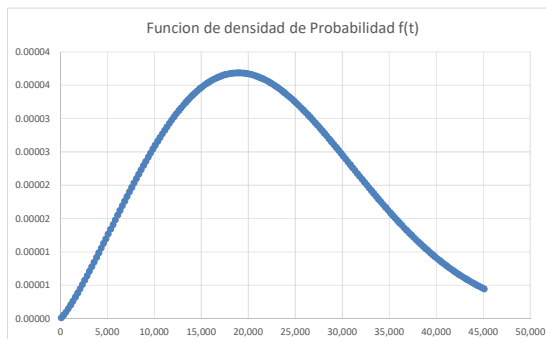
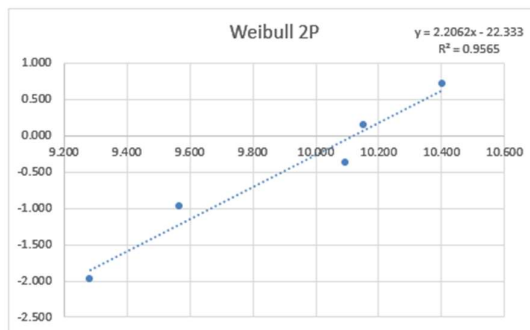
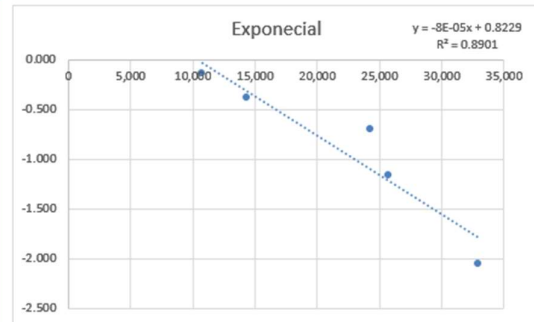
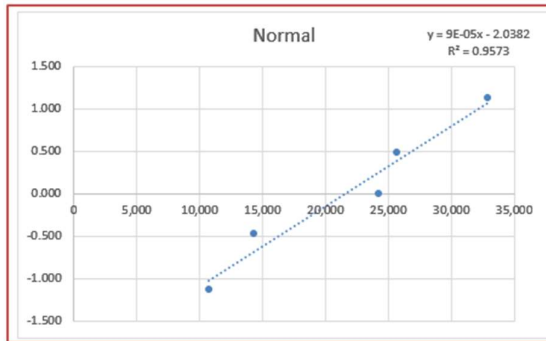
Anexo 10. Resultados del Pump Transmission.



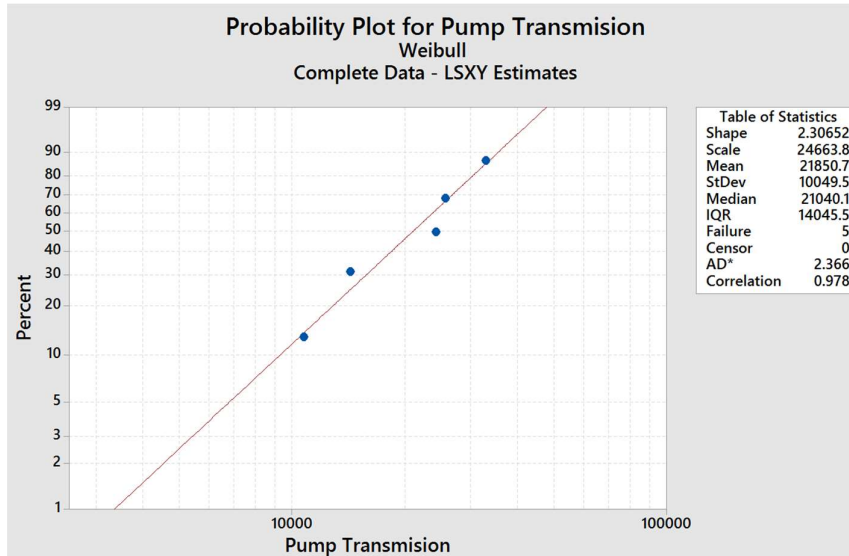
Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)
Pump Transmissions	SH007	New	Correctivo	65994.9	76742.5	10747.6	1	10,748	13%	87%
Pump Transmissions	SH001	New	Correctivo	99139	113439	14300	2	14,300	31%	69%
Pump Transmissions	SH004	New	Correctivo	83039.9	107276.1	24236.2	3	24,236	50%	50%
Pump Transmissions	SH002	New	Correctivo	86689	112358.6	25669.6	4	25,670	69%	31%
Pump Transmissions	SH004	New	Correctivo	74344	107276.1	32932.1	5	32,932	87%	13%

N °(i)	Pump transmission			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	γ=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	10,748	13%	87%	10,748	-1.128	10,748	-0.139	9.282	-1.974	9.282	-1.974
2	14,300	31%	69%	14,300	-0.482	14,300	-0.378	9.568	-0.973	9.568	-0.973
3	24,236	50%	50%	24,236	0.000	24,236	-0.693	10.096	-0.367	10.096	-0.367
4	25,670	69%	31%	25,670	0.482	25,670	-1.156	10.153	0.145	10.153	0.145
5	32,932	87%	13%	32,932	1.128	32,932	-2.043	10.402	0.714	10.402	0.714
5	n										
				σ	10586.26	λ	0.00008	β	2.21	β	2.21
				μ	21577	MTTF	12658	η	24,904	η	24904
				R2	0.9573	R2	0.8901	MTTF	22,055	MTBF	22055
								R2	0.9565	R2	0.9565
								g	0	g	0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



05/15/2017 2:54:56 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Pump Transmission

Variable: Pump Transmission

Censoring Information Count
Uncensored value 5

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	2.30652	1.28660	0.772946	6.88279
Scale	24663.8	5081.02	16470.3	36933.2

Log-Likelihood = -52.214

Goodness-of-Fit
Anderson-Darling (adjusted) = 2.366
Correlation Coefficient = 0.978

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	21850.7	4509.95	14580.7	32745.5
Standard Deviation	10049.5	5290.24	3581.43	28198.9
Median	21040.1	4790.02	13466.8	32872.6
First Quartile (Q1)	14370.4	5346.79	6930.46	29797.2
Third Quartile (Q3)	28415.9	6181.05	18552.7	43522.7
Interquartile Range (IQR)	14045.5	7071.18	5236.02	37676.7

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Pump transmision
Cantidad en máquina	2
Estado	nuevo
Hrs de reemplazo de fábrica	21,000
Hrs de instalacion en máquina	48
días de reparacion TAT	30
Costo del componente USD	253,470
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	254,190
Cic USD	254,190
Cfp USD	0
Factor del costo de falla	3
Cfc USD	762,570

Datos Weibull de Pump Transmision	
Forma β	2.21
Escala η	24,904
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	22,055
Vida Característica	24,904
Vida B10	8,980
Desviacion estandar σ	0.46
Mediana μ	10.10

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	0.00000	0.00000	100	2,542	2,542
350	100.0%	0%	0.00000	0.00000	350	726	726
600	100.0%	0%	0.00000	0.00000	600	424	424
850	99.9%	0%	0.00000	0.00000	850	300	299
1,100	99.9%	0%	0.00000	0.00000	1,100	232	231
13,600	76.9%	23%	0.00004	0.00003	12,565	34.28	20
13,850	76.0%	24%	0.00004	0.00003	12,756	34.26	20
14,100	75.2%	25%	0.00004	0.00003	12,945	34.247	20
14,350	74.4%	26%	0.00005	0.00003	13,132	34.249	19
14,600	73.5%	26%	0.00005	0.00003	13,317	34.26	19
20,600	51.8%	48%	0.00007	0.00004	17,083	36	15
20,850	50.9%	49%	0.00007	0.00004	17,211	37	15
21,100	50.0%	50%	0.00007	0.00004	17,337	37	15
21,350	49.1%	51%	0.00007	0.00004	17,461	37	15
21,600	48.2%	52%	0.00007	0.00004	17,582	37	14
43,350	3.3%	97%	0.00017	0.00001	21,884	45	12
43,600	3.2%	97%	0.00017	0.00001	21,893	45	12
43,850	3.1%	97%	0.00018	0.00001	21,900	45	12
44,100	2.9%	97%	0.00018	0.00001	21,908	45	12
44,350	2.8%	97%	0.00018	0.00000	21,915	45	12
44,600	2.7%	97%	0.00018	0.00000	21,922	45	12
44,850	2.6%	97%	0.00018	0.00000	21,929	45	12
45,100	2.5%	98%	0.00018	0.00000	21,935	45	12

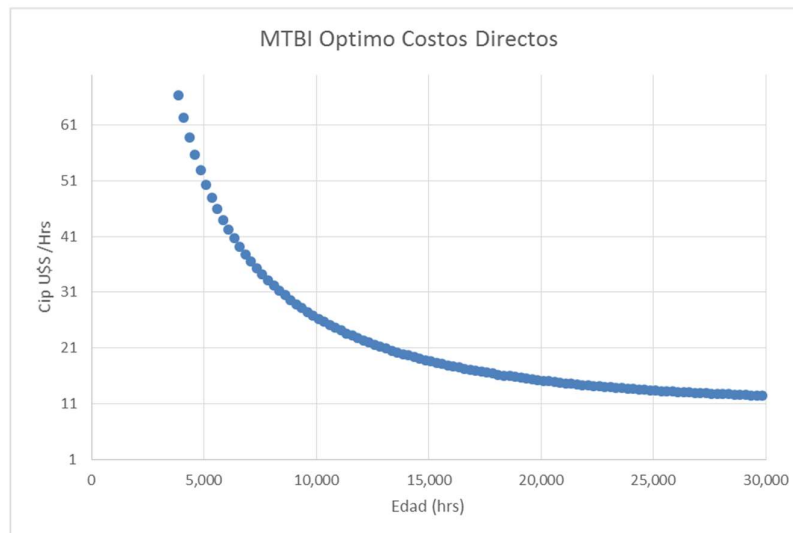
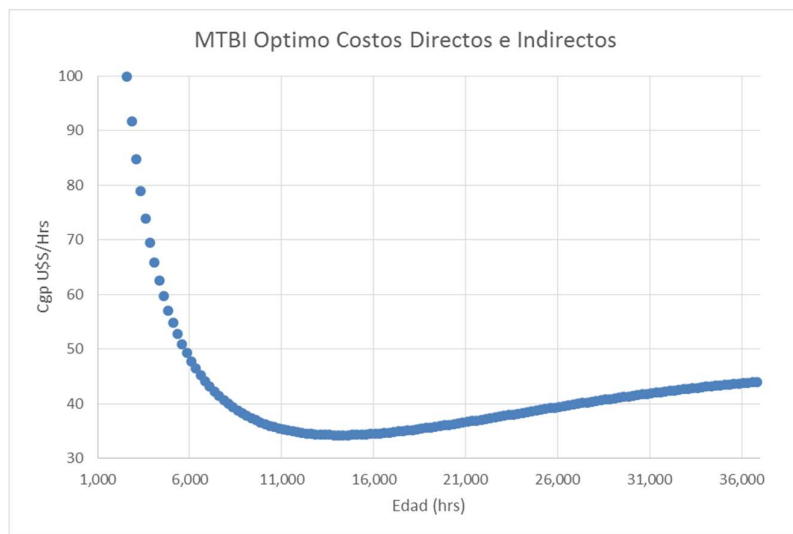
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	22,055
Confiabilidad	47%
Costo global correct \$/hr	46

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	21,000
Confiabilidad	50%
Costo global recomendado \$/hr	36.61

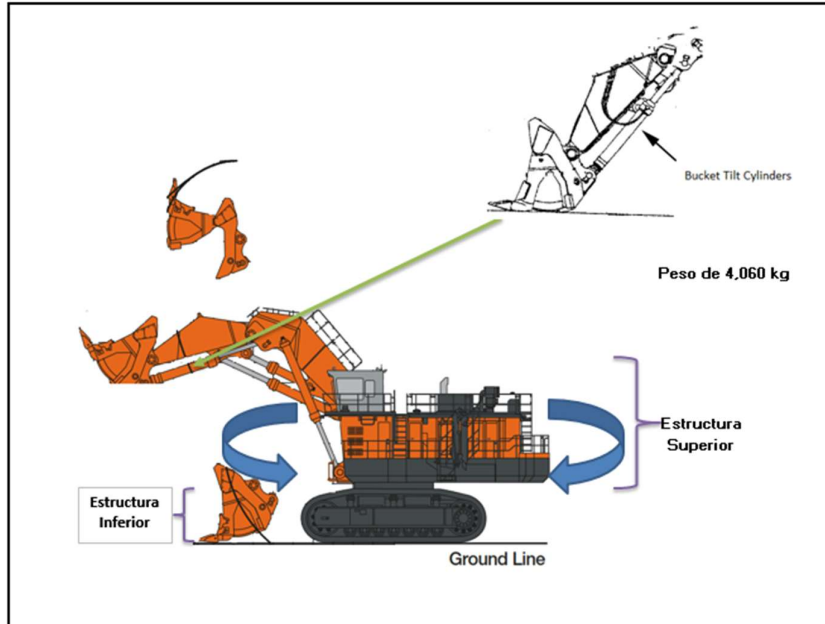
Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	14,100
Confiabilidad	75%
Costo global preventivo \$/hr	34.25

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	45,100
Confiabilidad	2%
Costo Directos preventivos \$/hr	12



Fuente: Elaboración propia.

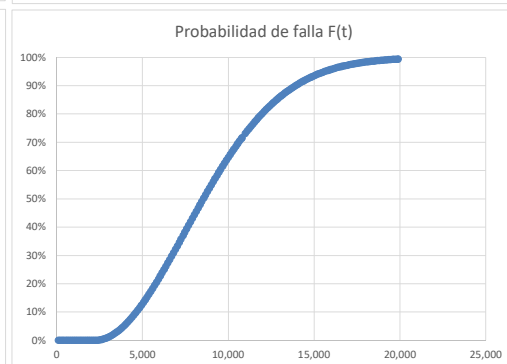
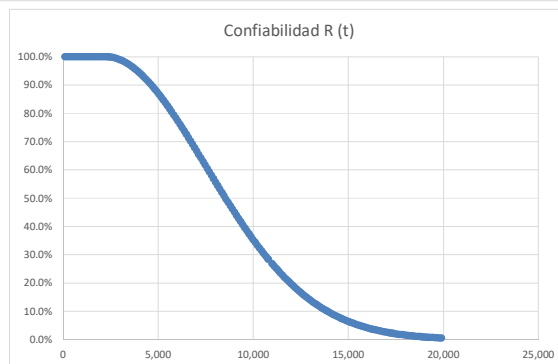
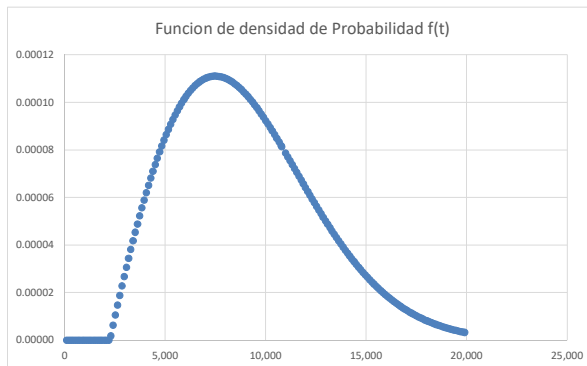
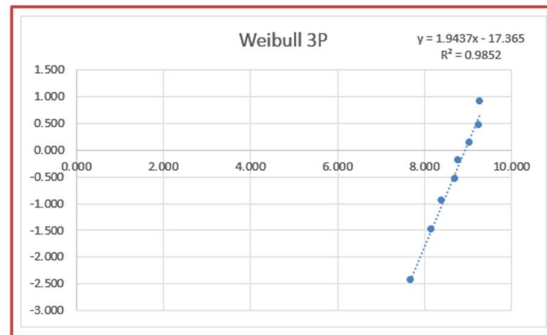
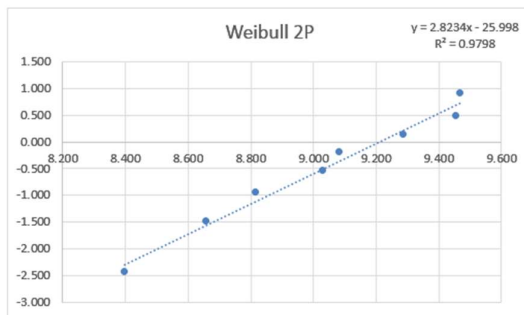
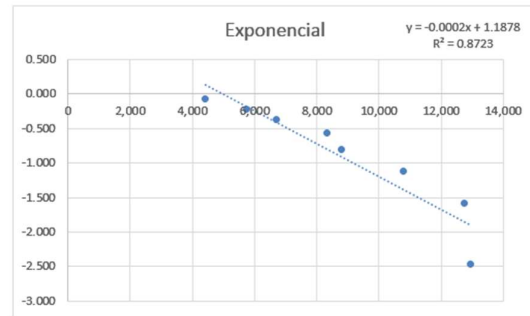
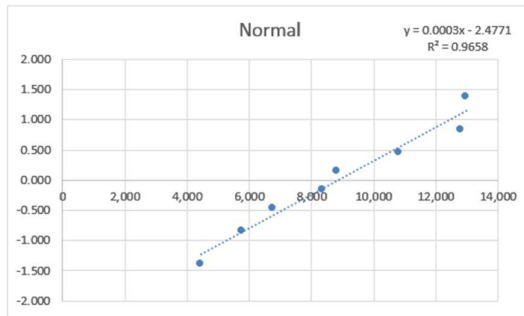
Anexo 11. Resultados del Bucket Tilt Cylinders.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)
Bucket Tilt Cylinders	SH005	New	Correctivo	70722	75159.1	4437.1	1	4,437	8%	92%
Bucket Tilt Cylinders	SH003	New	Correctivo	90120.1	95892	5771.9	2	5,772	20%	80%
Bucket Tilt Cylinders	SH004	New	Correctivo	80044.3	86785.8	6741.5	3	6,742	32%	68%
Bucket Tilt Cylinders	SH003	New	Correctivo	80425	88783	8358	4	8,358	44%	56%
Bucket Tilt Cylinders	SH001	New	Correctivo	91643	100468.4	8825.4	5	8,825	56%	44%
Bucket Tilt Cylinders	SH005	New	Correctivo	73580	84394.3	10814.3	6	10,814	68%	32%
Bucket Tilt Cylinders	SH002	New	Correctivo	99577.6	112358.6	12781	7	12,781	80%	20%
Bucket Tilt Cylinders	SH001	New	Correctivo	100468.4	113439	12970.6	8	12,971	92%	8%

N °(i)	Bucket Tilt Cyl			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	4,437	8%	92%	4,437	-1.383	4,437	-0.087	8.398	-2.442	7.685	-2.442
2	5,772	20%	80%	5,772	-0.833	5,772	-0.226	8.661	-1.487	8.164	-1.487
3	6,742	32%	68%	6,742	-0.464	6,742	-0.388	8.816	-0.947	8.408	-0.947
4	8,358	44%	56%	8,358	-0.150	8,358	-0.581	9.031	-0.544	8.716	-0.544
5	8,825	56%	44%	8,825	0.150	8,825	-0.820	9.085	-0.199	8.789	-0.199
6	10,814	68%	32%	10,814	0.464	10,814	-1.135	9.289	0.127	9.054	0.127
7	12,781	80%	20%	12,781	0.833	12,781	-1.598	9.456	0.469	9.261	0.469
8	12,971	92%	8%	12,971	1.383	12,971	-2.485	9.470	0.910	9.279	0.910
8	N					λ	0.00024	β	2.82	β	1.94
				σ	3567.66			η	9974	η	7,585
				μ	8837	MTTF	4203	MTTF	8885	MTBF	8,987
				R2	0.9658	R2	0.8723	R2	0.9798	R2	0.9852
								g	0	g	2261

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos							
Nombre		Bucket Tilt Cyl					
Cantidad en máquina		2					
Estado		nuevo					
Hrs de reemplazo de fábrica		10,800					
Hrs de instalacion en máquina		18					
dias de reparacion TAT		45					
Costo del componente USD		74,383					
Costo Mano Obra USD / hr		15					
Cip USD		75,058					
Cic USD		75,058					
Cfp USD		0					
Factor del costo de falla		3					
Cfc USD		225,175					
				Datos Weibull de Bucket Tilt Cyl			
				Forma β	1.94		
				Escala η	7,585		
				Localizacion g	2,261		
				Vida Esperada MTTF	8,987		
				Vida Característica	9,846		
				Vida B10	4,644		
				Desviacion estandar σ	0.56		
				Mediana μ	8.75		
Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	100	751	751
210	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	210	357	357
320	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	320	235	235
430	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	430	175	175
540	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	540	139	139
4,720	89.4%	11%	0.00009	0.00008	4,630	21.37	16
4,830	88.5%	11%	0.00009	0.00008	4,727	21.35	16
4,940	87.6%	12%	0.00010	0.00008	4,824	21.34	16
5,050	86.7%	13%	0.00010	0.00009	4,920	21.36	15
5,160	85.7%	14%	0.00010	0.00009	5,015	21.38	15
10,660	29.5%	70%	0.00028	0.00008	8,160	29	9
10,770	28.6%	71%	0.00029	0.00008	8,192	29	9
10,800	28.4%	72%	0.00029	0.00008	8,201	29	9
10,990	26.9%	73%	0.00029	0.00008	8,253	29	9
11,100	26.0%	74%	0.00030	0.00008	8,283	29	9
19,240	0.8%	99%	0.00055	0.00000	8,973	33	8
19,350	0.8%	99%	0.00055	0.00000	8,974	33	8
19,460	0.7%	99%	0.00055	0.00000	8,975	33	8
19,570	0.7%	99%	0.00056	0.00000	8,976	33	8
19,680	0.7%	99%	0.00056	0.00000	8,976	33	8
19,790	0.6%	99%	0.00056	0.00000	8,977	33	8
19,900	0.6%	99%	0.00057	0.00000	8,978	33	8

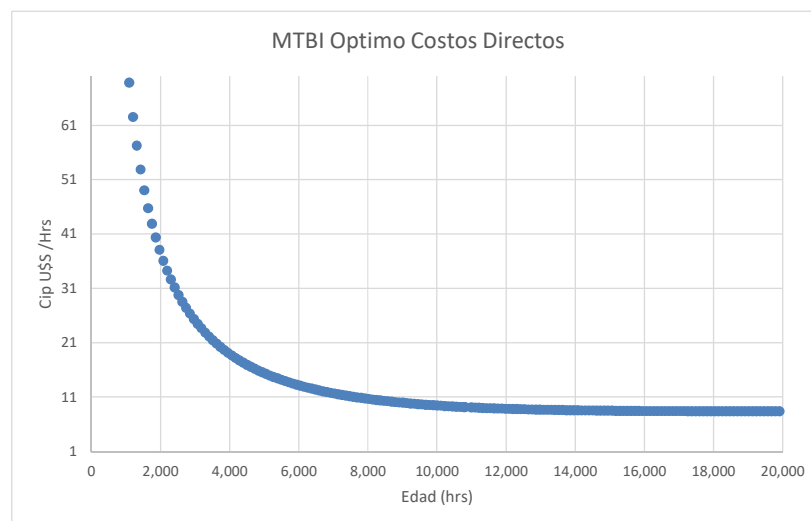
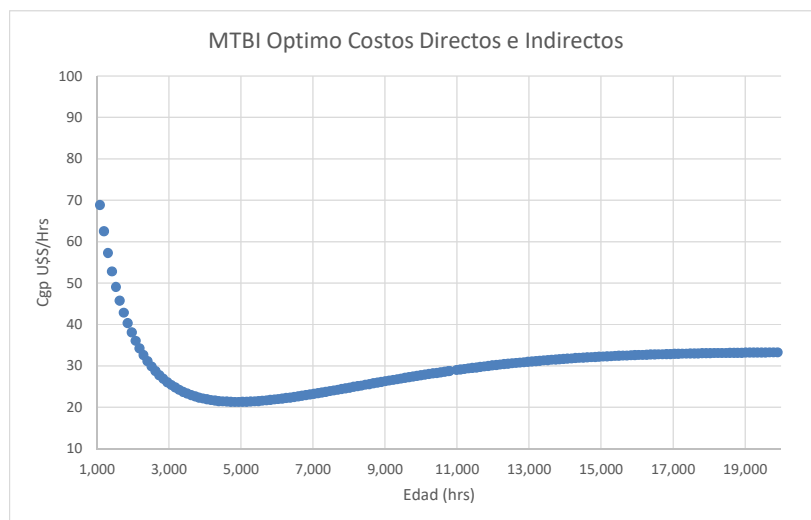
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	8,987
Confiabilidad	45%
Costo global correct \$/hr	33

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	10,800
Confiabilidad	28%
Costo global recomendado \$/hr	29

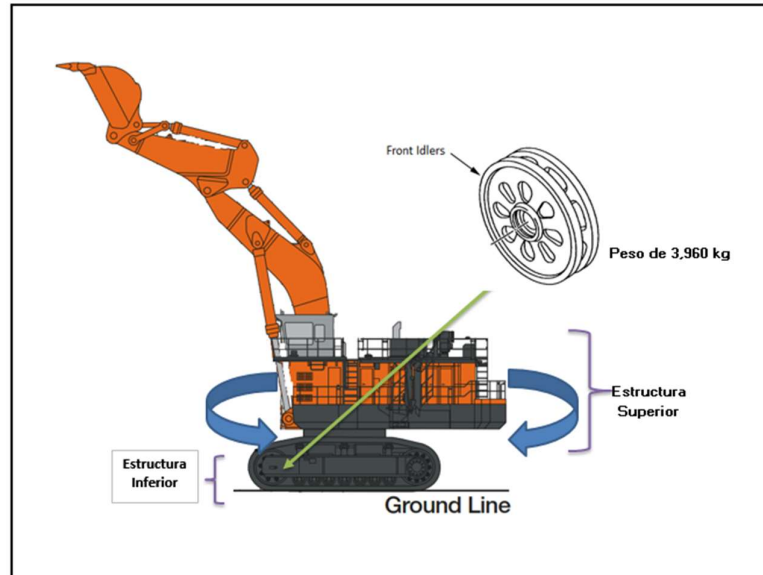
Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	4,940
Confiabilidad	88%
Costo global preventivo \$/hr	21.34

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	19,900
Confiabilidad	1%
Costo Directos preventivos \$/hr	8



Fuente: Elaboración propia.

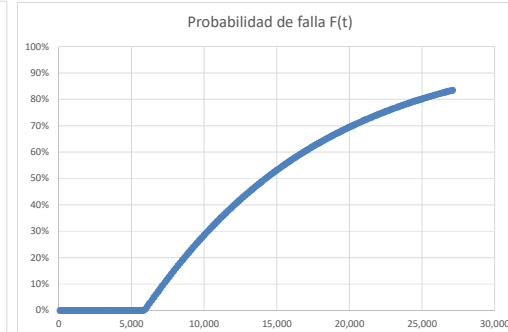
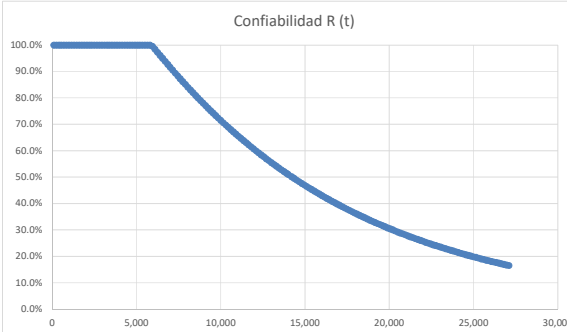
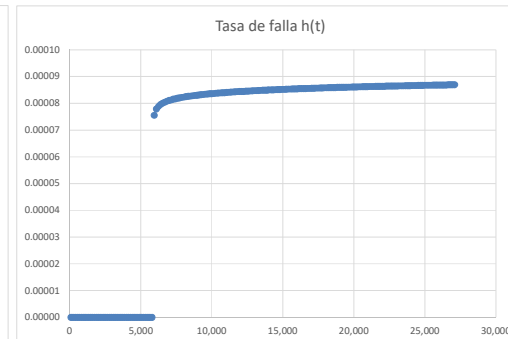
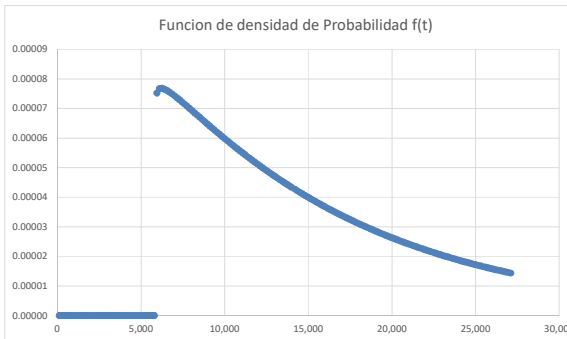
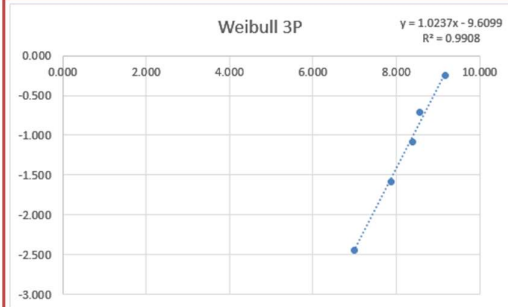
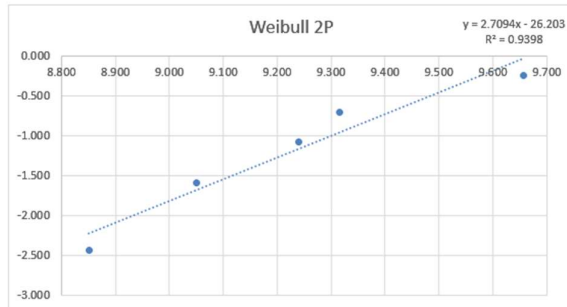
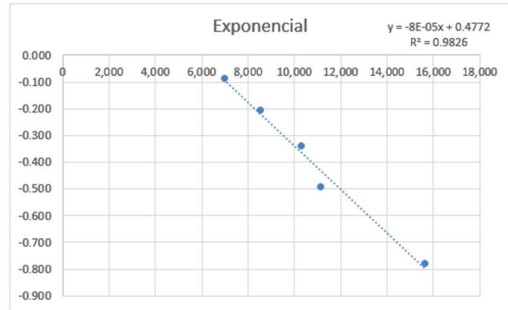
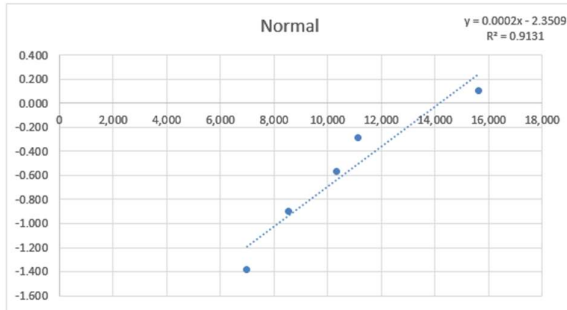
Anexo 12. Resultados del Front Idlers.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#)	Delta	F(t)	R(t)
Front Idlers	SH003	New	Correctivo	88909	95892	6983	1	6,983	0	8%	92%
Front Idlers	SH007	New	Condición	57920	65150.4	7230.4	2	7,230	1	8%	92%
Front Idlers	SH001	New	Condición	96818	104805.9	7987.9	3	7,988	1	8%	92%
Front Idlers	SH007	New	Correctivo	68214.6	76742.5	8527.9	4	8,528	0	19%	81%
Front Idlers	SH004	New	Correctivo	95799.2	106109	10309.8	5	10,310	0	29%	71%
Front Idlers	SH005	New	Correctivo	83250.22	94371	11120.78	6	11,121	0	39%	61%
Front Idlers	SH001	New	Condición	87865.6	100317.4	12451.8	7	12,452	1	39%	61%
Front Idlers	SH002	New	Condición	93763.3	107297	13533.7	8	13,534	1	39%	61%
Front Idlers	SH001	New	Correctivo	81191	96818	15627	9	15,627	0	54%	46%
Front Idlers	SH002	New	Condición	86689	102774	16085	10	16,085	1	54%	46%
Front Idlers	SH004	New	Condición	80351	100039.8	19688.8	11	19,689	1	54%	46%

N °(i)	Front Idlers				Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))	
1	6,983	8%	92%	6,983	-1.383	6,983	-0.087	8.851	-2.442	6.994	-2.442	
2	8,528	19%	81%	8,528	-0.896	8,528	-0.205	9.051	-1.586	7.876	-1.586	
3	10,310	29%	71%	10,310	-0.562	10,310	-0.338	9.241	-1.084	8.393	-1.084	
4	11,121	39%	61%	11,121	-0.282	11,121	-0.492	9.317	-0.708	8.562	-0.708	
5	15627	54%	46%	15,627	0.105	15,627	-0.780	9.657	-0.248	9.183	-0.248	
5	N											
				σ	6017.48	λ	0.00008	β	2.71	β	1.02	
				μ	14146	MTTF	12257	η	15855	η	11,933	
				R2	0.9131	R2	0.9826	MTTF	14101	MTBF	17,712	
								R2	0.9398	R2	0.9908	
								g	0	g	5893	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Datos Weibull de Front Idler	
Nombre	Front Idlers	Forma β	1.02
Cantidad en máquina	2	Escala η	11,933
Estado	nuevo	Localizacion θ	5,893
Hrs de reemplazo de fábrica	14,000	Vida Esperada MTTF	17,712
Hrs de instalacion en máquina	30	Vida Característica	17,826
días de reparacion TAT	15	Vida B10	7,218
Costo del componente USD	75,531	Desviacion estandar σ	0.82
Costo Mano Obra USD / hr	15	Mediana μ	8.39
Cip USD	75,756		
Cic USD	75,756		
Cfp USD	0		
Factor del costo de falla	3		
Cfc USD	227,268		

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	100	758	758
250	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	250	303	303
400	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	400	189	189
550	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	550	138	138
5,650	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	5,650	13.41	13
5,800	100.0%	0%	#iNUM!	#iNUM!	5,800	13.06	13
5,950	99.6%	0%	0.00008	0.00008	5,950	12.89	13
6,100	98.4%	2%	0.00008	0.00008	6,098	13.00	12
6,250	97.3%	3%	0.00008	0.00008	6,245	13.12	12
13,750	52.1%	48%	0.00008	0.00004	11,688	16	6
13,900	51.4%	49%	0.00008	0.00004	11,766	16	6
14,000	51.0%	49%	0.00009	0.00004	11,817	16	6
14,200	50.1%	50%	0.00009	0.00004	11,918	16	6
14,350	49.5%	50%	0.00009	0.00004	11,993	16	6
26,050	18.1%	82%	0.00009	0.00002	15,650	17	5
26,200	17.8%	82%	0.00009	0.00002	15,677	17	5
26,350	17.6%	82%	0.00009	0.00002	15,703	17	5
26,500	17.4%	83%	0.00009	0.00002	15,730	17	5
26,650	17.2%	83%	0.00009	0.00001	15,756	17	5
26,800	16.9%	83%	0.00009	0.00001	15,781	17	5
26,950	16.7%	83%	0.00009	0.00001	15,806	17	5
27,100	16.5%	83%	0.00009	0.00001	15,831	17	5

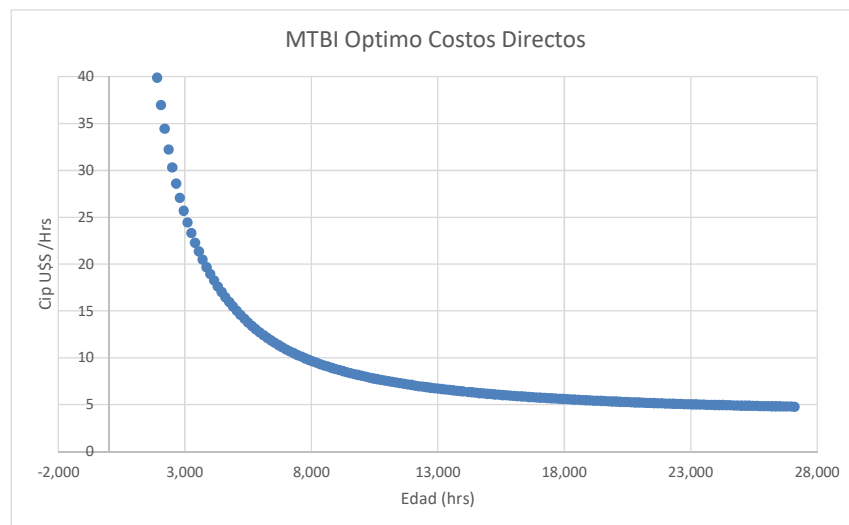
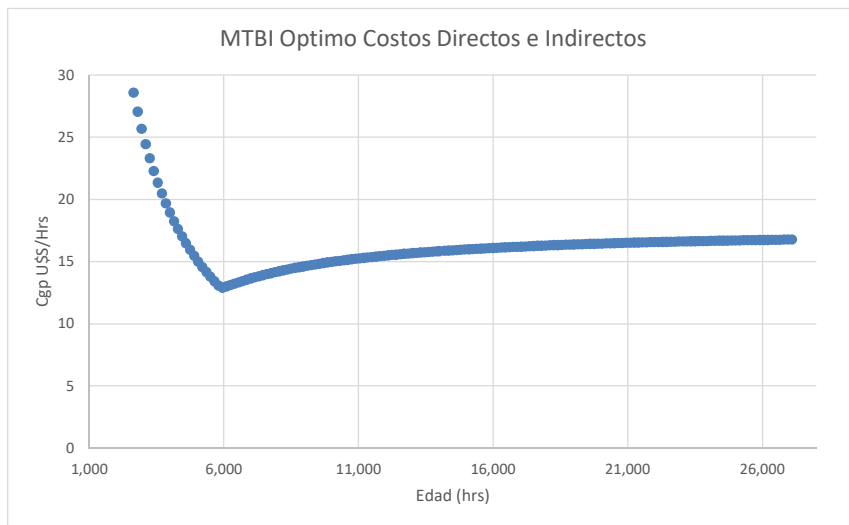
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	17,712
Confiabilidad	37%
Costo global correct \$/hr	17.11

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	14,000
Confiabilidad	51%
Costo global recomendado \$/hr	15.83

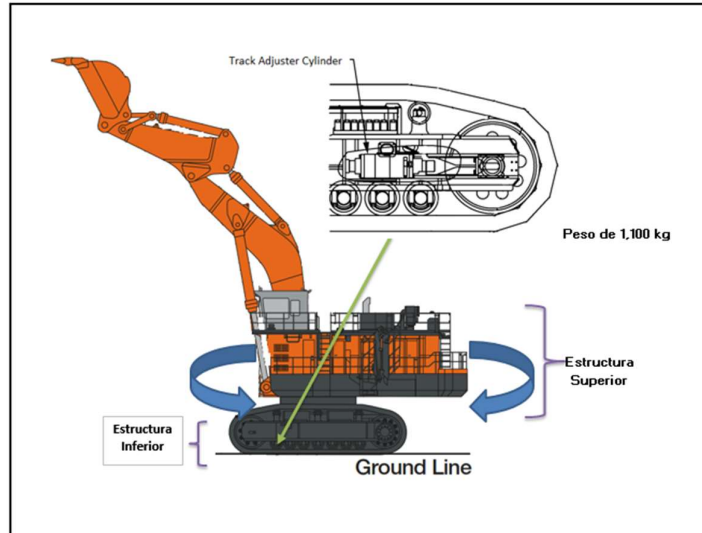
Política Preventiva C. Generales	
MTBip optimo	5,950
Confiabilidad	100%
Costo global preventivo \$/hr	12.89

Política Preventiva C Directos	
MTBip optimo	18,700
Confiabilidad	34%
Costo Directos preventivos \$/hr	5



Fuente: Elaboración propia.

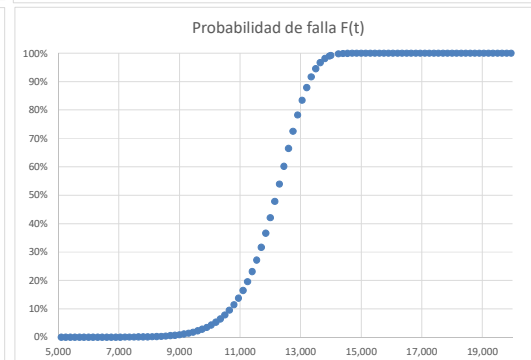
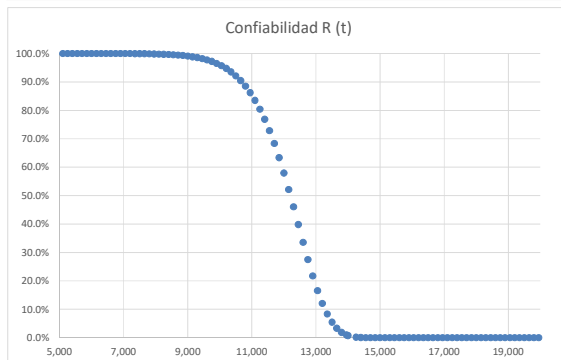
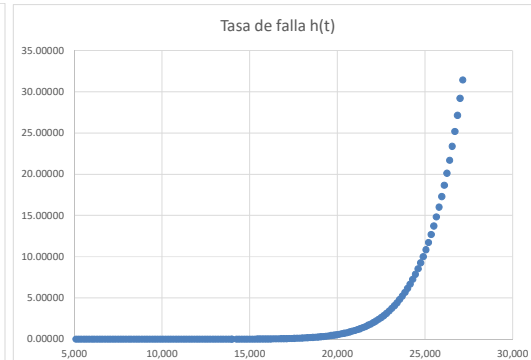
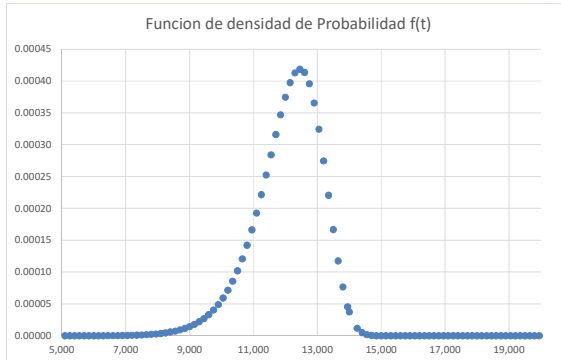
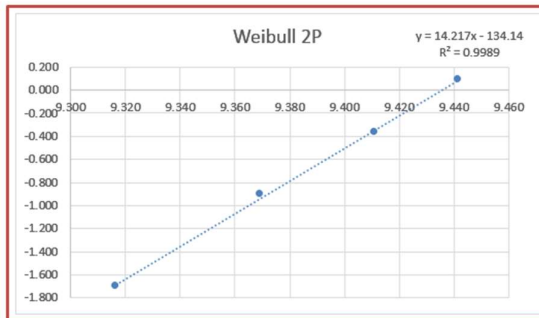
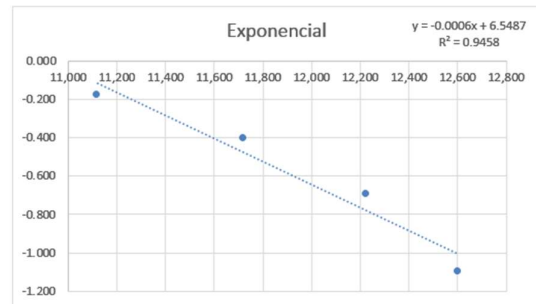
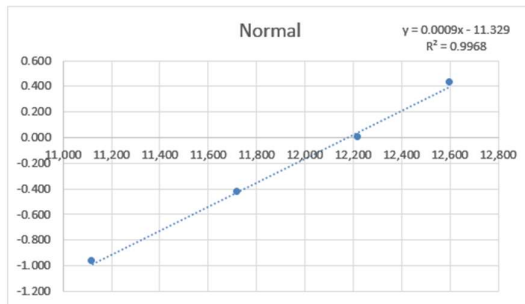
Anexo 13. Resultados del Track Adjuster Cylinder.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#)	Delta	F(t)	R(t)
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Condición	73670	75913	2243	1	2,243	1	0%	100%
Track Adjuster Cylinder	SH004	New	Condición	88363.9	93938.1	5574.2	2	5,574	1	0%	100%
Track Adjuster Cylinder	SH002	New	Condición	79811.1	85698	5886.9	3	5,887	1	0%	100%
Track Adjuster Cylinder	SH001	New	Condición	89353	98239.7	8886.7	4	8,887	1	0%	100%
Track Adjuster Cylinder	SH002	New	Condición	101656	110568	8912	5	8,912	1	0%	100%
Track Adjuster Cylinder	SH005	New	Correctivo	83250.22	94371	11120.78	6	11,121	0	17%	83%
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Correctivo	60080.4	71803	11722.6	7	11,723	0	33%	67%
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Correctivo	47856.7	60080.4	12223.7	8	12,224	0	50%	50%
Track Adjuster Cylinder	SH001	New	Correctivo	90214	102816.6	12602.6	9	12,603	0	67%	33%
Track Adjuster Cylinder	SH007	New	Condición	57920	72689	14769	10	14,769	1	67%	33%

N °(i)	Track Adjuster Cyl			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	11,121	17%	83%	11,121	-0.967	11,121	-0.182	9.317	-1.702	9.317	-1.702
2	11,723	33%	67%	11,723	-0.431	11,723	-0.405	9.369	-0.903	9.369	-0.903
3	12,224	50%	50%	12,224	0.000	12,224	-0.693	9.411	-0.367	9.411	-0.367
4	12,603	67%	33%	12,603	0.431	12,603	-1.099	9.442	0.094	9.442	0.094
4	N										
				σ	1074.92	λ	0.00060	β	14.22	β	14.22
				μ	12177	MTTF	1668	η	12,522	η	12522
				R2	0.9968	R2	0.9458	MTTF	12,071	MTBF	12071
								R2	0.9989	R2	0.9989
								g	0	g	0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Track Adjuster Cyl
Cantidad en máquina	2
Estado	nuevo
Hrs de reemplazo de fábrica	14,000
Hrs de instalacion en máquina	30
dias de reparacion TAT	30
Costo del componente USD	35,429
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	35,879
Cic USD	35,879
Cfp USD	0
Factor del costo de falla	3
Cfc USD	107,636

Datos Weibull de Track Adjuster Cyl	
Forma β	14.22
Escala η	12,522
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	12,071
Vida Característica	12,522
Vida B10	10,689
Desviacion estandar σ	0.05
Mediana μ	9.39

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
150	100.0%	0%	0.00000	0.00000	150	239	239
300	100.0%	0%	0.00000	0.00000	300	120	120
450	100.0%	0%	0.00000	0.00000	450	80	80
600	100.0%	0%	0.00000	0.00000	600	60	60
750	100.0%	0%	0.00000	0.00000	750	48	48
9,300	98.6%	1%	0.00002	0.00002	9,291	4	4
9,450	98.2%	2%	0.00003	0.00003	9,439	4	4
9,600	97.7%	2%	0.00003	0.00003	9,586	4	4
9,750	97.2%	3%	0.00004	0.00004	9,732	4	4
9,900	96.5%	3%	0.00005	0.00005	9,877	4	4
13,800	1.9%	98%	0.00410	0.00008	12,068	12	3
13,950	1.0%	99%	0.00473	0.00005	12,070	12	3
14,000	0.8%	99%	0.00496	0.00004	12,070	12	3
14,250	0.2%	100%	0.00627	0.00001	12,071	12	3
14,400	0.1%	100%	0.00720	0.00000	12,071	12	3
26,100	0.0%	100%	18.66086	0.00000	12,071	12	3
26,250	0.0%	100%	20.12921	0.00000	12,071	12	3
26,400	0.0%	100%	21.70373	0.00000	12,071	12	3
26,550	0.0%	100%	23.39142	0.00000	12,071	12	3
26,700	0.0%	100%	25.19971	0.00000	12,071	12	3
26,850	0.0%	100%	27.13647	0.00000	12,071	12	3
27,000	0.0%	100%	29.21003	0.00000	12,071	12	3
27,150	0.0%	100%	31.42922	0.00000	12,071	12	3

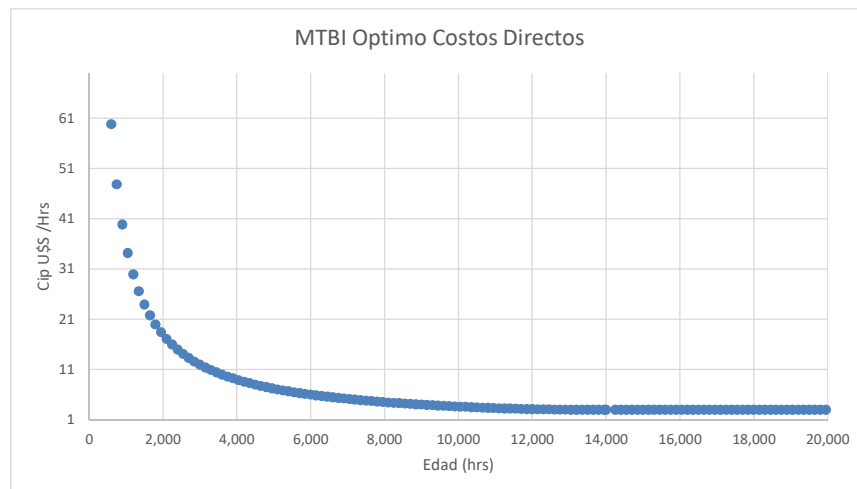
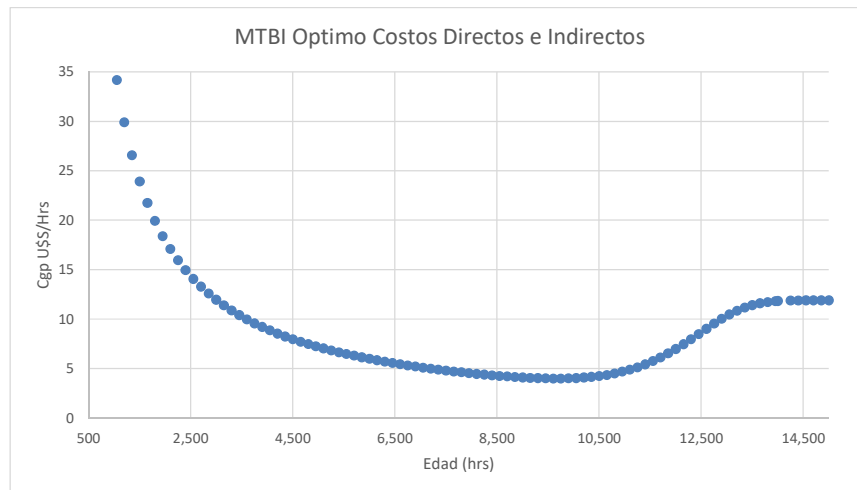
Fuente: Elaboración propia.

Politica Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	12,071
Confiabilidad	55%
Costo global correct \$/hr	12

Politica Preventiva Actual	
MTBI Actual	14,000
Confiabilidad	1%
Costo global recomendado \$/hr	12

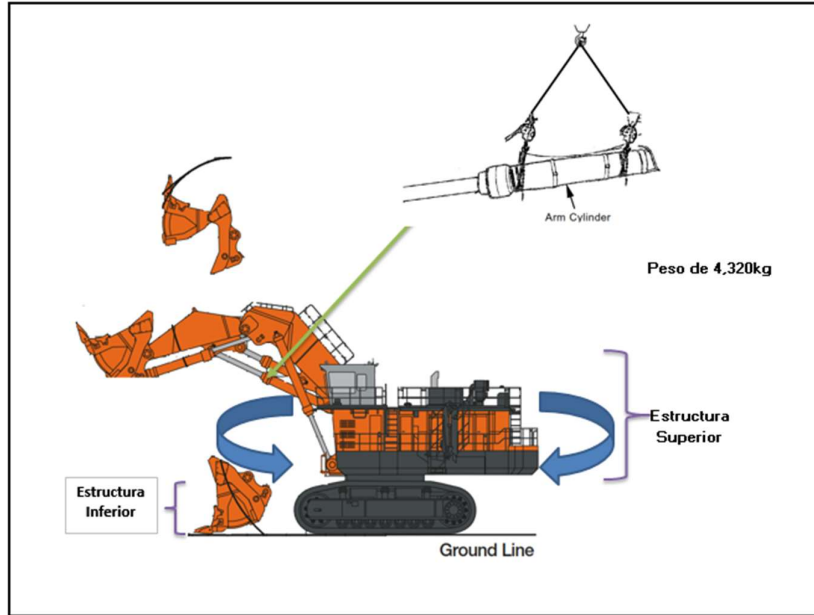
Politica Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	9,600
Confiabilidad	98%
Costo global preventivo \$/hr	4.00

Politica Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	14,000
Confiabilidad	1%
Costo Directos preventivos \$/hr	3



Fuente: Elaboración propia.

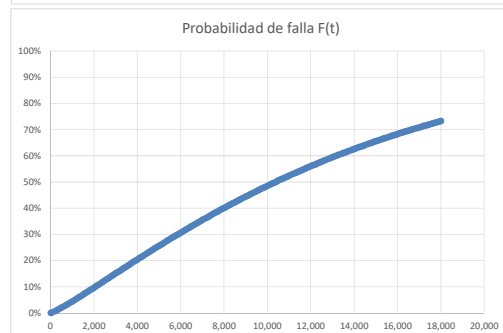
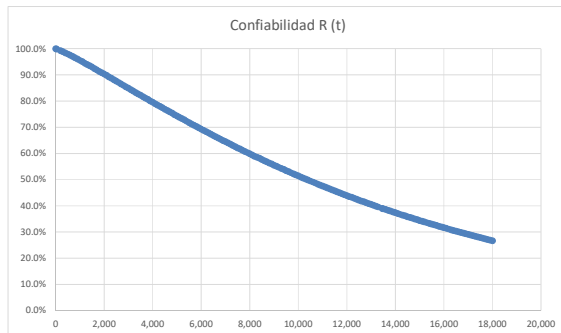
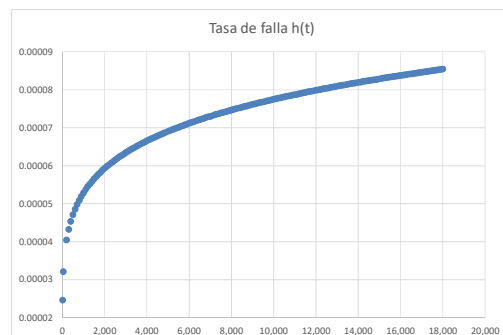
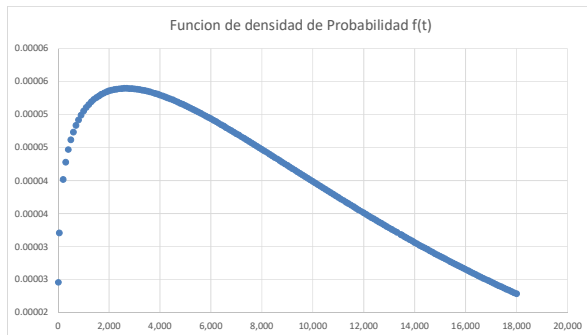
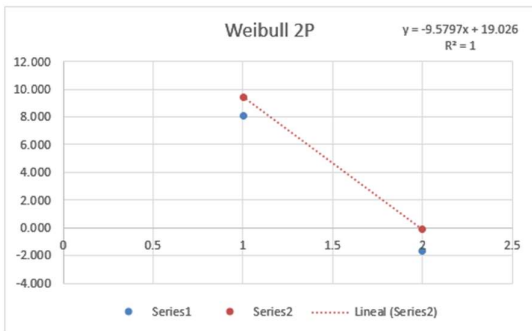
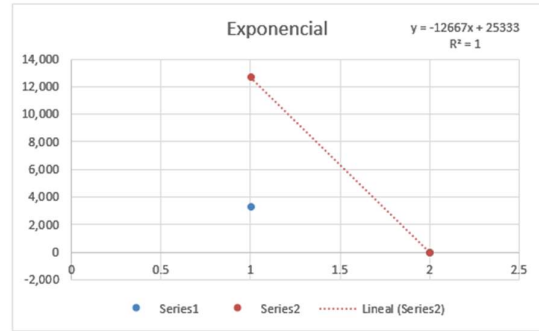
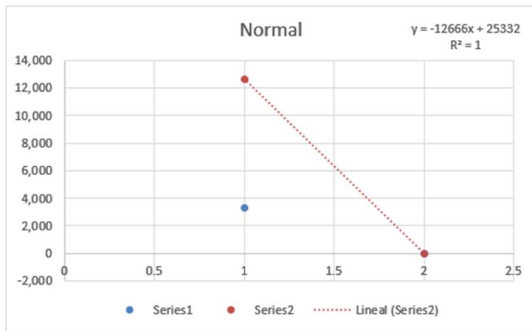
Anexo 14. Resultados del Arm Cylinder.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (ti)	Delta	F(t)	R(t)
Arm Cylinder	SH002	New	Correctivo	109060	112358.6	3298.6	1	3,299	0	17%	83%
Arm Cylinder	SH005	New	Condición	79658	85444	5786	2	5,786	1	17%	83%
Arm Cylinder	SH001	New	Condición	80380	92051	11671	3	11,671	1	17%	83%
Arm Cylinder	SH001	New	Condición	92051	104146.4	12095.4	4	12,095	1	17%	83%
Arm Cylinder	SH007	New	Correctivo	48054.2	60720.5	12666.3	5	12,666	0	58%	42%

N °(i)	Arm Cylinder			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (ti)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	3,299	17%	83%	3,299	-0.967	3,299	-0.182	8.101	-1.702	8.101	-1.702
2	12,666	58%	42%	12,666	0.210	12,666	-0.875	9.447	-0.133	9.447	-0.133
2	N										
				σ	7953.22	λ	0.00007	β	1.17	β	1.17
				μ	10993	MTTF	13515	η	14196	η	14196
				R2	1.0000	R2	1.0000	MTTF	13457	MTBF	13457
								R2	1.0000	R2	1.0000
								g	0	g	0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Datos Weibull de Track Arm Cyl	
Nombre	Arm Cylinder	Forma β	1.17
Cantidad en máquina	1	Escala η	14,196
Estado	nuevo	Localizacion g	0
Hrs de reemplazo de fábrica	11,700	Vida Esperada MTTF	13,457
Hrs de instalacion en máquina	18	Vida Característica	14,196
días de reparacion TAT	30	Vida B10	2,061
Costo del componente USD	97,721	Desviacion estandar σ	0.95
Costo Mano Obra USD / hr	15	Mediana μ	8.77
Cip USD	98,171		
Cic USD	98,171		
Cfp USD	0		
Factor del costo de falla	3		
Cfc USD	294,513		

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
10	100.0%	0%	0.00002	0.00002	10	9,824	9,818
50	99.9%	0%	0.00003	0.00003	50	1,973	1,965
200	99.3%	1%	0.00004	0.00004	199	503	492
300	98.9%	1%	0.00004	0.00004	298	340	329
400	98.5%	2%	0.00005	0.00004	397	259	247
10,500	49.5%	51%	0.00008	0.00004	7,751	32	13
10,600	49.1%	51%	0.00008	0.00004	7,800	32	13
10,700	48.7%	51%	0.00008	0.00004	7,849	32	13
10,800	48.3%	52%	0.00008	0.00004	7,898	32	12
10,900	48.0%	52%	0.00008	0.00004	7,946	32	12
13,200	39.9%	60%	0.00008	0.00003	8,954	31	11
13,300	39.6%	60%	0.00008	0.00003	8,994	31	11
13,457	39.1%	61%	0.00008	0.00003	9,056	31	11
13,500	38.9%	61%	0.00008	0.00003	9,072	31	11
13,600	38.6%	61%	0.00008	0.00003	9,111	31	11
17,000	29.1%	71%	0.00008	0.00002	10,256	30	10
17,100	28.9%	71%	0.00008	0.00002	10,285	30	10
17,200	28.6%	71%	0.00008	0.00002	10,314	30	10
17,300	28.4%	72%	0.00008	0.00002	10,343	30	9
17,400	28.1%	72%	0.00008	0.00002	10,371	30	9
17,500	27.9%	72%	0.00009	0.00002	10,399	30	9
17,600	27.7%	72%	0.00009	0.00002	10,427	30	9
17,700	27.4%	73%	0.00009	0.00002	10,454	30	9
17,800	27.2%	73%	0.00009	0.00002	10,481	30	9
17,900	27.0%	73%	0.00009	0.00002	10,509	30	9
18,000	26.7%	73%	0.00009	0.00002	10,535	29.80	9

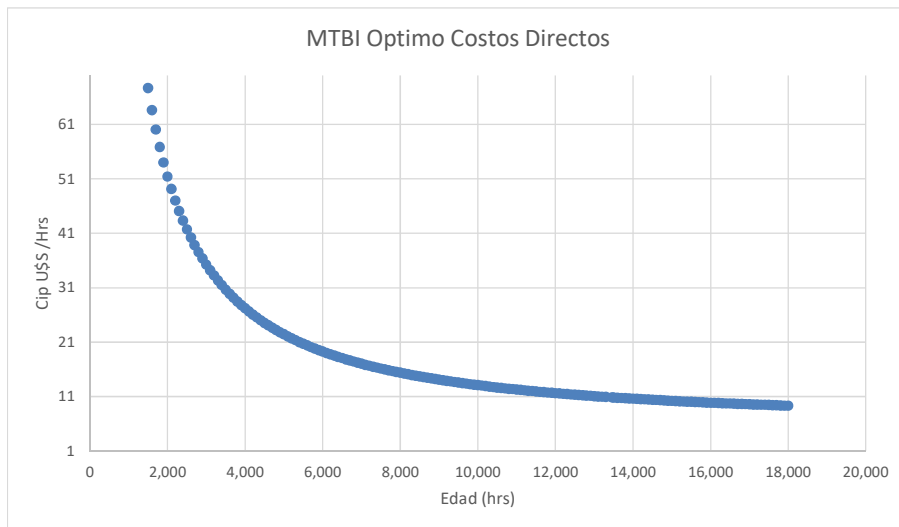
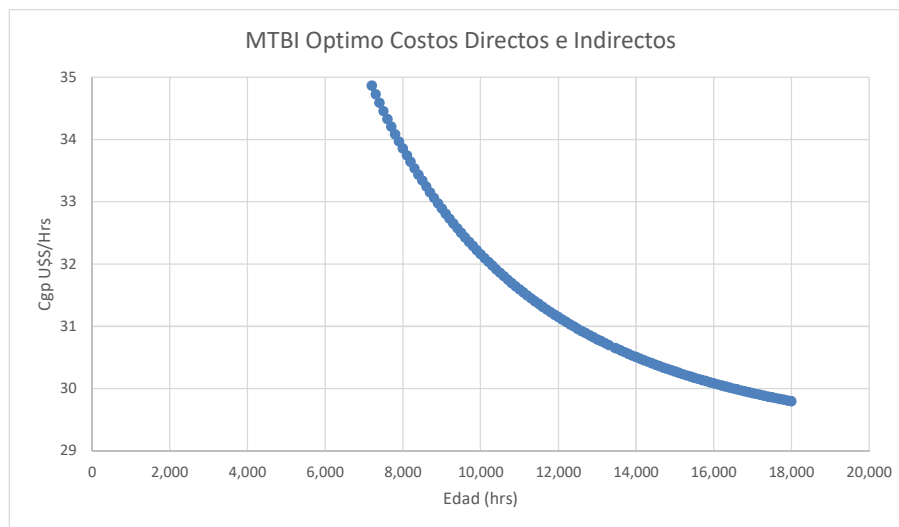
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	13,457
Confiabilidad	39%
Costo global correct \$/hr	29

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	11,700
Confiabilidad	45%
Costo global recomendado \$/hr	31

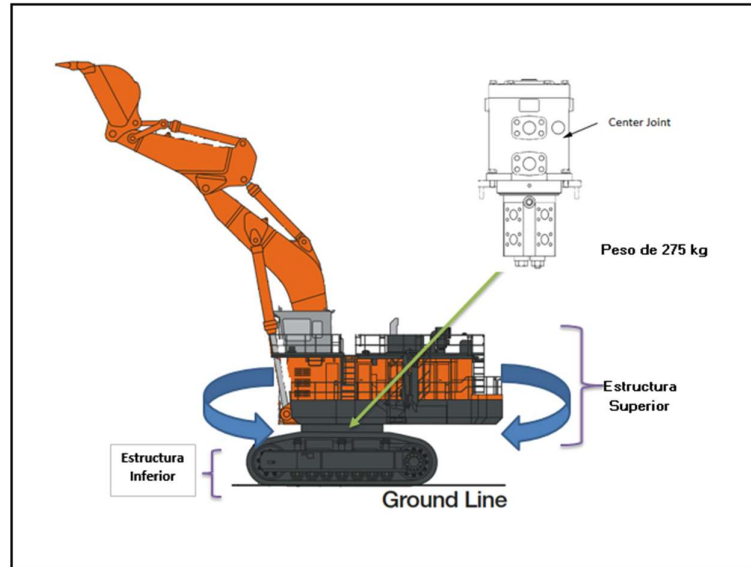
Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	18,000
Confiabilidad	27%
Costo global preventivo \$/hr	29.80

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	18,000
Confiabilidad	27%
Costo Directos preventivos \$/hr	10



Fuente: Elaboración propia.

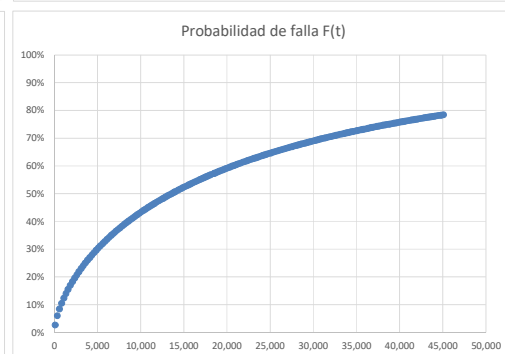
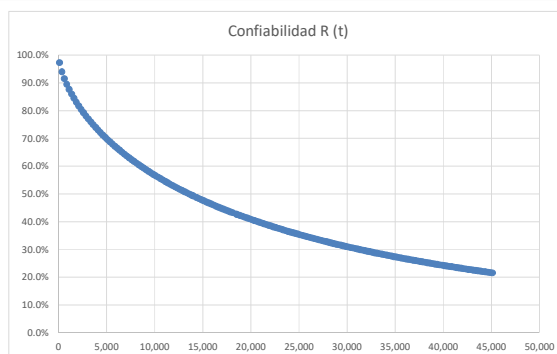
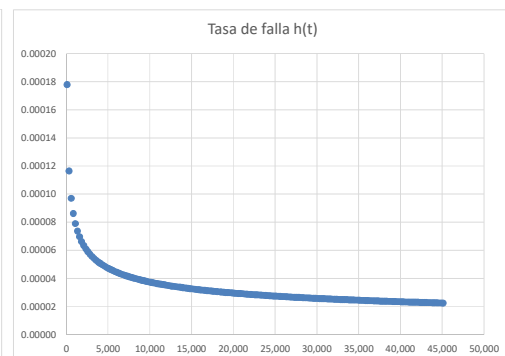
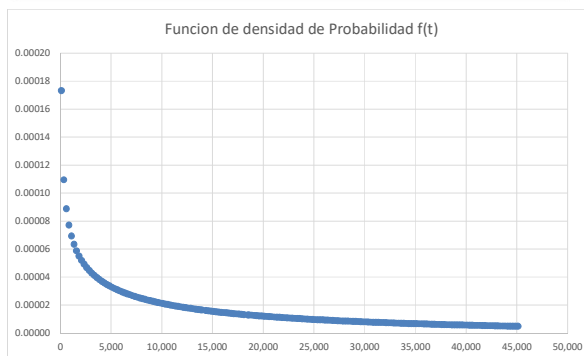
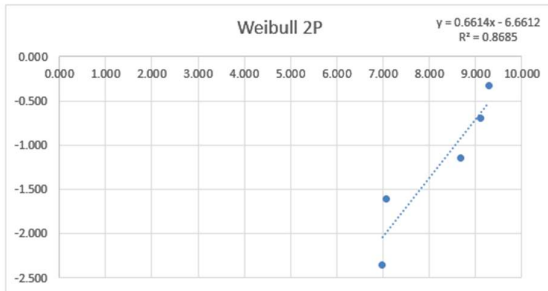
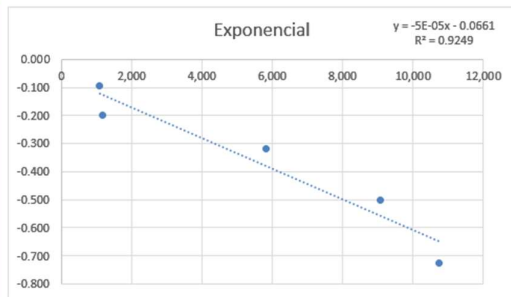
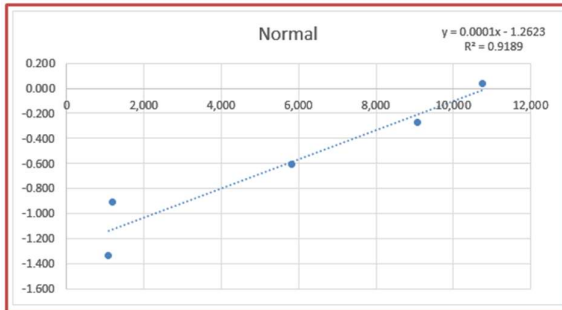
Anexo 15. Resultados del Center Joint.



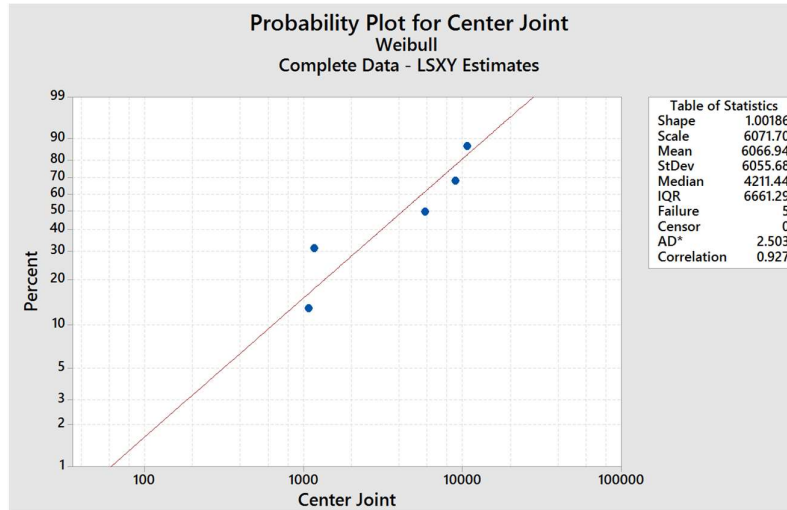
Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#i)	Delta	F(t)	R(t)
Center Joint	SH001	Rebuild	Correctivo	80404.1	81481	1076.9	1	1,077	0	9%	91%
Center Joint	SH004	Rebuild	Correctivo	75353.9	76522	1168.1	2	1,168	0	18%	82%
Center Joint	SH002	Rebuild	Correctivo	106546	112358.6	5812.6	3	5,813	0	27%	73%
Center Joint	SH001	New	Condición	81481	87415	5934	4	5,934	1	27%	73%
Center Joint	SH004	Rebuild	Condición	90435	98213.7	7778.7	5	7,779	1	27%	73%
Center Joint	SH004	Repair	Correctivo	98213.7	107276.1	9062.4	6	9,062	0	39%	61%
Center Joint	SH007	Rebuild	Correctivo	65994.9	76742.5	10747.6	7	10,748	0	52%	48%
Center Joint	SH005	Rebuild	Condición	82310	94371	12061	8	12,061	1	52%	48%
Center Joint	SH004	Repair	Condición	76522	90435	13913	9	13,913	1	52%	48%
Center Joint	SH001	Rebuild	Condición	87415	113439	26024	10	26,024	1	52%	48%

N °(i)	Center Joint				Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#i)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))	
1	1,077	9%	91%	1,077	-1.335	1,077	-0.095	6.982	-2.351	6.982	-2.351	
2	1,168	18%	82%	1,168	-0.908	1,168	-0.201	7.063	-1.606	7.063	-1.606	
3	5,813	27%	73%	5,813	-0.605	5,813	-0.318	8.668	-1.144	8.668	-1.144	
4	9,062	39%	61%	9,062	-0.269	9,062	-0.501	9.112	-0.692	9.112	-0.692	
5	10,748	52%	48%	10,748	0.038	10,748	-0.724	9.282	-0.323	9.282	-0.323	
5	N											
				σ	8622.24	λ	0.00005	β	0.66	β	0.66	
				μ	10884	MTTF	18473	η	23,638	η	23638	
				R2	0.9189	R2	0.9249	MTTF	31,686	MTBF	31686	
								R2	0.8685	R2	0.8685	
								g	0	g	0	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



05/15/2017 2:58:56 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Center Joint

Variable: Center Joint

Censoring Information Count
 Uncensored value 5

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	1.00186	0.526714	0.357519	2.80747
Scale	6071.70	2852.99	2417.38	15250.2

Log-Likelihood = -48.144

Goodness-of-Fit
 Anderson-Darling (adjusted) = 2.503
 Correlation Coefficient = 0.927

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	6066.94	2987.26	2311.28	15925.3
Standard Deviation	6055.68	5016.41	1194.11	30710.1
Median	4211.44	2234.49	1488.69	11914.0
First Quartile (Q1)	1750.76	1494.73	328.478	9331.41
Third Quartile (Q3)	8412.06	4025.71	3292.66	21491.0
Interquartile Range (IQR)	6661.29	3789.67	2184.25	20314.9

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Center Joint	
Nombre		Center Joint	
Cantidad en máquina		1	
Estado		nuevo	
*Hrs de reemplazo de fábrica		14,000	
Hrs de instalacion en máquina		30	
dias de reparacion TAT		15	
Costo del componente USD		13,457	
Costo Mano Obra USD / hr		15	
Cip USD		13,682	
Cic USD		13,682	
Cfp USD		0	
Factor del costo de falla		3	
Cfc USD		41,046	

Datos Weibull de Center Joint		
Forma β		0.66
Escala η		23,638
Localizacion θ		0
Vida Esperada MTTF		31,686
Vida Característica		23,638
Vida B10		787
Desviacion estandar σ		1.12
Mediana μ		8.67

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	97.3%	3%	0.00018	0.00017	98	150	139
350	94.0%	6%	0.00012	0.00011	337	48	41
600	91.6%	8%	0.00010	0.00009	569	30	24
850	89.5%	10%	0.00009	0.00008	795	23	17
1,100	87.7%	12%	0.00008	0.00007	1,017	18	13
13,600	50.0%	50%	0.00003	0.00002	9,109	4	2
13,850	49.6%	50%	0.00003	0.00002	9,233	4	1
14,000	49.3%	51%	0.00003	0.00002	9,307	4	1
14,350	48.7%	51%	0.00003	0.00002	9,479	4	1
14,600	48.3%	52%	0.00003	0.00002	9,600	4	1
17,850	43.6%	56%	0.00003	0.00001	11,091	3	1
18,100	43.3%	57%	0.00003	0.00001	11,200	3	1
18,473	42.8%	57%	0.00003	0.00001	11,360	3	1
18,600	42.6%	57%	0.00003	0.00001	11,415	3	1
18,850	42.3%	58%	0.00003	0.00001	11,521	3	1
42,850	22.7%	77%	0.00002	0.00001	18,972	2	1
43,100	22.6%	77%	0.00002	0.00001	19,028	2	1
43,350	22.5%	78%	0.00002	0.00001	19,084	2	1
43,600	22.3%	78%	0.00002	0.00001	19,140	2	1
43,850	22.2%	78%	0.00002	0.00001	19,196	2	1
44,100	22.1%	78%	0.00002	0.00001	19,251	2	1
44,350	22.0%	78%	0.00002	0.00000	19,307	2	1
44,600	21.8%	78%	0.00002	0.00000	19,361	2	1
44,850	21.7%	78%	0.00002	0.00000	19,416	2	1
45,100	21.6%	78%	0.00002	0.00000	19,470	2	1

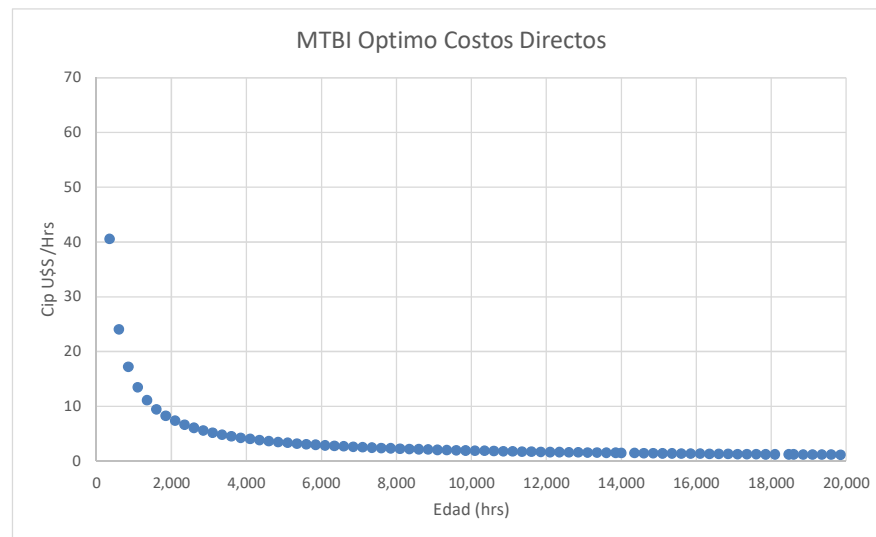
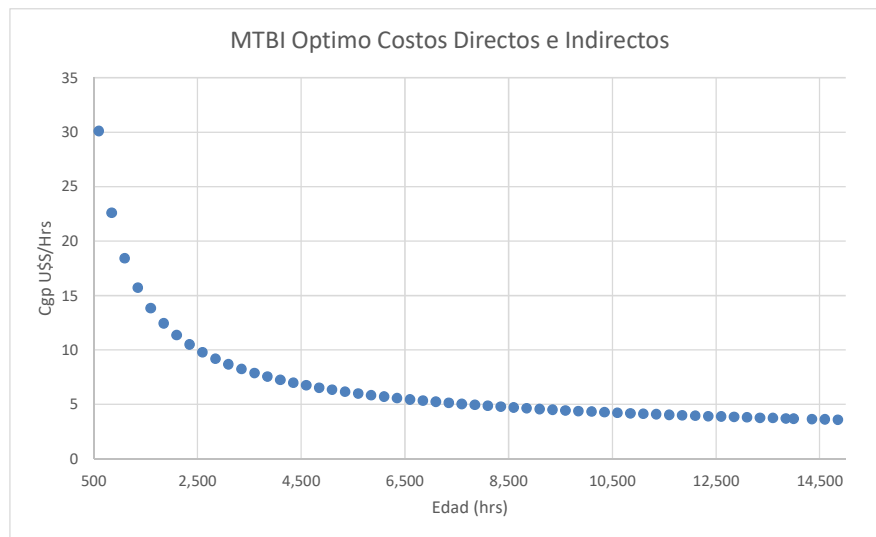
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBIc cambio hasta la falla	18,473
Confiabilidad	43%
Costo global correct \$/hr	2.96

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	14,000
Confiabilidad	49%
Costo global recomendado \$/hr	3.71

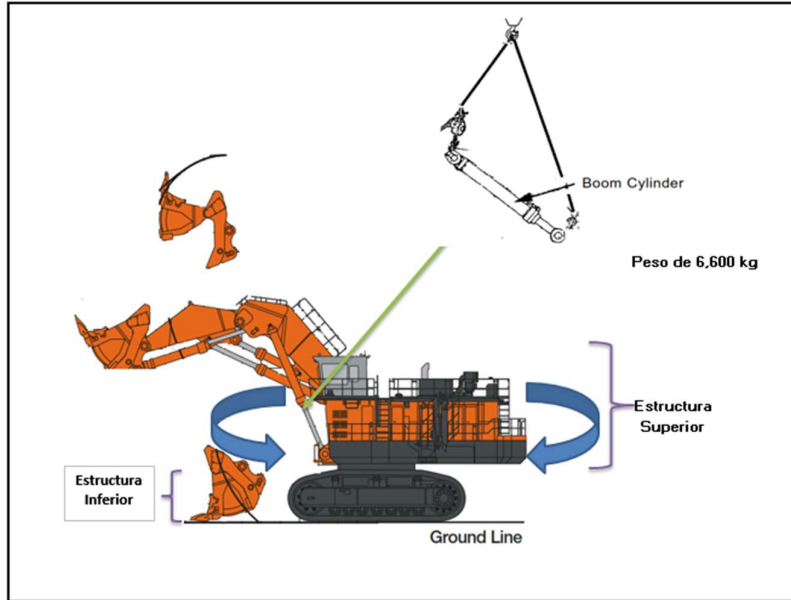
Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	37,600
Confiabilidad	26%
Costo global preventivo \$/hr	2.36

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	37,600
Confiabilidad	26%
Costo Directos preventivos \$/hr	1



Fuente: Elaboración propia.

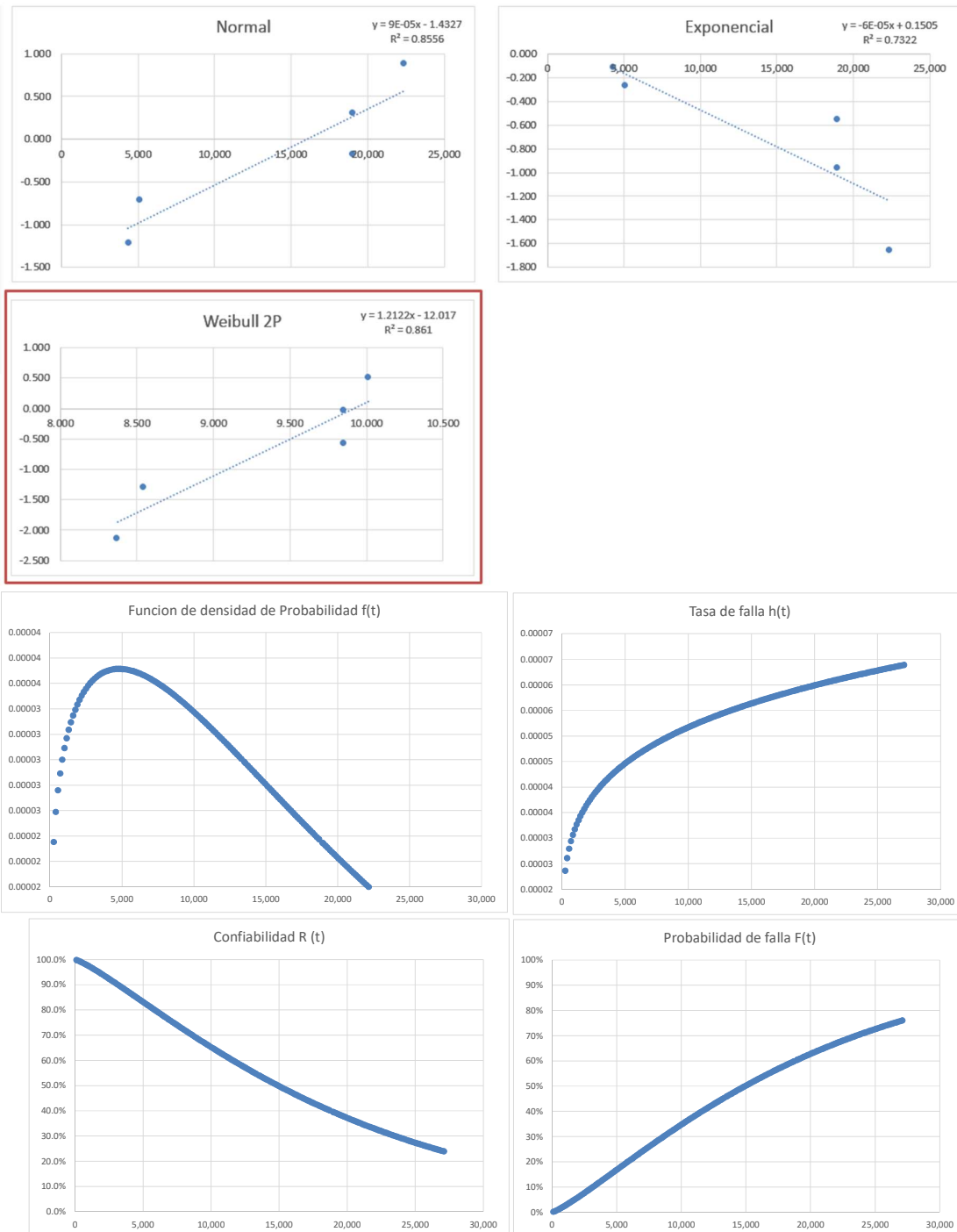
Anexo 16. Resultados del Boom Cylinder.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (#)	Delta	F(t)	R(t)
Boom Cylinder	SH004	New	Correctivo	102945	107276.1	4331.1	1	4,331	0	11%	89%
Boom Cylinder	SH007	New	Condición	54636.5	59135	4498.5	2	4,499	1	11%	89%
Boom Cylinder	SH003	New	Correctivo	90754	95892	5138	3	5,138	0	24%	76%
Boom Cylinder	SH002	New	Condición	96120.6	108634	12513.4	4	12,513	1	24%	76%
Boom Cylinder	SH004	New	Condición	82568.2	100745	18176.8	5	18,177	1	24%	76%
Boom Cylinder	SH003	New	Correctivo	76925	95892	18967	6	18,967	0	43%	57%
Boom Cylinder	SH005	New	Correctivo	75389.3	94371	18981.7	7	18,982	0	62%	38%
Boom Cylinder	SH001	New	Correctivo	91072	113439	22367	8	22,367	0	81%	19%

N °(i)	Boom Cylinder				Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (#)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))	
1	4,331	11%	89%	4,331	-1.221	4,331	-0.118	8.374	-2.139	8.374	-2.139	
2	5,138	24%	76%	5,138	-0.712	5,138	-0.272	8.544	-1.302	8.544	-1.302	
3	18,967	43%	57%	18,967	-0.180	18,967	-0.560	9.850	-0.581	9.850	-0.581	
4	18,982	62%	38%	18,982	0.303	18,982	-0.965	9.851	-0.036	9.851	-0.036	
5	22,367	81%	19%	22,367	0.876	22,367	-1.658	10.015	0.506	10.015	0.506	
5	N											
				σ	11202.54	λ	0.00006	β	1.21	β	1.21	
				μ	16050	MTTF	16135	η	20,190	η	20190	
				R2	0.8556	R2	0.7322	MTTF	18,943	MTBF	18943	
								R2	0.8610	R2	0.8610	
								g	0	g	0	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos	
Nombre	Boom Cylinder
Cantidad en máquina	2
Estado	nuevo
Hrs de reemplazo de fábrica	13,500
Hrs de instalacion en máquina	18
dias de reparacion TAT	30
Costo del componente USD	164,439
Costo Mano Obra USD / hr	15
Cip USD	164,889
Cic USD	164,889
Cfp USD	0
Factor del costo de falla	3
Cfc USD	494,667

Datos Weibull de Boom Cyl.	
Forma β	1.21
Escala η	20,190
Localizacion g	0
Vida Esperada MTTF	18,943
Vida Característica	20,190
Vida B10	3,154
Desviacion estandar σ	0.80
Mediana μ	9.85

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	99.8%	0%	0.00002	0.00002	100	1,658	1,650
250	99.5%	0%	0.00002	0.00002	249	671	661
400	99.1%	1%	0.00003	0.00003	398	424	414
550	98.7%	1%	0.00003	0.00003	547	313	302
700	98.3%	2%	0.00003	0.00003	695	249	237
13,150	55.2%	45%	0.00005	0.00003	10,205	38	16
13,300	54.7%	45%	0.00005	0.00003	10,288	38	16
13,500	54.1%	46%	0.00006	0.00003	10,397	38	16
13,600	53.8%	46%	0.00006	0.00003	10,451	38	16
13,750	53.4%	47%	0.00006	0.00003	10,531	38	16
18,550	40.6%	59%	0.00006	0.00002	12,775	36	13
18,700	40.2%	60%	0.00006	0.00002	12,835	36	13
18,943	39.6%	60%	0.00006	0.00002	12,932	36	13
19,000	39.5%	61%	0.00006	0.00002	12,955	36	13
19,150	39.1%	61%	0.00006	0.00002	13,014	36	13
26,050	25.6%	74%	0.00006	0.00002	15,220	35	11
26,200	25.4%	75%	0.00006	0.00002	15,259	35	11
26,350	25.1%	75%	0.00006	0.00002	15,296	35	11
26,500	24.9%	75%	0.00006	0.00002	15,334	35	11
26,650	24.7%	75%	0.00006	0.00002	15,371	35	11
26,800	24.4%	76%	0.00006	0.00002	15,408	35	11
26,950	24.2%	76%	0.00006	0.00002	15,444	35	11
27,100	24.0%	76%	0.00006	0.00002	15,480	35	11

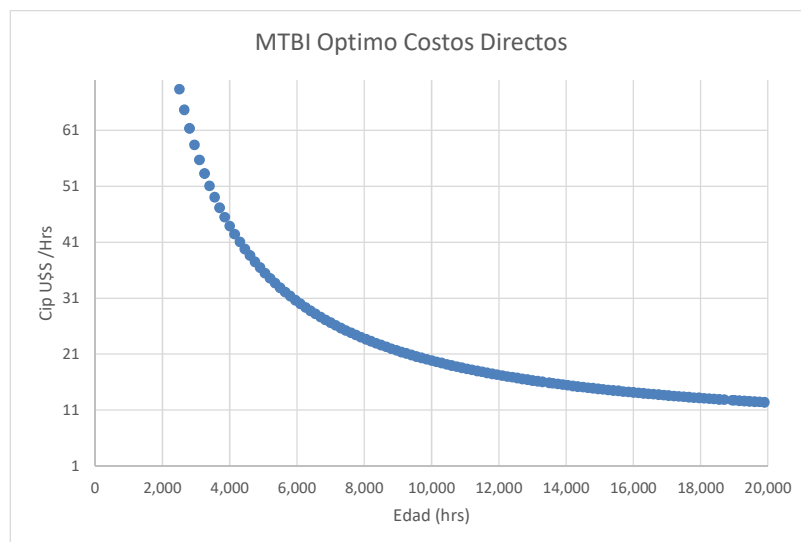
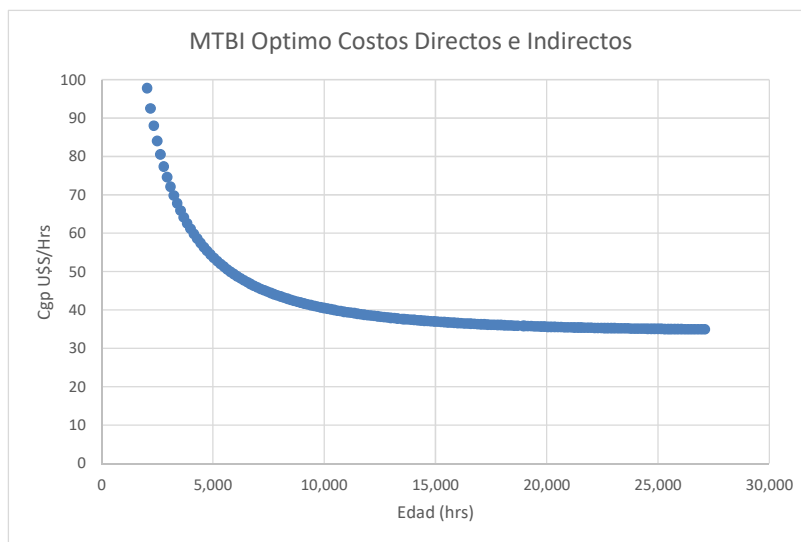
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	18,943
Confiabilidad	40%
Costo global correct \$/hr	35

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	13,500
Confiabilidad	54%
Costo global recomendado \$/hr	38

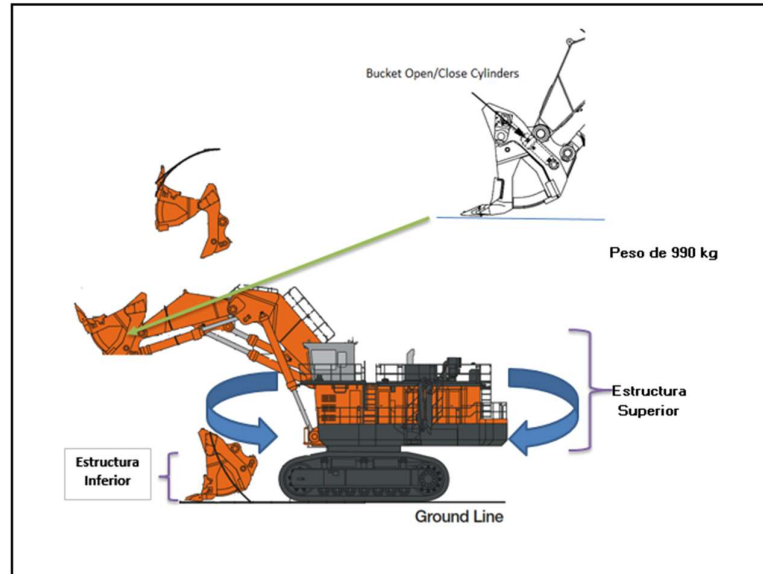
Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	21,100
Confiabilidad	35%
Costo global preventivo \$/hr	34.95

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	21,100
Confiabilidad	35%
Costo Directos preventivos \$/hr	11



Fuente: Elaboración propia.

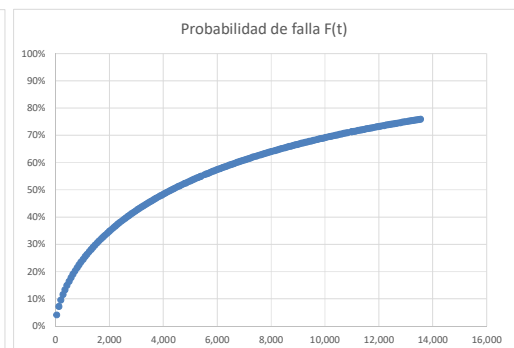
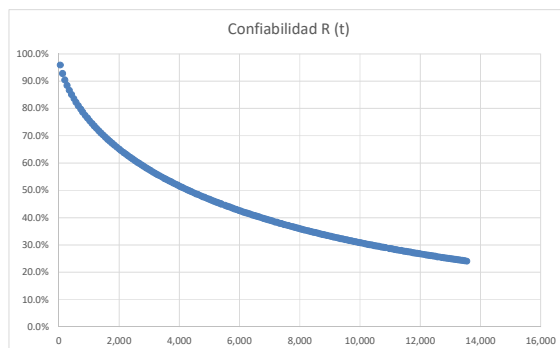
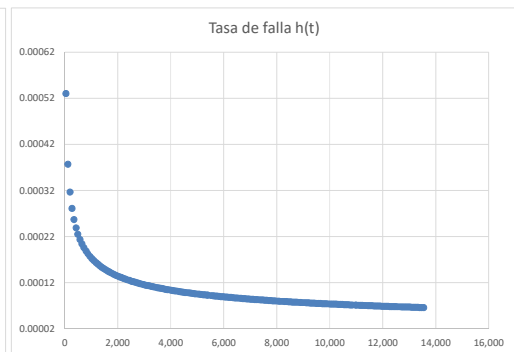
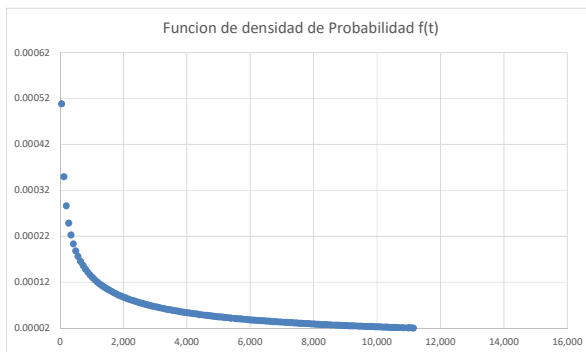
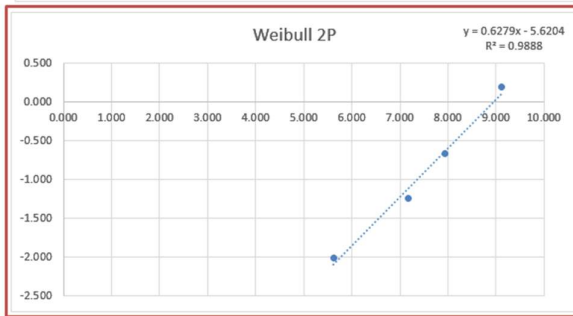
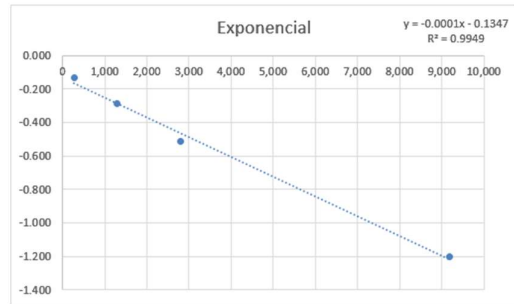
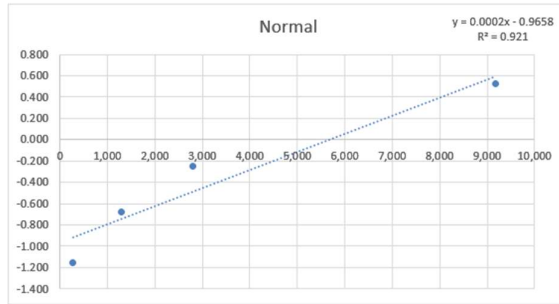
Anexo 17. Resultados del Bucket Open / Close Cylinders.



Component	Shovel	Entrant Component	Out Componente Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (t)	Delta	F(t)	R(t)
Bucket Open/Close Cyl	SH004	New	correctivo	90571.5	90846.4	274.9	1	275	0	13%	88%
Bucket Open/Close Cyl	SH007	New	Correctivo	73262	74555	1293	2	1,293	0	25%	75%
Bucket Open/Close Cyl	SH004	New	Condición	102058	104447	2389	3	2,389	1	25%	75%
Bucket Open/Close Cyl	SH005	New	Correctivo	90953	93750	2797	4	2,797	0	40%	60%
Bucket Open/Close Cyl	SH004	New	Condición	100039.8	105554	5514.2	5	5,514	1	40%	60%
Bucket Open/Close Cyl	SH001	New	Condición	102816.6	108723	5906.4	6	5,906	1	40%	60%
Bucket Open/Close Cyl	SH001	New	Correctivo	88981.5	98159	9177.5	7	9,178	0	70%	30%

N °(i)	Bucket O/C Cyl			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (t)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	Y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-g)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	275	13%	88%	275	-1.150	275	-0.134	5.616	-2.013	5.616	-2.013
2	1,293	25%	75%	1,293	-0.674	1,293	-0.288	7.165	-1.246	7.165	-1.246
3	2,797	40%	60%	2,797	-0.253	2,797	-0.511	7.936	-0.672	7.936	-0.672
4	9,178	70%	30%	9,178	0.524	9,178	-1.204	9.125	0.186	9.125	0.186
4	N										
				σ	5864.32	λ	0.00012	β	0.63	β	0.63
				μ	5664	MTTF	8479	η	7,722	η	7722
				R2	0.9210	R2	0.9949	MTTF	10,980	MTBF	10980
								R2	0.9888	R2	0.9888
								g	0	g	0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		Datos Weibull de Bucket O C Cyl.	
Nombre	Bucket O/C Cyl	Forma β	0.63
Cantidad en máquina	2	Escala η	7,722
Estado	nuevo	Localizacion g	0
Hrs de reemplazo de fábrica	5,400	Vida Esperada MTTF	10,980
Hrs de instalacion en máquina	6	Vida Característica	7,722
días de reparacion TAT	45	Vida B10	214
Costo del componente USD	56,408	Desviacion estandar σ	1.47
Costo Mano Obra USD / hr	15	Mediana μ	7.55
Cip USD	57,083		
Cic USD	57,083		
Cfp USD	0		
Factor del costo de falla	3		
Cfc USD	171,249		

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
50	95.9%	4%	0.00053	0.00051	49	1,317	1,172
125	92.8%	7%	0.00038	0.00035	119	582	478
200	90.4%	10%	0.00032	0.00029	188	391	304
275	88.4%	12%	0.00028	0.00025	255	302	224
350	86.6%	13%	0.00026	0.00022	321	249	178
5,300	45.4%	55%	0.00009	0.00004	3,332	45	17
5,375	45.1%	55%	0.00009	0.00004	3,366	45	17
5,400	45.0%	55%	0.00009	0.00004	3,378	45	17
5,525	44.5%	56%	0.00009	0.00004	3,434	44	17
5,600	44.2%	56%	0.00009	0.00004	3,467	44	16
10,775	29.2%	71%	0.00007	0.00002	5,321	34	11
10,850	29.0%	71%	0.00007	0.00002	5,343	33	11
10,980	28.7%	71%	0.00007	0.00002	5,381	33	11
11,000	28.7%	71%	0.00007	0.00002	5,387	33	11
11,075	28.5%	71%	0.00007	0.00002	5,408	33	11
12,800	25.3%	75%	0.00007	0.00002	5,872	32	10
12,875	25.2%	75%	0.00007	0.00002	5,891	31	10
12,950	25.1%	75%	0.00007	0.00002	5,909	31	10
13,025	24.9%	75%	0.00007	0.00002	5,928	31	10
13,100	24.8%	75%	0.00007	0.00002	5,947	31	10
13,175	24.7%	75%	0.00007	0.00002	5,965	31	10
13,250	24.6%	75%	0.00007	0.00002	5,984	31	10
13,325	24.5%	76%	0.00007	0.00002	6,002	31	10
13,400	24.3%	76%	0.00007	0.00002	6,021	31	9
13,475	24.2%	76%	0.00007	0.00002	6,039	31	9
13,550	24.1%	76%	0.00007	0.00002	6,057	31	9

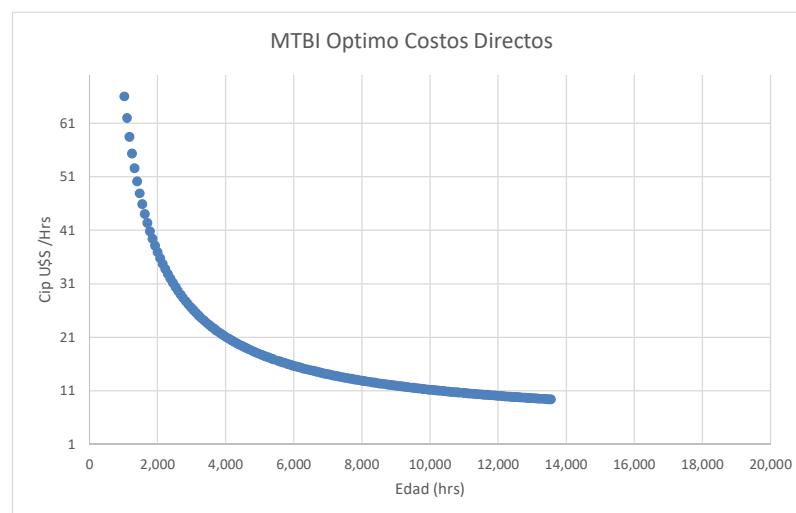
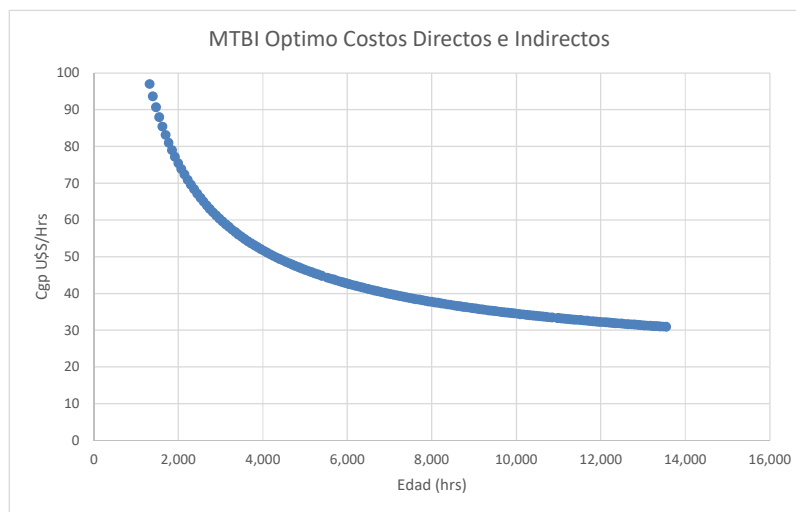
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBIc cambio hasta la falla	10,980
Confiabilidad	29%
Costo global correct \$/hr	21

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	5,400
Confiabilidad	45%
Costo global recomendado \$/hr	45

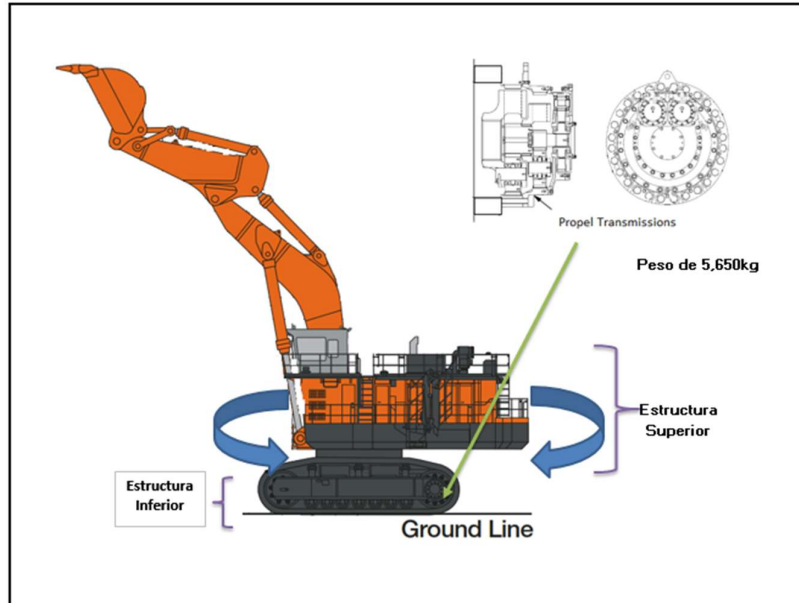
Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	13,500
Confiabilidad	24%
Costo global preventivo \$/hr	30.89

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	13,500
Confiabilidad	24%
Costo Directos preventivos \$/hr	10



Fuente: Elaboración propia.

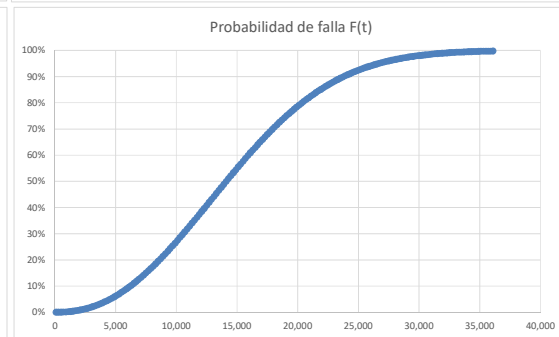
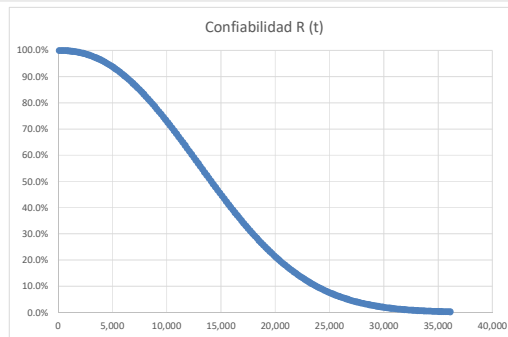
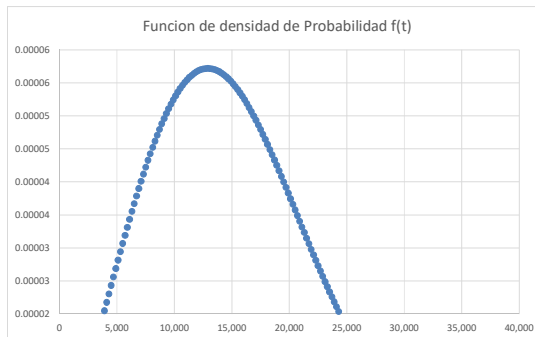
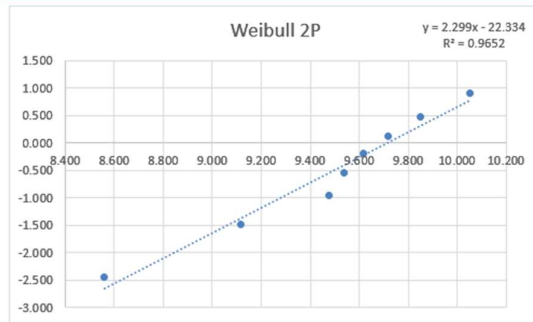
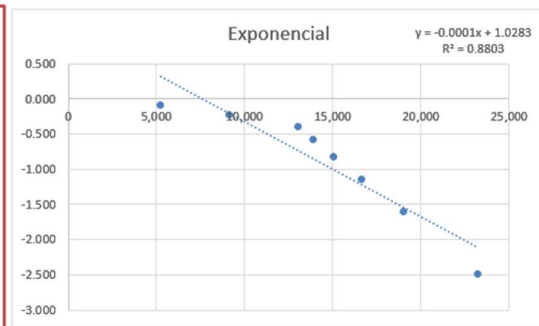
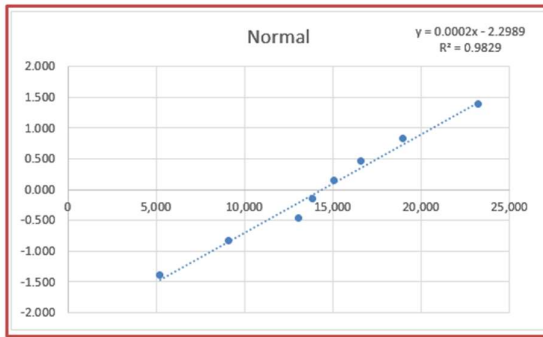
Anexo 18. Resultados del Propel Transmissions.



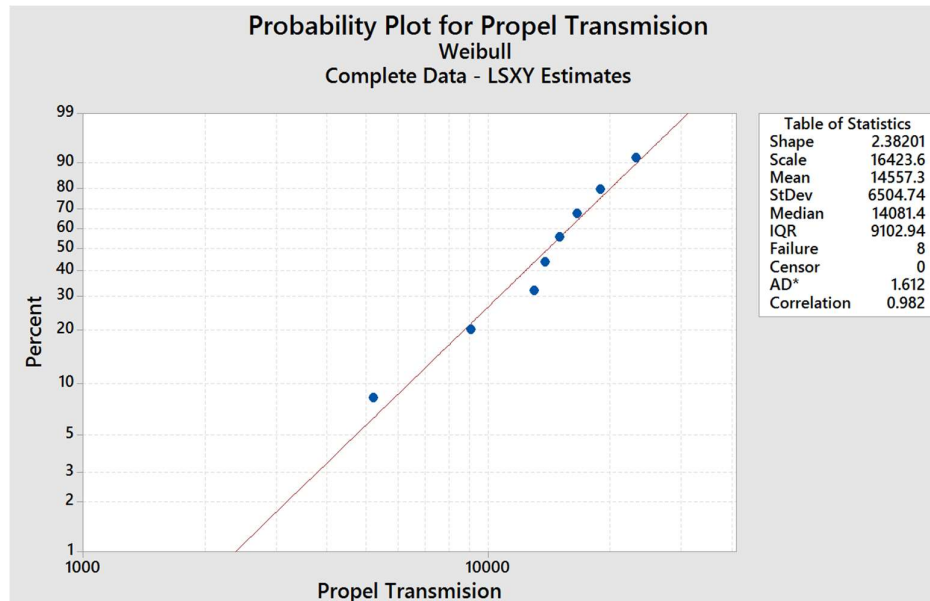
Component	Shovel	Entrant Component	Out Component Condition:	Hour meter installation	Hour meter exchange	Hours worked in the machine	N °(i)	TTF (t)	MR=F(t)	R(t)
Propel Transmissions	SH007	Rebuild	Correctivo	71532	76742.5	5210.5	1	5,211	8%	92%
Propel Transmissions	SH007	Rebuild	Correctivo	67647	76742.5	9095.5	2	9,096	20%	80%
Propel Transmissions	SH005	Rebuild	Correctivo	81344	94371	13027	3	13,027	32%	68%
Propel Transmissions	SH004	Rebuild	Correctivo	93408.6	107276.1	13867.5	4	13,868	44%	56%
Propel Transmissions	SH004	Rebuild	Correctivo	92233.5	107276.1	15042.6	5	15,043	56%	44%
Propel Transmissions	SH002	Rebuild	Correctivo	95758	112358.6	16600.6	6	16,601	68%	32%
Propel Transmissions	SH003	Rebuild	Correctivo	76925	95892	18967	7	18,967	80%	20%
Propel Transmissions	SH001	Rebuild	Correctivo	90214	113439	23225	8	23,225	92%	8%

N °(i)	Propel Transmi			Normal		Exponencial		Weibull 2P		Weibull 3P	
	TTF (t)	MR=F(t)	R(t)	X=ti	Z=F ⁻¹ (t)	X=ti	y=Ln R(t)	X=ln(ti)	Y=ln(ln(1/Rt))	X=ln(ti-9)	Y=ln(ln(1/Rt))
1	5,211	8%	92%	5,211	-1.383	5,211	-0.087	8.558	-2.442	8.558	-2.442
2	9,096	20%	80%	9,096	-0.833	9,096	-0.226	9.116	-1.487	9.116	-1.487
3	13,027	32%	68%	13,027	-0.464	13,027	-0.388	9.475	-0.947	9.475	-0.947
4	13,868	44%	56%	13,868	-0.150	13,868	-0.581	9.537	-0.544	9.537	-0.544
5	15,043	56%	44%	15,043	0.150	15,043	-0.820	9.619	-0.199	9.619	-0.199
6	16,601	68%	32%	16,601	0.464	16,601	-1.135	9.717	0.127	9.717	0.127
7	18,967	80%	20%	18,967	0.833	18,967	-1.598	9.850	0.469	9.850	0.469
8	23,225	92%	8%	23,225	1.383	23,225	-2.485	10.053	0.910	10.053	0.910
8	N										
				σ	6254.92	λ	0.00014	β	2.30	β	2.30
				μ	14379	MTTF	7400	η	16,552	η	16552
				R2	0.9829	R2	0.8803	MTTF	14,664	MTBF	14664
								R2	0.9652	R2	0.9652
								g	0	g	0

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



05/15/2017 3:02:00 PM

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Distribution Analysis: Propel Transmission

Variable: Propel Transmission

Censoring Information Count
Uncensored value 8

Estimation Method: Least Squares (failure time(X) on rank(Y))

Distribution: Weibull

Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Shape	2.38201	1.01937	1.02962	5.51075
Scale	16423.6	2592.05	12054.0	22377.4

Log-Likelihood = -80.177

Goodness-of-Fit

Anderson-Darling (adjusted) = 1.612

Correlation Coefficient = 0.982

Characteristics of Distribution

	Estimate	Standard Error	95.0% Normal CI	
			Lower	Upper
Mean (MTTF)	14557.3	2303.45	10675.6	19850.4
Standard Deviation	6504.74	2621.38	2952.56	14330.5
Median	14081.4	2435.06	10033.4	19762.5
First Quartile (Q1)	9734.51	2705.64	5645.84	16784.2
Third Quartile (Q3)	18837.5	3138.80	13589.1	26112.8
Interquartile Range (IQR)	9102.94	3542.78	4245.24	19519.2

Fuente: Elaboración propia.

Detalle del Componente & Costos		
Nombre	Propel Transmi	
Cantidad en máquina	2	
Estado	Rebuild	
Hrs de reemplazo de fábrica	24,500	
Hrs de instalacion en máquina	36	
días de reparacion TAT	45	
Costo del componente USD	228,494	
Costo Mano Obra USD / hr	15	
Cip USD	229,169	
Cic USD	229,169	
Cfp USD	0	
Factor del costo de falla	3	
Cfc USD	687,507	

Datos Weibull de Propel Transmision		
Forma β	2.30	
Escala η	16,552	
Localizacion g	0	
Vida Esperada MTTF	14,664	
Vida Característica	16,552	
Vida B10	6,219	
Desviacion estandar σ	0.47	
Mediana μ	9.58	

Hrs (t)	R R (t)	CDF F(t)	λ h(t)	PDF f(t)	MTBI (p) Hrs	Cgp. general \$/hr	Cgp. Directo \$/hr
100	100.0%	0%	0.00000	0.00000	100	2,292	2,292
300	100.0%	0%	0.00000	0.00000	300	764	764
500	100.0%	0%	0.00000	0.00000	500	459	458
700	99.9%	0%	0.00000	0.00000	700	328	327
900	99.9%	0%	0.00000	0.00000	900	256	255
8,900	78.7%	21%	0.00006	0.00005	8,295	45.32	28
9,100	77.7%	22%	0.00006	0.00005	8,452	45.28	27
9,300	76.7%	23%	0.00007	0.00005	8,606	45.27	27
9,500	75.7%	24%	0.00007	0.00005	8,758	45.28	26
9,700	74.6%	25%	0.00007	0.00005	8,909	45.31	26
24,100	9.3%	91%	0.00023	0.00002	14,315	60	16
24,300	8.9%	91%	0.00023	0.00002	14,334	60	16
24,500	8.5%	91%	0.00023	0.00002	14,351	59.80	16
24,700	8.1%	92%	0.00023	0.00002	14,368	60	16
24,900	7.8%	92%	0.00024	0.00002	14,384	60	16
34,300	0.5%	100%	0.00036	0.00000	14,651	62	16
34,500	0.4%	100%	0.00036	0.00000	14,652	62	16
34,700	0.4%	100%	0.00036	0.00000	14,653	62	16
34,900	0.4%	100%	0.00037	0.00000	14,654	62	16
35,100	0.4%	100%	0.00037	0.00000	14,655	62	16
35,300	0.3%	100%	0.00037	0.00000	14,655	62	16
35,500	0.3%	100%	0.00037	0.00000	14,656	62	16
35,700	0.3%	100%	0.00038	0.00000	14,657	62	16
35,900	0.3%	100%	0.00038	0.00000	14,657	62	16
36,100	0.2%	100%	0.00038	0.00000	14,658	62	16

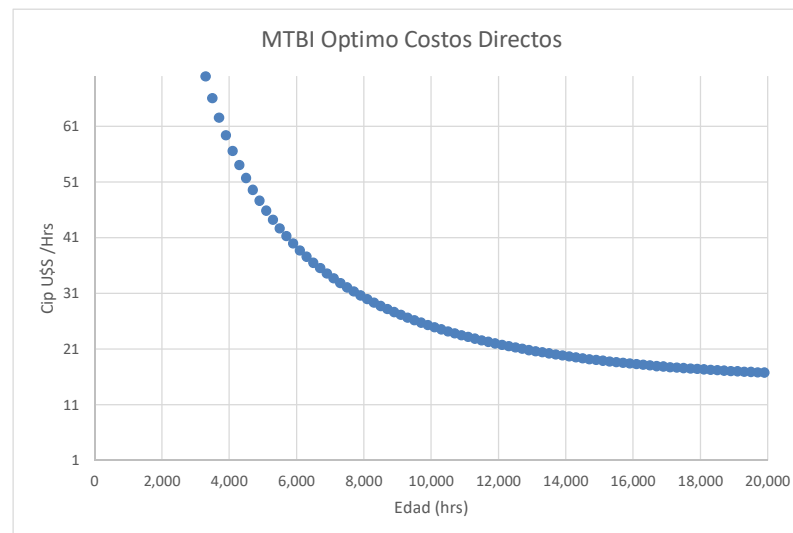
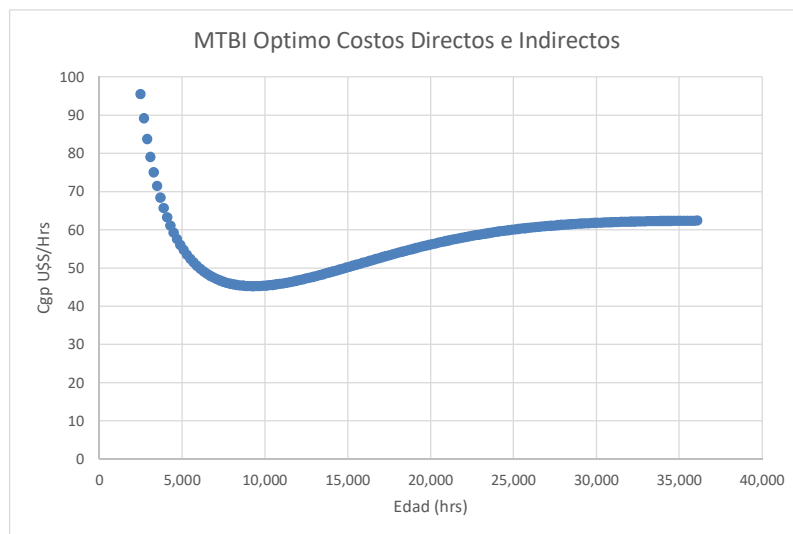
Fuente: Elaboración propia.

Política Correctiva Falla	
MTBic cambio hasta la falla	14,664
Confiabilidad	47%
Costo global correct \$/hr	63

Política Preventiva Actual	
MTBI Actual	24,500
Confiabilidad	9%
Costo global recomendado \$/hr	60

Política Preventiva C. Generales	
MTBIp optimo	9,300
Confiabilidad	77%
Costo global preventivo \$/hr	45.27

Política Preventiva C Directos	
MTBIp optimo	21,100
Confiabilidad	17%
Costo Directos preventivos \$/hr	16



Fuente: Elaboración propia.