

Universidad Católica de la Santísima Concepción

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil Industrial



UCSC

**Estudio de Fallas Basado en la Confiabilidad Aplicado al Elevador
de Palanquillas del Laminador de Barras Rectas en CAP Acero**

PATRICIO ANDRÉS LEAL URIBE

**INFORME DE PROYECTO APLICADO DE INGENIERÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

Profesor Guía

Sr. Rodrigo Rebolledo Vega

Encargado en Empresa

Sr. Felipe Ramírez Cuevas

Concepción, Abril 2019

Resumen

El proyecto realizado tiene por objetivo llevar a cabo un estudio de fallas basado en Confiabilidad. Este fue realizado al equipo *Elevador de Palanquillas* ubicado en el Laminador de Barras Rectas de la planta Huachipato. En primer lugar se buscó identificar los sub-equipos críticos del equipo en cuestión, los cuales fueron *Motor*, *Carro Cadena* y *Cadena*. Posterior a esto se realizó una estimación estadística de los parámetros α , β y γ de la función Weibull con el fin de proponer un sustento que apoye la toma de decisiones en relación a la estrategia de mantenimiento de estos sub-equipos.

En el caso del motor se selecciona una estrategia correctiva, a diferencia del Carro Cadena y de la Cadena ya que para estos últimos se propone una estrategia preventiva. Posteriormente, y por medio de los parámetros calculados, se busca tener una estimación con cierto grado de significancia de la frecuencia óptima a la cual debiera realizarse mantenimiento minimizando los costos globales por unidad de tiempo. Finalmente se concluye que las frecuencias calculadas coincidían de manera bastante precisa a las frecuencias determinadas por medio de la experiencia dentro del laminador.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	3
1.1 PRESENTACIÓN DEL TEMA	3
1.2 BREVE HISTORIA Y DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	4
1.2.1 ORGANIGRAMA Y ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	5
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	7
2.1 RECOPIACIÓN Y MANEJO DE DATOS	7
2.2 CRITICIDAD SUB-EQUIPOS	11
2.3 ANÁLISIS DE DATOS Y ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE WEIBULL.....	11
2.4 BATHTUBE CURVE O “CURVA DE LA BAÑERA”	15
2.5 ESTUDIO DE COSTOS, ESTRATEGIAS Y FRECUENCIAS DE MANTENIMIENTO	16
CAPÍTULO 3: RESULTADOS	21
3.1 CRITICIDAD SUB-EQUIPOS	21
3.2 ESTIMACIÓN PARÁMETROS WEIBULL.....	22
3.2.1 Cadena.....	22
3.2.2 Carro Cadena.....	23
3.3.3 Motor.....	24
3.3 ESTUDIO DE COSTOS	25
3.3.1 Motor.....	25
3.3.2 Carro Cadenas	27
3.3.3 Cadenas	29
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS	32
ANEXOS	33

Capítulo 1: Introducción

1.1 Presentación del Tema

La industria siderúrgica en Chile ha tenido cambios importantes en estos últimos 10 años ya sea por crisis económicas globales o eventos aislados locales. La usina Huachipato fue un polo económico potenciador del desarrollo tanto de Talcahuano como de la Región del Bío Bío, por lo que la estabilidad económica de nuestro país (antes de desarrollo minero) dependía en gran medida de esta empresa.

CAP Acero se caracteriza por ser la única siderúrgica integrada del país, es decir, la única que elabora acero a partir de materias primas como mineral de hierro, carbón y caliza. Inicialmente estos minerales pasan por los Altos Hornos en donde se produce Arrabio (Acero líquido puro, es decir, no refinado), posteriormente pasa por la Acería, en donde se le retira las impurezas y se ajusta metalúrgicamente, luego pasa a Colada Continua, en donde se solidifica como palanquillas (Barras con perfil cuadrado). Finalmente el cliente puede solicitar palanquillas sin procesar o procesadas, en caso de solicitar palanquillas procesadas, estas últimas se derivan a los laminadores de barras, en donde se le da la forma y el diámetro solicitado por el cliente, por lo general de forma tubular o como alambrón.

El equipo que se estudiará será el Elevador de Palanquillas ubicado en el Laminador de Barras Rectas en la planta Huachipato de CAP Acero. Este equipo forma parte del proceso de Carga de Material al Horno y su labor es trasladar palanquillas en un ángulo ascendente desde la mesa de rodillos inferior hasta la mesa de rodillos superior, esta última se encuentra justo antes del horno, por lo que una falla en el Elevador de Palanquillas provocaría una detención total en el proceso de laminación, considerándose como un equipo crítico y seleccionándose para ser analizado en detalle, estudiando su confiabilidad y la de sus componentes.

El área de mantenimiento de la empresa se encuentra en evolución, ya que está siendo reestructurada progresivamente de acuerdo a una mirada de procesos, con el fin de mejorar procesos administrativos y productivos. Es por esta razón que se están realizando estudios más a fondo respecto a la gestión de activos, ya que se busca

entregar valor al cliente, sacando el máximo provecho a sus activos físicos minimizando los costos globales.

1.2 Breve Historia y Descripción de la Empresa

CAP Acero es una empresa cuya razón social es: Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. su principal actividad que desarrolla CAP Acero es la producción y comercialización de Acero en forma de barras rectas, tales como alambρόn, palanquillas, barras para hormigón, entre otras. La creación de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) en el gobierno del Presidente Gabriel González Videla marcó un punto de inflexión y un período de cambios en el paradigma de la Economía Chilena. Uno de los hitos más relevantes realizados por esta entidad fue el origen de la Industria Siderúrgica Nacional. Ésta tuvo sus inicios en la década de 1940 con la creación de la Compañía de Acero del Pacífico (CAP), por medio del apoyo del Gobierno de Estados Unidos y la CORFO. La idea era minimizar las tasas de importación mediante la producción nacional de acero. (Monsálvez et al., 2014). El año 1950 se da por inaugurada la usina, dando comienzo al proceso de producción y siendo aproximadamente 4000 los puestos de trabajo creados para personal de la zona.

La empresa fue pionera en la industria siderúrgica nacional y líder por muchos años, sin embargo, debido a una crisis financiera originada en Estados Unidos hacia fines de septiembre del año 2008, se generó una ola de despidos para poder amortiguar los costos. A fines del año 2009 se vio relativamente superada hasta que en el año 2010 debido al terremoto la planta tuvo muchos daños en diversas instalaciones, la suma de la crisis y el terremoto del 2010 generó el cierre obligado de 2 de sus 4 laminadores (Laminador de Planos en Caliente y Laminador de Planos en Frío), quedando solamente Laminador de Barras Rectas (LBR) y Laminador de Barras Talcahuano (LBT). La empresa también tuvo que dejar inhabilitado uno de sus dos Altos Hornos y uno de sus tres estanques de gas debido a los múltiples daños ocasionados por el Terremoto del año 2010. Lo anterior generó una recesión en la empresa que el día de hoy ha mejorado a pesar de que los últimos años han sido complejos para CAP Acero por el ingreso de los aceros provenientes de China, por ser más baratos para los clientes nacionales e internacionales. Sin embargo, el año 2017 en Chile, por medio de la

aplicación de aranceles y multas al acero Chino, se estabilizó la balanza del mercado, las multas fueron debido a que por parte de China se realizaba la mala práctica del “Dumping”, la cual consiste en vender por debajo del precio de costo para penetrar el mercado nacional. CAP Acero vio estas políticas proteccionistas como una oportunidad, por lo que comenzó a fines del año 2017 a producir aceros especiales, para así abarcar otro mercado y apuntar a desarrollarse de manera sólida. El día de hoy CAP Acero por primera vez en varios años comienza a generar utilidades.

1.2.1 Organigrama y Estructura Organizacional

En la Figura 1 se presenta el Organigrama Organizacional de CAP Acero (CAP Acero S.A., 2018)

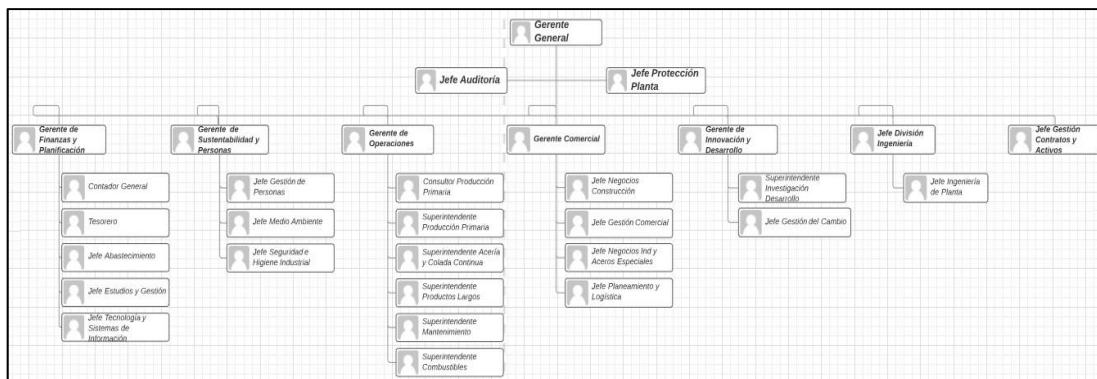


Figura 1: Organigrama Organizacional CAP Acero S.A.
Fuente: Elaboración Propia con información entregada por la empresa.

1.3 Planteamiento del Problema

Como se menciona en la historia de CAP Acero, este último año la empresa ha tenido utilidades luego de aproximadamente 8 años, lo cual indica una leve recuperación de sus finanzas respecto a años anteriores. En el período que la empresa no tuvo utilidades, dadas las circunstancias los recursos se utilizaban principalmente para ejecutar un Mantenimiento Correctivo, es decir un Mantenimiento Reactivo o “a la falla”. Sin embargo, al experimentar esta reactivación es que se comienza a realizar estudios para determinar por ejemplo frecuencias óptimas, es decir, que minimicen tiempo de indisponibilidad y costos para estos equipos, o sea, ocurre un cambio en la forma de

ejecutar los mantenimientos, cambiando el foco correctivo a más bien prevenir que ocurran fallas.

Este cambio en la empresa genera un cambio en la visión del mantenimiento interno, promoviendo estudios relacionado con la criticidad de los equipos, esto con el fin de identificar cuáles hay que estudiar primero y cuáles después. Es en este período cuando se solicita apoyar dichos análisis y estudiar las fallas de los equipos críticos.

Para llevar a cabo el proyecto, se definieron objetivos, los cuales serán de dos tipos: Generales y Específicos, los primeros indican de modo genérico los que se espera realizar y los segundos se refieren a las metas individuales para cumplir el objetivo general.

1.3.1 Objetivo General

Generar una propuesta de estrategia de mantención para los sub-equipos críticos del Elevador de Palanquillas del Laminador de Barras Rectas en la Planta Huachipato de CAP Acero.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de datos de las fallas históricas del Elevador de Palanquillas en el Laminador de Barras Rectas.
- Identificar Sub-Equipos críticos del Elevador de Palanquillas en el Laminador de Barras Rectas.
- Estimar los parámetros de la distribución de probabilidades Weibull correspondientes a los sub-equipos críticos del Elevador de Palanquillas en el Laminador de Barras Rectas y luego comprobar estadísticamente el ajuste de la distribución de probabilidades Weibull al comportamiento histórico de las fallas.
- Determinar las estrategias y frecuencias óptimas de mantención para sub-equipos críticos del Elevador de Palanquillas.

Capítulo 2: Metodología

Para llevar a cabo el proyecto se utilizó una metodología que permitiera cumplir los objetivos planteados para obtener los resultados lo más cercanos posible a la realidad y de manera de poder sacar conclusiones útiles para la empresa. Es por esto que en primer lugar se basó en el libro “Introduction to Reliability Engineering” de E. E. Lewis para poder realizar un manejo de datos mucho más preciso y adecuado, diferenciando fallas de mantenciones (Datos Sin Censura y Con Censura). Posterior a esto, el libro “El Arte de Mantener” de Rodrigo Pascual, fue de suma importancia para describir de manera detallada cada parte del análisis de las fallas, poniendo énfasis en el proceso de análisis de los datos en sí y su forma de estimar la confiabilidad ajustando una distribución de probabilidades Weibull. Posterior a esto, para definir estrategias de mantenimiento adecuadas a los sub – equipos en estudio y frecuencias óptimas de estos mismos, se utilizó apuntes del ramo “Gestión de Activos Físicos” en la Pontificia Universidad Católica de Chile, ramo impartido por la Sra. Viviana Meruane.

Es importante dejar en claro la diferencia entre dos tipos de mantenimiento, el Mantenimiento Correctivo y el Mantenimiento Preventivo. El primero se realiza luego de ocurrida la falla y el segundo se lleva a cabo no necesariamente cuando ocurre una falla y tiene como objetivo prevenir su ocurrencia. Esta será la base principal de el proyecto.

2.1 Recopilación y Manejo de Datos

En primer lugar se solicitó información histórica respecto a la ocurrencia de fallas en el Elevador de Palanquillas del Laminador de Barras Rectas. Esta información se obtuvo a partir del sistema “MES”, el cual es un sistema del área de operaciones que monitorea tanto el comportamiento de las fallas con sus respectivas duraciones como la capacidad productiva de los activos físicos. Cabe mencionar que este software es antiguo y el ingreso de datos se realiza de forma manual por parte del operador, por lo que es común encontrarse, por ejemplo, con equipos con distinto nombre pero refiriéndose al mismo, entre otros errores de digitación. Esto último generó bastante

dificultad en el proceso de recopilación de datos, ya que la base de datos considerada fue del período comprendido entre el 1 de enero del 2010 hasta el 30 de junio del 2018.

Una vez limpia la base, se ordenó de manera cronológica con el fin de identificar si existe algún tipo de relación entre una falla y otra de los equipos. Posterior a la observación se identificaron por medio de un filtro en el software Excel los sub-equipos del Elevador de Palanquillas: Motor, Cadena, Carro Cadena, Encoder y Sensor. En la Tabla 1 se presenta una muestra de la base de datos en bruto.

Tabla 1: Muestra de datos en bruto para el análisis.

Fecha	Hora	Min.	Ubicación Técnica	Equipo	Síntoma Avería	Causa
03-ene-10	13:04	365	Elevador Palanquillas	Cadena	Reparar Cadena	Cadena Cortada
04-ene-10	13:29	270	Elevador Palanquillas	Cadena	Reparar Cadena	Cadena Cortada
05-ene-10	8:32	8	Elevador Palanquillas	Cadena	Reparar Cadena	Cadena Suelta
11-ene-10	15:48	362	Elevador Palanquillas	Cadena	Reparar Cadena	Cadena Cortada
18-ene-10	16:00	343	Elevador Palanquillas	Cadena	Reparar Cadena	Cadena Cortada

Fuente: Sistema MES, CAP Acero S.A.

Luego de ordenar la base, se juntaron los registros de fallas que correspondían a los mismos pero ingresadas en diferentes turnos (por diferentes personas) para finalmente trabajar con esta base (Anexo A). Para identificar algún tipo de correlación entre la ocurrencia de fallas por los equipos, se decidió realizar una matriz de correlaciones por medio del software SPSS Statistics, el cual tomó como variables las fechas de ocurrencia de fallas entre los equipos, con el fin de identificar algún grado de causalidad entre ellos. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Matriz de Correlaciones Sub-Equipos.

	Cadenas	Carro Cadena	Motor	Sensor	Encoder
Cadenas	1	-,533	-,487	-,229	-,256
Carro Cadena	-,533	1	-,236	-,057	-,124
Motor	-,487	-,236	1	-,156	-,527
Sensor	-,229	-,057	-,156	1	-,082
Encoder	-,256	-,124	-,527	-,082	1

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 2 se observa que las correlaciones son negativas y van desde correlaciones muy débiles hasta correlaciones moderadas como es el caso de la correlación entre los sub-equipos Carro Cadena y Cadenas. Esto último explica de manera estadística la consecución de fallas entre estos dos sub equipos, debido a que son complementarios en su funcionamiento.

Posterior al análisis de Correlaciones entre las fechas de ocurrencia de las fallas de los principales sub-equipos (Cadenas, Carro Cadenas y Motor) se realizó un análisis gráfico del comportamiento del ajuste de la función de distribución Weibull con la función de densidad de probabilidad de las fallas. Dicho ajuste fue realizado por medio del Software EasyFit.

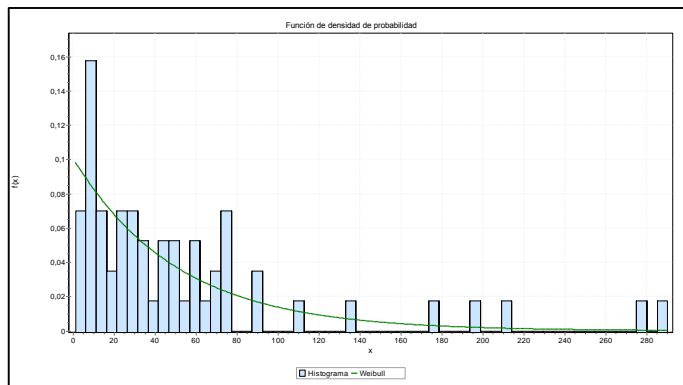


Figura 2: Ajuste Distribución Weibull a Distribución de Fallas en Cadenas.

Fuente: Elaboración Propia.

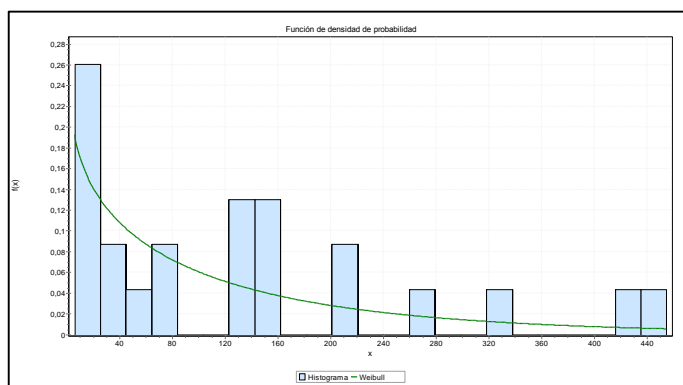


Figura 3: Ajuste Distribución Weibull a Distribución de Fallas en Carro Cadena.

Fuente: Elaboración Propia.

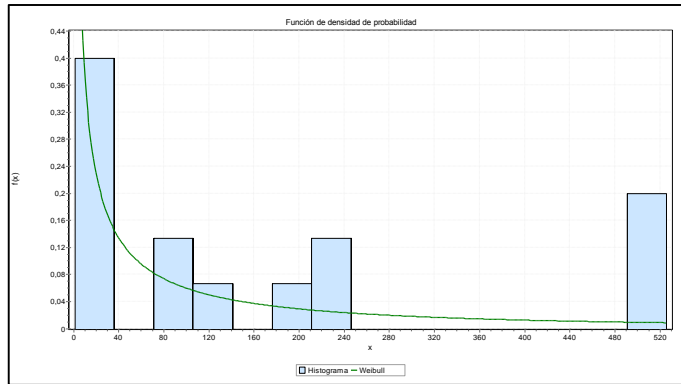


Figura 4: Ajuste Distribución Weibull a Distribución de Fallas en Motor.

Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que en la Figura 2 (Tiempo entre fallas de Cadenas) al tener una mayor cantidad de registros, el ajuste Weibull se logra de mejor manera que con la Figura 3 y 4 (Carro Cadena y Motor respectivamente), no obstante al ser un método gráfico nos entrega sólo una percepción de lo que podría ser. Es por esto que dentro de la etapa de Resultados se realizarán las respectivas pruebas de hipótesis que permitan comprobar con cierto grado de significancia que los datos siguen o no siguen la distribución de Weibull.

Siguiendo con la descripción del proceso de recopilación de datos, además de considerar información relacionada con las fallas del equipo, se consideraron los datos de las mantenciones programadas de éste. Estos datos se obtienen a partir del software “SAP”, en el mismo período de las fallas. Esto debido a que, para fines del proyecto, se solicitó realizar el estudio reconociendo la incidencia, por mínima que fuera, de estas mantenciones. Se puede decir que cuando se realiza una Mantenimiento Programada a un equipo, se realiza antes de que ocurra la falla y por lo general se reemplazan componentes, produciendo un aumento en el tiempo entre fallas (TBF) debido a la intervención, no tomando en cuenta el tiempo real entre fallas que ocurriría de realizarse sólo Mantenciones Correctivas o “a la falla”. Esto quiere decir que por el hecho de considerar sólo datos de fallas estamos ignorando la influencia que tienen las mantenciones programadas en la confiabilidad. En síntesis, decimos que cuando se consideran las mantenciones programadas en los datos tenemos *censura* y cuando no se consideran decimos que tenemos datos *sin censura*.

2.2 Criticidad sub-equipos

Posterior a la etapa de Recopilación y Manejo de Datos, con el fin de priorizar sub-equipos e identificar los que serían más relevantes, se decidió realizar un estudio de criticidad, el cual consistió en llevar a cabo un análisis de Pareto que considerara su porcentaje acumulado de minutos de atraso en el período mencionado anteriormente. La idea era considerar sub-equipos con el mayor porcentaje acumulado de minutos de atraso. Una vez terminado el estudio de Criticidad se unifica la base de datos de las fallas junto con las de las mantenciones programadas para proceder a separar los datos según los sub-equipos considerados como críticos y se ordena cada una nuevamente de manera cronológica.

2.3 Análisis de Datos y Estimación de Parámetros de Weibull

En esta etapa, en primer lugar se debió agregar una columna llamada Delta (δ) al costado de las fechas que diferenciaba las fallas de las mantenciones programadas, asignándole un 0 o un 1 respectivamente, valor que se utilizará posteriormente para la estimación de la confiabilidad por medio de la ecuación (1). Luego, una vez ordenadas cronológicamente cada base de datos de los sub-equipos se calculó el tiempo entre cada evento en días (TBF), restando cualquier fecha menos la fecha anterior. Este es el dato con el cual se trabajó directamente para fines de cálculos. Después se ordenaron los eventos desde el TBF menor hasta el mayor.

Es importante saber que TTR significa Time To Repair, lo cual hace referencia al tiempo que dura la reparación de un componente que haya fallado. Para el caso de las mantenciones este valor es cero, pues corresponden a mantenciones programadas, que se realizan sin necesariamente la ocurrencia de una falla previa.

Tabla 3: Análisis de Datos

δ	Fecha Evento	TTR (Minutos)	TBF (Días)	Orden
0	04-ene-10	270	1	1
0	08-ene-13	234	1	2
1	05-06-2015		1	3
1	17-12-2015		1	4
1	20-01-2010		2	5

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 3 se observa que las filas que tienen $\delta = 0$ corresponden a fallas y cuando $\delta = 1$ corresponde a mantenencias programadas (ambas son detenciones del equipo, pero por razones distintas), para el caso de las fallas los TTR son distintos de cero.

Posteriormente, se asigna un orden ascendente en una nueva columna, para los casos en que estos tiempos entre fallas (TBF) sean iguales se diferencian dos situaciones:

- Duración entre dos o más fallas son iguales: Para este caso se saca un promedio entre los números de la columna “Orden” que tienen las **fallas** con tiempos repetidos.

Tabla 4: Análisis de Datos

δ	Fecha Evento	TTR (Minutos)	TBF (Días)	Orden	Nuevo Orden (<i>i</i>)
0	31-may-14	540	2	7	7,5
0	25-jul-15	123	2	8	7,5

Fuente: Elaboración Propia.

Para este caso:

$$\frac{7 + 8}{2} = 7,5$$

- Duración entre dos o más censuras son iguales: Se mantiene el número asignado según el orden ascendente, en la Tabla 5 se observa un ejemplo.

Tabla 5: Análisis de Datos

δ	Fecha Evento	TTR (Minutos)	TBF (Días)	Orden	Nuevo Orden (<i>i</i>)
1	20-01-2010		2	5	5
1	01-10-2012		2	6	6

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez obtenida la columna “Nuevo Orden (*i*)”, se procede a estimar la Confiabilidad de cada sub-equipo, la cual es la “Probabilidad de que un sistema logre su función, en sus condiciones de uso, durante un intervalo de tiempo dado”. A continuación se presenta la expresión de confiabilidad explicada según una distribución Weibull de tres parámetros (Pascual, 2005):

$$R(t) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}, & t > \gamma \\ 1, & t < \gamma \end{cases}$$

La Función de Distribución Acumulada de la distribución Weibull es la siguiente:

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

Donde

β es el parámetro de forma (adimensional);

η es el parámetro de escala o tiempo característico (en unidades de tiempo);

γ es el parámetro de localización (en unidades de tiempo).

t es la variable tiempo de uso del equipo.

$R(t)$ es la función de la confiabilidad del equipo en función del tiempo de utilización de éste.

Para fines de cálculos, se utilizará la relación que propone Lewis (1987) para la estimación de la Confiabilidad para datos con censura:

$$\hat{R}(t_i) = \left(\frac{N + 1 - i}{N + 2 - i} \right)^{1-\delta} * \hat{R}(t_{i-1}) \quad (1)$$

Donde

$$\delta = \begin{cases} 0, & \text{Falla} \\ 1, & \text{Censura} \end{cases}$$

$\hat{R}(t)$: Confiabilidad estimada del equipo en el tiempo t .

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

Para estimar los parámetros propiamente tal, se deben definir metas, para este caso se buscará obtener los parámetros de forma β , de escala η y de localización γ . Para realizarlo, debemos considerar el parámetro de localización $\gamma = 0$, ya que este corresponde a un tiempo de vida “asegurado” de los componentes que se analizan, es decir, el componente no tiene una vida de “garantía” al momento de entrar en funcionamiento, lo cual sucede generalmente con equipos recién instalados y este no es el caso. Dado lo anterior, los cálculos irán orientados a obtener sólo los parámetros β y η .

Se utilizará el Método de Estimación por Mínimos Cuadrados por medio de la transformación doble logarítmica de la Función de distribución acumulada. (Martínez, 2014):

$$\ln[-\ln(\hat{R}(t))] = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta)$$

Esta expresión representa una ecuación lineal de la forma

$$y = \beta x + b$$

La cual es una recta de regresión, con

$$y = \ln[\ln(\hat{R}(t))]; x = \ln(t) ; b = \beta \ln(\eta)$$

Por lo tanto, se puede decir que β es la pendiente de la regresión y el parámetro η se puede calcular de la siguiente manera:

$$b = -\beta \ln(\eta)$$

$$\ln(\eta) = -\frac{b}{\beta}$$

$$\therefore \eta = e^{-\frac{b}{\beta}}$$

Una vez obtenidos x e y , se procede a graficar el ajuste lineal con el fin de identificar visualmente si los valores calculados se ajustan a la recta de regresión. Paralelamente se identifican los valores de β y η .

Dado que el método gráfico no es del todo confiable, se decide verificar la compatibilidad del modelo de Weibull al comportamiento histórico de las fallas mediante una prueba de bondad de ajuste: Kolmogorov – Smirnov. Este test busca comparar la función empírica o real de los datos con la propuesta por el estudio (Meruane, 2011). Además, propone la siguiente metodología para llevarlo a cabo:

- a. Determinar la función de distribución a la que se quiere ajustar los datos. Luego determinar los parámetros de la distribución elegida.
- b. Elegir un grado de significación α (usualmente 1, 5 o 10%). Esta es la probabilidad de rechazar la hipótesis que los datos siguen la distribución elegida, asumiendo que la hipótesis es cierta.

- c. Identificar el valor D_α asociado al nivel de significación α y al número de observaciones de la muestra. Este valor se obtiene a partir de la tabla de Kolmogorov – Smirnov.
- d. Determinar $F(i)$ usando los parámetros asumidos en el paso 1. $F(i)$ es el valor teórico de la función distribución para la falla i .
- e. De los datos de falla determinar $\hat{F}(i)$ utilizando rangos medianos u otro método. En el caso de este proyecto se realizará por medio de la ecuación (1).
- f. Determinar el **valor máximo** de:

$$D = |F(i) - \hat{F}(i)|$$

- g. Si $D_{max} > D_\alpha$ la hipótesis es rechazada.

A partir de los parámetros obtenidos se pueden realizar conclusiones respecto a la tasa de ocurrencia de las fallas en el tiempo, por ejemplo en el caso del parámetro β se tiene el siguiente apartado.

2.4 Bathtub Curve o “Curva de la Bañera”

La curva de la bañera es una representación gráfica del tipo de comportamiento que debería tener la tasa de fallas del equipo en estudio según el tiempo. Creus (1991) indica que el comportamiento de la tasa de fallas tiene tres etapas, la primera corresponde a la etapa de fallas iniciales, la segunda a una etapa de fallas aleatorias y la tercera a fallas por desgaste.

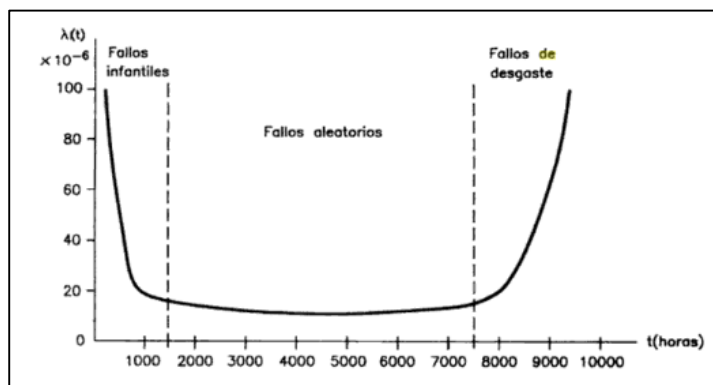


Figura 5: Curva de la Bañera o Bathtub Curve.

Fuente: Creus (1991).

Según Martínez (2011), la curva de la curva de la bañera adopta las siguientes formas en función del parámetro β :

- Si $\beta < 1$ la función de riesgo es decreciente, es decir, la tasa de fallas disminuye al aumentar el tiempo.
- Si $\beta = 1$ la función de riesgo es constante, por lo que no depende del tiempo. En este caso, la distribución Weibull coincide con la distribución Exponencial.
- Si $\beta > 1$ la función de riesgo es creciente, y por lo tanto la tasa de fallas aumenta con el tiempo.

2.5 Estudio de Costos, Estrategias y Frecuencias de Mantenimiento

Según Meruane (2011) “una falla imprevista puede resultar en largos tiempos de detención o causar daño a otros componentes. Para reducir el número de fallas, se pueden definir mantenimientos preventivos a intervalos específicos”. Además, indica que “El problema es encontrar un equilibrio entre el costo de mantenimientos preventivos y sus beneficios. Para lograr esto debemos encontrar la edad óptima de mantención del componente para minimizar el costo total esperado por unidad de tiempo”.

Lo primero que se realizó en esta etapa fue la recopilación de los costos asociados a las mantenciones programadas y a la ocurrencia de una falla en cada uno de los sub-equipos. Para determinar la estrategia y la frecuencia óptima de mantenimiento, en primera instancia se realizó un levantamiento de la información respecto a los siguientes valores desde los sistemas de información de la empresa, en este caso SAP:

- Horas Hombre (HH)
- Lucro Cesante
- Repuestos

Además de estos valores se obtuvo la información respecto a MTTR (Mean Time To Repair, es decir, el promedio de tiempo correctivo) y MTTM (Mean Time To Maintenance, es decir, el promedio de tiempo empleado en la acción del mantenimiento preventivo) para fines de cálculo.

Una de las ventajas de utilizar el método minimizando costos es que es el método el más cercano a la realidad de CAP Acero, pues las decisiones organizacionales por lo general se basan en minimizar costos. Otra ventaja no menor de utilizar este método es

que permite determinar qué tipo de Estrategia de Mantenimiento utilizar para el equipo en estudio, esta información es indispensable para crear planes de Mantenimiento.

El Costo del Mantenimiento Preventivo por unidad de Tiempo se calcula como:

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

Donde

C_{gp} : Costos Globales Preventivos.

C_{gc} : Costos Globales Correctivos.

$R(T_s)$: Confiabilidad en el tiempo T_s .

$F(T_s)$: Función de Distribución Acumulada en el tiempo T_s .

Y, además

$$MTBI(T_s) = \int_0^{T_s} R(t)dt = T_s R(T_s) + T_f F(T_s) = T_s R(T_s) + \int_0^{T_s} tf(t)dt$$

Donde

T_s : Tiempo desde la falla hasta la mantención.

T_f : Tiempo desde la falla hasta la siguiente falla.

Lo cual es equivalente a decir

$$MTBI(T_s) = \frac{\eta}{\beta} * \Gamma_{inc} \left[\left(\frac{T_s}{\eta} \right)^\beta, \frac{1}{\beta} \right] * \Gamma \left(\frac{1}{\beta} \right)$$

Donde

$\Gamma \left(\frac{1}{\beta} \right)$: Función Gamma

$\Gamma_{inc} \left[\left(\frac{T_s}{\eta} \right)^\beta, \frac{1}{\beta} \right]$: Función Gamma Incompleta

η y β : Parámetros de Weibull.

Quedando finalmente la expresión de Costo Global por Unidad de Tiempo como

$$C_g = \frac{C_{gp}R(T_s) + C_{gc}F(T_s)}{\frac{\eta}{\beta} * \Gamma_{inc} \left[\left(\frac{T_s}{\eta} \right)^\beta, \frac{1}{\beta} \right] * \Gamma \left(\frac{1}{\beta} \right)} \quad (2)$$

Para seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada para el sub-equipo en cuestión, existe una relación matemática que propone Meruane (2011), la cual considera los costos preventivos y correctivos. La expresión que representa el costo total esperado por unidad de tiempo para una estrategia de Mantenimiento Preventiva es la siguiente:

$$C_p = \frac{C_p R(t_p) + C_c [1 - R(t_p)]}{\int_0^{t_p} R(t) dt}$$

Y para el caso del Mantenimiento Correctivo se considera el costo total incurrido durante el ciclo como C_c y el largo del ciclo se considerará como el tiempo medio entre fallas. $MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$. Por lo que la expresión del costo total esperado por unidad de tiempo para una estrategia de Mantenimiento Correctiva es:

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

Ahora, si decidimos calcular la razón entre los Costos Globales Esperados por unidad de tiempo del Mantenimiento Preventivo C_p sobre el Mantenimiento Correctivo C_c se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{C_p}{C_c} = (R(t_p)(\alpha - 1) + 1) * \frac{\int_0^{\infty} R(t) dt}{\int_0^{t_p} R(t) dt}$$

Donde

$\alpha = \frac{C_p}{C_c}$ Es la razón entre los costos de un ciclo de mantención preventiva sobre una mantención correctiva.

Para resolver este problema, se debe considerar las siguientes equivalencias:

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

Realizando el cambio de variables:

$$x = \frac{t - \gamma}{\eta}$$

Se tiene

$$R(t) = e^{-x^\beta}$$

Luego

$$\int_0^\infty R(x)dx = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) ; \int_0^{x_p} R(x)dx = \int_0^{x_p} e^{-x^\beta} dx$$

Reemplazando

$$\frac{C_P}{C_C} = \left(e^{-x_p^\beta} (\alpha - 1) + 1 \right) * \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)}{\int_0^{x_p} e^{-x^\beta} dx}$$

Finalizando, la razón entre los costos Preventivos y Correctivos por unidad de tiempo C_P/C_C para una Distribución Weibull se puede expresar como:

$$\frac{C_P}{C_C} = \frac{e^{-x_p^\beta} (\alpha - 1) + 1}{\Gamma\left(x_p^\beta, \frac{1}{\beta}\right)} \quad (3)$$

Graficando a curva de la ecuación (3), es posible observar que el valor óptimo de tiempo entre intervenciones es el que minimiza la razón de los costos. En caso de que el valor de $C_P/C_C > 1$ se debe seleccionar una estrategia de Mantenimiento Correctiva, por lo que no tendría sentido encontrar una frecuencia óptima de mantenimiento ya que el tipo de Mantenimiento que se realizaría sería cada vez que el componente o equipo falle. En caso contrario, se debe obtener x_p tal que la razón de los costos sea mínima, una vez obtenido dicho valor se calcula el período óptimo entre intervenciones Preventivas (t_p) con la ecuación (4).

$$t_p = \eta x_p + \gamma \quad (4)$$

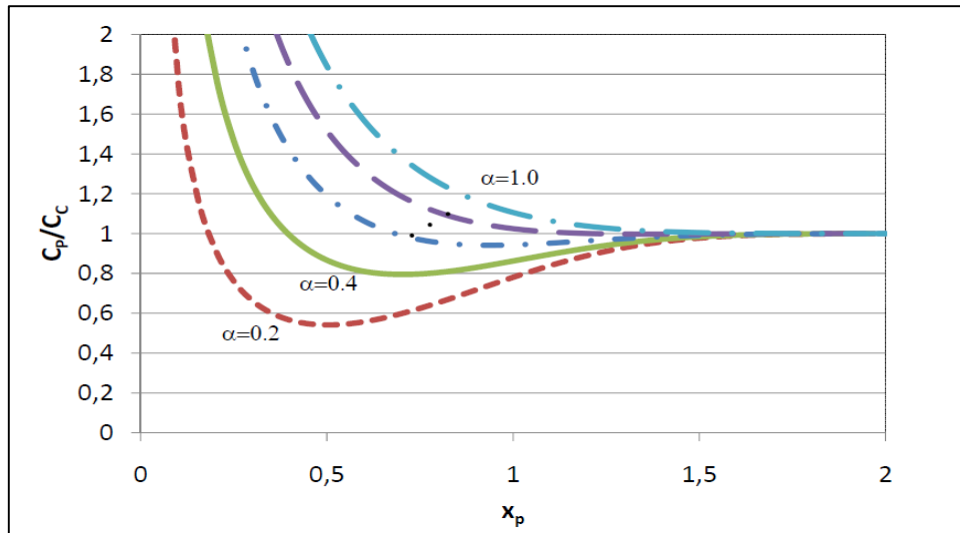


Figura 6: C_p/C_c para distintos valores de x_p .
Fuente: Meruane (2011).

Capítulo 3: Resultados

Como se mencionó en el Capítulo 1: Metodología, las fallas eran ingresadas manualmente por el supervisor de los operadores una vez terminado el turno o solucionada la falla, el problema era que los supervisores cambiaban por cada turno, provocando una confusión en los registros ya que se encontraban fallas repetidas en distintos turnos o fallas con distintas descripciones cuando se referían al mismo problema, por lo que fue un arduo trabajo limpiar esta base de datos y agrupar por sub-equipo.

3.1 Criticidad Sub-Equipos

Una vez solucionado el problema anterior se comenzó a estudiar el comportamiento de las fallas de los sub-equipos que forman parte del Elevador de Palanquillas, los cuales son: Encoder, Sensor Posición, Motor, Cadenas y Carro Cadena.

Tabla 6: Sub-equipos versus minutos de atraso

Sub-equipo	Minutos Atraso
Cadenas	13829
Carro Cadena	1361
Motor	919
Encoder	731
Sensor	258

Fuente: Elaboración Propia.

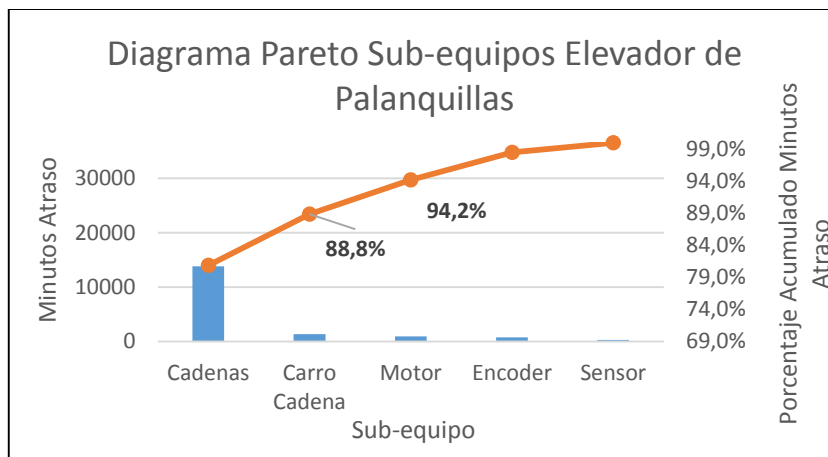


Figura 7: Diagrama de Pareto Sub-Equipos Elevador de Palanquillas

Fuente: Elaboración Propia.

De la Figura 7 se puede concluir que los equipos con mayor atraso acumulado en el período de estudio son las Cadenas con el Carro Cadena, los cuales acumulan un 89% del total de minutos de atraso aproximadamente, sin embargo se decide considerar el Motor también pues al ser un equipo más caro que una cadena y que el carro, si llegase a fallar generaría una detención del elevador por completo.

3.2 Estimación Parámetros Weibull

Es importante mencionar que para cada sub - equipo el parámetro $\gamma = 0$. La estimación se realizó por medio del Software Excel.

3.2.1 Cadenas

Para la estimación de parámetros en Datos *Con Censura*:

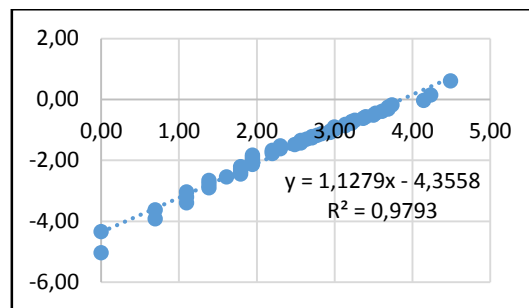


Figura 8: Gráfico de Ajuste para obtención de parámetros.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 7: Parámetros Weibull Datos Cadenas Con Censura.

β	η	γ
1,13	47,56	0

Fuente: Elaboración Propia.

De los cuales se puede decir que $\beta > 1$, por lo que se considera un equipo con fallas en etapa de desgaste o envejecimiento, es decir que la tasa de fallas es creciente.

Al realizar la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov se obtuvieron los siguientes resultados para $D\alpha$ y D_{max} :

Tabla 8: $D\alpha$ y D_{max} Datos Cadenas Con Censura.

$D\alpha$	D_{max}
0,129	0,125

Fuente: Elaboración Propia.

Como $D_\alpha > D_{max}$, entonces no se rechaza la hipótesis nula, y por ende los datos siguen una distribución Weibull con un nivel de significancia $\alpha = 0,01$.

3.2.2 Carro Cadena

Los resultados de la estimación de los datos *Con Censura* son los siguientes:

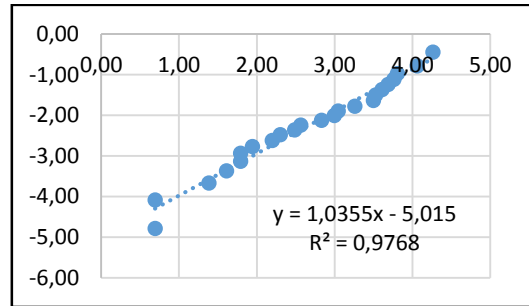


Figura 9: Gráfico de Ajuste para obtención de parámetros.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9: Parámetros Weibull Datos Carro Cadena Con Censura.

β	η	γ
1,04	126,87	0

Fuente: Elaboración Propia.

El parámetro $\beta > 1$, o más bien casi igual a 1, por lo que se consideraría como un sub-equipos en etapa de fallas aleatorias, es decir, su tasa de fallas se considera constante en el tiempo.

Los resultados de la Prueba K-S se muestran a continuación:

Tabla 10: $D_\alpha > D_{max}$ Datos Carro Cadena Con Censura.

D_α	D_{max}
0,148	0,05

Fuente: Elaboración Propia.

Como $D_\alpha > D_{max}$, entonces no se rechaza la hipótesis nula, y por ende los datos siguen una distribución Weibull con un nivel de significancia $\alpha = 0,01$.

3.3.3 Motor

Los resultados para los datos *Con Censura* se presentan a continuación:

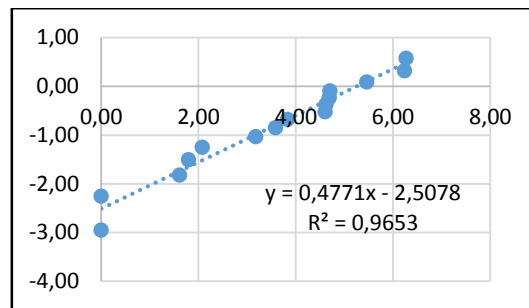


Figura 10: Gráfico de Ajuste para obtención de parámetros.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11: Parámetros Weibull Datos Motor Con Censura.

β	η	γ
0,48	191,73	0

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12: $D_\alpha > D_{max}$ Datos Motor Con Censura.

D_α	D_{max}
0,363	0,088

Fuente: Elaboración Propia.

Como $D_\alpha > D_{max}$, entonces no se rechaza la hipótesis nula, y por ende los datos siguen una distribución Weibull con un nivel de significancia $\alpha = 0,01$.

3.3 Estudio de Costos

Para poder determinar la estrategia de mantenimiento más adecuada para cada sub-equipo se realizó un estudio de costos al análisis de confiabilidad de los datos *Con Censura*, la información fue extraída del Software SAP y entregada por parte del Jefe de la unidad de Mantenimiento. Los resultados se presentan a continuación.

3.3.1 Motor

Los Costos en los que se incurren son los siguientes:

- Para Mantenimiento Correctivo:

Tabla 13: Costos Mantenimiento Correctivo

Trabajadores	4
Valor HH (USD/trabajador)	30
Duración Falla (min)	73,38
Valor Repuesto (USD)	5876
Lucro Cesante (USD/min)	13,4
Costo Correctivo (USD)	7001

Fuente: Elaboración Propia.

- Para Mantenimiento Preventivo:

Tabla 14: Costos Mantenimiento Preventivo

Trabajadores	2
Valor HH (USD/trabajador)	20
Duración Detención (min)	10
Lucro Cesante (USD/min)	13,4
Costo Preventivo (USD)	594

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto se tienen los siguientes parámetros

Tabla 15: Parámetros Sub-Equipo Motor

α	0,08
β	0,48
η	191,73

Fuente: Elaboración Propia.

Donde

$$\alpha = \frac{\text{Costo Preventivo}}{\text{Costo Correctivo}} = \frac{C_p}{C_c}$$

Posterior a esto se busca el valor de x_p que minimiza la razón C_P/C_C y además se realiza el gráfico de la ecuación (3). Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 16: Parámetros para la selección de estrategia de Mantenimiento del Motor.

C_P/C_C	1,020
X_p	40,681
Costo (USD)	17,022

Fuente: Elaboración Propia.

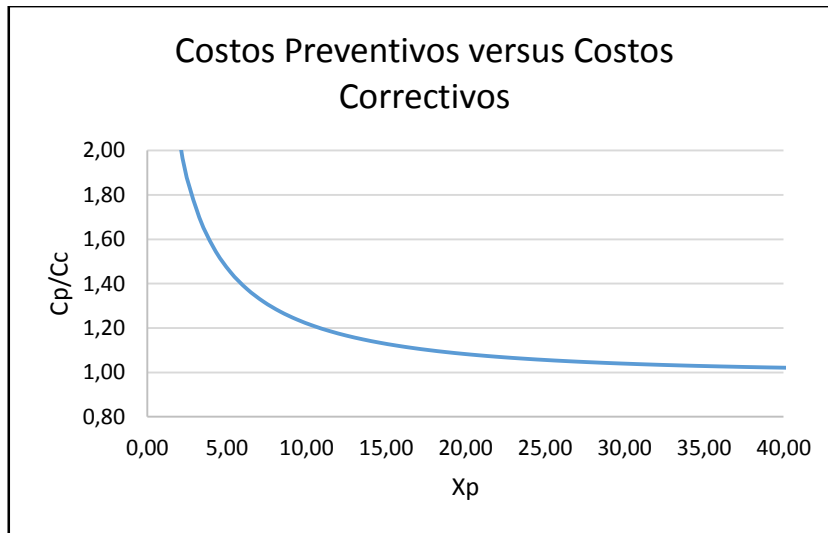


Figura 11: Comportamiento de la Razón de los costos.

Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el valor obtenido de C_P/C_C es mayor que 1, por lo que la estrategia de mantenimiento más adecuada al sub-equipo Motor es una estrategia correctiva.

3.3.2 Carro Cadena

Los costos incurridos son los siguientes:

- Para Mantenimiento Correctivo:

Tabla 17: Costos Mantenimiento Correctivo

Trabajadores	6
Valor HH (USD/trabajador)	30
Duración Falla (min)	56,71
Valor Repuesto (USD)	170
Lucro Cesante (USD/min)	13,4
Costo Correctivo (USD)	1096

Fuente: Elaboración Propia.

- Para Mantenimiento Preventivo:

Tabla 18: Costos Mantenimiento Preventivo

Trabajadores	2
Valor HH (USD/trabajador)	20
Duración Detención (min)	20
Lucro Cesante (USD/min)	13,4
Costo Preventivo (USD)	47

Fuente: Elaboración Propia.

Con estos valores se tienen además los siguientes parámetros:

Tabla 19: Parámetros Sub-Equipo Carro Cadena

α	0,04
β	1,04
η	126,87

Fuente: Elaboración Propia.

Se busca entonces el valor de x_p que minimice la razón C_p/C_c y además se realiza el gráfico de la ecuación (3). Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 20: Parámetros para la selección de estrategia de Mantenimiento del Carro Cadena

C_p/C_c	0,998
X_p	1,829
Costo (USD)	8,75

Fuente: Elaboración Propia.

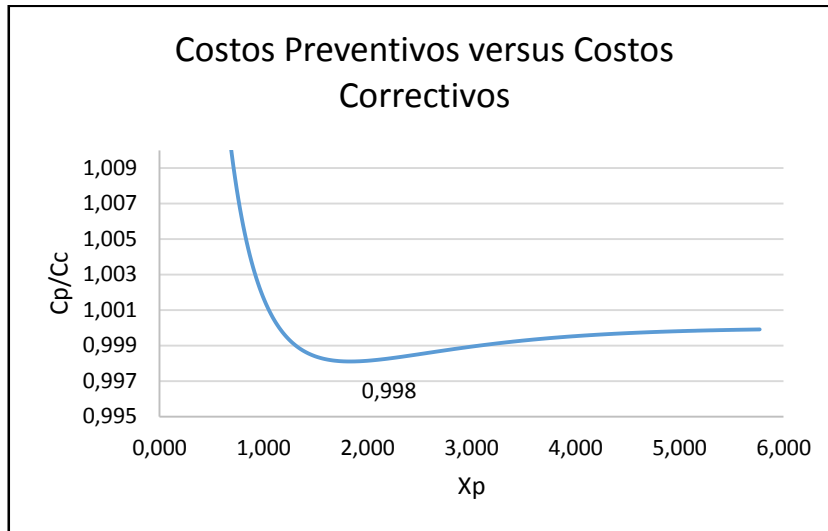


Figura 12: Comportamiento de la Razón de los costos.
Fuente: Elaboración Propia.

Se observa que el valor obtenido de C_P/C_C es levemente menor que 1, por lo que la estrategia de mantenimiento más adecuada al sub-equipo Carro Cadena es una estrategia Preventiva, por ende es posible calcular la frecuencia óptima de mantenimiento preventivo mediante la ecuación 4. Por lo tanto la Frecuencia Óptima de Mantenimiento Preventivo para el Carro Cadena es:

t* (Días)	232
------------------	------------

3.3.3 Cadenas

Los costos que se tienen se presentan a continuación:

- Para Mantenimiento Correctivo

Tabla 21: Costos Mantenimiento Correctivo

Trabajadores	9
Valor HH (USD/trabajador)	30
Duración Falla (min)	238,43
Valor Repuesto (USD)	1100
Lucro Cesante (USD/min)	13,4
Costo Correctivo (USD)	5352

Fuente: Elaboración Propia.

- Para Mantenimiento Preventivo

Tabla 22: Costos Mantenimiento Preventivo

Trabajadores	6
Valor HH (USD/trabajador)	20
Duración Detención (min)	120
Lucro Cesante (USD/min)	13,4
Costo Preventivo (USD)	350

Fuente: Elaboración Propia.

Se calcularon los siguientes parámetros:

Tabla 23: Parámetros Sub-Equipo Cadenas

α	0,07
β	1,13
η	47,56

Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que para los sub-equipos anteriores, se identifica el valor de x_p que minimice la razón C_p/C_c y además se grafica la función:

Tabla 24: Parámetros para la selección de estrategia de Mantenimiento de las Cadenas

C_p/C_c	0,957
X_p	0,673
Costo	112,55

Fuente: Elaboración Propia.

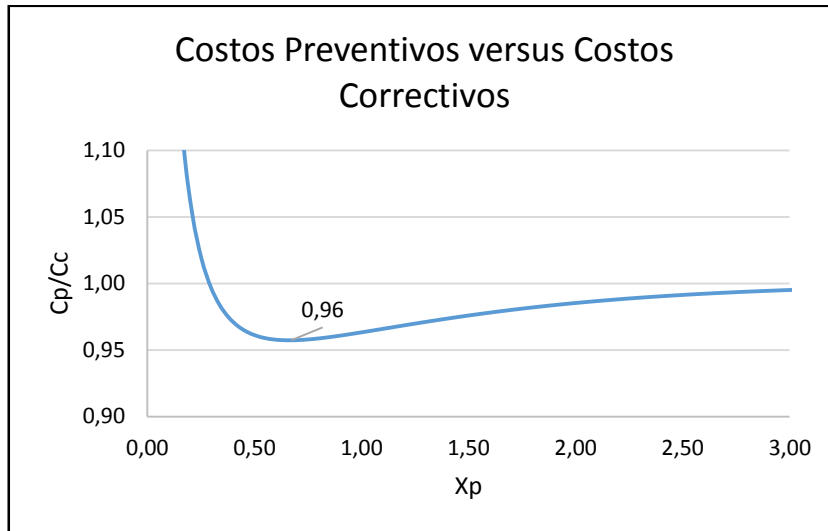


Figura 13: Comportamiento de la Razón de los costos.
Fuente: Elaboración Propia.

De igual manera que el sub-equipo Carro Cadena, el sub-equipo Cadenas tiene un valor de la razón C_P/C_C menor que 1, por lo que la estrategia recomendada es una estrategia de Mantenimiento Preventiva, además podemos calcular su frecuencia Óptima de Mantenimiento Preventivo por medio de la ecuación (4).

t* (Días)	32
------------------	-----------

Capítulo 4: Conclusiones

Tomando en consideración los resultados del análisis realizado a cada sub-equipo que forma parte del Elevador de Palanquillas del Laminador de Barras Rectas, se puede decir lo siguiente:

Para el caso del Motor, es importante destacar que este sub-equipo a pesar de tener varios años aún se encuentra en una etapa de fallas infantiles, lo cual se puede observar claramente con un valor de $\beta < 1$. Es más, si visualizamos las fechas de las fallas registradas se observa que en el año 2014 hay una frecuencia de fallas mucho mayor a la que se tiene en la actualidad, permitiendo identificar intuitivamente una tasa de fallas en declive. La decisión que estaba en discusión para el departamento de mantenimiento era el tipo de mantención a realizar para este sub-equipo, dicha duda quedó solucionada al momento de utilizar un criterio en base a costos para seleccionar la estrategia de mantenimiento más adecuada, en este caso, una estrategia de mantenimiento a la falla o correctiva.

Si nos referimos al Carro Cadena, según el análisis de Weibull, se encuentra en una etapa de fallas aleatorias pues $\beta \approx 1$, además, luego del análisis de costos se logró determinar que la estrategia de mantenimiento más adecuada era una estrategia de mantenimiento preventiva, pues $C_P/C_C < 1$, y su frecuencia óptima de mantenimiento es de casi 1 año.

Por último, para el caso de las Cadenas del Elevador de Palanquillas, se tiene que se encuentran en una etapa de fallas de desgaste, es decir que la tasa de fallas va en aumento con el tiempo por lo que necesitaría una estrategia de mantenimiento preventiva según los costos, con una frecuencia óptima de mantenimiento de 32 días. Este último era el equipo que acumulaba mayor porcentaje de atrasos acumulados en el período de estudio, considerando además que un cambio de cadenas implica en promedio una detención de la línea de 4 horas, entre otros factores como el valor de una cadena.

Referencias

- Arata, A., & Furlanetto, L. (2005). *Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento*. RIL Editores.
- CAP Acero S.A. (2018). *PL-24-001 Revisión 19*. CAP Acero S.A., Talcahuano.
- Creus Solé, A. (1991). *Fiabilidad y seguridad su aplicación en procesos industriales* (Segunda ed.). (R. Martín Martínez, Ed.) Barcelona, España: Marcombo.
- Lewis, E. (1987). *Introduction to reliability engineering*. New York: John Wiley & sons.
- Martínez Fernández, L. (2011). *Métodos de Inferencia para la Distribución Weibull: Aplicación en Fiabilidad Industrial*. Universidad de Vigo, Vigo.
- Martínez Ojeda, M. Á. (2014). *Desarrollo de Software para el cálculo de parámetros de Weibull y aplicaciones en el análisis de fallas mecánicas y caracterización del potencial eólico*. Universidad Austral de Chile, Escuela Ingeniería Civil Mecánica, Valdivia.
- Meruane, V. (2011). *Gestión de Activos Físicos*. Santiago.
- Monsálvez Araneda, D., Jaña Contreras, P., & Ruiz Godoy, P. (2014). La influencia Norteamericana en el Proyecto Siderúrgico Chileno: La Compañía de Acero del Pacífico (CAP) y la usina Huachipato. *Universum*, 203-219.
- Mora Gutiérrez, L. A. (2009). *Mantenimiento. Planeación, Ejecución y Control*. Ciudad de México, México: Alfaomega.
- Pascual J, R. (2005). *El Arte de Mantener*. Santiago.

Anexos

Anexo A: Base de datos sistema MES CAP Acero.

Fecha	TTR	Ubicación Técnica	Equipo	Síntoma Avería	Causa
03-ene-10	365	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
04-ene-10	270	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
06-ene-10	16	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Cambiar Pernos	Pernos Cortados
11-ene-10	362	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
18-ene-10	343	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
24-ene-10	20	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
30-ene-10	30	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
22-feb-10	45	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Detención de Laminación	Desgaste
01-jun-10	55	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
26-jun-10	40	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
06-jul-10	20	Elevador Palanquillas	Cadenas	Desmontar Cadena	Cadena Cortada
16-jul-10	72	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Detención de Laminación	Falla Mantenimiento
02-ago-10	23	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Cambiar Polines	Rodillo Inferior Quebrado
04-08-2010	6	Elevador Palanquillas	Sensor	Montar Detector	Soporte Quebrado
18-ago-10	20	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Revisar Equipo	Rodamiento Agripado
22-oct-10	163	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
06-nov-10	12	Elevador Palanquillas	Motor	Ajustar Freno	Freno del Motor
20-11-2010	8	Elevador Palanquillas	Sensor	Regular Sensor	Pérdida Posición
16-dic-10	365	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
05-ene-11	386	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada

10-ene-11	16	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
22-feb-11	13	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Destrubar Cadena	Cadena Trabada
24-feb-11	8	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Perno	Falla de Fijación
28-jun-11	155	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
20-jul-11	323	Elevador Palanquillas	Cadenas	Cambiar Cadena	Cadena Cortada
29-jul-11	259	Elevador Palanquillas	Cadenas	Cambiar Cadena	Cadena Cortada
17-nov-11	78	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
13-abr-12	72	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reparar Soporte Volcador	Falla Mecánica
14-may-12	490	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
06-jun-12	440	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
02-jul-12	35	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Cambiar Polines	Polin Quebrado
18-jul-12	48	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Trabada
03-ago-12	480	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Sobrecarga Eléctrica
03-08-2012	480	Elevador Palanquillas	Encoder	Habilitar Equipo	Falla Circuito Control
16-ago-12	142	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Trabada
16-08-2012	15	Elevador Palanquillas	Sensor	Reparar Soporte	Soporte Quebrado
29-08-2012	6	Elevador Palanquillas	Sensor	Sacar Detector	Falla Eléctrica
29-sep-12	153	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Suelta
15-oct-12	232	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Falla Cadenas
31-10-2012	86	Elevador Palanquillas	Sensor	Cambiar Sensor Nivel	Falla Sensor Posición
11-nov-12	30	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Falla Eléctrica
11-11-2012	30	Elevador Palanquillas	Encoder	Reparar Soporte	Soporte Quebrado
16-nov-12	42	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Falla Eléctrica

16-11-2012	42	Elevador Palanquillas	Encoder	Detener Equipo	Falla Eléctrica
17-nov-12	15	Elevador Palanquillas	Motor	Habilitar Equipo	Sobrecarga Eléctrica
18-nov-12	6	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Falla Eléctrica
26-nov-12	156	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Falla de Ciclo
26-11-2012	156	Elevador Palanquillas	Encoder	Habilitar Equipo	Falla Eléctrica
29-nov-12	133	Elevador Palanquillas	Cadenas	Montar Cadena	Cadena Suelta
08-ene-13	234	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
28-ene-13	68	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Cambiar Pato	Desgaste
23-mar-13	245	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
03-jun-13	350	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Falla Acoplamiento
11-jun-13	5	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
19-ago-13	340	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
19-ago-13	340	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Ajustar Equipo	Rodamiento Agripado
21-sep-13	240	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
25-oct-13	442	Elevador Palanquillas	Cadenas	Destruir Cadena	Cadena Trabada
13-dic-13	94	Elevador Palanquillas	Cadenas	Montar Cadena	Cadena Suelta
11-ene-14	390	Elevador Palanquillas	Cadenas	Cambiar Cadena	Cadena Trabada
10-mar-14	120	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
10-03-2014	40	Elevador Palanquillas	Sensor	Regular Sensor	Sensor Suelto
15-mar-14	34	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reparar Soporte Volcador	Falla Mecánica
25-mar-14	595	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
12-abr-14	12	Elevador Palanquillas	Motor	Detención de Laminación	Falla Mecánica
31-may-14	540	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada

21-jul-14	55	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reponer Pasador	Pasador Suelto
03-ago-14	380	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
04-ago-14	42	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Cambiar Polines	Rodillo Inferior Quebrado
04-08-2014	42	Elevador Palanquillas	Sensor	Regular Sensor	Fuera Posición
10-ago-14	100	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reparar Cadena	Falla Mecánica
30-ago-14	40	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reponer Pasador	Pasador Suelto
29-oct-14	8	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Sobrecarga Eléctrica
01-nov-14	25	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Trabada
04-nov-14	3	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Sobrecarga Eléctrica
12-nov-14	37	Elevador Palanquillas	Cadenas	Montar Cadena	Cadena Trabada
28-nov-14	19	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Falla Eléctrica
11-ene-15	135	Elevador Palanquillas	Cadenas	Destruir Cadena	Cadena Trabada
09-03-2015	8	Elevador Palanquillas	Sensor	Regular Sensor	Sensor Suelto
10-03-2015	10	Elevador Palanquillas	Sensor	Regular Sensor	Sensor Suelto
10-abr-15	300	Elevador Palanquillas	Cadenas	Habilitar Cadena	Cadena Suelta
09-jul-15	60	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Transmisión	Falla Cadenas
12-jul-15	5	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Detener Equipo	Falla Diseño
20-jul-15	44	Elevador Palanquillas	Cadenas	Cambiar Cadena	Cadena Cortada
23-jul-15	273	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
25-jul-15	123	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
28-jul-15	34	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
30-jul-15	25	Elevador Palanquillas	Motor	Cambiar Motor	Falla Mecánica
09-ago-15	20	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos

10-ago-15	230	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
24-sep-15	6	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
17-oct-15	338	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
19-nov-15	330	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
16-dic-15	18	Elevador Palanquillas	Cadenas	Detención de Laminación	Rodamiento con Juego Axial
27-dic-15	135	Elevador Palanquillas	Cadenas	Espacio en Horno	Cadena Suelta
21-mar-16	23	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Sobrecarga Eléctrica
21-03-2016	23	Elevador Palanquillas	Encoder	Espacio en Horno	Pérdida de Automático
25-05-2016	15	Elevador Palanquillas	Sensor	Reapretar Pernos	Pernos Suelos
08-jul-16	238	Elevador Palanquillas	Cadenas	Revisar Equipo	Cadena Cortada
17-jul-16	263	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
22-dic-16	16	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Espacio en Horno	Falla Eléctrica
22-12-2016	16	Elevador Palanquillas	Sensor	Espacio en Horno	Falla Sensor Posición
15-feb-17	192	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
15-02-2017	6	Elevador Palanquillas	Sensor	Detención de Laminación	Falla Eléctrica
12-mar-17	483	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
28-abr-17	389	Elevador Palanquillas	Cadenas	Resetear Control	Cadena Cortada
06-may-17	75	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
12-may-17	2	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Reparar Cadena	Falla Mecánica
14-08-2017	10	Elevador Palanquillas	Motor	Reponer Sobrecarga	Sobrecarga Eléctrica
24-nov-17	70	Elevador Palanquillas	Motor	Espacio en Horno	Falla Eléctrica
09-feb-18	235	Elevador Palanquillas	Cadenas	Parada o Rotura de algo	Cadena Cortada

27-feb-18	490	Elevador Palanquillas	Cadenas	Parada inesperada	Cadena Cortada
27-abr-18	290	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
11-jul-18	283	Elevador Palanquillas	Cadenas	Reparar Cadena	Cadena Cortada
11-jul-18	283	Elevador Palanquillas	Carro Cadena	Parada o Rotura de algo	Fractura