

Análisis de plan de mantenimiento correctivo-preventivo aplicando la ideología Green Belt

Analysis of corrective-preventive maintenance plan applying the Green Belt ideology

Hernández-Esquivel, Jorge Ubaldo,¹ Maldonado-Onofre, Daniel,^{1,*} Mier-Quiroga, Luis,¹ Ramírez-Chávez, César,¹ De la Mora Ramírez, Tomas¹

Recibido: 3 de abril de 2019 - Aceptado: 11 de septiembre de 2019

RESUMEN

El siguiente trabajo muestra la aplicación de la ideología de Green Belt en la fase de análisis de proceso, tomando en consideración la fase de medición con ayuda de un análisis estadístico a equipos de un sistema productivo para la mejora de planes de mantenimiento preventivo. Se realizó un análisis estadístico del historial de fallas que permitiera realizar una clasificación básica de estas: mecánicas, eléctricas, neumáticas e hidráulicas. De acuerdo con lo anterior, se planteó un análisis que contempla las siguientes variables: cartas de control, modelos de regresión múltiple y tablas anova que permitiera generar un pronóstico con un fundamento matemático para atacar las fallas con mayor incidencia.

PALABRAS CLAVE: Análisis estadístico, ANOVA, fallas, regresión, varianza.

ABSTRACT

The following work shows the application of Green Belt ideology in the process analysis phase, considering the measurement phase with aid of statistical analysis of production system equipment, with the purpose to improve the preventive maintenance plans. A statistical analysis of the fault antecedents was carried out, allowing a basic fault classification: mechanical, electrical, pneumatic and hydraulic. According to this classification an analysis was proposed, including control charts, multiple regression models and anova tables that will allow, with mathematical basis, generate a projection in order to tackle the most recurrent fails.

KEY WORDS: Statistical analysis, ANOVA, failures, regression, variance.

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán, México.

* Autor de correspondencia: daniel.maldonado@tesjo.edu.mx

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria apuesta por plataformas tecnológicas que le brinden ayuda en la toma de decisiones dentro de sus procesos, por ejemplo, que permitan visualizar los inicios de la línea de producción, contar con un portal de ventas, pronosticar pedidos y, claro, manipular información con interfaces, como el sistema de planificación (ERP), que además guarda datos de productos, estructura de materiales, costos y pedidos de producción, además son capaces de realizar un análisis preventivo de la posibilidad de un fallo en la línea, tendencias de problemas con los productos y equipos productivos, y un análisis de productividad de las líneas de producción.

Es por esto por lo que referenciando la variabilidad de problemas que enfrenta una planta de fabricación, se podría mencionar un caso de estudio para TRUPER en los equipos donde se elaboran distintos calibres de cadena constituida por formadoras y soldadoras. Para cada tipo de calibre esta una formadora y soldadora, donde existe una correspondencia, que, si se descompone la formadora, la soldadora deja de funcionar y viceversa. Otro factor que puede influir es que los tiempos en que se hacen los mantenimientos preventivos no son los adecuados para garantizar que las fallas no aparezcan repentinamente, por ende, también es un problema, ya que si no se tiene un análisis de las fallas que han ocurrido, no es posible saber si fallará posteriormente.

Ahora con un análisis de un historial de fallas de forma estadística se puede obtener información para la toma de decisiones y la realización de proyectos de mejora continua, que permita la mejora de plazos de entrega, calidad y reducción de costos operacionales.

Es por esto último que en ingeniería industrial con las ideologías de Green Belt se potencializa en su fase de medición el manejo de estadísticos que permita recolectar, organizar,

resumir y analizar datos, haciendo de esta una herramienta útil para analizar el comportamiento en actividades de mantenimiento preventivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del Problema

Los problemas que enfrenta una planta de fabricación de TRUPER son variados, uno de ellos es en los equipos donde se elaboran distintos calibres de cadena constituidas por la formadora y la soldadora de cadena. Para cada tipo de calibre están la formadora y la soldadora, donde si se descompone la formadora la soldadora no presentará fallas y viceversa, por ende, no es necesario hacer un análisis acerca de cómo afecta una a la otra. A su vez, los tiempos en que se hacen los mantenimientos preventivos no son los adecuados para garantizar que las fallas no aparezcan repentinamente, por ende, esto también es un problema, ya que si no se tiene un análisis de las fallas que han ocurrido, no es posible saber si fallará posteriormente.

Procedimiento

El siguiente procedimiento se basa en partes fundamentales, tales como la clasificación de las fallas comunes en los equipos, posteriormente el análisis para determinar que fallas son más importantes.

Clasificación de fallas

Desde el inicio se pensó en proponer una soldadora para su estudio, de acuerdo con el historial de fallas que el área de mantenimiento ha almacenado. Sin embargo, la misma área dictaminó que los equipos SOL-02 y SOL-19 (SOL=soldadora-número de equipo) son las más importantes para analizar por sus historiales de fallas. El equipo SOL-15 fue el ideal para empezar la clasificación de fallas y que dictaminó como podría ser coherente dividir el equipo por secciones.

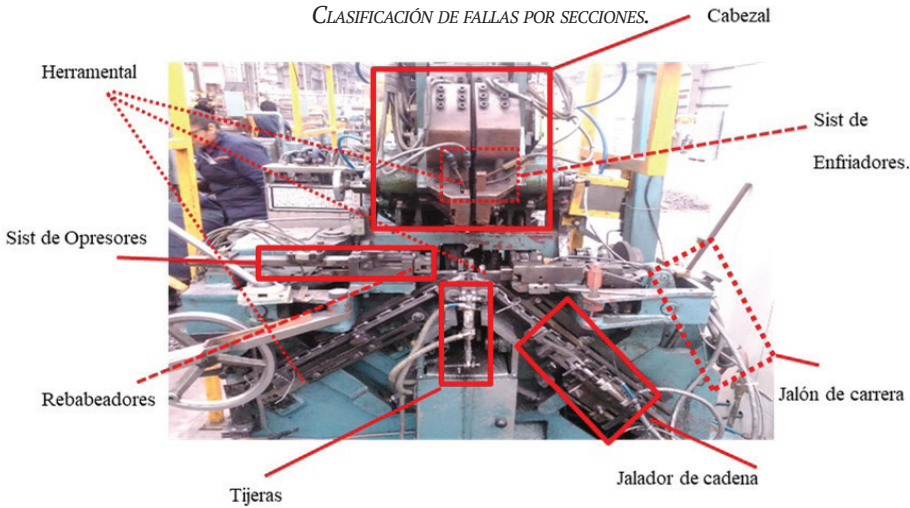
FIGURA 2.
SOLDADORA 15.



Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de fallas y/o problemas por nombre son: ajustes de operación, cabezal, eléctrico, sistema de enfriamiento, herramental, jalador de cadena, jalón de carrera, mecánico, sistema de opresores, rebabeadores y tijeras (Figura 3).

FIGURA 3.
CLASIFICACIÓN DE FALLAS POR SECCIONES.



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, como SOL-15 es la soldadora más robusta, contiene rebabeadores, parte que SOL-19 y 02 no tienen, por tanto, es una falla que no existe en estos equipos.

La información anterior ha salido de los textos de notificaciones cuando ha ocurrido una falla y los técnicos deben describirla en el software SAP. Este genera hojas de cálculo en Excel y de ahí se elaboró una segmentación de datos para separar información de una soldadora respecto a la otra. Las notificaciones guardadas describen aquello que produjo el paro en el equipo y al estudiar la maquina en vivo se notó que hay partes que se pueden clasificar sencillamente para un mejor estudio.

De esta manera, de la clasificación mencionada anteriormente, cualquier equipo tendrá algunas de esas fallas. Como se pretende que todas las fallas posteriores al análisis que se llevara a cabo puedan ser medidas, en un libro de Excel se ha hecho una lista de las fallas y una sub-lista de todas las causas para una misma falla. Es decir, el programador (encargado de registrar las órdenes) de acuerdo con lo que los técnicos notifiquen, con esta clasificación podrá canalizar la falla para poder tener un análisis más sencillo en el futuro.

FIGURA 4.

USO DE EXCEL PARA OBTENER UN TEXTO DE UNA FALLA Y SU RESPECTIVA SUB-FALLA.

OPERACIÓN:	MC	DESCRIPCIÓN FALLA MC- JALON - ELECTROVÁLVULA
EQUIPO:	SOLDADORAS JALON	
FALLA:	ELECTROVÁLVULA	
SUBFALLA:	BUJES ELECTROVÁLVULA ESPARRAGO PISTÓN ROTULA SEGUIDOR SOPORTE PERNOS Y/O TORNILLOS	

Fuente: Elaboración propia.

Equipos por estudiar y fallas más importantes

Existen 21 soldadoras de cadena y todas necesitan un análisis de su historial de fallas para proponer un modelo de mantenimiento que empiece a reducirlas. Sin embargo, se ha hecho un mantenimiento mayor en algunos equipos, es decir, se han reemplazado componentes que fallaban constantemente por unos nuevos y evitaron que su historial de fallas siguiera una línea de tendencia ascendente. Por tal razón, elaborar un análisis sobre soldadoras que no lo necesitan generaría un error, ya que las causas que llevaban a los paros de dicha máquina han sido arregladas.

Los equipos que se analizarán son las soldadoras: 02, 03, 04, 10, 12, 13, 14, 19 y 20 que son las 9 soldadoras con puntos más críticos. El análisis abarca desde enero a noviembre de 2017. Todas estas soldadoras presentan la misma clasificación (como la mostrada en la figura 2), es decir, una enumeración de sus fallas en los meses de enero a noviembre, las horas de paro por falla y el costo que han generado.

Con cartas de control $\bar{X}\bar{R}$ detecta los cambios respecto a la media de datos de fallas y horas paro (Rincón, 2017). Las fallas se han clasificado con X_n siendo $n=1, 2, \dots, k$ las fallas de cada soldadora que se hará por cartas de variables por subgrupos y para horas paro por cartas individuales. Se sabe que para este tipo de cartas existen tres desviaciones a la derecha y tres a la izquierda que son el límite central superior y el límite central inferior respectivamente, sin embargo, todas las fallas que estén por encima de la media serán tratados como críticos ya que no se conoce cuáles son los límites de las fallas y horas de paro.

A continuación, se presentan las fallas importantes de cada equipo seleccionado:

SOL-02

TABLA 1.
NUMERO DE FALLAS Y HORAS PARO SOL-02.

SOL-02		n											n			
FALLA		Enc	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	MI-DIA	RANGO	Is Paro	Rango Móvil
X1	Aj Op	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0909	1	1.5833333	
X2	Cabe	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	1	0.5455	2	31.059722	29.476389
X3	Elec	0	0	0	0	3	0	1	0	2	1	1	0.7273	3	14.517778	16.541944
X4	Herr	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0.2727	3	7.8777778	6.64
X5	Jala	0	2	0	2	3	3	1	0	2	0	1	1.2727	3	47.458611	39.580833
X6	Jalo	3	2	2	0	2	7	9	8	2	0	1	3.2727	9	83.269444	35.810833
X7	Meca	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.0909	1	6.5347222	76.734722
X8	S Enfr	3	2	5	1	1	4	1	5	2	1	1	2.3636	4	113.60278	107.06806
X9	S Opr	0	0	0	1	1	2	3	0	0	0	0	0.6364	3	30.794444	82.808333
X10	Tije	0	0	2	1	1	4	2	2	2	3	3	1.8182	4	50.001667	43.466944
													$\bar{X} = 1.1091$	$\bar{R} = 3.3$	$\bar{X} = 38.67$	$\bar{R} = 48.681$

Fuente: Elaboración propia.

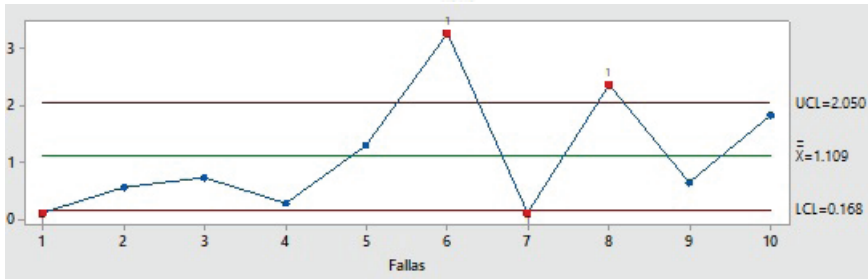
Para las variaciones respecto a la media de las fallas, usando (1) y siendo $A_2 = 0.285$ $A_2 = 0.285$ para $n = 11$ $n = 11$, con $\bar{X} = 1.109$ $\bar{X} = 1.109$ y $\bar{R} = 3.3$ $\bar{R} = 3.3$ tenemos:

$$LCS = 1.109 + (0.285)(3.3) = 2.049$$

$$LCC = 1.109$$

$$LCI = 1.109 - (0.285)(3.3) = 0.168$$

GRÁFICA 1.
CARTA DE CONTROL $\bar{X}$ PARA FALLAS.



Fuente: Elaboración propia.

La grafica 1 indica que las fallas 5, 6, 8 y 10 son los primeros candidatos porque sobrepasan la media respecto a total. Para las variaciones respecto a la media de las horas paro, usando (2) y siendo $d = 1.128$ para $n = 2$, con $\bar{X} = 38.67$ y $\bar{R} = 48.681$ tenemos:

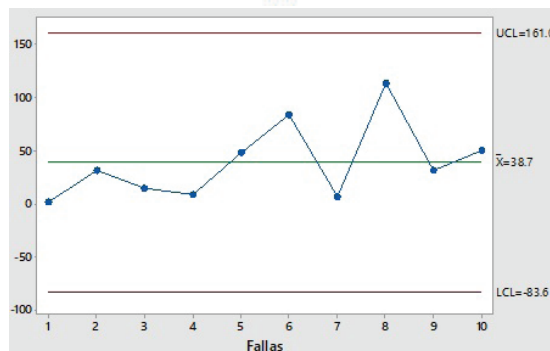
$$LCS = 38.67 + (3) \left(\frac{48.681}{1.128} \right) = 168.14$$

$$LCC = 37.043$$

$$LCI = 38.67 + (3) \left(\frac{48.681}{1.128} \right) = -90.8$$

Lo anterior se muestra en la gráfica 2. Esta indica que las fallas 5, 6, 8 y 10 están por encima de la media en cuestión de horas paro y son importantes por la misma razón.

GRÁFICA 2.
CARTA DE CONTROL $\bar{X}$ PARA HORAS PARO.



Fuente: Elaboración propia.

Así, las variables más importantes para un análisis son: X_5, X_6, X_8 y X_{10} X_5, X_6, X_8 y X_{10}

SOL-03

Los datos recabados se muestran en la tabla 2. Para las variaciones respecto a la media de las fallas usando (1) siendo $A_2 = 0.285A_2 = 0.285$ para $n = 11n = 11$, con $\bar{X} = 1\bar{X} = 1$ y $\bar{R} = 3.0833\bar{R} = 3.0833$ tenemos:

$LCS = 1 + (0.285)(3.0833) = 1.878$

$LCC = 1$

$LCI = 1 - (0.285)(3.0833) = 0.121$

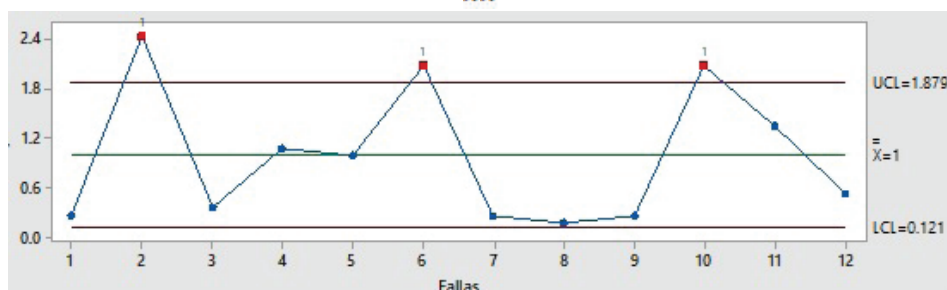
TABLA 2.
NUMERO DE FALLAS Y HORAS PARO SOL-03.

SOL-03		n													n	
FALLA		Enc	Fcb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	MEDIA	RANGO	Hs Paro	RANGO Mo
X1	AjOp	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0.2727	1	15.748889	
X2	Cabe	1	4	6	2	7	4	2	1	0	0	0	2.4545	7	55.951667	40.2027778
X3	Flec	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0.3636	3	25.725833	30.2258333
X4	Herr	0	0	0	3	1	0	1	2	1	4	0	1.0909	4	28.530278	2.80444444
X5	Jala	0	2	1	2	0	2	0	0	2	1	1	1	2	40.190833	11.6605556
X6	Jalo	0	1	0	2	1	2	3	6	3	2	3	2.0909	6	69.260833	29.07
X7	Lubr	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.2727	1	16.237222	53.0236111
X8	Mecc	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0.1818	1	15.544167	0.69305556
X9	Neum	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0.2727	1	2.405	13.1391667
X10	S Enfr	1	3	0	4	4	4	3	1	1	0	2	2.0909	4	54.8775	52.4725
X11	S Opr	0	0	0	4	1	0	3	6	1	0	0	1.3636	6	31.977222	22.9002778
X12	Tije	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0.5455	1	18.799722	13.1775
													$\bar{X} = 1$	$\bar{R} = 3.0833$	$\bar{X} = 31.271$	$\bar{R} = 24.49$

Fuente: Elaboración propia.

La grafica 3 nos indica que las fallas 2, 6, 10 y 11 son importantes ya que sobrepasan la media.

GRÁFICA 3.
CARTA DE CONTROL $\bar{X}$ PARA FALLAS.



Fuente: Elaboración propia.

Para las variaciones respecto a la media de las horas paro usando (2) siendo $d = 1.128$ para $n = 2$, con $\bar{X} = 31.271$ y $\bar{R} = 24.49$ tenemos:

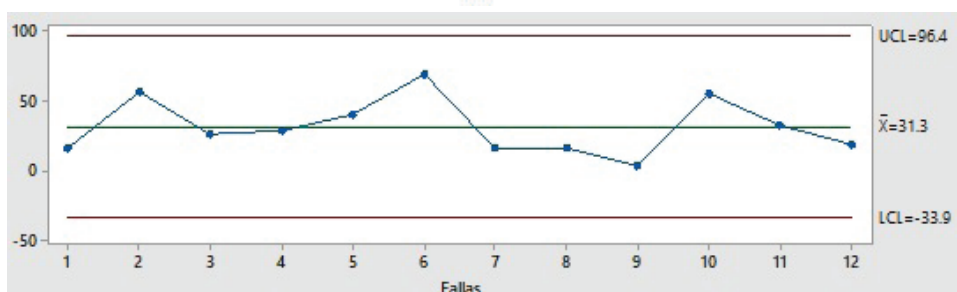
$$LCS = 31.271 + (3) \left(\frac{24.49}{1.128} \right) = 96.4$$

$$LCC = 31.271$$

$$LCI = 31.271 - (3) \left(\frac{24.49}{1.128} \right) = -33.86$$

Lo anterior se muestra en la gráfica 4. Esta indica que las fallas 2, 5, 6, 10 están por encima de la media en cuestión de horas paro por falla y son importantes por esta misma razón.

GRÁFICA 4.
CARTA DE CONTROL $\bar{X}$ PARA HORAS PARO.



Fuente: Elaboración propia.

Así, las variables más importantes para un análisis son: X_2 , X_5 , X_6 , X_{10} y X_{11} .

Análisis de varianza

Con base en la información que nos arrojaron las anteriores cartas de control del número de fallas y horas paro de los equipos que se están estudiando, habrá que ajustar un modelo de regresión lineal múltiple y elaborar para cada modelo una prueba de hipótesis utilizando el estadístico de prueba F (Zamudio et al., 2016), en el que el rechazo de la hipótesis alternativa será una prueba que dará más confianza acerca de la selección de las fallas y su respectivo pronóstico.

Por otra parte, Emelia (1998) propone que el rechazo de la hipótesis nula indica colinealidad entre las fallas (variables) seleccionadas, es decir, esta prueba muestra que las fallas seleccionadas son las causantes de la mayoría de tiempo paro en los equipos, y por ende las que más fallan con frecuencia.

SOL-02

La tabla 3 muestra por mes la suma de horas paro de las fallas seleccionadas, así como su conteo.

Tabla 3.

FALLAS Y HORAS PARO POR MES SOL-02.

SOL-02	FALLA	X5	X6	X8	X10
	Horas Pa	Jala	Jalo	S Ent	Tije
Ene	14.967	0	3	3	0
Feb	24.808	2	2	2	0
Mar	50.064	0	2	5	2
Abr	18.889	2	0	1	1
May	13.052	3	2	1	1
Jun	69.314	3	7	4	4
Jul	44.845	1	9	1	2
Ago	38.87	0	8	5	2
Sep	17.403	2	2	2	2
Oct	20.333	0	0	1	3
Nov	12.583	1	1	1	3

Fuente: Elaboración propia.

En la forma matricial $Y = X\beta$ se tiene:

$$\begin{bmatrix} 14.967 \\ 24.808 \\ 50.064 \\ 18.889 \\ 13.052 \\ 69.314 \\ 44.845 \\ 38.87 \\ 17.403 \\ 20.333 \\ 12.583 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 3 & 3 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 7 & 4 & 4 \\ 1 & 1 & 9 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 8 & 5 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \\ \beta_8 \\ \beta_{10} \end{bmatrix}$$

Aplicando (3) y al resolver el sistema encontramos los coeficientes, quedando el modelo:

$$Y = -3.591 + 1.903X_5 + 1.304X_6 + 6.562X_8 + 4.482X_{10}$$

Con un coeficiente de determinación de:

$$R^2 = \frac{SCR}{STCC} = \frac{2182.4973}{2703.775} = 0.807$$

La prueba de hipótesis es:

$$H_0: \beta_5 = \beta_6 = \beta_8 = \beta_{10} = 0$$

$$H_1: \beta_5 \neq \beta_6 \neq \beta_8 \neq \beta_{10} \neq 0$$

La tabla 4 muestra el ANOVA para este sistema siendo: $n = 11$ y $k = 4$.

TABLA 4.
ANOVA SOL-02.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F
Regresión	SCR=2182.4972	4	CMR=545.624	
Error	SCE=521.2777	6	CME=86.88	f=6.28
Total	STCC=2703.7749	10		

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la tabla de distribución F con un valor de significancia $\alpha = 0.05$ tenemos:

$$f_{\alpha}(k, n - k - 1) = f_{0.05}(4, 6) = 4.53$$

Con base en que $f > f_{0.05}(4,6)$ se rechaza H_0 $f > f_{0.05}(4,6)H_0$ indicando que las fallas seleccionadas son importantes y por ende las fallas más críticas para el equipo donde la posibilidad de que vuelva a ocurrir es posible, por tanto, serán consideradas en el plan de mantenimiento.

sol-03

La tabla 5 muestra la suma mensual de horas paro de las fallas seleccionadas, así como el conteo de las mismas.

TABLA 5.
FALLAS Y HORAS PARO POR MES SOL-03.

SOL-03	FALLA	X2	X5	X6	X10	X11
	Horas Paro	Cabc	Jala	Jalo	S Enf	S Opr
Ene	4.5	1	0	0	1	0
Feb	29.856	4	2	1	3	0
Mar	13.477	6	1	0	0	0
Abr	54.588	2	2	2	4	4
May	18.814	7	0	1	4	1
Jun	36.111	4	2	2	4	0
Jul	25.165	2	0	3	3	3
Aug	35.7725	1	0	6	1	6
Sep	17.82667	0	2	3	1	1
Oct	10.06667	0	1	2	0	0
Nov	6.081667	0	1	3	2	0

Fuente: Elaboración propia.

En la forma matricial $Y = X\beta$ tenemos:

$$\begin{bmatrix} 4.5 \\ 29.856 \\ 13.477 \\ 54.588 \\ 18.814 \\ 36.111 \\ 25.165 \\ 35.773 \\ 17.827 \\ 10.067 \\ 6.082 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 2 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 6 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 4 & 4 \\ 1 & 7 & 0 & 1 & 4 & 1 \\ 1 & 4 & 2 & 2 & 4 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 0 & 6 & 1 & 6 \\ 1 & 0 & 2 & 3 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 3 & 2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_2 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \\ \beta_{10} \\ \beta_{11} \end{bmatrix}$$

Aplicando (3) y al resolver el sistema encontramos los coeficientes β_k , quedando el modelo como:

$$Y = -0.629 + 0.9X_2 + 9.623X_5 - 1.589X_6 + 2.817X_{10} + 6.717X_{11}$$

Con un coeficiente de determinación de:

$$R^2 = \frac{SCR}{STCC} = \frac{2199.935}{2315.193} = 0.95$$

La prueba de hipótesis es:

$$H_0: \beta_2 = \beta_5 = \beta_6 = \beta_{10} = \beta_{11} = 0$$

$$H_1: \beta_2 \neq \beta_5 \neq \beta_6 \neq \beta_{10} \neq \beta_{11} \neq 0$$

La tabla 6 muestra el ANOVA para este sistema siendo $n = 11$ y $k = 5$.

TABLA 6.
ANOVA SOL-03

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F
Regresión	SCR=2199.935	5	CMR=439.987	f=19.087
Error	SCE=115.258	5	CME=23.052	
Total	STCC=2315.193	10		

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la tabla de distribución F con un valor de significancia $\alpha = 0.05$ tenemos:

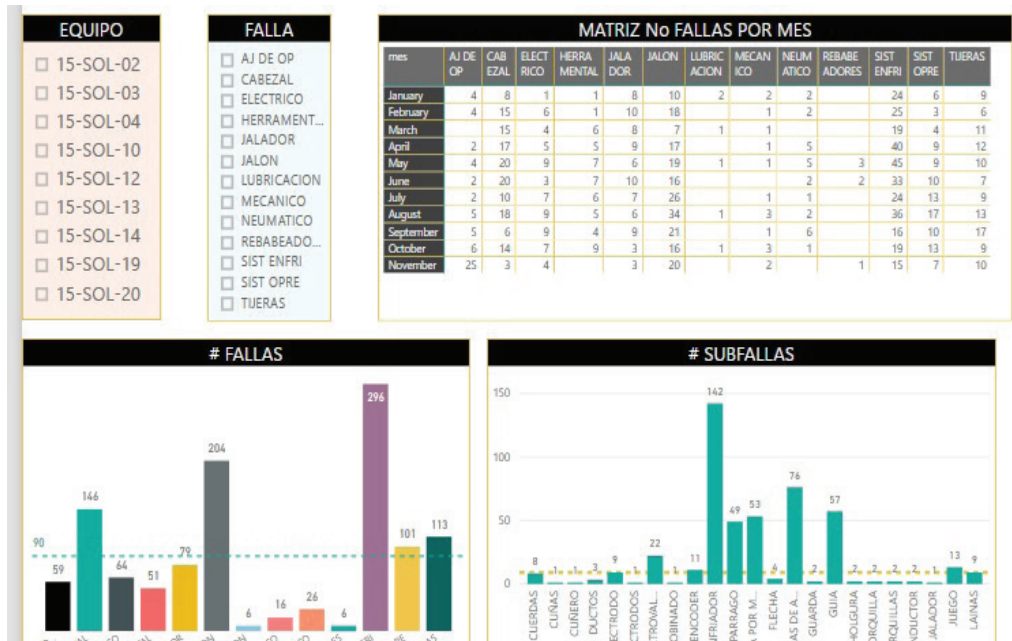
$$f_{\alpha}(k, n - k - 1) = f_{0.05}(5, 5) = 5.05$$

Con base en que $f > f_{0.05}(5, 5)$ se rechaza H_0 indicando que las fallas seleccionadas son importantes y por ende las más críticas para el equipo, por lo que la posibilidad de que vuelvan a ocurrir es posible, por tanto, serán consideradas en el plan de mantenimiento.

Dadas las pruebas F anteriormente generadas a los equipos estudiados, se ha podido elegir las fallas más importantes para cada uno y, por ende, las más críticas. El rechazo de la hipótesis nula indica que las fallas seleccionadas volverán a ocurrir, sin embargo, cada una de las seleccionadas tiene distintas sub-fallas, que son las que se describirán como actividades extra en el plan de mantenimiento que se realizó en enero de 2018.

Para determinar cuáles actividades se llevarán a cabo de acuerdo con cada falla seleccionada de los distintos equipos, la información recabada se guardó en una hoja de cálculo que posteriormente se analizó de una forma más sencilla en el software de Microsoft Power BI (Ferrari and Russo, 2016) tal como se muestra:

FIGURA 5.
GRÁFICOS DE LAS FALLAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS.

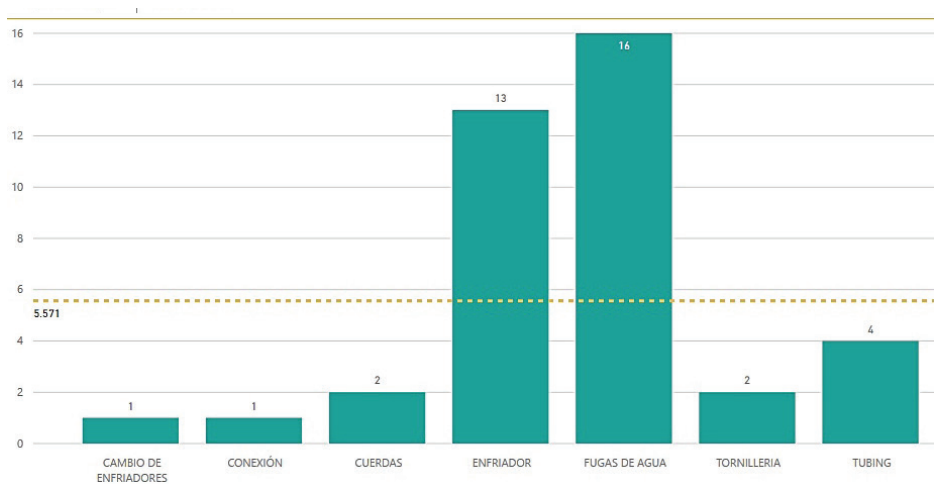


Fuente: Elaboración propia.

Con base en la figura anterior, hay cinco cuadros: “Equipo”, “Falla”, “Matriz No. fallas por mes”, “# Fallas” y “# Sub-fallas”. Los dos primeros funcionan como segmentación de datos, donde tenemos la opción de elegir varios equipos a la vez, y al hacerlo en el cuadro de “Falla” también se puede seleccionar cuáles se quieren estudiar, haciendo que el grafico “# Fallas” y “# Sub-fallas” presenten la suma de estas.

Para conocer cuáles son las sub-fallas basta con seleccionar el equipo y la falla de la cual se trata, por ejemplo, utilizando el equipo SOL-20, vemos que tiene cuatro fallas principales que causan paro la mayoría de tiempo: el cabezal, jalador de cadena, jalón de cadena y sistema de enfriamiento, tal como se muestra en la figura 6 utilizando la falla sistema de enfriamiento.

Figura 6.
GRÁFICO DE LAS SUB-FALLAS DEL EQUIPO SOL-20 CON LA FALLA S ENFR.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura anterior, la línea horizontal representa la media del total de sub-fallas. Aquellas que están por encima de la línea de la media serán las acciones por efectuar para reparar que aparecerán como actividades extras en las órdenes de mantenimiento.

La tabla 7 muestra las actividades extras que serán realizadas en el programa de mantenimiento.

TABLA 7.
 ACCIONES PARA REALIZAR EN EL MP (ENERO 2018) A LOS EQUIPOS ESTUDIADOS.

Equipo	Falla	Acción a realizar	Subfallas
SOL-02	Jalador de cadena.	Revisar, reparar y/o corregir.	Guía
	Jalón de cadena.		Pistón
	Sistema de Enfriamiento.		Tornillería
	Sistema de Opresores.		Bujes
SOL-03	Cabezal.	Revisar, reparar y/o corregir.	Esparrago
	Jalón de cadena.		Piston
	Sistema de Enfriamiento.		Enfriador
	Sistema de Opresores.		Base de opresores
SOL-04	Cabezal.	Revisar, reparar y/o corregir.	Brazo de opresores
	Jalón de cadena.		Guía
	Sistema de Enfriamiento.		Bujes
	Tijeras.		Piston

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los nueve equipos que se analizaron solo siete pasaron la prueba de hipótesis, es decir, de las fallas seleccionadas fueron las que representaban la mayor importancia y por ende eran las más importantes. A todos los equipos se les generó un pronóstico de horas paro y la cantidad de fallas para enero de 2018, basándonos en los datos mes por mes de 2017, sin importar si pasaron la prueba *F*. Además, para todos los equipos se propuso la identificación de las fallas más importantes que debían ser atacadas, propuestas para las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo como actividades extra incorporadas y que se realizaron en enero de 2018. Los datos utilizados para estos resultados son hasta el martes 23 de enero de 2018, fecha en que ya no se tuvo acceso a la información descargada del SAP. Hasta ese día solo a cinco de los nueve equipos propuestos se les realizó el mantenimiento preventivo. En la tabla 8 se marca con “X” lo que fue hecho y con “/” que no fue realizado.

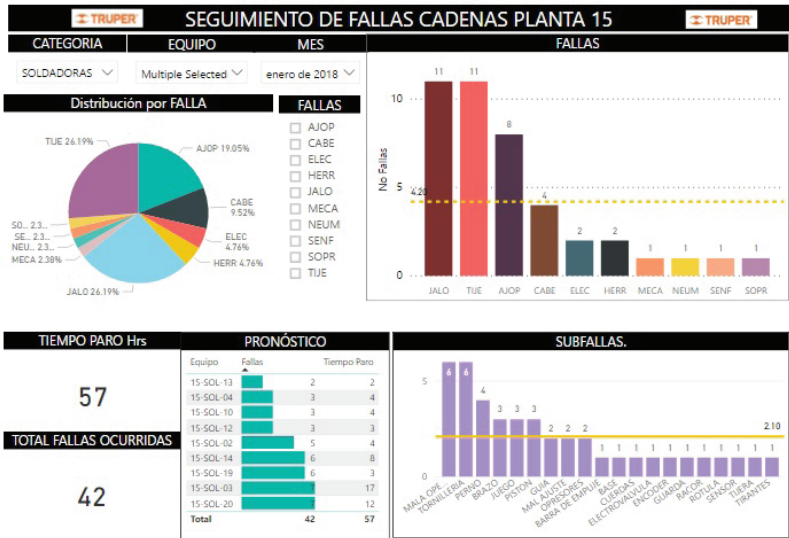
TABLA 8.
ACTIVIDADES DE LOS EQUIPOS QUE FUERON REALIZADAS.

Equipo	Paso prueba F	Se propusieron actividades para el MP enero 2018	Se realizó pronóstico	Se realizó MP enero 2018	Fecha en que se realizó
15-SOL-02	X	X	X	/	/
15-SOL-03	X	X	X	/	/
15-SOL-04	X	X	X	X	06/01/2018
15-SOL-10	X	X	X	X	07/01/2018
15-SOL-12	/	X	X	X	07/01/2018
15-SOL-13	X	X	X	X	09/01/2018
15-SOL-14	/	X	X	X	07/01/2018
15-SOL-19	/	X	X	/	/
15-SOL-20	X	X	X	/	/

Fuente: Elaboración propia.

Para el 23 de enero, usando el reporte elaborado en el software Power BI, se actualizaron las hojas de cálculo IW28 e IW38. Dado el reporte, se pueden generar las demás páginas usando la información de la primera. La figura 7 contiene prácticamente lo mismo, pero se han quitado dos gráficos y se anexó la tabla de pronóstico. En la tabla pronóstico de la figura 7 ya están seleccionadas los equipos estudiados y muestra en las columnas el equipo, fallas y las horas paro. También ya se ha seleccionado el mes de enero de 2018 (Ferrari and Russo, 2016).

FIGURA 7.
VISUALIZACIÓN EN POWER BI DE LOS DATOS ENERO 2018.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se muestran los datos registrados en el pronóstico y los datos que se obtuvieron hasta el 23 de enero de 2018.

TABLA 9.
COMPARACIÓN DEL PRONÓSTICO A LOS DATOS REALES.

Equipo	Fecha en que se realizó MP	Intervalo de predicción.		Pronóstico (valores promedio esperados)		Valores reales.	
		Horas paro	Fallas	Horas paro	Fallas	Horas paro	Fallas
15-SOL-02	/	0 a 62	0 a 21	17.96	8	/	/
15-SOL-03	/	0 a 53	0 a 18	12.94	6	/	/
15-SOL-04	06/01/2018	0 a 104	0 a 19	11.75	3	4	3
15-SOL-10	07/01/2018	0 a 51	0 a 24	18.06	10	4	3
15-SOL-12	07/01/2018	0 a 52	0 a 12	15.61	3	3	3
15-SOL-13	09/01/2018	0 a 72	0 a 26	26.17	11	2	2
15-SOL-14	07/01/2018	0 a 70	0 a 24	23.8	13	8	6
15-SOL-19	/	0 a 56	0 a 18	15.24	7	/	/
15-SOL-20	/	0 a 60	0 a 16	9.46	4	/	/

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del intervalo de predicción, se puede observar que en cuestión de las horas paro son muy amplios y en promedio reduce. En cuestión de fallas es más pequeño el intervalo de predicción. Los valores reales para cuestiones de horas paro andan por debajo del promedio y de fallas los valores reales están casi a la par que los valores promedio esperados.

CONCLUSIONES

Al realizar un seccionamiento de fallas permitió un análisis estadístico para discretizar los impactos en cada proceso de las soldadoras y formadoras.

Utilizando cartas de control permitió la toma de decisiones para proyectar qué equipos presentaban similitudes de fallas para proyectar un plan de mantenimiento preventivo para lo que MiniTab permitió proyectar pronósticos de incidencias y comportamientos de dichos equipos.

Con la clasificación de fallas y sub-fallas se estableció un archivo que contenía la generación de datos históricos en Excel, con lo que se pudo tener un control sobre las fallas recurrentes y las horas paro que estas generaban, en periodos semanales y mensuales. A partir de esto, se hizo el análisis con un modelo de regresión lineal múltiple y las matrices que se obtuvieron de los impactos críticos en los equipos, mencionando que se insertaron datos de

horas paro y fallas en forma matricial; además de programar las prioridades de operaciones para determinar las sumas de cuadrados de regresión, error y el total, varianza y desviación estándar del modelo y el coeficiente de determinación, para asignar prioridades en los planes de mantenimiento.

El ANOVA requirió utilizar prueba de hipótesis utilizando el estadístico F . Al rechazar la hipótesis nula, afirmábamos que las fallas seleccionadas por las cartas de control eran las más críticas para el equipo que se estaba estudiando y que, por ende, si una falla era importante, las sub-fallas lo eran porque son las que le dieron importancia a la falla.

REFERENCIAS

1. Rincón, L. (2017). *Curso elemental de probabilidad y estadística*. México: UNAM.
2. Zamudio, E. B., Gracia Pérez J. A. and Villazón J. M. (2016). *Tablas de probabilidades*. México: Instituto Tecnológico Autónomo de México.
3. Emelia, L. G. (1998). *Tratamiento de la colinealidad en regresión múltiple*. España: Universidad de Málaga/Psicothema.
4. Ferrari, A. and Russo, M. (2016). *Introducing Microsoft Power BI*. Washington: Microsoft Press.

