

# DETERMINACIÓN DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UNA MÁQUINA DE CORTE DE CENTROS

Luis Mauricio Herrera Morales<sup>1</sup> y Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón<sup>2</sup>

**Resumen**— La elaboración de componentes de alta calidad y desempeño, como los evaporadores para para el sistema de aire acondicionado de un vehículo, es una parte esencial de cualquier automotor para la total satisfacción del cliente. Es por eso que las empresas tienen como principal objetivo la eliminación de desperdicios, uno de los principales es el tiempo muerto por la mala planeación de mantenimiento. La planeación eficiente de un mantenimiento implica el aumento de la disponibilidad del equipo y la eficiencia del proceso productivo. En este artículo se presenta un caso de estudio relacionado con una máquina de corte de centros para un evaporador. El análisis se enfocó en el cambio de la navaja de corte con la intención de prevenir la producción de piezas defectuosas. La implementación se llevó a cabo mediante el análisis de los tiempos entre fallas para la determinación de un plan de mantenimiento preventivo.

## Introducción

En la actualidad las empresas de rama automotriz ofrecen al cliente calidad de excelencia en sus productos con procesos de clase mundial, con tecnología avanzada y métodos que conllevan a la satisfacción total del cliente. La elaboración de componentes caros y de alto desempeño como lo son los evaporadores para el sistema de aire acondicionado de un vehículo, porta un papel muy importante como parte esencial de cualquier automotor para cumplir con la satisfacción del cliente en su totalidad. Uno de los equipos necesarios para la elaboración de evaporadores tiene como nombre: Máquina de centros, la cual consiste en elaborar centros de aluminio, siendo este un componente del evaporador que tiene la función de filtrar y guiar por cada una de sus cavidades el aire del ambiente para que mediante la combinación de gases expulse aire frío al interior del vehículo, este componente es fabricado de aluminio, perforado y con un diseño en zigzag con extremidades curvas y dimensiones específicas de altura y largo para que cumpla de manera satisfactoria con su función, estos van en la mayor parte del cuerpo de un evaporador. Como consecuente, el proceso de la máquina de centros consiste en producir centros de aluminio, una vez hecho el corte de cada centro, por medio de una banda transportadora envía a este a una máquina insertadora que coloca cada uno de los centros en las ranuras del evaporador. Este, por otra parte, requiere ser ensamblado junto con tubos, refuerzos y coples para conformar y dar la estructura del evaporador como tal.

Hoy en día las fallas en las máquinas por componentes dañados generan grandes pérdidas para las empresas, impactando en la disponibilidad del equipo y en producción (Kuo, W. y Zhu, X., 2012) hacen mención de que cualquier componente que se tiene esperado que funcione correctamente puede fallar en cualquier momento por casualidad, por lo que el tiempo que tiene funcionando se le llama tiempo de vida o tiempo de falla, este tiene una probabilidad de falla con una duración de tiempo aleatoria. Esto mismo sucede con la máquina de centros 58 mm L-2 que es utilizada para la elaboración de centros de dos modelos de evaporadores: Epsilon D2UX y PCM. Esta cuenta con una navaja de corte de centros con número de parte: XMAQT0991, cada vez que esta se daña, no realiza el corte de manera adecuada provocando que el centro no quede bien ensamblado en el evaporador y así este no realice su función de manera efectiva y por otra parte se convierta en material defectuoso o un retrabajo. Como consecuente el departamento de mantenimiento no cuenta con un pronóstico para realizar mantenimiento preventivo en la máquina, en donde se contemple el cambio de la navaja antes de que esta falle, lo que conlleva a reemplazarla una vez que ya no sirve, provocando que la máquina no opere y ocurra un paro de producción. Así mismo como menciona (Ebeling, C. E., 2005) que el mantenimiento preventivo es programado para el tiempo de inactividad, en donde se realiza un conjunto de tareas en específico, como inspecciones, reparaciones, remplazo de componentes, limpieza, alineaciones, lubricaciones y ajustes. Por lo que en este caso de estudio se realiza un análisis para el remplazo de la navaja de corte antes de que deje de funcionar.

Para que esto se ejecute se tiene que determinar la confiabilidad de la navaja, la cual se define como la probabilidad de que un servicio se proporcione o que un producto opere durante un periodo de tiempo en específico bajo las condiciones de operación sin falla. (Elsayed, E. A., 2012), de esta manera se puede decir que es la medida del éxito de los sistemas para demostrar su funcionamiento durante su vida útil. La confiabilidad de la navaja de corte de

<sup>1</sup> Luis Mauricio Herrera Morales es estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México. [al122202@alumnos.uaci.mx](mailto:al122202@alumnos.uaci.mx) (autor corresponsal)

<sup>2</sup> Dr. Luis Alberto Rodríguez Picón es Profesor investigador del departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

máquina de centros, en donde, esta debe de estar trabajando sin que se dañe o pierda su función principal, mediante análisis del comportamiento de las fallas ocurridas en distintos periodos de tiempos y el tipo de distribución que mejor se adapta a la información obtenida. (Tobias, P. A. y Trindade, D., 2011) hacen destacar que la distribución Weibull ha demostrado ser un modelo muy exitoso para muchos mecanismos de falla para productos, porque es una distribución flexible, con amplia variedad de posibles formas de curvas de tasas de fallas. La tasa de fallas no es un valor constante, pueden fracasar fallas tempranas o fallas de desgaste. Para esto se requiere de un análisis adicional de los datos para determinar la distribución adecuada. (Garg, H. y Sharma, S. P., 2012). Es por eso que al hacer el análisis se toma en cuenta el que se tenga como prioridad número uno dependiendo del comportamiento de los tiempos de falla. Así mismo recomiendan que la estimación correcta de los parámetros de falla y la distribución de la reparación se hagan bien debido a que son muy importantes en la toma de decisiones y en la administración de un sistema.

Por otra parte (Depestre, L. O. L. y Del Centro, E. G., 2012) muestran en su artículo el beneficio de hacer o no el mantenimiento preventivo, mencionan que si el costo de la prevención de la falla es mayor que el costo de la reparación, es mejor dejar fallar el equipo y aplicar un mantenimiento correctivo, pero si el costo de la prevención es inferior al de la reparación, se deberá aplicar el mantenimiento preventivo y si no se cuenta con los medios para prevenir la falla se deben realizar inspecciones periódicas mantenimiento predictivo, con ayuda o no de equipos de diagnóstico.

Tomando en cuenta esto, se aplica la mejora para determinar el nivel de confiabilidad de la navaja de corte de máquina de centros en donde esta debe de estar operando sin que se dañe o pierda su función principal y como consecuente plantear un mantenimiento preventivo en donde la navaja sea reemplazada por una nueva cada cierto periodo de tiempo de tal manera que la maquina no pare, ni produzca centros mal cortados y la producción de evaporadores no se vea afectada.

#### Descripción del Método

En este apartado se muestra el procedimiento y las bases que se tomaron en cuenta para poder determinar el mantenimiento preventivo en donde se reemplaza la navaja de corte de centros. El método se realiza siguiendo la secuencia de los pasos que se muestran en la Figura 1, de igual manera se describe lo que abarca cada uno de estos pasos.

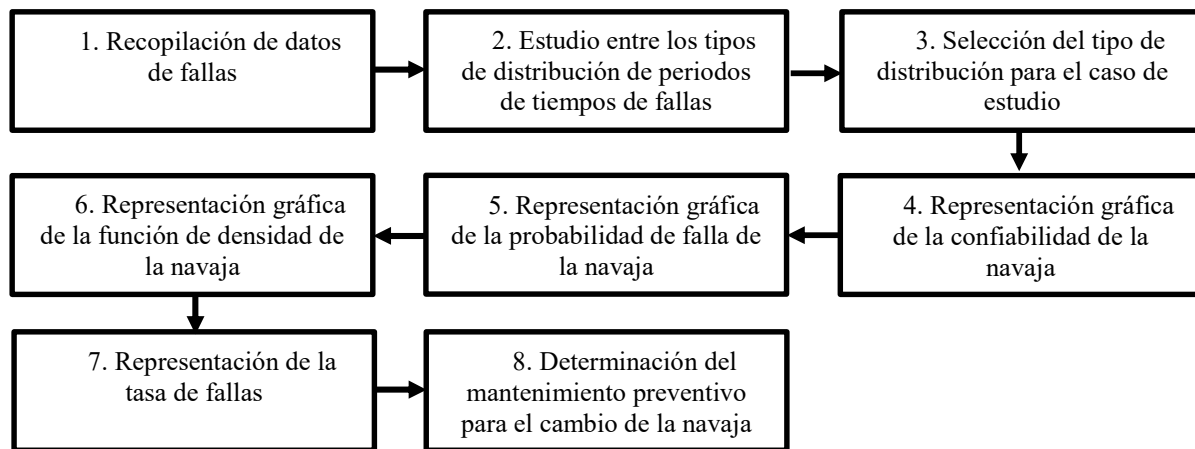


Figura 1. Secuencia paso a paso para la implementación de un mantenimiento preventivo.

#### Descripción de la tasa de fallas para determinar las demás funciones

La tasa de fallos nos muestra el comportamiento en base a la confiabilidad del sistema mencionada por Del Pino, J. M. T. (1994), la cual se define de la siguiente manera:

$$\lambda(t) = - \frac{d[R(t)]}{dt} \frac{1}{R(t)}$$

Donde:

$\lambda(t)$  = Tasa de fallos

$R(t)$  = Confiabilidad

$F(t)$  = Probabilidad de falla

$t$  = Tiempo

*Recopilación de datos de fallas (1)*

Se realiza un estudio en bitácoras de mantenimiento en donde se detecta que en el periodo de noviembre del 2017 a marzo del 2018 hubo 27 reemplazos de navaja de corte de la máquina de centros con periodos de tiempos como se muestra en el Cuadro 1.

Cantidad de navajas	Tiempo en el que falla la navaja (Hrs)
1	67.95833333
1	22.45888889
1	3.45277778
1	26.50638889
1	41.72138889
1	29.90194444
1	17.54916667
1	64.90138889
1	37.83333333
1	41.04916667
1	23.59194444
1	70.9225
1	72.48055556
1	72.11027778
1	15.44333333
1	58.64611111
1	69.21333333
1	59.31166667
1	88.68833333
1	72.09972222
1	51.39888889
1	52.53027778
1	90.78638889
1	43.78361111
1	89.99083333
1	59.65583333
1	51.63388889

Cuadro 1. Periodo de tiempo en horas entre cada una de las fallas y reemplazo de la navaja de corte.

*Estudio entre los tipos de distribución de periodos de tiempos de fallas (2)*

Se realiza un estudio de distribución de las 27 fallas para así poder detectar cuál es la que más se adapta a nuestros periodos de tiempos de fallas, haciendo comparaciones entre ellas como se muestran en el Cuadro 2.

DISTRIBUTION	AVGOF	AVPLOT	LKV
Exponential 1	99.6436867	18.6363384	-134.53891
Exponential 2	99.3361948	17.3326054	-132.52288
Normal	0.25184462	3.15283128	-123.64014
Lognormal	62.1426139	7.22252567	-130.55232
Weibull 2	13.1822552	4.84057267	-125.52602
Weibull 3	0.70701904	2.81664440	-123.49931

Cuadro 2. Comparación de distribuciones para el análisis de datos.

En la primera columna: AVGOF muestra el promedio de la bondad de ajuste, la segunda columna: AVPLOT muestra una media normalizada de que tan bien se ajustan los valores en el gráfico, la tercera columna: LKV nos muestra el valor de la función de verosimilitud en donde se analiza la congruencia de los datos. Teniendo en cuenta que entre menor sean los valores, mejor. De esta manera se hace una clasificación del 1 al 6 de cuál es el mejor para hacer el estudio, agregando una columna con el nombre: DESV en el Cuadro 3, la cual asigna un peso sobre la clasificación de las primeras tres columnas, de igual manera optando por la del valor más bajo, siendo esta la mejor.

DISTRIBUTION	RAVGOF	RAVPLOT	RLKV	DESV
Exponential 1	6	6	6	600
Exponential 2	5	5	5	500
Normal	1	2	2	150
Lognormal	4	4	4	400
Weibull 2	3	3	3	300
Weibull 3	2	1	1	150

Cuadro 3. Clasificación de la mejor distribución.

DISTRIBUTION	Ranking
Exponential 1	5
Exponential 2	4
Normal	1
Lognormal	3
Weibull 2	2
Weibull 3	1

Cuadro 4. Clasificación general de las distribuciones.

*Selección del tipo de distribución para el caso de estudio (3)*

Al concluir con el análisis de distribuciones se obtiene que la mejor es la distribución normal y la distribución Weibull de 3 parámetros tal y como se puede observar en el Cuadro 4. Viendo esa comparativa de distribuciones se opta por utilizar la distribución Weibull de 3 parámetros, aunque la distribución normal tiene el mismo puntaje, mediante el análisis esta obtuvo mejores resultados en la segunda y tercera columna.

Para esto se calculó mediante el software los 3 parámetros que utiliza la distribución Weibull:  $\beta = 3.34652315$ ,  $\eta = 85.9917470$  y  $\gamma = -25.333388$ .

*Representación gráfica de la confiabilidad de la navaja (4)*

La función de la confiabilidad con distribución Weibull de tres parámetros es representada como:

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

Donde:

$\beta$  = Parámetro de forma

$\eta$  = Parámetro de escala

$\gamma$  = Parámetro de localización

t = Tiempo

En la Figura 2 se muestra como la confiabilidad de la navaja de corte es menor respecto al paso de tiempo y también se observa cuando la navaja ya no opera de manera correcta.

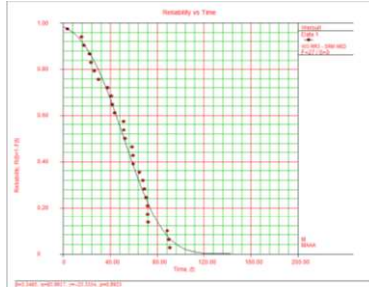


Figura 2. Función de confiabilidad

*Representación gráfica de la probabilidad de falla de la navaja (5)*

La función de la probabilidad de falla con distribución Weibull de tres parámetros es representada como:

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

En esta se muestra la inversa de la función de confiabilidad ya que en esta es menor una vez que la navaja es nueva, pues no tiende a dañarse, tal y como se muestra en la Gráfica 2.

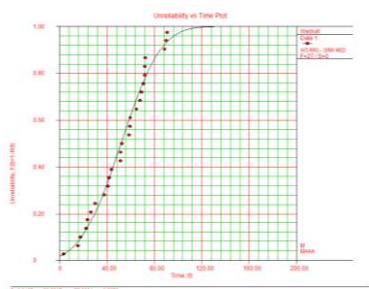


Figura 3. Función de la probabilidad de falla

*Representación gráfica de la función de densidad de la navaja (6)*

La función de densidad de la distribución Weibull está definida de la siguiente manera en la Figura 4:

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

Donde:

$$t \geq 0 \text{ o } \gamma, \beta > 0, \eta > 0, -\infty < \gamma < \infty$$

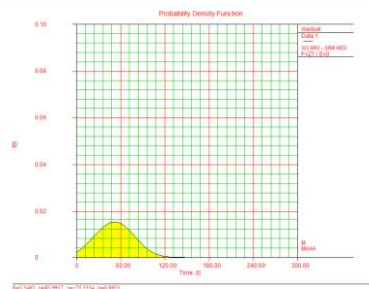


Figura 4. Función de densidad de probabilidad de tiempos de remplazo de la navaja de corte.

*Representación gráfica de la tasa de fallas (7)*

La tasa de fallos se representa como:

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

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de la tasa de falla con respecto al tiempo.

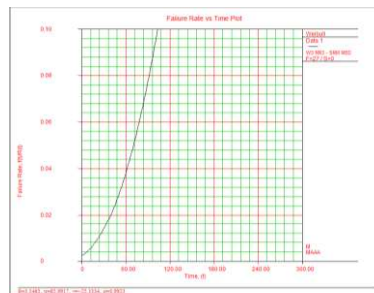


Figura 5. Tasa de falla de los tiempos de reemplazo de la navaja de corte.

*Determinación del mantenimiento preventivo para el cambio de la navaja (8)*

El tiempo medio de vida de la navaja es de 51.8570 horas con una confiabilidad igual a 49.82% y una probabilidad de falla igual a 50.18%. Para la implementación del mantenimiento preventivo se toma en cuenta la función propuesta por Ebeling, C. E. (2005) la cual es la siguiente:

$$Rm(t) = R(T)^n R(t - nT)$$

En donde,  $t$  es el periodo en donde se quiere evaluar la confiabilidad para establecer el mantenimiento preventivo,  $n$  es el número de mantenimientos preventivos y  $T$  es el periodo del mantenimiento preventivo. En este caso de estudio se planea establecer un mantenimiento preventivo para tener al menos una confiabilidad del 85% en un periodo de  $t = 48$ . Por lo que se evaluaron diferentes valores para  $n$  y  $T$  para obtener la confiabilidad de mantenimiento deseada. En el Cuadro 5 se muestra los resultados obtenidos.

n	T	Nt	R(t)	R(T)	R(T) <sup>n</sup>	R(t-NT)	Rm(t)
1	48	48	0.537726	0.537726	0.537726	1	<b>0.5377</b>
2	24	48	0.537726	0.868602	0.75447	1	<b>0.7545</b>
3	16	48	0.537726	0.942536	0.837324	1	<b>0.8373</b>
4	12	48	0.537726	0.96852	0.879903	1	<b>0.8799</b>
5	9.6	48	0.537726	0.980349	0.905532	1	<b>0.9055</b>
6	8	48	0.537726	0.986652	0.922538	1	<b>0.9225</b>
7	6.86	48	0.537726	0.990383	0.934592	1	<b>0.9346</b>
8	6	48	0.537726	0.992764	0.943554	1	<b>0.9436</b>
9	5.33	48	0.537726	0.994371	0.950461	1	<b>0.9505</b>
10	4.8	48	0.537726	0.995504	0.955937	1	<b>0.9559</b>

Cuadro 5. Confiabilidad deseada con diferentes valores para  $n$  y  $T$ .

### Comentarios Finales

La intención del estudio fue establecer un plan de mantenimiento preventivo de manera que se obtuviera una confiabilidad de la navaja de corte del 85% como mínimo a las 48 horas. Como se puede observar en el Cuadro 5 cuando se consideran 4 mantenimientos cada 12 horas se obtiene una confiabilidad del 87.99%, por lo que este esquema se adoptó para establecer el plan de mantenimiento preventivo.

### Recomendaciones

El interesado en continuar con el caso de estudio ya sea una mejora o abarcar más de lo presentado, puede hacer el estudio de como justificar los tiempos de paro de maquinaria involucrando las piezas no producidas y el costo que implicara la aplicación o no del mantenimiento preventivo. De igual manera recomienda dar seguimiento a la metodología planteada para determinar un mantenimiento preventivo bajo una confiabilidad deseada.

### Referencias

- Tobias, P. A., & Trindade, D. (2011). Applied reliability. CRC Press.
- Kuo, W., & Zhu, X. (2012). Importance measures in reliability, risk, and optimization: principles and applications. John Wiley & Sons.
- Elsayed, E. A. (2012). Reliability engineering (Vol. 88). John Wiley & Sons.
- Ebeling, C. E. (2005). An introduction to reliability and maintainability engineering. Tata McGraw-Hill Education.
- Depestre, L. O. L., & del Centro, E. G. (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Centro Azúcar, 39(3), 7-14.
- Garg, H., & Sharma, S. P. (2012). A two-phase approach for reliability and maintainability analysis of an industrial system. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 19(03), 1250013.
- Del Pino, J. M. T. (1994). NTP 331. Fiabilidad: la distribución de Weibull.