www.MAQUINARIAS PESADAS.org

Índice

1. Introducción **1**

2. Objetivos **1**

3. Antecedentes de la empresa **2**

4. Descripción del equipo **2**

5. Identificación del Equipo **3**

6. Diagrama funcional de bloques **4**

7. Condiciones de operación **4**

7.1. Operación en Demolición 4

7.2. Operación en Excavación 5

7.3. Operación en Transporte 5

8. Condiciones actuales de mantención **6**

9. Análisis de modos de falla **7**

10. Árbol de fallas **9**

11. Análisis de importancia **11**

12. Análisis de Pareto sobre los modos de falla **12**

13. Costos por modo de Falla **14**

14. Arbol de Mantención Modo de Falla Crítico **15**

15. Modelo de Weibull **16**

15.1. Método iterativo 16

15.2. Sensibilidad y Error cuadrático 17

15.3. Validación del modelo 20

15.4. Curva de confiabilidad 21

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

15.5. MTBF 22
15.6. Tasa de fallas 23

16.Estretegia óptima de Mantención 25
16.1. Plazo óptimo entre mantenciones preventivas 25

17.Frecuencia óptima de inspecciones 27
17.1. Minimización CGM 27
17.2. Maximización disponibilidad 28

18.Reemplazo óptimo de equipos 30

19.Overhaul y reemplazo 31

20.Planificación PERT para plan preventivo completo del equipo 32

21.Gestión de repuestos 35

22.Redundancia óptima 36

23.Estructura organizacional 38

24.Plan de mantención RBM 38

25.Mantenimiento TPM 39

26.Evaluación de impacto técnico/económico del proyecto 39

27.Conclusiones 41

28.Referencias 42

Índice de figuras

1. Excavadora Hitachi EX200 LC-5 3
2. Diagrama funcional de bloques de la Excavadora 4
3. Camión de cama baja 5

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

4. Tabla con historial de fallas de la excavadora . . . 6
5. FMECA de la excavadora . . . 7
6. FMECA de la excavadora . . . 8
7. Árbol de falla principal . . . 9
8. Árbol de falla Sistema Excavadora . . . 10
9. Árbol de falla Sistema Traslación . . . 10
10. Probabilidad de falla . . . 11
11. Registro de falla - Análisis de Pareto . . . 12
12. Tabla de valores - Análisis de Pareto . . . 12
13. Gráfico de Pareto - Análisis de Pareto . . . 13
14. Costos Modos Críticos . . . 14
15. Arbol de Mantención . . . 15
16. Datos de Weibull, γ=0 . . . 16
17. Ajuste de Weibull, γ=0 . . . 17
18. Error cuadrático . . . 17
19. Datos de Weibull, γ=35 . . . 18
20. Ajuste de Weibull, con $\gamma = 35$ . . . 19
21. Parámetros Weibull . . . 19
22. Kolmogorov-Smirnov . . . 20
23. Tabla valores de Confiabilidad . . . 21
24. Curva de Confiabilidad . . . 22
25. Datos de fallas . . . 23
26. Curva tasa de fallas . . . 24
27. X_s minimo . . . 25
28. valores de T_s^* y X_s^* . . . 26
29. Frecuencia óptima de Inpección . . . 27
30. Análisis de CGM para n=1 y n=2 . . . 27
31. Tabla Disponibilidad esperada por ciclo . . . 28
32. Gráfico de Disponibilidad . . . 29
33. Tabla Pert . . . 32
34. Carta Gant . . . 33
35. Diagrama Pert . . . 33

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

36. Tiempos de mantención 34
37. Evaluación del costo global 37
38. Check List 39

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

1. Introducción

El presente trabajo es un desarrollo de un informe semestral para el curso de Mantención de Maquinaria que corresponde al análisis de un equipo en particular perteneciente a una empresa. Este equipo, al cual se le debe haber efectuado una mantención periódica por parte de la misma empresa o servicios contratados durante su funcionamiento, deberá tener un historial detallado de todas las reparaciones, revisiones y costos asociados a éstas.

Considerando lo anterior, este informe contiene la descripción técnica y de mantención de una máquina excavadora perteneciente a una empresa de Santiago que opera en diversos servicios de sus características operacionales.

La información sobre el equipo será entregada por la misma empresa la cual ha mantenido el equipo desde el comienzo de su funcionamiento.

Como informe preliminar, se realizará, en primera instancia, los análisis correspondientes a la etapa inicial de lo visto en el curso de Mantención de Maquinaria.

2. Objetivos

Como se menciona anteriormente, el objetivo principal de este informe es el de diseñar un plan de mantención para el equipo. Los objetivos por etapas son lo siguientes:

- Adquirir un conocimiento general del funcionamiento del vehículo
- Recopilar antecedentes de falla de la máquina para posterior manejo
- Hacer diagramas que permitan relacionar componentes de la excavadora, como un diagrama funcional de bloques y árboles de falla.
- Realizar un análisis de modos de fallas cualitativos en primera instancia mediante un FMECA.
- Estimar costos para modos de falla.



www.MAQUINARIAS PESADAS.org

3. Antecedentes de la empresa

La empresa escogida para el estudio es ABA MAQUINARIA, cuyo rubro es el arriendo de maquinaria en general y movimientos de tierra. Para tal labor en la actualidad cuenta con 2 máquinas destinadas al movimiento de tierra y una reciente inversión de USD$ 65.000 en una retroescavadora marca New Holland.

La manera de operación de la empresa gira en torno al accionar del dueño, luego este personaje a través de sus contactos consigue diversos tipos de trabajos, ya que en el rubro de la construcción las plazas importantes están ocupadas por empresas grandes que poseen todo tipo de maquinaria destinada exclusivamente a sus obras. Luego queda en evidencia que al ser una empresa especializada en proveer los servicios destacados anteriormente, la gestión en la mantención es una herramienta vital para minimizar el Costo Global de Mantención de cada equipo.

Con respracto a la empresa en si los datos reelevantes son su ubicación es Av. Egaña 688 y el RUT es 78.793.760-8 y el contacto para el suministro de información es Don Alejandro Bravo A. cuyo mail es `abamaq@adsl.tie.cl`

4. Descripción del equipo

Como en la empresa existen varios equipos, los cuales son una máquina Komatsu, una Hitachi y recientemente una New Holland,luego la selección se basa en un factor fundamental para el estudio y este es la existencia de datos consistentes.

En el caso de la empresa existen equipos redundantes sólo en el caso que alguna de las máquinas esté sin un trabajo pendiente, luego en el caso de que ambas se encuentren realizando algún trabajo en forma independiente el concepto de redundancia de equipos no existe, luego en el caso de una falla y según el grado de criticidad las posibilidades son detener el equipo procediendo al arreglo o el último de los casos se llega a subcontratar servicios de otros oferentes.

Los datos fundamentales del equipo se definen a continuación:

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

Marca	:	Hitachi
Modelo	:	EX200 LC-5
Peso Excavadora	:	20 Ton
Capacidad Cuchara	:	0.9 m^3
Carga Máxima	:	4.5 Ton
N° Serie	:	14M-50001
Color	:	naranjo

Marca Motor	:	Isuzu
Modelo Motor	:	A-6BG1 TQA01 Turboalimentado
Cilindrada	:	5.000 cm^3
Potencia	:	160 H.P.
Sistema de propulsión	:	Rodados de 7 ruedas por lado

5. Identificación del Equipo



Figura 1: Excavadora Hitachi EX200 LC-5

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

6. Diagrama funcional de bloques

El siguiente diagrama presenta la división en los principales sistemas funcionales de la máquina y los factores externos con que interactúa.

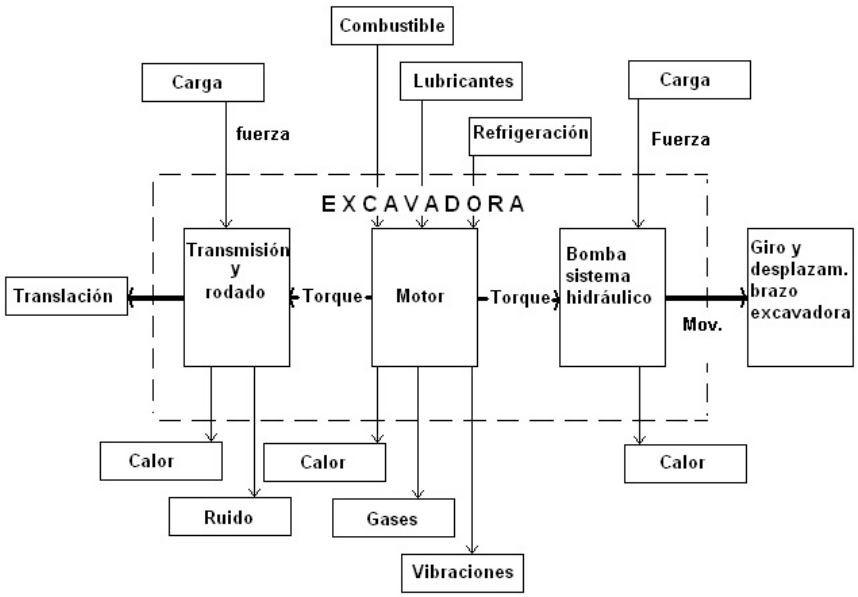


Figura 2: Diagrama funcional de bloques de la Excavadora

7. Condiciones de operación

Debido a la gran versatilidad de prestaciones que ofrece este tipo de maquinaria, sería correcto hacer una referencia a cada una de las condiciones de operación a que se expone la excavadora, por lo tanto se hará referencia sólo a las principales actividades realizadas en la vida del equipo.

7.1. Operación en Demolición

En este caso la máquina opera en condiciones de exigencia máxima, ya que es expuesta periódicamente a fuertes golpes en algunas de sus secciones, por tanto una falla por ruptura es más susceptible. El modo de falla más recurrente en este modo de operación es el rompimiento en conjunto o por separado de las calzas.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

7.2. Operación en Excavación

En esta operación la máquina está propensa, según sea el terreno, a entrar en contacto con tierra y humedad (peso extra), como también operaciones en terrenos rocosos, donde tanto el rodado como la cuba y las calzas sufren un desgaste elevado. Debido a la cantidad de tierra que circula en el ambiente, los filtros sufren y acrecenta el desgaste de estos.

7.3. Operación en Transporte

Dado que la máquina se traslada con sistema de orugas, ésta necesita de un camión de cama baja o zorra, cuya rampa de acceso produce fuertes daños en el rodado como también emite grandes ruidos (Vibraciones en la estructura). El modo de falla característico de esta operación sería el rompimiento del rodado.



Figura 3: Camión de cama baja

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

8. Condiciones actuales de mantención

Si bien se realizan mantenciones preventivas periódicamente en los componentes tradicionales de los vehículos de trabajo pesado, en otros aspectos se realiza mantención correctiva.

Los cambios de aceite, fluidos de los sistemas hidráulicos y otros niveles, filtros, se realizan de acuerdo a la ficha técnica recomendada por el fabricante, de forma preventiva.

Gran cantidad de reparaciones se realizan en forma correctiva, como por ejemplo: cambio de pistones de la bomba inyectora del sistema hidráulico, dientes de la pala excavadora, batería, daños en la oruga, etc.

El historial de fallas y mantenciones existente corresponde al relato del mismo propietario con datos específicos de acciones realizadas, costos y horas de operación.

A continuación se detalla una tabla con el historial mencionado:

Tipo Mantención	Descripción	Frecuencia de cambio	Cantidad	Costo unit. (pesos)	Tpo de repar.
Mant. Pre-falla tipo Predictiva:	No hay				
Mant. Pre-falla tipo Preventiva:	Aceite motor	250 horas	2 gal.	20000	0.5 horas
	Filtro aceite	250 horas	2	15000	0.5 horas
	Filtro petróleo	250 horas	1	10000	0.5 horas
	Aceite hidráulico	4000 horas		180000	0.5 horas
	Filtro hidráulico	4000 horas	1	80000	0.5 horas
	Engrase	diário	2 kg	2000	0.5 horas
	Filtro de aire	según cond. de trabajo	1	54000	0.5 horas
	Mangueras flexibles	8000 horas		250000	2.0 horas
Mant. Post-falla tipo Correctiva:	Calzas (dientes de la pala)	mensual	5	15000	0.5 horas
	Trizadura en el balde	eventual	1	25000	0.5 horas
	Daños en el fondo del balde	eventual	1	1000000	0.5 horas
	Labios	eventual	1	250000	0.5 horas
	Porta calza	eventual	1	25000	0.5 horas
	Helice radiador	7500 horas	1	350000	1 dia
	Oxido en pistones bomba inyect.	5000 horas		1800000	2 dias
	Packing botella hidráulica	eventual	1	450000	2 dias

Figura 4: Tabla con historial de fallas de la excavadora

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

9. Análisis de modos de falla

identificación del item	subsistema	función	Modo de falla	Causas	daños			métodos de detección	acciones correctivas	calificacion de gravedad (1 a 5)
					efectos locale	efectos de nivel su	efectos finale			
Sistema de traslación	Motor	proveer al sistema de torque	No funciona. Motor con sonidos extraños	Sistema electrico, motor de partida, bujia radiante, bomba de combustible, válvulas, nivel de combustible, correas	El motor no funciona	Posibles daños mayores a consecuencia	Máquina no operativa	el conductor debe chequear los indicadores básicos y niveles, o consultar a un servicio técnico	Reparar, reemplazar o rellenar, según corresponda la causa de la falla. Hacer cambio de aceite y filtro del motor.	5
	Motor	proveer al sistema de torque	Motor no parte. Motor con sonidos extraños	Bateria mala, combustible bajo, condiciones ambientales, sistema electrico	El motor no funciona	Posibles daños mayores a consecuencia	Máquina no operativa	el conductor debe chequear los indicadores básicos y niveles, o consultar a un servicio técnico	Reparar, reemplazar o rellenar, según corresponda la causa de la falla. Hacer cambio de aceite y filtro del motor.	5
	Transmisión	transmite el torque a la tracción	Mala respuesta de transmisión	Lubricantes de caja y diferencial en mal estado, embrage gastado, caja de cambios dañada, cardan dañado	malas condiciones de conducción, desgaste de piezas a otros niveles.	ruptura de partes vitales para el funcionamiento del vehículo.	Máquina no operativa	ruidos caracteristicos de este tipo de problemas, revisión periodica de niveles de lubricantes de este sistema.	cambio de piezas pertinentes, cambio de acietes y filtros de los sistemas de transmisión.	3
	Rodado	permitir desplazamiento	máquina detenida	Daños en rodado	El vehiculo no se mueve o se desplaza con dificultad	Daños en rodillos y estructura general	Máquina no operativa		Cambio de piezas pertinentes	3

Figura 5: FMECA de la excavadora

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

	Rodado	permitir desplazamiento	máquina detenida	Daños en rodado	El vehiculo no se mueve o se desplaza con dificultad	Daños en rodillos y estructura general	Máquina no operativa		Cambio de piezas pertinentes	3
	Chasis	sujeción del equipo	Fracturas, torceduras y abolladuras	Impacto	Vehiculo con deformación física	Colapso de la máquina	Máquina no operativa		Cambio de piezas pertinentes	3
Sistema Hidráulico	Bomba	proveer presión	Brazo inmóvil, carencia de rotación, pérdida de fuerza	Fugas,rotura en los sellos.	El brazo no se mueve o se desplaza con lentitud	Caida de carga	Máquina no operativa		Cambio de piezas pertinentes	5
	Válvula	regular presión	Movimientos no deseados del brazo	Falla del resorte.	El brazo no se mueve o se desplaza con lentitud	Caida de carga	Máquina no operativa		Cambio de piezas pertinentes	5
	Estructura del brazo	Excavar y aplicación de fuerza			El brazo se atasca o opera en forma inexacta	Caida de carga	Máquina no operativa		Cambio de piezas pertinentes	3
Sistema eléctrico		Administración eléctrica			Falla de algunos subsistemas	Pane general	Máquina no operativa	el conductor debe chequear los indicadores básicos o consultar a un servicio técnico	Cambio de piezas pertinentes	2
Mandos en cabina		Control de la máquina	Descontrol de máquina	Falla de algunos subsistemas	Falla de algunos subsistemas	Inactividad general	Máquina no operativa	el conductor debe chequear los indicadores básicos o consultar a un servicio técnico	Cambio de piezas pertinentes	4
Sistema general	refrigeración	mantener el motor a temperatura adecuada	Exceso de temperatura	bajos niveles de líquido refrigerante, fugas en sistema refrigerante, radiador tapado, condiciones ambientales	sobrecalentamiento del motor u otros sistemas	fundir motor, mal rendimiento, posible incendio	Máquina no operativa	revisión de niveles de líquidos refrigerantes, inspección visual de indicador de panel, inspección de fugas.	rellenado de fluidos refrigerantes, reparación de refrigerantes, labado o recambio de radiador	5

Figura 6: FMECA de la excavadora

Observaciónes:

A medida que se conozcan con mayor profundidad los sistemas que componen esta máquina se podrá incrementar el listado de modos de falla, también estas informaciones se deben recolectar por buenas informaciones de experiencia.

La escala de criticidad fué confeccionada con datos cualitativos de los daños ya ocurridos en la máquina asi como la experiencia con otros sistemas de vehículos similares.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

10. Árbol de fallas

Para la máquina que se analiza se desarrollaron árboles de falla que abarca gran parte del sistema de funcionamiento.

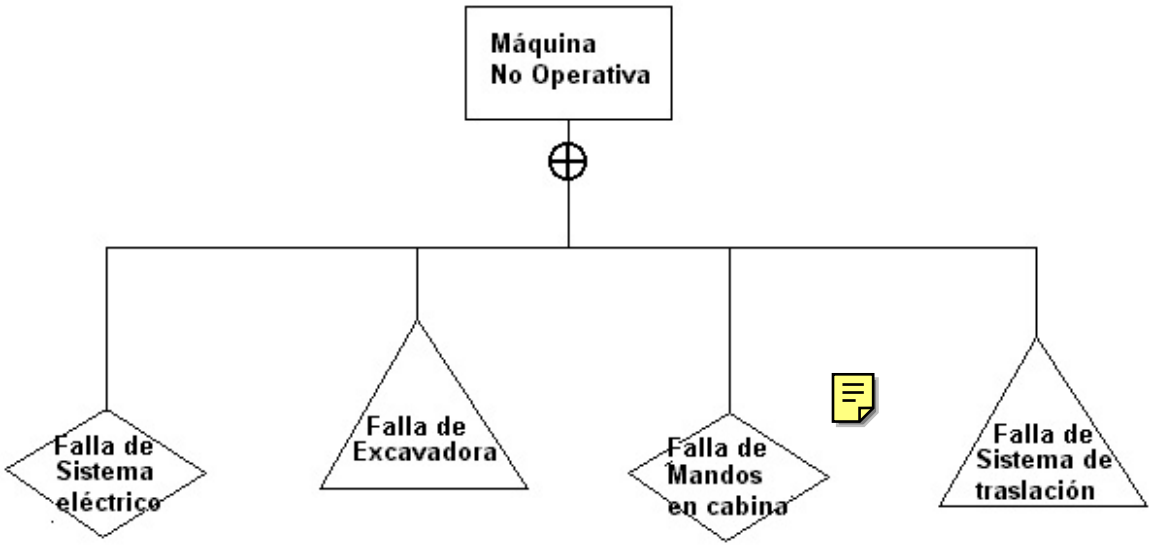


Figura 7: Árbol de falla principal

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

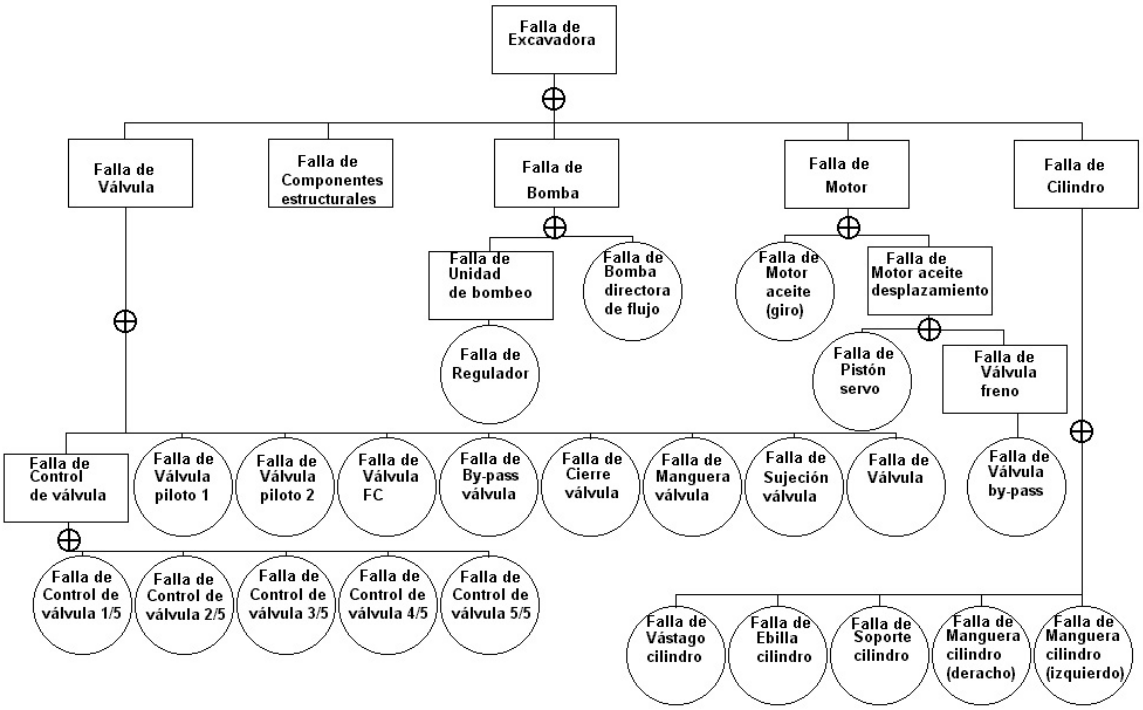


Figura 8: Árbol de falla Sistema Excavadora

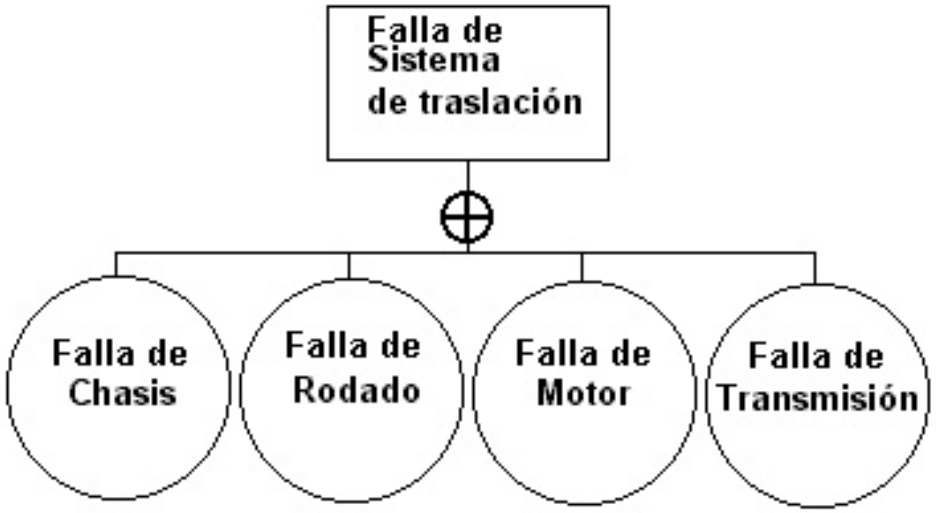


Figura 9: Árbol de falla Sistema Traslación

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

11. Análisis de importancia

Si se revisa el historial de falla para los modos de falla se ve que es difícil hacer un análisis de importancia, ya que con tan pocos datos es imposible evaluar una probabilidad para cada causa de modo de falla. Para maquinarias y sistema relativamente nuevos, el mejor método para determinar la importancia de los modos de falla es el juicio bien informado y la experiencia del encargado de mantención.

Tipo	Probabilidad de falla (importancia)
Calzas (dientes de la pala)	0,64516129
Trizadura en el balde	0,064516129
Daños en el fondo del balde	0,080645161
Porta calza	0,161290323
Helice radiador	0,016129032
Oxido en pistones bomba inyect.	0,016129032
Packing botella hidráulica	0,016129032

Figura 10: Probabilidad de falla

Al revisar el historial de fallas, la falla más probable es la de las calzas y del balde, por lo que se considerarán los más importantes.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

12. Análisis de Pareto sobre los modos de falla

El análisis de Pareto de esta máquina se proyecta en el horizonte de sus 8500 horas de actividad. Los componentes que presentan mayores costos en el tiempo asi como mayor frecuencia deben recibir los mayores esfuerzos de mantención.

En la tabla a continuación, "No ingresos"se refieres a ingresos que no se percibieron por concepto de inactividad; Çosto total representa la suma algebraica de costos de reparación y no ingresos.

PARETO					
Registro falla Análisis de Pareto					
Tipo	**Horas paradas (estimación)**	**Cant. Fallas**	**CIM**	**CFM**	**Costo total**
Calzas (dientes de la pala)	20	40	600.000	325.000	925.000
Trizadura en el balde	2	4	100.000	33.000	133.000
Daños en el fondo del balde	2,5	5	5.000.000	40.000	5.040.000
Porta calza	5	10	250.000	82.000	332.000
Helice radiador	8	1	350.000	130.000	480.000
Oxido en pistones bomba inyect.	16	1	1.800.000	260.000	2.060.000
Packing botella hidráulica	16	1	450.000	260.000	710.000
		62			9.680.000

Figura 11: Registro de falla - Análisis de Pareto

Según la anterior tabla, lo que refiere a daños en el fondo del balde representa los mayores costos de reparación. Esto hace pensar que mejoras en el diseño del balde puedan solucionar este problema en forma económicamente conveniente (por ejemplo, fondo de goma en el balde, acero de mayor dureza superficial en la zona exterior (zona de mayor criticidad)).

Ci	Fi	suma Ci	suma Fi	suma Ci / Ct	suma Fi/Ft
5040000	5	5040000	5	0,520661157	0,080645161
2060000	1	7100000	6	0,733471074	0,096774194
925000	40	8025000	46	0,829028926	0,741935484
710000	1	8735000	47	0,902376033	0,758064516
480000	1	9215000	48	0,95196281	0,774193548
332000	10	9547000	58	0,986260331	0,935483871
133000	4	9680000	62	1	1

Figura 12: Tabla de valores - Análisis de Pareto

En lo que respecta a la cantidad de fallas históricas y no ingresos percebidos, los daños en las calzas se destacan y merecen también mayor esfuerzo de mantención.

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

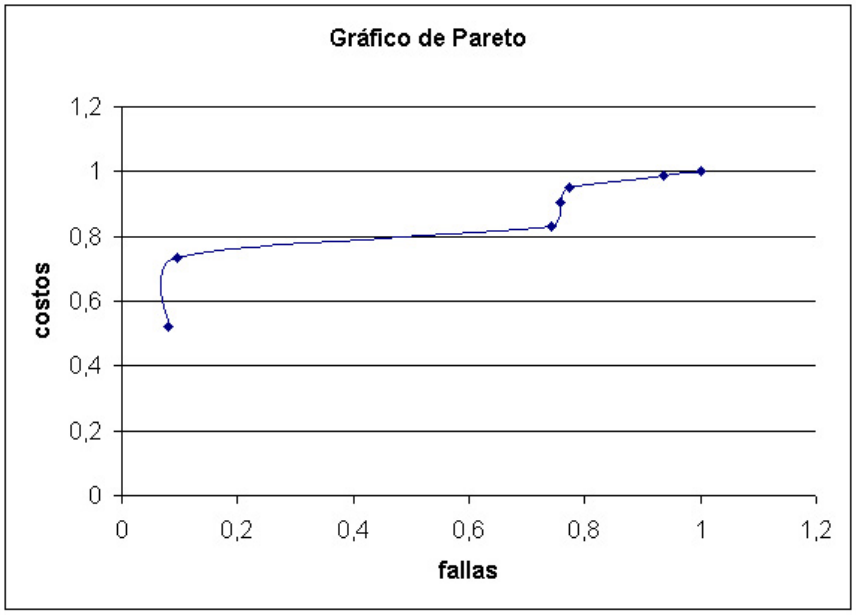


Figura 13: Gráfico de Pareto - Análisis de Pareto

Del diagrama o gráfico de Pareto se desprenden claramente la zona que presenta el 20 % de las fallas, junto con el 80 % de los costos. El análisis de pareto coincidió con el análisis de importancia en cuanto a cuales son los componentes de la excavadora a los cuales hay que focalizarse.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

13. Costos por modo de Falla

A continuación se presenta un resumen de los costos de falla críticos del equipo dado la estimación de estos que se hizo con anterioridad.

Modo de falla	CIM	CFM	CAM
Calzas (dientes de la pala)	600000	325000	2250
Daños en el fondo del balde	5000000	40000	30000
Oxido en pistones bomba inyect.	1800000	260000	54000

Figura 14: Costos Modos Críticos

Cabe destacar que el CAM se calculó con una tasa de un 3% que es el costo de oportunidad del dinero o bien el interés en el banco.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

14. Arbol de Mantención Modo de Falla Crítico

La construcción del árbol de mantención se desarrolló para el brazo de carga (robótico), por ende no se consideró el resto del sistema ya que no influyen en los modos de falla críticos.

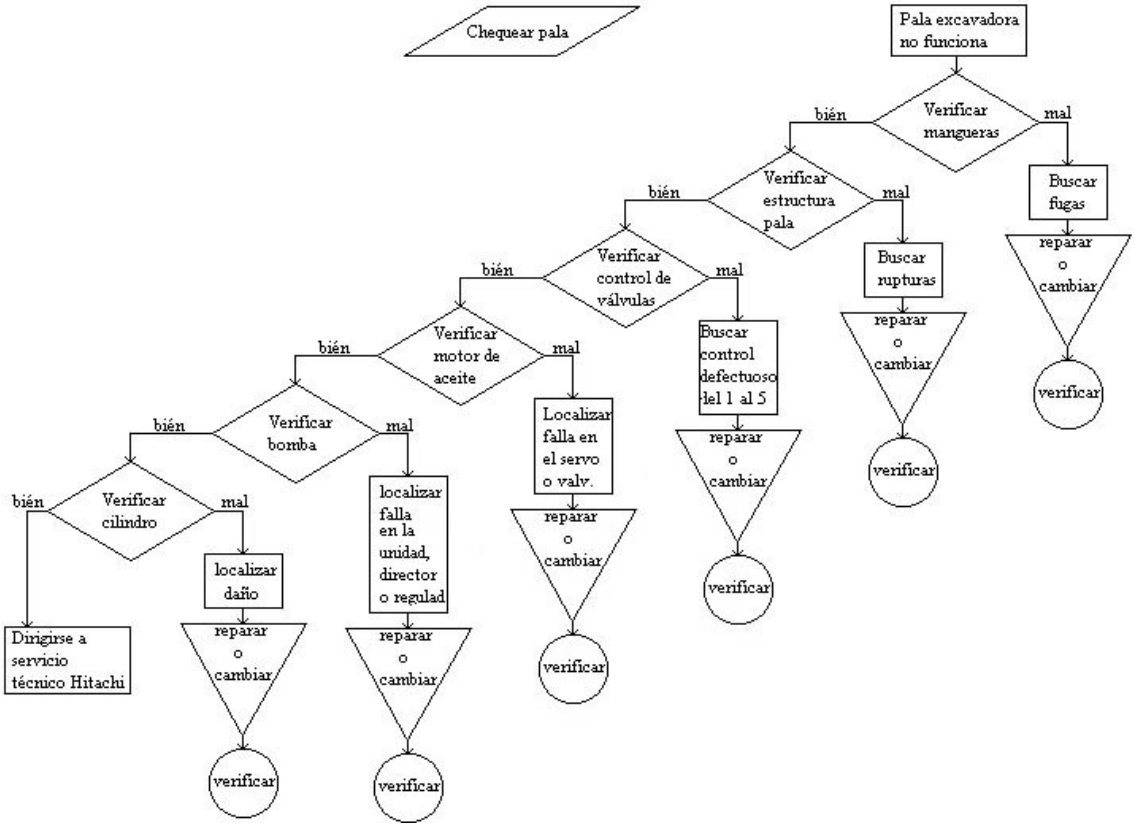


Figura 15: Arbol de Mantención

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

15. Modelo de Weibull

El objetivo de esta sección es obtener el comportamiento para el componente crítico a estudiar que en este caso serán las calzas. El modo de falla crítico analizado es el rompimiento de las éstas. Es importante hacer notar que los datos que poseía la empresa sobre el rompimiento de las calzas era bastante, lo que permitió un análisis con una gran cantidad de datos

15.1. Método iterativo

Para iniciar el ajuste, se considera en primer lugar que el valor de γ es igual a 0. Una vez hecho esto, se realiza el ajuste obtienese lo siguiente.

i	Vida (hrs)	Fi	log(t)	ln(ln(1/(1-F)))
1	99	2%	4,595	-3,701
2	104	5%	4,644	-2,996
3	113	7%	4,727	-2,577
4	119	10%	4,779	-2,276
5	127	12%	4,844	-2,040
6	129	15%	4,860	-1,844
7	140	17%	4,942	-1,676
8	144	20%	4,970	-1,528
9	147	22%	4,990	-1,395
10	148	24%	4,997	-1,274
11	152	27%	5,024	-1,164
12	155	29%	5,043	-1,061
13	167	32%	5,118	-0,964
14	169	34%	5,130	-0,873
15	179	37%	5,187	-0,786
16	179	39%	5,187	-0,704
17	182	41%	5,204	-0,625
18	185	44%	5,220	-0,548
19	190	46%	5,247	-0,474
20	196	49%	5,278	-0,402
21	203	51%	5,311	-0,332
22	205	54%	5,323	-0,262
23	210	56%	5,347	-0,195
24	211	59%	5,351	-0,127
25	211	61%	5,351	-0,061
26	212	63%	5,357	0,006
27	214	66%	5,368	0,072
28	217	68%	5,378	0,139
29	219	71%	5,388	0,206
30	223	73%	5,407	0,274
31	225	76%	5,416	0,344
32	227	78%	5,425	0,416
33	230	80%	5,438	0,491
34	234	83%	5,455	0,570
35	246	85%	5,505	0,653
36	250	88%	5,521	0,744
37	255	90%	5,541	0,845
38	257	93%	5,549	0,961
39	270	95%	5,598	1,105
40	279	98%	5,631	1,312

Figura 16: Datos de Weibull, γ=0

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

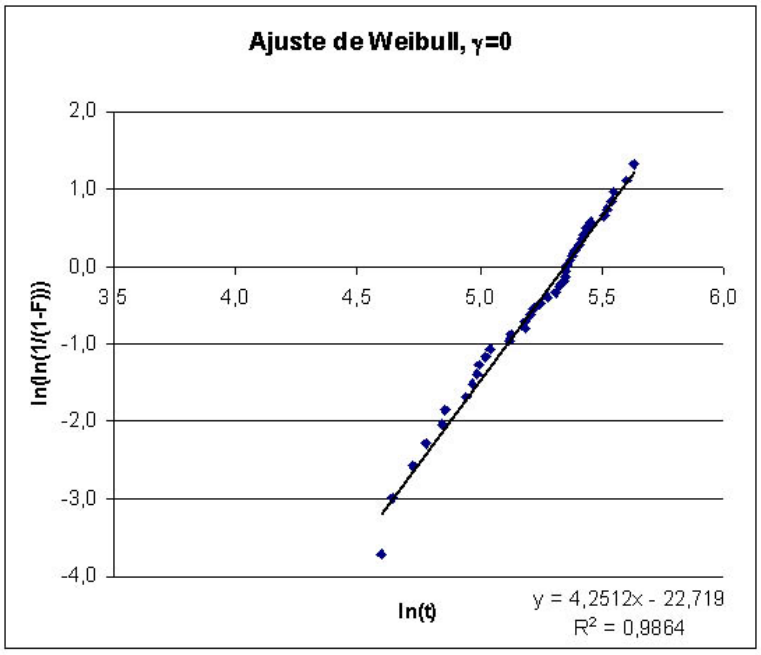


Figura 17: Ajuste de Weibull, γ=0

15.2. Sensibilidad y Error cuadrático

Dado el caso anterior, que fue calculado, para un $\gamma = 0$, se decidió realizar un análisis de sensibilidad mediante el error cuadrático para un valor de γ. El gráfico a continuación presenta la curva del error cuadrático en función de γ. Este permite encontrar el valor de γ que minimice el error cuadrático.

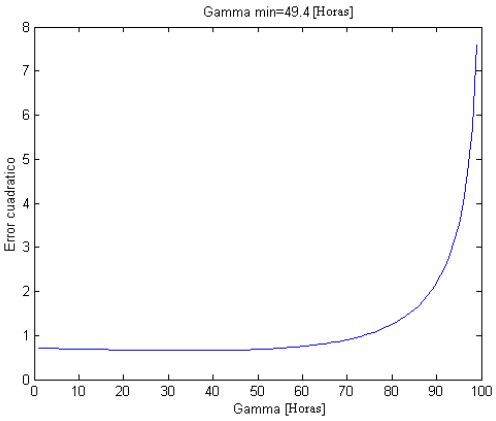


Figura 18: Error cuadrático

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

Del gráfico, aunque es difícil observar el mínimo, se obtuvo mediante Matlab un valor de $\gamma = 35$. De esta manera, se realizará nuevamente el ajuste con este valor.

i	Vida (hrs)	Fi	log(t-γ)	ln(ln(1/(1-F)))
1	99	2%	4,159	-3,701
2	104	5%	4,234	-2,996
3	113	7%	4,357	-2,577
4	119	10%	4,431	-2,276
5	127	12%	4,522	-2,040
6	129	15%	4,543	-1,844
7	140	17%	4,654	-1,676
8	144	20%	4,691	-1,528
9	147	22%	4,718	-1,395
10	148	24%	4,727	-1,274
11	152	27%	4,762	-1,164
12	155	29%	4,787	-1,061
13	167	32%	4,883	-0,964
14	169	34%	4,898	-0,873
15	179	37%	4,970	-0,786
16	179	39%	4,970	-0,704
17	182	41%	4,990	-0,625
18	185	44%	5,011	-0,548
19	190	46%	5,043	-0,474
20	196	49%	5,081	-0,402
21	203	51%	5,121	-0,332
22	205	54%	5,136	-0,262
23	210	56%	5,164	-0,195
24	211	59%	5,169	-0,127
25	211	61%	5,170	-0,061
26	212	63%	5,176	0,006
27	214	66%	5,189	0,072
28	217	68%	5,201	0,139
29	219	71%	5,214	0,206
30	223	73%	5,236	0,274
31	225	76%	5,247	0,344
32	227	78%	5,257	0,416
33	230	80%	5,273	0,491
34	234	83%	5,293	0,570
35	246	85%	5,352	0,653
36	250	88%	5,371	0,744
37	255	90%	5,394	0,845
38	257	93%	5,403	0,961
39	270	95%	5,460	1,105
40	279	98%	5,497	1,312

Figura 19: Datos de Weibull, γ=35

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

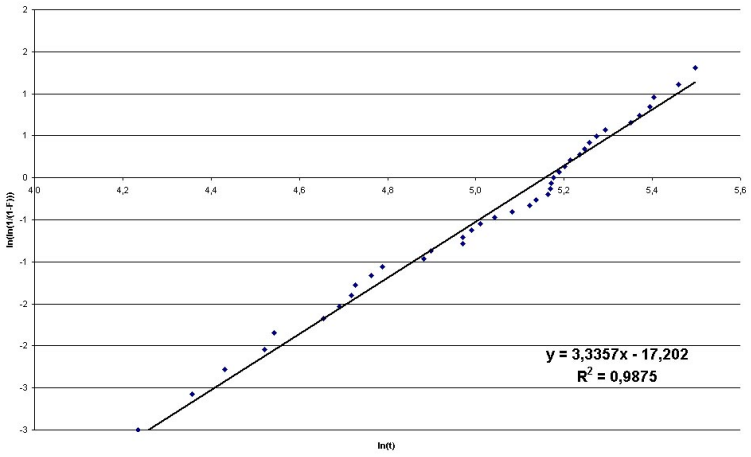


Figura 20: Ajuste de Weibull, con $\gamma = 35$

Mediante el gráfico se pueden obtener los parámetros de Weibull para el modo de falla crítico. La pendiente de la recta ajustada a los datos entrega el valor de β. El valor de η se calcula de la siguiente expresión:

$$\eta = exp(\frac{B}{\beta})$$

Donde B es el coeficiente de posición de la recta ajustada según Weibull. Así, se resumen los valores para los parámetros de Weibull.

β	3,336
η	173,624
γ	35,000

Figura 21: Parámetros Weibull

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

15.3. Validación del modelo

La validación del modelo se hizo a través del Test de Kolmogorov-Smirnov, ya que el número de datos es inferior a 50, a pesar de la gran cantidad de éstos. Los valores se resumen en la siguiente tabla.

i	Vida(min)	F(t)	F_i	$F(t)-F_i$
1	99	0,04	0,02	0,01
2	104	0,04	0,05	0,00
3	113	0,07	0,07	0,01
4	119	0,08	0,10	0,01
5	127	0,11	0,12	0,01
6	129	0,12	0,15	0,03
7	140	0,17	0,17	0,00
8	144	0,19	0,20	0,00
9	147	0,21	0,22	0,01
10	148	0,21	0,24	0,03
11	152	0,24	0,27	0,03
12	155	0,25	0,29	0,04
13	167	0,33	0,32	0,01
14	169	0,34	0,34	0,00
15	179	0,41	0,37	0,05
16	179	0,41	0,39	0,02
17	182	0,44	0,41	0,02
18	185	0,46	0,44	0,02
19	190	0,50	0,46	0,03
20	196	0,54	0,49	0,05
21	203	0,59	0,51	0,08
22	205	0,61	0,54	0,07
23	210	0,64	0,56	0,08
24	211	0,65	0,59	0,06
25	211	0,65	0,61	0,04
26	212	0,66	0,63	0,02
27	214	0,67	0,66	0,01
28	217	0,69	0,68	0,00
29	219	0,70	0,71	0,01
30	223	0,73	0,73	0,00
31	225	0,74	0,76	0,02
32	227	0,75	0,78	0,03
33	230	0,77	0,80	0,03
34	234	0,79	0,83	0,04
35	246	0,85	0,85	0,00
36	250	0,87	0,88	0,01
37	255	0,89	0,90	0,01
38	257	0,90	0,93	0,03
39	270	0,94	0,95	0,02
40	279	0,96	0,98	0,02
Max	0,08			
D_{40}	0,08			
$D_{40,0,05}$	0,215	**Se Acepta**		

Figura 22: Kolmogorov-Smirnov

Como resultado, se obtiene que se valida el modelo, debido al resultado positivo del test K-S.

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

15.4. Curva de confiabilidad

Se desea obtener la confiabilidad del componente, en este caso las calzas, para el mismo modo de falla y según eso, determinar que tan confiable es el equipo según el periodo de tiempo. Es importante aclarar que es tiempo entre fallas y no tiempo calendario. Para valores que siguen un modelo de Weibull, se tiene la siguiente expresión para la confiabilidad:

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

Con ésto, se tienen los siguientes valores.

i	*Vida (hrs)*	*R(t)*
1	99	0,965
2	104	0,955
3	113	0,933
4	119	0,915
5	127	0,887
6	129	0,879
7	140	0,830
8	144	0,809
9	147	0,793
10	148	0,788
11	152	0,765
12	155	0,747
13	167	0,670
14	169	0,656
15	179	0,585
16	179	0,585
17	182	0,563
18	185	0,541
19	190	0,504
20	196	0,460
21	203	0,411
22	205	0,394
23	210	0,359
24	211	0,353
25	211	0,352
26	212	0,344
27	214	0,328
28	217	0,313
29	219	0,298
30	223	0,271
31	225	0,259
32	227	0,247
33	230	0,229
34	234	0,207
35	246	0,147
36	250	0,130
37	255	0,110
38	257	0,103
39	270	0,064
40	279	0,045

Figura 23: Tabla valores de Confiabilidad

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

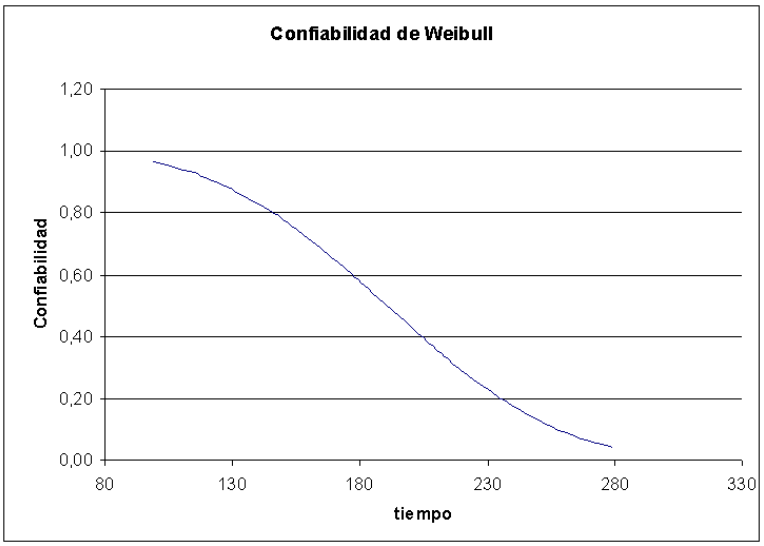


Figura 24: Curva de Confiabilidad

La confiabilidad es representativa según el valor de β obtenido, lo que implica que la confiabilidad del equipo disminuye a medida que aumenta el tiempo.

15.5. MTBF

Una vez conocidos los parámetros de Weibull, conoceremos el MTBF mediante la ecuación:

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

Luego reemplazando los parámetros Weibull ya calculados en la fórmula anterior, se obtiene el Tiempo Medio Entre Fallas:

$$MTBF = 190,828\ horas$$

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

15.6. Tasa de fallas

La tasa de fallas se modela con los datos de la vida ordenados de menor a mayor y mediante la siguiente expresión, que corresponde a datos que siguen una distribución de Weibull.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

luego los datos generados son los siguientes:

i	*Vida (hrs)*	*λ(t)*
1	99	0,002
2	104	0,002
3	113	0,003
4	119	0,004
5	127	0,004
6	129	0,005
7	140	0,006
8	144	0,006
9	147	0,007
10	148	0,007
11	152	0,008
12	155	0,008
13	167	0,010
14	169	0,010
15	179	0,012
16	179	0,012
17	182	0,013
18	185	0,014
19	190	0,015
20	196	0,016
21	203	0,018
22	205	0,018
23	210	0,020
24	211	0,020
25	211	0,020
26	212	0,020
27	214	0,021
28	217	0,021
29	219	0,022
30	223	0,023
31	225	0,024
32	227	0,024
33	230	0,025
34	234	0,026
35	246	0,030
36	250	0,032
37	255	0,033
38	257	0,034
39	270	0,039
40	279	0,043

Figura 25: Datos de fallas

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

El gráfico generado se muestra a continuación:

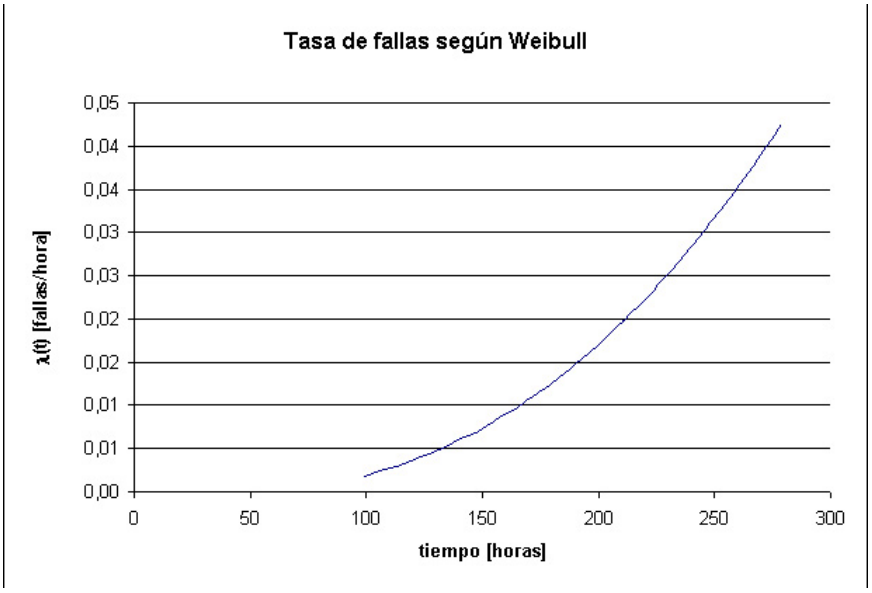


Figura 26: Curva tasa de fallas

Se puede interpretar el gráfico con una tasa de fallas claramente creciente en el tiempo, luego se puede hablar de un equipo en etapa de vejez. Esto se debe al excesivo trabajo que debe realizr el componente crítico.

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

16. Estretegia óptima de Mantención

En esta sección se desarrollará una estrategia óptima de mantención para el componente, de manera tal que se permita obtener un número óptimo de inspecciones y el plazo entre mantenciones preventivas.

16.1. Plazo óptimo entre mantenciones preventivas

Para calcular el plazo óptimo debemos calcular el valor de X_s^* el cual minimizaba la relación de costos preventiva/correctiva. La razón entre el costo de no producción y el costo de intervención es 8. Se asumió que el costo de intervención por mantención preventiva es igual al costo de intervención por mantención correctiva.

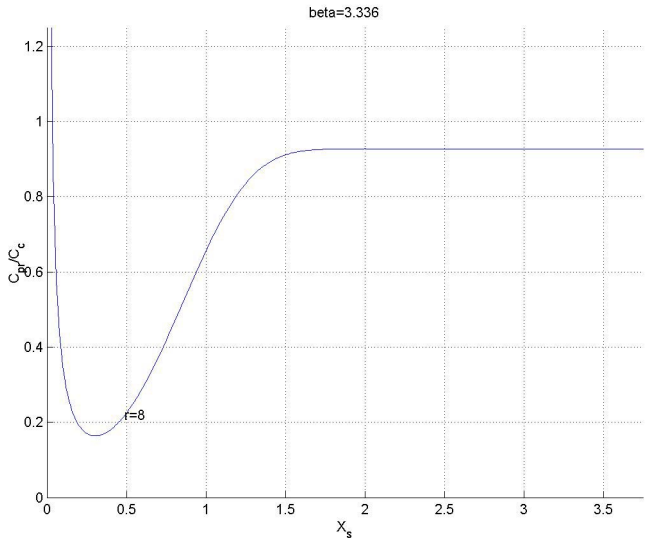


Figura 27: X_s minimo

De la figura se desprende (observado en Matlab) un valor de $X_s^* = 0{,}305$ mínimo, luego si:

$$T_s^* = \eta X_s^* + \gamma$$

obtenemos los valores

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

X_s^*	0,305
T_s^*	87,955

Figura 28: valores de T_s^* y X_s^*

Lo cual indica que cada 87 horas, será el plazo óptimo entre mantenciones preventivas al componente crítico, las calzas de la excavadora.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

17. Frecuencia óptima de inspecciones

En esta etapa se desea determinar un rango o período de tiempo que permita realizar una óptima revisión del equipo cuya consecuencia sería la minimización del CGM [1].

17.1. Minimización CGM

Tomaremos en cuenta que se procederá con la minimización de CGM con detención del equipo, para esto se tiene que calcular el período óptimo entre inspecciones que minimicen el CGM asociado.

Para este caso, se supuso una tasa de fallas inversamente proporcional al número de inspecciones, con un valor de k=1 falla/mes.

Las variables involucradas para la obtención del período óptimo se resumen a continuación:

k [fallas/mes]	i [insp/mes]	μ [meses/rep]	Cf [$US]	I [$US]	R [$US]
1	2	1	11875	6	820

Figura 29: Frecuencia óptima de Inpección

Con esto se obtiene un valor de n^* inspecciones al mes:

$$n^* \ [insp/mes] = 1,46186$$

Como el valor de n obtenido no es un número entero, se debe hacer un análisis de sensibilidad para el CGM con n=1 y n=2, y ver cual de ambos valores lo minimiza.

	λ(n)	CGM [USD]
n = 1	1	18635,5
n = 2	0,5	24576

Figura 30: Análisis de CGM para n=1 y n=2

Según este resultado obtenido, se tiene que el CGM se minimiza para 1 insp/mes.

[1] Costo Global de Mantención

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

17.2. Maximización disponibilidad

La idea es determinar la función de disponibilidad del componente de acuerdo al tiempo, de esta manera se obtiene el gráfico $A(t)$, del cual se obtiene el valor que maximiza la disponibilidad. Para este caso, se estimó un tiempo de 40 minutos por inspección, valor promedio en que tarda el trabajador, que realiza la inspección de la máquina.

Ti [hrs/insp]	Tr [hrs/rep]	desviación	MTBF	ti	A(ti)
0,667	0,7	0,3	190,828	1	0,5882
0,667	0,7	0,3	190,828	10	0,9346
0,667	0,7	0,3	190,828	19	0,9645
0,667	0,7	0,3	190,828	28	0,9756
0,667	0,7	0,3	190,828	37	0,9814
0,667	0,7	0,3	190,828	46	0,9850
0,667	0,7	0,3	190,828	55	0,9874
0,667	0,7	0,3	190,828	64	0,9892
0,667	0,7	0,3	190,828	73	0,9905
0,667	0,7	0,3	190,828	82	0,9915
0,667	0,7	0,3	190,828	91	0,9924
0,667	0,7	0,3	190,828	100	0,9930
0,667	0,7	0,3	190,828	109	0,9936
0,667	0,7	0,3	190,828	118	0,9941
0,667	0,7	0,3	190,828	127	0,9945
0,667	0,7	0,3	190,828	136	0,9949
0,667	0,7	0,3	190,828	145	0,9952
0,667	0,7	0,3	190,828	154	0,9955
0,667	0,7	0,3	190,828	163	0,9957
0,667	0,7	0,3	190,828	172	0,9959
0,667	0,7	0,3	190,828	181	0,9961
0,667	0,7	0,3	190,828	190	0,9963
0,667	0,7	0,3	190,828	199	0,9524
0,667	0,7	0,3	190,828	208	0,9115
0,667	0,7	0,3	190,828	217	0,8739
0,667	0,7	0,3	190,828	226	0,8393
0,667	0,7	0,3	190,828	235	0,8073
0,667	0,7	0,3	190,828	244	0,7777
0,667	0,7	0,3	190,828	253	0,7502
0,667	0,7	0,3	190,828	262	0,7246
0,667	0,7	0,3	190,828	271	0,7006
0,667	0,7	0,3	190,828	280	0,6782
				ti*= 190 días	A max=0,9963

Figura 31: Tabla Disponibilidad esperada por ciclo

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

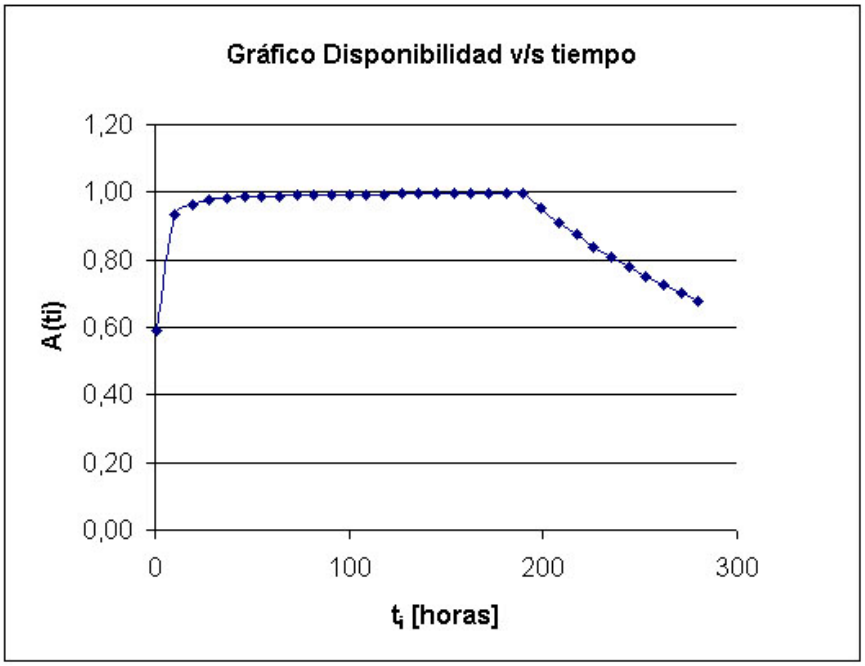


Figura 32: Gráfico de Disponibilidad

Se obtiene un valor máximo de A(t) = 0,996 lo que correspondería a 190 días de disponibilidad.

www.MAQUINARIAS PESADAS.ORG

18. Reemplazo óptimo de equipos

Para el reemplazo óptimo de equipos se consideró depreciación exponencial y costo exponencial.De este modo, se tiene lo siguiente:

Valor inicial del equipo A = US \$80,000

Depreciación cae un 5 % cada año

Depreciación Exponencial $\exp(-\lambda t) = 0{,}95$

$$\lambda = -\ln(0{,}95) = 0{,}05$$

Costos de mantención y operación tienen un crecimiento exponencial con ley:

$$US\ \$4{,}300(\exp(0{,}1t) - 1)$$

Con esto $\mu = 0{,}1$, luego $\frac{\lambda}{\mu} = 0{,}5$ y $\frac{A}{a} = 18$

Entonces:

$\mu t = 1$, por lo tanto $t = \frac{1}{0{,}1} = 10$ años

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

19. Overhaul y reemplazo

Para el caso de la excavadora, se desea determinar la freccuencia óptima para realizar overhauil y la vida del equipo, de manera tal de obtener el periodo en que deba ser reemplazado.

Se considerará el overhaul óptimo según una tasa de fallas con distribución Weibull. Para esto, se considerarán los parámetros de Weibull del componente crítico (importante recordar que para nuestro caso, el valor de γ fue distinto de 0).

Para simplificar la obtención del periodo óptimo de overhaul, se considerará que el valor de γ es igual a 0, para utilizar los modelos entregados en los apuntes. Así. tenemos la función $Q(n)$, de la cual es minimizada sólo cuando n la minimiza

Para el caso de la excavadora, tenemos los siguientes datos relevantes:

$$\begin{aligned} c_r &= 65000 \text{ USD} \\ c_o &= 13800 \text{ USD} \\ c_m &= 7900 \text{ USD} \end{aligned}$$

Para el caso de la máquina excavadora, se utilizará un factor de mejora de $p = 0,7$. De esta manera, se utilizará un programa de Matlab para encontrar el n que minimiza el $Q(n)$ y que luego es reemplazado para encontrar el valor de s. De esta menera, se tienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} n^* &= 2 \\ s^* &= 4{,}41 \text{ años} \end{aligned}$$

Esto implica que durante la vida de la excavadora, debe reazarse 1 overhaul, ya que n es el periodo entre overhaul , cada aproximadamente 4,41 años, lo que implica que el reemplazo del equipo debe hacerse cada $2 * 4,41 =$ 8,82 años.

El hecho que como resultado se hayan obtenido 8,82 años indica que el cálculo está relativamente bien, ya que el tiempo de reemplazo recomendado por el fabricante es de 8 años. La diferencia puede deberse al hecho de que se simplificó el modelo para $\gamma = 0$, y además que los valores de los costos fueron estimados.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

20. Planificación PERT para plan preventivo completo del equipo

Si bien se realizan mantenciones preventivas periódicamente en los componentes tradicionales de los vehículos de trabajo pesado, en otros aspectos se realiza mantención correctiva.

Los cambios de aceite, fluidos de los sistemas hidráulicos y otros niveles, filtros, se realizan de acuerdo a la ficha técnica recomendada por el fabricante, de forma preventiva.

De las condiciones actuales de mantención se extrae la tabla con historial de fallas de la excavadora por mantención pre falla tipo preventiva.

A continuación se presenta la tabla resumen de tareas y costos asociados al diagrama Pert.

Cabe destacar que un solo operário realiza toda la labor preventiva, por lo que el ruteo crítico se restringe a la realización secuencial de todas las tares relacionadas.

En los costos se consideran solamente los repuestos, pues el sueldo del operario es designado a la operación en si del equipo.

Otro factor a considerar es que el diagrama representado más abajo se refiere a la primera labor preventiva programada del equipo, hecha en un mismo dia, pues a lo largo de su vida operacional las labores preventivas se separan por la frecuencia de cada una (por ejemplo, cambio de mangueras flexibles cada 8000 horas versus cambio de aceite cada 250 horas).

	Nombre de tarea	Duración	Predecesoras	Nombres de los recursos	Tasa estándar
1	Cambio de aceite motor	30 mins		Operario	$ 40.000,00
2	Cambio filtro de aceite	30 mins	1	Operario	$ 30.000,00
3	Cambio filtro de petróleo	30 mins		Operario	$ 10.000,00
4	Cambio aceite hidráulico	30 mins	8	Operario	$ 180.000,00
5	Cambio filtro hidráulico	30 mins	4	Operario	$ 80.000,00
6	Engrase	30 mins		Operario	$ 4.000,00
7	Cambio filtro de aire	30 mins		Operario	$ 54.000,00
8	Cambio mangueras flexible	120 mins		Operario	$ 250.000,00

Figura 33: Tabla Pert

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

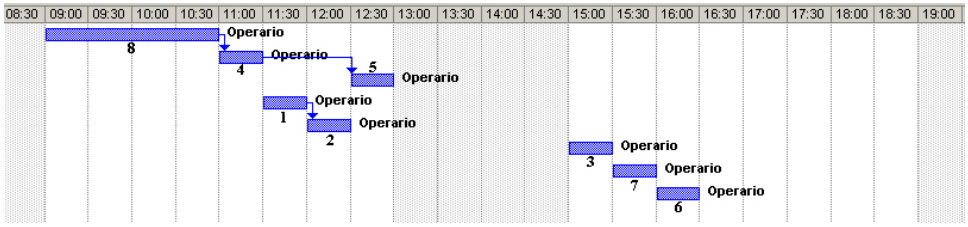


Figura 34: Carta Gant

En resumen, el ruteo preventivo total del equipo puede realizarse en un dia (total de 5,5 horas) con un costo asociado a insumos de $648000 pesos.

Referente a la planificación de cargas, ésta recae completamente sobre un único operario, quien deberá realizar todo el plan preventivo en 5,5 horas. De lo anterior además se deduce que el siguiente diagrama Pert no tiene efecto, pues se basa en forma referencial a una mantención con mayor numero de personal (se realizó el diagrama en forma ilustrativa).

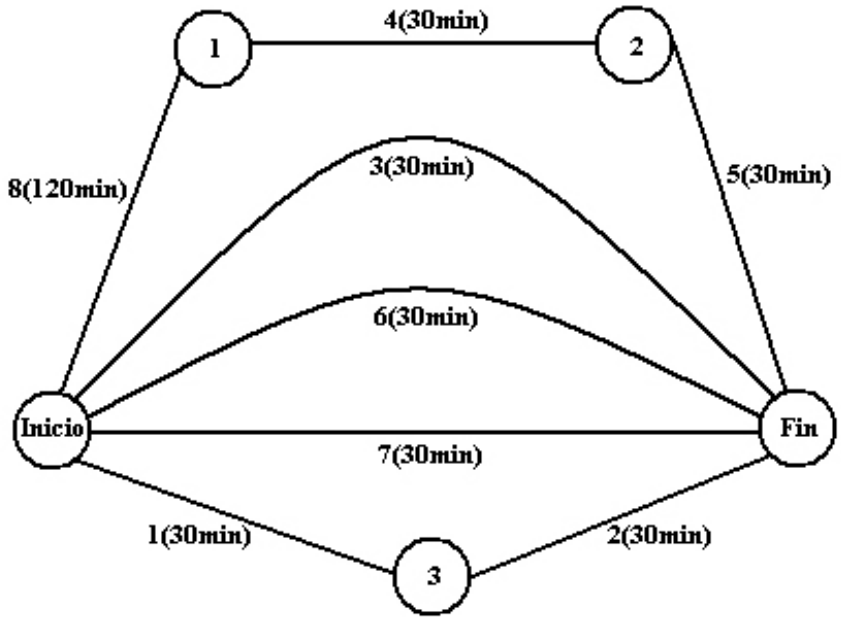


Figura 35: Diagrama Pert

Si bien es cierto que los tiempos antes señalados para cada tarea fueron obtenidos del conocimiento experimentado del operador, se pueden definir además los tiempos optimista,

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

realista y pesimista. Como tiempo optimista consideraremos tiempos de productividad eficaz, y como tiempo pesimista consideraremos tiempos cercanos al real ya que en la práctica los trabajos no se ejecutan con mucho entusiamos del operador. De esta manera los tiempo de las tareas quedan como sigue.

Tarea	T optimista	T real	T pesimista
1	20	30	40
2	8	30	40
3	8	30	40
4	20	30	40
5	8	30	40
6	28	30	40
7	8	30	40
8	60	120	130
T en minutos			

Figura 36: Tiempos de mantención

Usando la formula propusta por Bata,

$$T = (To + 4Tr + Tp)/6$$

y varianza = (Tp-To)/6

Ahora entonces la duración esperada y la varianza de la ruta crítica es de:

$$T = 30 + 28 + 28 + 30 + 28 + 31{,}3 + 28 + 111{,}7 = 315{,}0$$

$$var2 = 11{,}1 + 28{,}4 + 28{,}4 + 11{,}1 + 28{,}4 + 4 + 28{,}4 + 136{,}1 = 1736{,}1$$

$$var = 41{,}7$$

De esta manera, la probabilidad que se termine el mantenimiento preventivo en 5,5 horas (330 minutos) es de:

$$Z = \frac{330 - 315}{41{,}7}$$

Consultando la tabla de distribución normal la probabilidad es ...64

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

21. Gestión de repuestos

Es importante recordar que para el caso de la excavadora, el repuesto crítico de alto consumo son las calzas. Para realizar la gestión de repuestos, se realizará una minimización del CGM considerando el CFM.

Las variables importantes para el cálculo en esta etapa son las siguientes:

- W: Costo por falta del item = $ 100.000
- P: Precio unitario del item = $ 15.000
- i: Tasa de interés = 15 %
- C_a : Costo de adquisisción por orden = $ 75.000
- K: Demanda anual = 60

El costo por falta del item se estimó como los costos de no producir si la máquina está parada producto de la falta de las calzas, lo que corresponde a no operación por un día.

A continuación, y según el modelo, se calcula el déficit óptimo:

$$\tilde{a} = \frac{W}{W + Pi} = 0,978$$

y a partir de est se calcula el Q de Wilson:

$$Q^* = \sqrt{\frac{1}{\tilde{a}} \frac{2KC_a}{Pi}} = 63,9$$

Dado este valor del Q, se puede obtener el tiempo óptimo en que debe realizar el pedido en 1,065 años (T=Q/K).

Una vez obtenido el tamaño de la orden, se calcula el costo total del respuesto:

$$C_r = K \cdot P_u + \frac{K}{Q} C_a + \frac{1}{2} a^2 Q \cdot P_u \cdot i + \frac{1}{2}(1-a)^2 QW = \text{ \$ 1,040,728}$$

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

22. Redundancia óptima

En el caso de nuestro equipo, es importante volver a destacar el tamaño de la empresa en la cual se ha abocado este estudio. Como la empresa posee una sola máquina de este tipo(el resto, en gran medida se utiliza en otras tareas) , el sistema ya está totalmente definido por ésta.

Como el componente crítico son las calzas, y dado que es físicamente imposible utilizar otra para producir al momento de reemplazar, se ha definido utilizar redundancia activa, por lo que si un componente de la excavadora falla, será reemplazada por otra máquina. Como la empresa posee una, se evaluará si esta decisión que fue tomada realmente minimiza el costo global.

Considerando todos modos de falla, se calcula un MTBF promedio, de acuerdo al periodo de recurrencia de las fallas establecidas en el historial. El mismo método se realiza para obtener el MTTR. Los datos que permiten estos cálculos se encuentran en el historial de fallas presentados con anterioridad.

Se tiene:

$$MTBF = 3660\ horas$$

$$MTTR = 8\ horas$$

El modelo requier la obtención del costo de falla y el costo de operación, ambos por unidad de tiempo. Ambos se obtuvieron del resumen de costos que entrega el historial de fallas. Así, el costo de falla por unidad de tiempo se estimo como el costo de falla total, dividido por el tiempo total de las fallas y el costo de operación se tomó como el costo de producción de un día dividido por sus horas de operación (8 horas).Esto entrega lo siguiente:

$$\begin{aligned} C_f &= \$\ 35.359 \text{ por hora} \\ C_o &= \$\ 12.500 \text{ por hora} \end{aligned}$$

Suponiendo que hay n máquinas en paralelo, se tiene la proporción de tiempo esperada en que la etapa no opera:

$$d(n) = \frac{\rho^n}{(1+\rho)^n},\ \rho = \frac{MTTR}{MTBF} = 0,002$$

Por lo tanto, se tiene la siguiente función de costos global asociado a la redundancia de la máquina:

$$C_g(n) = nc_o + d(n)c_f = 12500n + 35359d(n)$$

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

Dado la simplicidad del modelo se utilizará un análisis de sensibilidad para distintos valores de n y ver cual de estos disminuye el costo total.

n	d(n)	$c_g(n)$
1	0,00218103	$ 12.577,12
2	0,00000476	$ 25.000,17
3	0,00000001	$ 37.500,00

Figura 37: Evaluación del costo global

Claramente se observa que para el caso de una máquina, se minimiza el costo global. Se observa un abrupto crecimiento a medida que aumenta el número de máquinas. Este resultado indicaría que la decisión de la empresa de no tener una máquina que reemplace es conveniente, a pesar de que sea por una razón presupuestaria. Por lo tanto, basta con la máquina que poseen para realizar cada labor.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

23. Estructura organizacional

Para el tamaño óptimo de la cuadrilla, la mantención con 1 operario representa 5,5 horas de equipo detenido $(71500 denoingresos) yunsueldo$(400.000 aprox.) La mantención con 2 operarios representa 3 horas de equipo detenido $(39{,}000 denoingreso) ysueldos$(800.000 aprox.. Con esto resulta obvio que debe seguirse realizandolas operaciones con un solo operário por el ahorro que significa.

También debe mencionarse que no existe la necesidad de subcontratar servicio salvo daños mayores al equipo (Servicio técnico). Esto deriva del árbol de mantención que notifica todas las labores de corrección que el operario debe realizar en caso de falla, con ultima instancia subcontratación.

24. Plan de mantención RBM

El objetivo del RBM es compilar todas las estrategias y políticas de mantención propuestas y claculadas anteriormente, para dar con un plan completo de mantención y respuesta ante la falla. Este método contempla todo el equipo en estudio, y no solo el modo de falla elegido para hacer los modelos.

El RBM se puede separar en varias etapas, de las cuales la mayoría está en los capítulos anteriores de este estudio.

Etapa 1: Estudio del equipo, recolección de información. Esta estapa fue desarrollada en gran parte en el informe 1. Se definió un criterio de criticidad de modo de falla, se describieron los subsistemas de la excavadora, identificándoloa en un diagrama funcional de bloques, y se ordeno el historial del equipo disponible por la empresa.

Etapa 2: Análisis de falla: También desarrollado en el informe 1 bajo el nombre de FMECA, se ordenó en una planilla, junto con información técnica importante para identificar claramente el modo de falla y sus causas. La matriz FMECA contiene también la ponderación de criticidad de cada modo de falla.

Etapa 3: Elaboración de un plan de mantenimiento técnico: Desarrallada en plan de mantenimiento preventivo con planeamiento PERT.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

25. Mantenimiento TPM

Una integración del operador a las labores de mantenimiento son valiosas ya que es el operador es quien mejor conoce el equipo, y por ello el realizar una planilla de check-list es fundamental.

Check List - Excavadora Hitachi EX200 LC5

Nota: Debe realizarse a diario. Notificar al propietario frente a alguna anomalía importante.

Anotar horas de servicio					Hrs
Item o Parte	**Condición:**	**Buena**	**Regular**	**Mala**	**Comentarios**
Verificar instrumentos del panel					
Revisar nivel de aceite del motor					
Revisar nivel de aceite hidráulico					
Revisar mangueras flexibles					
Revisar estado de las calzas					
Revisar estado del balde					
Revisar estado de los cilindros hidráulicos					
Revisar estado del rodado					
Otros					

Figura 38: Check List

26. Evaluación de impacto técnico/económico del proyecto

En primer lugar, es importante volver a mencionar el tipo de mantención que la empresa posee. En gran parte de los componentes de la excavadora, se realiza mantención correctiva. En la máquina existe un plan de mantención preventivo, pero éste se liga a tareas que regularmente, tanto por especificaciones del fabricante o por relizarse con cierta periodicidad. Esta mantención preventiva se se refiere principalmente a cambios de aceite, cambios de filtro y engrase. Esto indica principalmente que la empresa no lleva de buena manera un plan de mantención, que más bien es escaso, lo que siempre trae como consecuencia costos altos, si es que no hay eficiencia.

Mediante el desarrollo del proyecto se pudo estimar, en este caso para un sólo modo de falla, es decir, la rotura de calzas, un plan de mantención preventivo que permite abaratar costos. Esto indica, que por lo menos para este componente es factible ealizar un plan de mantención preventiva.

Cuando se realizó la estrategia óptima de mantención, se concluyo que para la empresa no es rentable realizar mantención predictiva, pero si èxiste un ahorro importante sí reliza mantención preventiva. Dado que no existe plazo entre mantenciones preventivas para las

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

calzas, pues esta no se realiza, consideramos que la empresa debe considerar el plazo obtenido de 87 horas entre mantenciones preventivas, aunque la reducción de costos sea del sólo de un 20 %

En la actualidad, la empresa realiza inspecciones de manera poco frecuente y más bien aleatoria, es decir, de vez en cuando el operario, que a la vez realia la mantención, realiza una inspección visula del equipo, de manera bastante superficial. Sin embargo, dado que las calzas poseen un gran desgaste, y a la vez es un componente que requiere bastante atención, es importante que se considere el valor óptimo de inspecciones, igual a 1 inspección/mes, con un CGM de 18635,5 USD, bastante inferior a los 21947 USD que posee, representando una disminución de cerca del 7 %.

Es importante destacar que esta disminución de costos basado en el análisis realizado durante este tiempo no sólo trae consigo una disminución de costos, sino que además el hecho obtener plazos de mantención preventiva y definir un número de inspecciones, ademàs de considerar los periodos de overhaul y la planificación de tareas, se logra un aumento de la confiabilidad del equipo, y en gran medida, un aumento de la disponibilidad, si es que es llevado a cabo el plan propuesto.

En cuanto al análisis de los repuestos, en particular los repuestos de las calzas, la empresa actualmente mantiene un juego de calzas, las cuales son reemplazadas mensualmente, a medida que fallen . Como se dijo anteriormente, se establece un plan de mantención preventiva, y, de acuero a esto, se obtiene la forma de como debe realizarse la orden de compra del repuesto. Como se realizaba un pedido mensual, se estimó que en realidad debe hacerse un pedido anual que satisfaga la necesidad de realizar la mantención durante dicho año.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

27. Conclusiones

A pesar que es un equipo en su etapa de Madurez, el modelo aplicado al modo de falla crítico revela la vejez del componente dado que es de mucha solicitación debido a los constantes impactos.

El estudio permitió determinar los plazos de Mantención preventiva para un componente crítico en la productividad del equipo, permitiendo realizar una panificación óptima.

El historial de falla nos permite modelar los datos con una WeiBull y así sugerir una correcta mantención preventiva.

- Diagrama de bloques permite conocer mejor el vehículo.
- Arbol de fallas acusa que no conviene detallar mantención por componente.
- Antecedentes de falla satisfactorios.
- Aportes al plan de mantención de la empresa.
- A medida que se conozcan con mayor profundidad los sistemas componentes se podrá incrementar FMECA
- El reemplazo concuerda con el periodo recomendado por el fabricante.
- Diagrama Pert pobre respecto a la realidad de la empresa.
- Se analizó el repuesto crítico (calzas) por su elevado consumo.
- Para la empresa no conviene tener una máquina de reemplazo para periodos de reparación.

Por ultimo se conoció la actualidad de la mantención de un equipo. Además se buscó soluciones y alternativas de una mantención más profesional con el fin de mejorar la confiabilidad del equipo y disminuir sus costos. También se notificó a la empresa los puntos desarrollados y se está implementando en un equipo igual recién adquirido.

www.MAQUINARIAS PESADAS.org

28. Referencias

- Hitachi EX200 LC5, Excavator Parts Catalog
- Hitachi EX200 LC5, Parts Catalog, Equipment Component Parts
- Hitachi Maintenance Personnel Manual
- Isuzu Diesel Engine 6BG1, Parts Catalog
- Mantención de Maquinaria V2.0, Dr. Ing. Rodrigo Pascual
- www.hitachi.com
- www.rockanddirt.com
- Servicio Técnico ABA Maquinaria