

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Proyecto para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería

Electromecánica

Análisis causa raíz de los modos y efectos de falla más frecuentes en el área de componentes y su incidencia en la cantidad de fallas y horas down en la empresa Confluent

Medical Technologies

Francisco Flores Molina

2023

Universidad Técnica Nacional
Sede Central



Acta de Aprobación 02-2023

En la ciudad de Alajuela, a los 12 días del mes de mayo del año 2023 el Tribunal evaluador conformado por las personas: Ing. Marvin Segura Trejos, Ing. José David Venegas Mora, Ing. Roy Vindas Salazar e Ing. Luis Enrique Varela González, proceden a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica del estudiante **Francisco Flores Molina**, identificación **604340956**, titulado **“Análisis causa raíz de los modos y efectos de falla más frecuentes en el área de componentes y su incidencia en la cantidad de fallas y horas down en la empresa Confluent Medical Technologies”** modalidad proyecto de graduación.

El Tribunal Evaluador apegado a las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación de la Universidad Técnica Nacional, realizó la revisión del proyecto del estudiante otorgando una calificación de 9.7, dando como resultado

Aprobado

Ing. Marvin Segura Trejos

Director Licenciatura en Ingeniería Electromecánica y Lector

Ing. Luis Varela González (Tutor)

Ing. Roy Vindas Salazar (Lector)

Francisco Flores Molina (Estudiante)

Asistencia de forma remota
Ing. Jose David Venegas Mora (Lector)

Carta de aprobación del filólogo

Cartago, 3 de mayo de 2023

Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, incorporada a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0247, portadora de la cédula de identidad número 3-0447-0799 y, Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, incorporado a la Asociación Costarricense de Filólogos con el número de carné 0245, portador de la cédula de identidad número 1-1345-0416, ambos vecinos de Quebradilla de Cartago, revisamos el trabajo final de graduación que se titula: *Análisis causa raíz de los modos y efectos de falla más frecuentes en el área de componentes y su incidencia en la cantidad de fallas y horas down en la empresa Confluent Medical Technologies*, sustentado por Francisco Flores Molina.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de ortografía, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. A pesar de esto, la originalidad y la validez del contenido son responsabilidad directa de la persona autora.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad Técnica Nacional.

X ANA ELENA
REDONDO
CAMACHO (FIRMA) Firmado digitalmente por
ANA ELENA REDONDO
CAMACHO (FIRMA)
Fecha: 2023.05.03
16:29:21 -06'00'

Elena Redondo Camacho
Filóloga - Carné ACFIL n.º 0247

X DANIEL ALBERTO
GONZALEZ
MONGE (FIRMA) Firmado digitalmente por
DANIEL ALBERTO GONZALEZ
MONGE (FIRMA)
Fecha: 2023.05.03 16:30:16
-06'00'

Daniel González Monge
Filólogo - Carné ACFIL n.º 0245

DECLARACIÓN JURADA

El suscrito, **Francisco Jesús Flores Molina** con cédula de identidad número 604340956, declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: Que soy el autor (a) del presente trabajo final de graduación, modalidad memoria; para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica Nacional y que el contenido de dicho trabajo es obra original del suscrito.

Fecha: 20/04/2023

Francisco Flores Molina

Francisco Jesús Flores Molina

Dedicatoria

A Dios que me brindo la oportunidad de poder finalizar esta carrera, por darme la fuerza y sabiduría para afrontar las situaciones que se presentaron y darme unos padres maravillosos que me han apoyado siempre.

Agradecimientos

A mi **papá y mi mamá** que estuvieron ahí siempre para apoyarme y de los que siempre voy a estar muy orgulloso.

A las **personas que estuvieron ahí siempre** en los cursos y fuera de ellos apoyándome a seguir siempre adelante.

Al profesor **Steve Acosta Fonseca** por llevar desde el inicio la guía en la elaboración de este proyecto.

Al profesor tutor **Luis Varela Gonzales** y al profesor lector **Roy Vindas Salazar** por estar pendientes de este proyecto.

Al lector **José David Venegas Mora** por su ayuda en la revisión y corrección de este proyecto.

Al ingeniero **Luis Acevedo Salas** por siempre brindarme su apoyo y tener una gran excelencia profesional.

A la empresa **Confluent Medical Technologies** por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de graduación.

Contenido

Capítulo I Introducción.....	16
1.1 Línea de investigación	17
1.1.2 Área de estudio	17
1.1.3 Delimitación del problema	17
1.1.4 Tema de investigación.....	21
1.1.5 Objeto de estudio.....	21
1.2 Situación actual de conocimiento del tema	22
1.3 Objetivo general	24
1.3.1 Objetivos específicos.....	25
1.4 Alcance	25
Capítulo II Marco teórico referencial	27
2.1 Mantenimiento.....	27
2.2 Tipos de mantenimiento	27
2.2.1 Mantenimiento correctivo.....	28
2.2.2 Mantenimiento preventivo.....	28
2.2 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	29
2.3 Fundamentos del mantenimiento centrado en la confiabilidad	30
2.3.1 Mean Time To Fail (MTTF).....	30
2.3.2 Mean Time To Repair (MTTR).....	30

2.3.3 Disponibilidad	31
2.3.4 Mean Time Between Failures (MTBF)	31
2.3.5 Diagrama de Pareto	32
2.3.6 El diagrama causa-efecto.....	33
2.4 Análisis de modos y efectos de fallas (AMFE)	35
2.5 Análisis de criticidad	36
2.6 Normas SAE JA1011 y JA1012	38
2.7 Sistemas de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO).....	38
2.8 Recursos y costos de mantenimiento.....	39
2.8.1 Costos fijos	40
2.8.2 Costos variables.....	40
2.8.3 Costos financieros	40
2.8.4 Costos de fallo	40
2.9 Algunos indicadores de costos que se utilizan	41
2.9.1 Valor presente neto (VPN)	41
2.9.2 Tasa interna de rendimiento (TIR)	41
Capítulo III Estrategia metodológica.....	43
3.1 Hipótesis	43
3.2 Tipo de investigación.....	43
3.3 Etapa 1: Proceso de investigación	43

3.4 Etapa 2: Análisis de información actual y para establecer estrategias	44
3.5 Etapa 3: Implementación	45
3.6 Etapa 4: Medición de las estrategias que se implementan.....	45
3.7 Etapa 5: Análisis de la información	46
3.8 Etapa 6: Conclusiones y recomendaciones.....	46
3.9 Definición de variables de estudio.....	47
Capítulo IV Presentación y análisis de los resultados	49
4.1 Análisis del historial de los equipos del área.....	49
4.2 Análisis de criticidad	53
4.3 Entrevistas al personal	58
4.4 Caracterización de fallas más comunes	59
4.5 Análisis de AMFE	66
4.6 Generación y análisis de estrategias por implementar.....	74
4.6.1 Resumen de las estrategias	79
4.6.2 Algunos requerimientos de las estrategias.....	81
4.7 Calidad en la implementación de las estrategias	86
4.8 Variables de estudio en los equipos (Antes de la implementación)	88
4.9 Indicadores propuestos (antes de las estrategias)	90
4.10 Resumen de resultados después de la implementación de las estrategias	92
4.10.1 Indicadores después de la implementación de las estrategias	94

4.11 Algunas irregularidades presentadas en la <i>data</i>	96
Rivet & Coin agosto de 2022	96
Omron Ajax salt Pot octubre 2022	97
4.12 Análisis económico	98
4.12.1 Estudio de mercado (compra de repuestos).....	99
4.12.2 Estudio técnico (implementación de las estrategias).....	100
4.12.4 Estudio financiero.....	102
4.12.5 Escenarios del proyecto	103
4.12.6 Supuestos	104
Capítulo V Conclusiones y recomendaciones	105
5.1 Conclusiones.....	105
5.2 Recomendaciones	106
Capítulo VI Bibliografía.....	107
Capítulo VII Anexos del proyecto.....	110
Apéndices	116
Apéndice A: FNE normal	116
Apéndice B: FNE pesimista	117
Apéndice C: FNE optimista.....	118
Apéndice D: Entrevistas	119

Índice de tablas

Tabla 1: Equipos intervenidos por año	18
Tabla 2: Cantidad de mantenimientos correctivos por año	20
Tabla 3: Horas de tiempo muerto según los equipos	21
Tabla 4: Criterio evaluación NPR	36
Tabla 5: Criterio de evaluación de la criticidad.....	38
Tabla 6: Mantenimientos correctivos realizados según los equipos.....	49
Tabla 7: Equipos, hrs. down y mtos. Correctivos Dic 2020 – SEP 2021	52
Tabla 8: Matriz de criticidad	54
Tabla 9: Factores de frecuencia y consecuencia.....	56
Tabla 10: Criticidad de los equipos	57
Tabla 11: Caracterización de fallas crimping press.....	61
Tabla 12: Caracterización de fallas Omron ajax salt pot.....	62
Tabla 13: Caracterización de fallas Rivet and Coin	63
Tabla 14: Caracterización de fallas Slurry honer	65
Tabla 15: Caracterización de fallas EP Station.....	66
Tabla 16: Factores del análisis AMFE	68
Tabla 17: Análisis AMFE Crimping press	69
Tabla 18: Análisis AMFE Rivet & Coin	70
Tabla 19: Análisis AMFE Omron ajax salt pot	70
Tabla 20: Análisis AMFE Slurry honer.....	71
Tabla 21: Análisis AMFE EP Station.....	72
Tabla 22: Generación de estrategias Crimping press	74

Tabla 23: Generación de estrategias Omron Ajax salt pot.....	75
Tabla 24: Generación de estrategias Rivet y Coin	76
Tabla 25: Generación de estrategias Slurry honer	76
Tabla 26: Generación de estrategias EP Station.....	77
Tabla 27: Resumen estrategias	80
Tabla 28: Costos de materiales y repuestos.....	100
Tabla 29: Costos implementación de las estrategias	100
Tabla 30: Aumento promedio en aumento de mto Preventivo.....	101
Tabla 31:Ganancia en ahorro de correctivo.....	101
Tabla 32: Indicadores análisis financiero	102
Tabla 33: Resultados FNE.....	103
Tabla 34 FNE normal	116
Tabla 35 FNE pesimista	117
Tabla 36 FNE optimista.....	118

Índice de gráficos

Gráfico 1: Total de equipos intervenidos hasta septiembre de 2021	19
Gráfico 2: Cantidad de mantenimientos correctivos	20
Gráfico 3: Mantenimientos correctivos	50
Gráfico 4: Horas down	51
Gráfico 5: Equipos, hrs. down y mtos. Correctivos Dic 2020 – SEP 2021	53
Gráfico 6: Caracterización de fallas crimping press.....	61
Gráfico 7: Caracterización de fallas Omron ajax salt pot.....	62
Gráfico 8: Caracterización de fallas Rivet and Coin	64
Gráfico 9: Caracterización de fallas Slurry honer	65
Gráfico 10: Caracterización de fallas EP Station	66
Gráfico 11: Cantidad de mantenimientos correctivos según familias de equipos	88
Gráfico 12: Cantidad de horas down según familias de equipos.....	89
Gráfico 13: MTBF equipos más críticos	90
Gráfico 14: MTTR equipos más críticos	91
Gráfico 15: Disponibilidad equipos más críticos.....	92
Gráfico 16: Cantidad de mantenimientos correctivos según familias de equipos	93
Gráfico 17: Cantidad de horas down según familias de equipos.....	94
Gráfico 18 MTBF equipos más críticos	94
Gráfico 19: MTTR equipos más críticos	95
Gráfico 20: Disponibilidad equipos más críticos.....	96

Índice de figuras

Ilustración 1 Metodología RCM.....	29
Ilustración 2 Ejemplo diagrama de Pareto.....	33
Ilustración 3: Ejemplo diagrama causa-efecto	34
Ilustración 4 VPN	41
Ilustración 5 TIR.....	42
Ilustración 6: Flujo del proyecto.....	47
Ilustración 7 Generación de estrategias	72
Ilustración 8: McMaster.....	99
Ilustración 9 Diseño del dado propuesto	111

Glosario

RCM

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

MTTF

Tiempo medio hasta el fallo

MTTR

Tiempo medio hasta la reparación

MTBF

Tiempo medio hasta el fallo

AMFE

Análisis de modos y efectos de fallo

SAE

Sociedad de Ingenieros de Automoción

GMAO

Gestión de mantenimiento asistido por ordenador

VPN o VAN

Valor presente neto o valor actual neto

TIR

Tasa interna de retorno

Capítulo I Introducción

Tener bajo control el tiempo en que un equipo está detenido por algún tipo de avería y conocer el modo de falla asociado es muy importante para un Departamento de Mantenimiento. Por eso, surge la necesidad de evaluar los modos y efectos de las fallas, así como los equipos más críticos o que generan más *problemas* dentro de la planta de producción. El análisis que se planea en este proyecto busca encontrar la causa raíz de los problemas que provocan un mayor impacto en los tiempos de producción y así dar una solución fundamentada y con una lógica con base en el análisis previo para mantener o aumentar la confiabilidad de los equipos por analizar.

La empresa Confluent Medical Technologies, conocida como Nitinol Devices and Components (NDC), es una compañía de dispositivos médicos ubicada en la zona franca del Coyol en Alajuela. Esta empresa utiliza el nitinol como materia prima para generar productos que servirán como ayuda en la mejora de vida de las personas, actualmente cuenta con cuatro edificios en este parque empresarial y disponen de variedad de dispositivos, por lo que implica una gran cantidad de procesos y de equipos distintos, todos necesarios para la producción diaria.

En el área de producción se cuenta con gran diversidad de equipos que se operan diariamente durante casi todo el año. Estos equipos están bajo la supervisión de un Departamento de Mantenimiento, el cual se encarga por velar de su funcionamiento correcto, mediante mantenimientos preventivos y correctivos. Actualmente, se tienen historiales de fallas de años anteriores y que transmiten tipos de indicadores como tiempos muertos, comentarios de reparaciones, fechas, técnicos que atendieron la orden de falla y otras más.

Por medio de una investigación y análisis se busca comprender los modos de falla de algunos equipos (los más frecuentes que existen y en los que se genere una mayor cantidad de tiempo muerto) para brindar soluciones que permitan reducir el tiempo perdido y así poder generarle a la empresa una mayor fiabilidad en sus equipos. Además de las consecuencias positivas que esto implica, como el ahorro en tiempo de producción perdido, ahorro de repuestos y de personal, así como el aumento en la eficiencia.

A continuación, se denotan algunos puntos importantes que se necesitan para entender la naturaleza del proyecto:

1.1 Línea de investigación

Mantenimiento industrial

1.1.2 Área de estudio

Mantenimiento industrial en la industria médica

1.1.3 Delimitación del problema

El Departamento de Mantenimiento de la empresa para el área de componentes cumple la función de dar soporte al área de producción, que atiende los mantenimientos correctivos diariamente. Además, brinda labores de mantenimiento preventivo y otras funciones más respecto a los equipos del área.

Al ser una industria médica generalmente se tiende a producir uno o varios productos en específico. Para esto, se establecen líneas de producción que tienen un patrón general en los tipos de equipos y procesos que se manejan, para cada clase de equipo existe un mismo manual de operación (OP) y un manual de mantenimiento (MI).

El producto que se manufactura en la empresa en esta área se destina para tratar un problema específico de la salud humana, por ejemplo, una insuficiencia cardíaca. Para utilizar este dispositivo se requiere un proceso muy delicado, así como la planeación de muchos factores, por ejemplo, el hospital donde se haga la cirugía, lo que representa una gran inversión, tanto de tiempo como económica.

El proceso que se utiliza para fabricar este tipo de dispositivos está sometido a estándares rigurosos de calidad, así como los equipos que se utilicen. Por esto, se requiere que estos equipos funcionen con ciertos parámetros y su mantenimiento tenga condiciones especiales para que su funcionamiento sea el óptimo y que la fecha en la que se requiera entregar el producto se cumpla y no se vea afectada por algún inconveniente.

En la actualidad, se lleva un registro de los mantenimientos correctivos que se realizan en el área. En este registro o historial se puede observar *data* como fechas, comentarios, duraciones, personal, etc.

Tabla 1 Cantidad de equipos diferentes que necesitaron mantenimiento correctivo

<i>Años</i>	Cantidad de equipos intervenidos
<i>2015</i>	27
<i>2016</i>	47
<i>2017</i>	32
<i>2019</i>	52
<i>2020</i>	204
<i>2021</i>	187
<i>Total general</i>	271

Tabla 1: Equipos intervenidos por año

Con base en esto se plantea realizar un análisis con el que se pueda observar dónde sucede la mayor cantidad de fallas y mayor cantidad de tiempo muerto y con base en esto generar estrategias para combatir estos modos de falla, de una manera eficiente.

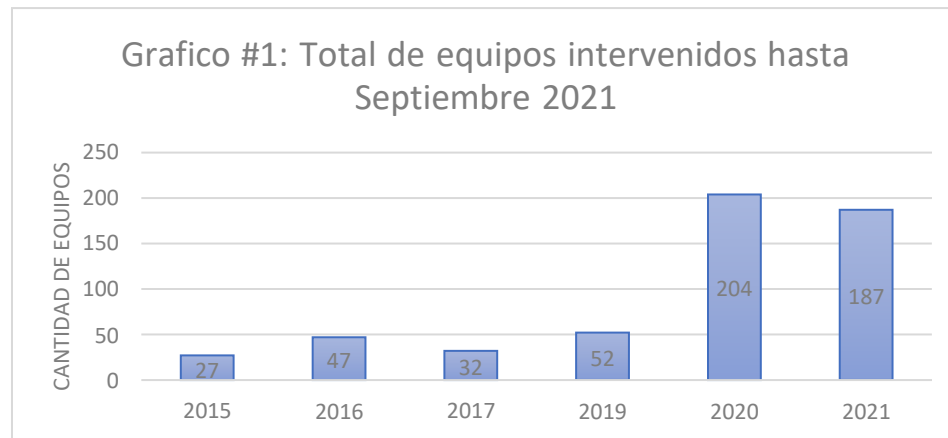


Gráfico 1: Total de equipos intervenidos hasta septiembre de 2021

La empresa ha sufrido un crecimiento exponencial durante los últimos años, por lo que la cantidad de equipos intervenidos por mantenimiento correctivo ha venido al alza. Como se puede observar en la Tabla 1 y el Gráfico 1 influyen factores como:

- El Departamento de Mantenimiento ha llevado un mejor control de las órdenes de trabajo que se generan, por ende, en los últimos 2 años la cantidad de registros de equipos intervenidos ha aumentado en parte debido a una mejor trazabilidad, actualmente el área de componentes cuenta con alrededor de 271 equipos de producción principales. Esto sin contar equipos de uso visual como microscopios y de uso de medición como micro Vu's, ya que estos no requieren de un mantenimiento correctivo importante.
- Debido al aumento de la producción de la empresa solo en el 2020 y hasta septiembre de 2021 se han intervenido más de 150 equipos en cada año.
- Desde el 2020 hasta la actualidad solo para procesar el producto de un *Cliente x*, se han implementado 4 líneas nuevas de producción, pasando en el primer trimestre del 2020 de *Cliente x* línea 1, hasta el primer trimestre del 2021 con *Cliente x* línea 5. Por lo tanto, solo en ese producto se aumentó la producción considerablemente.

TABLA 2 CANTIDAD DE MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS POR AÑO EN AL ÁREA DE COMPONENTES

AÑOS	Cantidad de mantenimientos correctivos
2015	47
2016	184
2017	115
2019	190
2020	2826
2021	2871
TOTAL GENERAL	6233

Tabla 2: Cantidad de mantenimientos correctivos por año

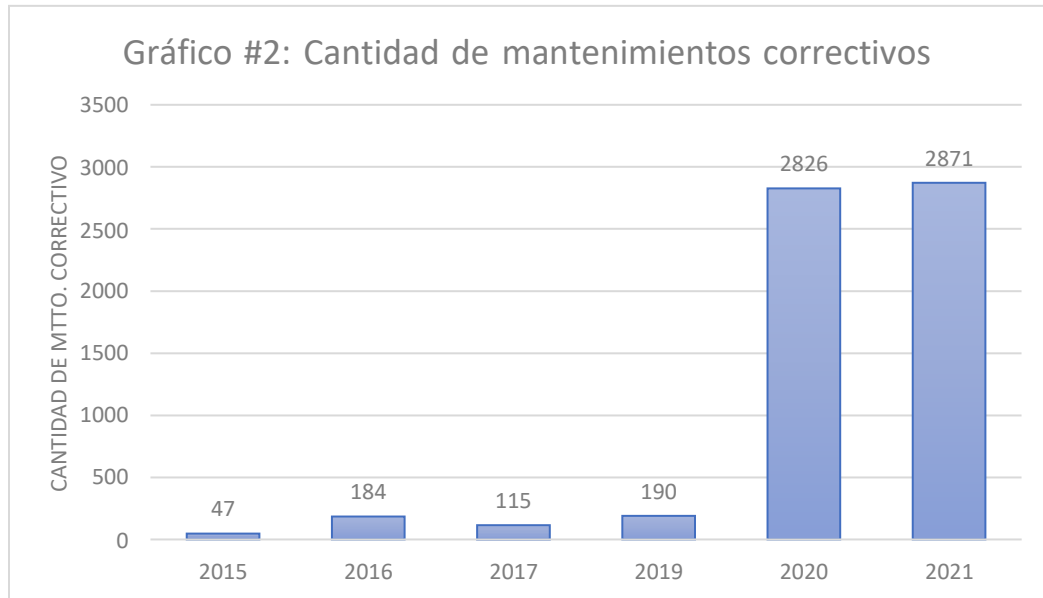


Gráfico 2: Cantidad de mantenimientos correctivos

- La cantidad de mantenimientos correctivos realizados durante los años 2020 y 2021 superan los 2500 cada año, por lo que claramente es un punto donde se puede realizar una mejora. Esto se debe a que gracias a los históricos se pueden observar tendencias y elaborar metodologías o estrategias para disminuir el aumento de estas.
- Los mantenimientos recopilados son hasta septiembre de 2021 por lo que todavía falta el último trimestre, incluso así, tomando los 2871 hay un promedio de casi 8 mantenimientos correctivos por día.

**TABLA 3 CANTIDAD DE HORAS DE TIEMPO MUERTO DE LOS EQUIPOS DEL
ÁREA DE COMPONENTES**

AÑOS	Suma de horas down
2015	49,7
2016	300,6
2017	173,3
2019	70,6
2020	1670,4
2021	1610,1
TOTAL GENERAL	3874,7

Tabla 3: Horas de tiempo muerto según los equipos

Por lo anterior, se busca analizar por qué los equipos fallan (análisis de las causas de la falla) en ciertos momentos y cómo controlar o reducir algunos de los problemas más frecuentes que se generan en los equipos de mayor uso en la planta de producción. Por eso, para delimitar el problema en forma resumida, se tiene que: **se determinan los equipos de mayor criticidad para encontrar la causa raíz de los problemas más frecuentes que estos presentan y así generar estrategias que reduzcan el tiempo muerto y los mantenimientos correctivos en un 20 % para contrarrestar la tendencia al alza de estas dos variables en la planta.** Por este motivo, se delimitan algunos elementos que permitan establecer el correcto objeto de estudio de la presente investigación.

1.1.4 Tema de investigación

Análisis de la causa raíz de los fallos en los equipos de producción de mayor criticidad del área de componentes.

1.1.5 Objeto de estudio

El efecto que presenta la implementación de estrategias fundamentadas para los fallos más frecuentes de los equipos más críticos sobre la cantidad de mantenimientos correctivos y tiempos muertos del área.

1.2 Situación actual de conocimiento del tema

En una industria cuyo proceso productivo involucra equipos que requieran algún tipo de mantenimiento es indispensable entender que cada falla que se pueda presentar en algunos de estos equipos representa un riesgo potencial. Por lo tanto, es esencial comprender cómo ocurre, una vez que se conozca la manera en la que los equipos fallan, se pueden diseñar mejores acciones correctivas o preventivas. En este caso, las acciones son tareas de mantenimiento, labores de gestión, cambios en las operaciones productivas, capacitación o aspectos de mejora en los equipos (Otero *et al.*, 2010). Estas acciones se derivan del proceso de análisis de modos de falla, donde se puede definir el modo de falla como: “La forma en que un determinado equipo presenta una avería que lo incapacita para poder seguir realizando su función principal” (Otero *et al.*, 2010, s. p.). Según Boero (2020):

Un buen sistema de mantenimiento no puede estar concebido en la base de reparar averías, debe tratar de evitarlas. Para ello será necesario conocer las causas que pueden originar las fallas y analizar las causas que las provocan a efectos de realizar las acciones que puedan evitarlas (s. p.).

Entre los principales objetivos de un Departamento de Mantenimiento están garantizar la máxima producción, lo que asegura disponibilidad de las instalaciones o equipos; mantener un mínimo costo, lo que reduce al máximo las averías; mantener la calidad exigida del servicio, lo que mantiene el funcionamiento regular de la producción sin paros y eliminar las averías que afecten la calidad del proceso y, por ende, del producto.

En una pequeña investigación realizada se presentan trabajos que se relacionan en los que se pueden observar procedimientos de análisis de fallas donde se concluyen muchos beneficios para las organizaciones en las que se implementaron:

La tesis *Diseño de un sistema de monitoreo de modos de falla para transformadores poste, empleados en la red de distribución de la región Huetaar (Caribe) del ICE (Cóncevas)* de Torres Guevara (2021) muestra cómo se identifican sistemas y componentes críticos en una red de distribución eléctrica del ICE y mediante un análisis financiero se calcularon periodos para recuperar la inversión. Por lo tanto, el proyecto fue viable y económicamente aceptable para la institución.

En la tesis *Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad del proceso operativo en el área de impresiones y su incidencia en la productividad de la empresa Letargo del Ecuador S. A.* de Oña García (2017) se logra mejorar el proceso al optimizar el tiempo total de producción, se minimizan las órdenes de trabajo, se reorganiza el flujo del proceso, se aumenta la disponibilidad y se logra una reducción de los costos operativos del área.

En el trabajo *Aplicación de la metodología Amfec (análisis de modos de fallas, efectos y criticidad), en una máquina sacheteadora de colágeno tipo vertical en el laboratorio farmacéutico Rocnarf S. A.* de Hurtado Paspuel (2016), se establecen los distintos modos de fallas existentes, sus efectos y la criticidad que presentan, además, se evalúa la gravedad de estas y las probabilidades en que puedan ocurrir. Lo anterior permite un aumento en la eficiencia de producción, reducción de desperdicios y optimización de los recursos como mano de obra directa, recursos y otros.

En cuanto a trabajos de mantenimiento realizados en la industria médica, se analizó el trabajo *Elaboración de un plan mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de bypass para la empresa zona franca Celsia S. A. E.S.P de la ciudad Barranquilla* de Padilla Castillo (2014) en donde se identificaron posibles fallas de los elementos. Con base en esto se elaboraron planes de mantenimiento preventivo, lo que le dio una mayor fiabilidad al sistema de *bypass*.

Las fallas que se presentan diariamente en un determinado proceso generan pérdidas que afectan la eficiencia, tanto del área de producción como también de mantenimiento. Según Boero (2020):

El costo de fallas o por averías se refiere al costo o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas con mantenimiento. Normalmente es otro costo que no se tiene en cuenta cuando se consideran los costos de mantenimiento, pero su monto puede ser incluso superior a los gastos tradicionales (s. p.).

De acuerdo con un estudio del sector comercio exterior, desarrollado por la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (Procomer) en 2020, la contribución absoluta del RZF (régimen de zonas francas) ascendió a los \$4,721,100,000, monto que representa 7.9 % del PIB. Por esto, incentivar el desarrollo de metodologías que ayuden a aumentar la confiabilidad en los procesos de estas empresas es un punto que llama mucho la atención, ya que puede dar lugar a oportunidades de mejora.

1.3 Objetivo general

Evaluar las fallas más frecuentes en los equipos de mayor criticidad del área de componentes de la empresa Confluent Medical Technologies, por medio de análisis de

historiales e investigaciones en planta, para la generación de estrategias que reduzcan el tiempo muerto y mantenimientos correctivos en un 20 %, para el primer cuatrimestre del 2023.

1.3.1 Objetivos específicos

Generar una matriz con las fallas más recurrentes de los equipos según los historiales de mantenimiento, para la determinación de cuáles son las más significativas o que generarían un mayor impacto en el momento de su disminución.

Estimar el costo de la reducción de los tiempos muertos y aumento de la productividad de los equipos, por medio de la comparación realizada mediante la información que se generó con la implementación de las soluciones propuestas obteniendo un panorama de los beneficios de estas soluciones.

Generar un sistema de medición de la gestión de mantenimiento por medio de indicadores específicos para la comparación de la situación actual contra las mejoras que se generan por las estrategias.

Utilizar elementos propios del RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) como el análisis AMFE y criticidad, así como el estudio de normas características de la metodología para el análisis de los datos del área.

1.4 Alcance

Este proyecto tiene como alcance generar estrategias analizadas y fundamentadas mediante la investigación previa. Además de implementarlas por un periodo prudente, que está planificado sea de 4 a 5 meses, ya que su implementación es sencilla y su inversión económica no es muy grande para la empresa y donde se pueda observar el efecto que estas

tienen sobre las variables de *cantidad de fallas* y *tiempo de fallas* en el área y los equipos que se analizan. La investigación previa es fundamental debido a que con ella se tienen panoramas más claros de cuáles son los modos de falla más frecuentes y cuáles son los equipos que significan más intervenciones y que así la generación de estrategias sea concisa y más provechosa para el Departamento de Mantenimiento y la compañía.

El uso de la metodología RCM es uno de los pilares en los que se basa este proyecto. No se toma en cuenta todo un sistema RCM, más bien puntos específicos que calzan muy bien con el principio de este proyecto como el planteamiento de indicadores descritos en la tabla de variables, el análisis de modos y efectos de falla y el análisis de criticidad para valorar la clase de equipos que generan una mayor *problemática* y en donde se pueden enfocar los esfuerzos del análisis y las estrategias.

Uno de los resultados que se espera lograr en este proyecto de investigación es el de establecer indicadores definidos que permitan dar un mejor seguimiento a los modos de falla que se establecen y el impacto económico que estos generan a la empresa.

Capítulo II Marco teórico referencial

2.1 Mantenimiento

Los equipos e instalaciones de una determinada industria se construyen para realizar un trabajo en específico, el mantenimiento no tiene otro fin más que el de minimizar los problemas que causan las averías. Para ser exactos la norma UNE-EN 13306 define el mantenimiento como una: “Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida” (Macián Martínez *et al.*, 2020, p. 14).

Existen varios tipos de mantenimiento y cada uno tiene un propósito específico en el funcionamiento de los determinados equipos. Entre algunos tipos de mantenimiento que existen se encuentran:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento proactivo

2.2 Tipos de mantenimiento

Para este proyecto se analizan dos tipos de mantenimiento principalmente: el correctivo que se realiza en los equipos, tanto su cantidad como su duración y también el preventivo, de igual manera, su cantidad y su duración.

2.2.1 Mantenimiento correctivo

En este proyecto se estudian los distintos modos de falla que se presentan en los equipos, para eso es necesario tener claro qué es un mantenimiento correctivo y cómo afecta su incidencia en la productividad de cualquier industria. Según González Ajuech (2017):

El mantenimiento correctivo es la serie de actividades que se requiere efectuar en las propiedades o activos de una empresa cuando dejan de proporcionar el servicio para el cual fueron diseñados. El mantenimiento correctivo se realiza cuando se ha detectado una falla en los equipos como maquinaria, dispositivos, componentes o piezas (p. 43).

2.2.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo implica conocer el estado de cada equipo y su funcionamiento, mediante esta base se pueden generar programas de mantenimiento preventivo para prevenir las paradas antes de que ocurran. Según González Ajuech (2017):

El mantenimiento preventivo es la supervisión planificada, constante, regular y proyectada, así como la distribución de labores previstas como ineludibles, que se realizan en todas las instalaciones, máquinas o equipos, con la finalidad de reducir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua (p. 66).

2.2 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

La metodología que se utiliza en el RCM busca analizar los fallos principales que puede tener un determinado sistema, por esta razón, es uno de los enfoques principales de este proyecto. Para entender un poco más del RCM, de acuerdo con Campos *et al.* (2018):

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM por sus siglas en inglés) es una metodología altamente reconocida y de uso extendido para elaborar planes de mantenimiento que incluyan todo tipo de estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo, búsqueda de fallas, etc.). Esta metodología fue desarrollada inicialmente por la industria comercial de aviación de los Estados Unidos para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos, fue definida por los empleados de la United Airlines Stanley Nowlan y Howard Heap en 1978 y ha sido utilizada para determinar estrategias de mantenimiento de activos físicos en casi todas las áreas de trabajo en los países industrializados del mundo (p. 2).



Ilustración 1 Metodología RCM
Fuente: Campos *et al.* (2018).

2.3 Fundamentos del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Para el desarrollo de este proyecto es necesario plantear indicadores y metodologías propias del RCM. Esto para ver el efecto que tienen las estrategias que se implementan en un *antes y un después* y así realizar la comparación de datos y comprobación de las hipótesis.

2.3.1 Mean Time To Fail (MTTF)

Según Guevara Betancourt (2014):

Este indicador mide el tiempo promedio que es capaz de operar el sistema a capacidad sin interrupciones dentro de un periodo considerado; El MTTF constituye un indicador directo de la confiabilidad del sistema, ya que representa la confianza real, que se debe tener, en la operación del equipo (p. 47).

2.3.2 Mean Time To Repair (MTTR)

De acuerdo con Guevara Betancourt (2014):

Es la medida de la distribución de los tiempos de reparación del equipo o del sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a las condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se encuentra fuera de servicio por falla, dentro de un período de tiempo determinado. El Tiempo Promedio Para Reparar es un parámetro de medición asociado a la Mantenibilidad, es decir, a la ejecución del mantenimiento. (p. 47).

$$\textit{Tiempo medio para reparar} = \frac{\textit{Tiempo para la eliminación de las fallas}}{\textit{Cantidad total de fallas}}$$

2.3.3 Disponibilidad

Guevara Betancourt (2014) indica que:

Es una función que permite estimar en forma global el porcentaje de tiempo total que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función principal para la cual fue destinado. A través del estudio de los factores que influyen sobre la disponibilidad, el tiempo medio para falla (MTTF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), es posible para la alta gerencia evaluar las distintas alternativas de acción, para conseguir aumentar de forma rentable la disponibilidad de sus sistemas productivos (p. 46).

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{\textit{MTBF} - \textit{MTTR}}{\textit{MTBF}}$$

2.3.4 Mean Time Between Failures (MTBF)

Según Guevara Betancourt (2014):

El Tiempo Medio Entre Fallas indica el intervalo de tiempo más probable entre el arranque del equipo y la aparición de una falla; es decir, es el tiempo promedio transcurrido hasta la llegada de la falla. Mientras mayor sea su valor, más alta es la confiabilidad del sistema, por lo tanto, el MTBF es uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la confiabilidad (p. 47).

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \frac{\text{Tiempo real de operación}}{\text{Cantidad total de fallas}}$$

2.3.5 Diagrama de Pareto

Una de las técnicas que se utilizan para realizar el análisis del historial de mantenimiento en este proyecto es el diagrama de Pareto. De acuerdo con González Ajuech (2017):

El diagrama de Pareto es una comparación cuantitativa y ordenada de elementos o factores clasificados en dos categorías: los “*pocos vitales*”, que son elementos muy importantes, y los “*muchos triviales*”, que son elementos poco importantes y que contribuyen a un determinado efecto (p. 52).

Algunas de las principales características que definen esta herramienta y que sirven para el fin de este proyecto son:

- Existe una prioridad de elementos donde se puede observar lo más relevante del análisis.
- Unifica criterios, ya que se pueden dirigir los esfuerzos hacia un objetivo prioritario.
- Es objetivo, ya que las decisiones se toman considerando datos y hechos objetivos

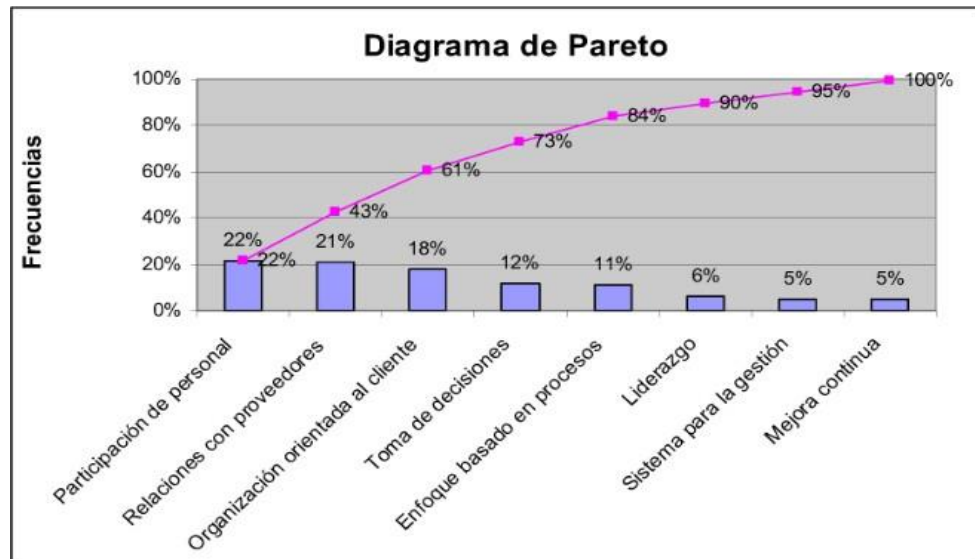


Ilustración 2 Ejemplo diagrama de Pareto

Fuente: Walter Stachú (2009).

2.3.6 El diagrama causa-efecto

Al generar las estrategias para contrarrestar los modos de falla más graves que mostró el análisis se utilizó la ayuda de diagrama causa-efecto y la estructura básica del 5M. Según Boero (2020) el diagrama causa-efecto:

Este diagrama se utiliza para representar la relación entre algún efecto y todas las causas posibles que lo pueden originar. Es la representación gráfica de todas las posibles causas de un fenómeno. Todo tipo de problema, como el funcionamiento de un motor o una lámpara que no enciende, puede ser sometido a este tipo de análisis (p. 63).

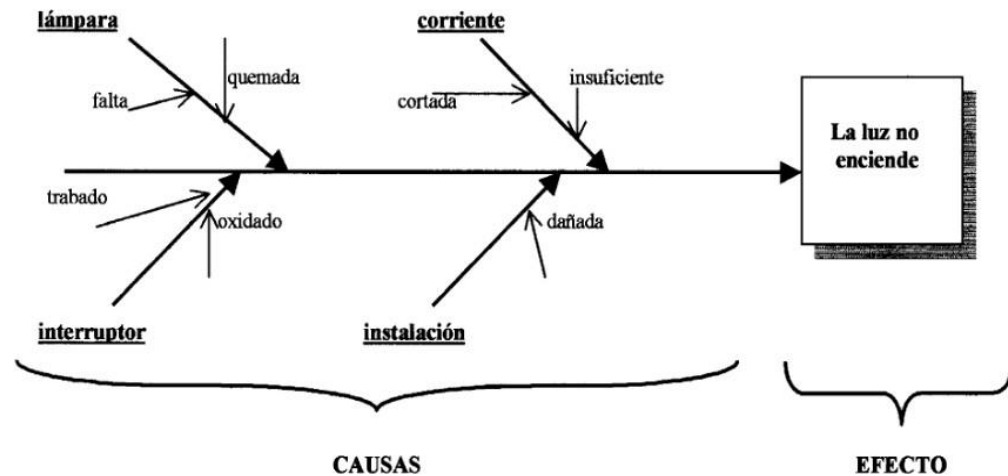


Ilustración 3: Ejemplo diagrama causa-efecto

Fuente: Boero (2020).

Para la aplicación de este método se deben entender las 5M y seguir un orden para considerar las causas posibles. Estas causas están agrupadas en 5 criterios denominados 5 M, las M corresponden a:

- Máquinas
- Mano de obra
- Métodos
- Materiales
- Ambiente

Las 5 M son generalmente una referencia que abarca casi todas las principales causas de un problema y se ordenan en las *ramas* principales del diagrama causa-efecto.

2.4 Análisis de modos y efectos de fallas (AMFE)

Para este proyecto se tiene un grupo de equipos seleccionados para el análisis mediante una metodología de criticidad. Estos son una *familia de equipos* que posee una cantidad de modos de falla y para definir su efecto y así plantear las estrategias se utiliza el análisis AMFE. Según González Ajuech (2017):

El análisis de modo de fallo y efectos (FMEA, Failure Mode, Effects Analysis) es un método que permite cuantificar el impacto de las fallas de los componentes de un sistema y la frecuencia con la que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que tienen mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad, mantenibilidad, riesgos y costos totales. Lo anterior tiene el fin de disminuirlas o eliminarlas por completo (p. 47).

Para realizar el análisis AMFE se deben conocer algunos conceptos que se requieren para establecer la importancia de cada modo de falla:

- S: nivel de severidad (gravedad de la falla percibida por la persona usuaria).
- O: Probabilidad de ocurrencia (probabilidad de que ocurra la falla).
- D: nivel de detección (probabilidad de que no se detecte el error antes de usar el producto).

Una vez realizado el análisis y que se encontraron los factores descritos en el paso anterior, se calcula el NPR (índice de prioridad de falla).

$$NPR = S \times O \times D$$

Tabla 4: Criterio de evaluación del NPR

<i>Rojo</i>	$\text{NPR} \geq 100$
<i>Amarillo</i>	$50 < \text{NPR} < 100$
<i>Verde</i>	$\text{NPR} \leq 50$

Tabla 4: Criterio evaluación NPR

Fuente: González Ajuech (2017).

Este valor indica la importancia del modo de falla que se analiza y depende de los factores característicos de cada uno.

2.5 Análisis de criticidad

Debido a la cantidad de familias de equipos existentes en el área de producción es necesario analizar la criticidad para determinar los equipos que tienen una mayor importancia en cuanto a la gravedad de las variables analizadas. Según García Palencia (2012):

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. El análisis de Criticidad da la posibilidad de, asimismo, identificar las áreas sobre las cuales se tiene una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que se realiza (p. 110).

Para realizar este análisis primero se tiene que considerar una ecuación que sirve matemáticamente para expresar la criticidad:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Donde:

La frecuencia de falla que se utiliza en la ecuación anterior se relaciona con la cantidad de fallos que se presentan en los equipos por unidad de tiempo, para este proyecto este dato se obtiene de los historiales analizados. Por otra parte, la consecuencia está compuesta por la siguiente ecuación:

$$\text{Consecuencia} = (IO + IMA + IS + CM + FO)$$

La cual contempla unos factores que se utilizan para dar un valor a las características específicas de cada falla y así tener una forma cuantitativa de utilizar esas características en la ecuación. Los factores previstos en la consecuencia de fallas son:

- Seguridad (IO)
- Ambiente (IMA)
- Producción (IS)
- Costos (operacionales y de mantenimiento) (CM)
- Tiempo promedio para reparar (FO)

Una vez realizado el análisis de criticidad anterior, se consideran los siguientes criterios para su evaluación:

Tabla 5: Criterio de evaluación de la criticidad

<i>Rojo</i>	Criticidad alta
<i>Amarillo</i>	Criticidad media
<i>Verde</i>	Criticidad baja

Tabla 5: Criterio de evaluación de la criticidad

Fuente: García Palencia (2012).

2.6 Normas SAE JA1011 y JA1012

La metodología del RCM es una de las principales técnicas que se utilizan en el análisis de datos de este proyecto, en donde se emplean los resultados para plantear las estrategias para corregir los principales modos de falla. Para que un proceso de análisis pueda llamarse *RCM* en 1999 surgió la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. La norma SAE JA 1011 establece los criterios mínimos que debe cumplir una metodología para que pueda definirse como RCM y la norma SAE JA 1012 define el modo de falla como un evento único que causa una falla funcional (Campos *et al.*, 2018).

2.7 Sistemas de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO)

Los *software* de mantenimiento son de vital importancia, ya que cada día se genera mucha información en un departamento y gestionarla de la mejor manera es indispensable para una industria en la que la mejora continua es importante. El *software* de mantenimiento que posee la empresa es el que se utilizó para obtener el historial y así realizar la metodología de este trabajo.

2.8 Recursos y costos de mantenimiento

Los recursos que se gestionan en un Departamento de Mantenimiento son las personas y los repuestos. Según la industria se pueden agregar factores como del tipo equipamiento o instrumental para satisfacer algún servicio, pero usualmente esto no genera una inversión importante, por lo que no se toma en cuenta. La importancia de llevar un control sobre las reparaciones y los recursos que en ellas se utilizan tiene una repercusión en el costo final del producto o servicio. De acuerdo con Boero (2020):

El costo de mantenimiento fluctúa entre el 5 y 10 % del costo total del producto. En principio, esta cantidad no parece elevada, pero tienen dos características importantes. La primera es que, a diferencia de otros elementos como la materia prima es un costo que lo produce y controla la propia empresa, pudiendo resultar mayor o menor según la gestión. La segunda es que genera gastos que no se recuperan, en el caso de la materia prima se compensa con las ventas (p. 100).

Algunos de los costos que se toman en cuenta en un Departamento de Mantenimiento son los siguientes:

- Costos fijos
- Costos variables
- Costos financieros
- Costos de fallo

2.8.1 Costos fijos

Una parte de los costos de mantenimiento representa a los costos fijos. De acuerdo con Navarro Elola (2009): “Estos costos fijos de mantenimiento están compuestos, principalmente, por la mano de obra y materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo, predictivo y hard time, así como todo el gasto originado por el engrase de las máquinas” (p. 40).

2.8.2 Costos variables

Los costos variables que se presentan deben tomarse en cuenta y estar siempre considerados entre los gastos del departamento. Según Navarro Elola (2009):

Entre los costos variables de mantenimiento se encuentra, con la mano de obra y los materiales necesarios para el mantenimiento correctivo. Este correctivo es, tanto consecuencia de las averías imprevistas como de las reparaciones que debamos hacer por indicación de los otros tipos de mantenimiento (p. 41).

2.8.3 Costos financieros

De acuerdo con Navarro Elola (2009): “Los costos financieros asociados con mantenimiento se deben, tanto al valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción” (p. 41).

2.8.4 Costos de fallo

Según Navarro Elola (2009):

El costo de fallo se refiere al costo o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas que se relacionan directamente con el mantenimiento. Normalmente, este concepto no suele tenerse en cuenta cuando se habla de los gastos de mantenimiento,

pero su volumen puede ser incluso superior a los gastos tradicionales (costos fijos, variables y financieros) vistos anteriormente. Este concepto es aplicable, tanto a empresas productivas como a compañías de servicios (p. 42).

2.9 Algunos indicadores de costos que se utilizan

Para el análisis financiero de los datos se utilizan algunos indicadores para tener un panorama un poco más claro de un antes y un después del planteamiento de las estrategias, estos indicadores son:

2.9.1 Valor presente neto (VPN)

De acuerdo con Baca (2011):

La definición del valor presente neto ya tiene sentido. Sumar los flujos descontados en el presente y restar la inversión inicial equivale a comparar todas las ganancias esperadas contra todos los desembolsos necesarios para producir esas ganancias en términos de su valor equivalente en este momento o tiempo cero (p. 182).

$$VPN = -P + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

Ilustración 4 VPN
Fuente: Baca (2011).

2.9.2 Tasa interna de rendimiento (TIR)

El TIR se define como: “La tasa de descuento por la cual la VPN es igual a cero. Esta es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial” (Baca, 2011, p. 182).

$$P = -\frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5 + VS}{(1+i)^5}$$

Ilustración 5 TIR

Fuente: Baca (2011).

Capítulo III Estrategia metodológica

3.1 Hipótesis

La implementación de estrategias que se fundamentan en un análisis de modos y efectos de falla para los equipos más críticos logra reducir el impacto en la cantidad de llamados por mantenimiento correctivo y el tiempo *down* de estos equipos en un 20 %.

3.2 Tipo de investigación

Según el método que se plantea la investigación es cuantitativa en la que se realiza un análisis estadístico, en el cual se utilizan métodos cuantitativos para establecer criticidades y el uso de herramientas para observar cómo influyen los cambios con las estrategias una vez que se implementan. En la disponibilidad y cantidad de fallos de los equipos, se plantearán y evaluarán indicadores de disponibilidad, costos de producción y tiempos. Este proceso se encuentra dividido en 6 fases metodológicas.

3.3 Etapa 1: Proceso de recolección de información

En la etapa 1 del estudio se realiza el análisis del estado actual del sistema de mantenimiento a los modos de falla que se presentan actualmente. Para esto, se plantean los siguientes puntos de recolección de los datos:

- Estudio del funcionamiento del *software*, en cuanto a la recopilación de los datos (nombre del *software*: File Marker Pro).
- Análisis de los historiales de mantenimiento existentes desde el año 2011 en la actualidad, en donde se verifiquen los comentarios más recurrentes y los equipos que mayor orden de mantenimiento requieran.

- Realización de entrevistas al personal de mantenimiento con más experiencia en el área para discutir los problemas más frecuentes o que conlleven un mayor tiempo de reparación o que ocurran de manera frecuente.

Una vez clasificadas las fallas más frecuentes, debido a la gran variedad de equipos existentes, se valora en cuáles son los que más vale la pena desarrollar las estrategias y análisis que se plantearon.

3.4 Etapa 2: Análisis de información actual y para establecer estrategias

En esta etapa se realiza el planteamiento de las estrategias por realizar, se analizan las causas que generen más problemas para proponer soluciones que impliquen resultados positivos.

- Clasificar las fallas más frecuentes que se presentan y enfocarse en las que generen un mayor uso del tiempo para plantear las estrategias respecto a ellas. Para este paso se utilizan herramientas como diagramas de Pareto para observar tendencias.
- Análisis de cambios o modificaciones de procedimientos que se realicen en la actualidad.
- Análisis de criticidad de los equipos de área para observar cuáles son los que mayor afectan al departamento y así dar el uso del criterio 80/20 y atacar los que más lo requieran.
- Análisis de modos y efectos de falla para establecer cuáles son los que más afectan al departamento y cómo tratar de mitigarlos.

3.5 Etapa 3: Implementación

En la etapa 3 del estudio, una vez realizado el análisis de la investigación de la etapa 1 del presente trabajo se proponen estrategias que se puedan implementar en los distintos equipos del área y valorar así su comportamiento, con visitas a planta y reuniones con los técnicos en función de estos cambios.

- Calendarización de implementación de las estrategias que se generan.
- Estrategias de gestión.
- Cambios de los manuales de operaciones.
- Mejora en habilidades de conocimiento.
- Aspectos referentes a los equipos por analizar.

Una vez definidas las estrategias que se generan mediante el análisis se valoran una vez comience su implementación en planta, además, se realizan revisiones y charlas continuas con los líderes y jefe de mantenimiento para ver su comportamiento.

3.6 Etapa 4: Medición de las estrategias que se implementan

En esta etapa se realiza la medición del cambio que se generó después de implementar las estrategias que se generan.

- Revisión de los datos del *software* en cuanto a los tiempos entre fallas.
- Realización de nuevas entrevistas al personal de mantenimiento en donde se valore la implementación de los cambios.
- Revisión general de las estrategias con el ingeniero de mantenimiento del área.
- Establecimiento de indicadores de mantenimiento para un mejor manejo de la información.

3.7 Etapa 5: Análisis de la información

La etapa de análisis de la información es donde con base en las variables que se plantearon se genera una discusión que permite conocer el impacto que generaron las estrategias que se implementan.

- Análisis económico del ahorro de los tiempos o beneficios que resultaron de la implementación de las estrategias.
- Análisis en los indicadores de mantenimiento que se plantearon.

3.8 Etapa 6: Conclusiones y recomendaciones

Esta es la etapa final del proyecto, en donde se realizan las conclusiones de los estudios realizados. Además, se plantean las recomendaciones del caso.

- Análisis finales y detalles
- Redacción de conclusiones.
- Establecimiento de recomendaciones.

Ilustración 6: Flujo general del proyecto

Ilustración 6: Flujo del proyecto

3.9 Definición de variables de estudio

Las variables que se estudian en esta investigación son las que se involucran a los modos de falla de los equipos y todo lo que se genera a partir de estos:

- MTBF (Tiempo medio entre fallas)
- MTTR (Tiempo medio de la reparación)
- Cantidad de fallos
- Financiera

Tabla 5 Variables del proyecto

Objetivo	Variable	Indicador
<p>Evaluar las fallas más frecuentes en los equipos del área de componentes de la empresa Confluent Medical Technologies, por medio de análisis de historiales e investigaciones en planta, para la generación de estrategias que reduzcan el tiempo muerto.</p>	<p>Tiempo muerto</p> <p>Calidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tiempo medio entre fallas (MTBF) ➤ Tiempo medio de reparación (MTTR) ➤ Disponibilidad ➤ Calidad de la información comentada (Análisis general de la falla)
<p>Evaluar las fallas más frecuentes en los equipos del área de componentes de la empresa Confluent Medical Technologies, por medio de análisis de historiales e investigaciones en planta, para la generación de estrategias que reduzcan los mantenimientos correctivos.</p>	<p>Fallos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cantidad de fallas/tiempo (día y mes) ➤ Cantidad de repuestos/cantidad de reparaciones ➤ Cantidad de fallas/horas de producción
<p>Estimar el costo de la reducción de los tiempos muertos y aumento de la productividad de los equipos, por medio de la comparación realizada mediante la información que se generó con la implementación de las soluciones propuestas obteniendo un panorama de los beneficios de estas soluciones.</p>	<p>Financiera</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Costo de mantenimiento correctivo/costo total de mantenimiento ➤ Costo del tiempo Down ➤ VPN (Valor presente neto)

Capítulo IV Presentación y análisis de los resultados

4.1 Análisis del historial de los equipos del área

El Departamento de Mantenimiento de la empresa ha llevado registro de las fallas que se presentaron a través de los años, exactamente desde el 2011 debido a un mejor control de la información que se genera con el paso del tiempo. Este registro se ha vuelto cada vez más estricto para darle una mejor trazabilidad a los problemas que los equipos han presentado. Como se puede observar en la Tabla 6 la cantidad de mantenimientos ha venido en aumento pasando, por ejemplo, de solo 7 en el 2015 para el equipo *crimping press machine* a 942 hasta septiembre de 2021.

TABLA 6: MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS REALIZADOS SEGÚN ALGUNOS LOS EQUIPOS

EQUIPO	2015	2016	2017	2019	2020	2021
CRIMPRING PRESS	7	31	31	29	979	942
RIVET AND COIN	0	44	25	31	346	444
OMORN AJAX SALT POT	6	42	13	55	330	379
EP STATION	0	4	9	7	260	270
SLURRY HONER	12	14	12	14	98	137
HREP	11	16	6	17	111	96
TO2 ETCH STATION	0	0	0	6	65	62
FUME HOOD	0	1	1	5	47	54
UPC	0	0	0	1	80	28

Tabla 6: Mantenimientos correctivos realizados según los equipos

El área de la empresa donde se desarrolla este análisis es la de componentes. Esta área posee una gran variedad de equipos enfocados en el tratamiento del nitinol como su materia prima para la elaboración de sus productos. Algunos de estos equipos se observan en la Tabla

6 y la Tabla 7, se busca analizar dónde se puedan elegir los equipos que mayor impacto tienen en la producción en cuanto al tiempo de la falla y la cantidad de fallos, para eso se analiza la criticidad de equipos tomando en cuenta los datos del historial.

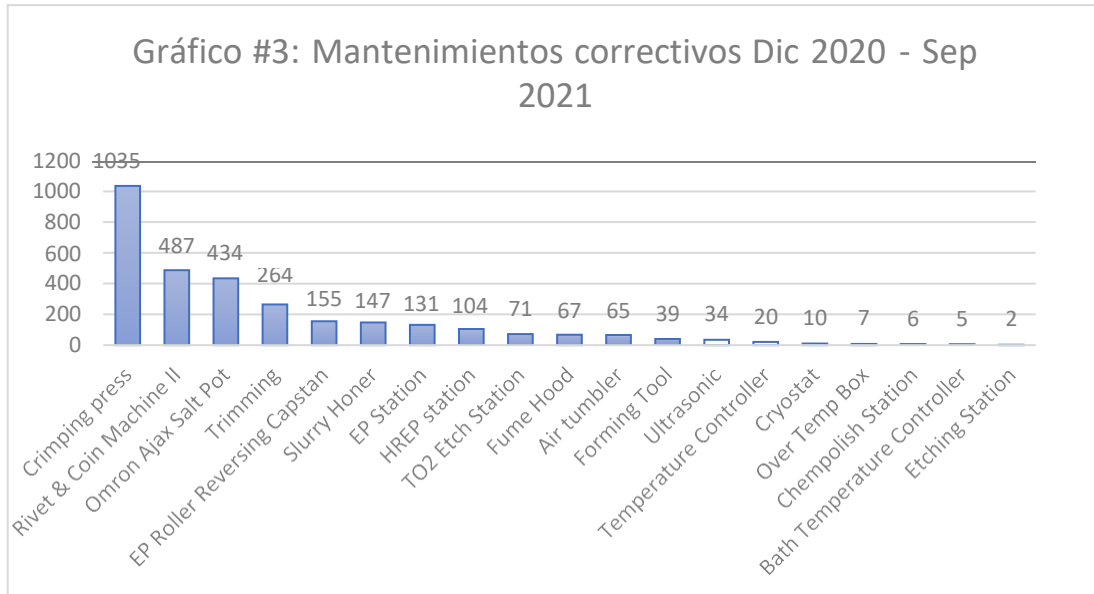


Gráfico 3: Mantenimientos correctivos

En el historial se pueden observar diversas variables como la cantidad de mantenimientos correctivos realizados como en el Gráfico 1, también se pueden observar datos de tiempo *down* del equipo como el del Gráfico 2. Otros datos relevantes son: la fecha en la que se realizó el mantenimiento, quién lo llevó a cabo, la identificación del equipo y un breve comentario de qué fue lo que se le hizo al equipo para su puesta en marcha nuevamente.

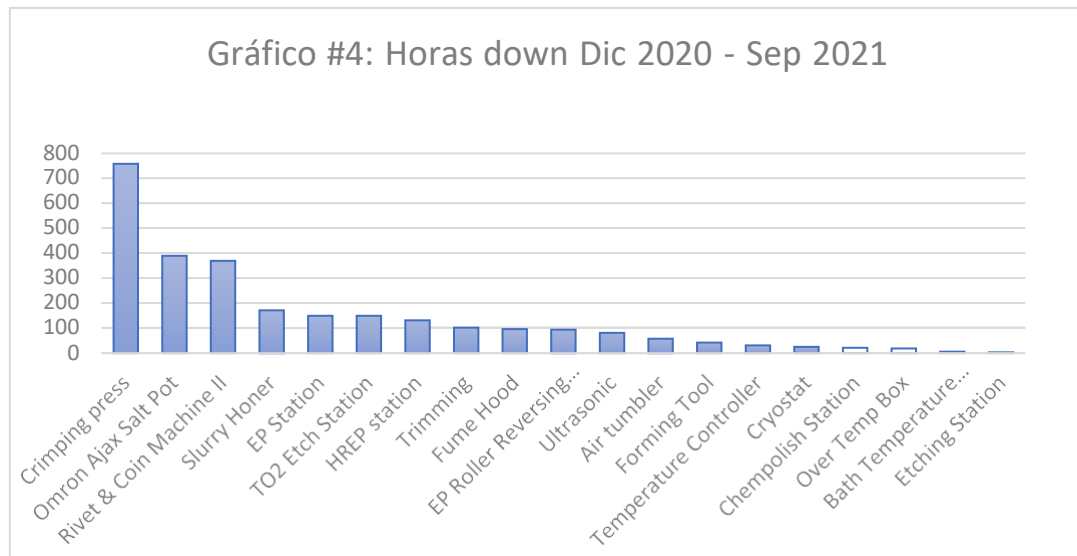


Gráfico 4: Horas down

El análisis realizado con algunos de los equipos empieza a mostrar una tendencia de los que generan un mayor número de fallas y presentan un mayor tiempo *down*, estos equipos son:

- Crimping Press Machine
- Rivet and Coin Machine
- Omron Ajax Salt Pot
- Slurry Honer
- EP Station

En total se analizan 19 clases de equipos presentes en el área, de estos equipos se determina cuáles son los más influyentes o cuáles son los que más sirve *atacar*. Para eso se analiza la criticidad y así determinar los equipos que sirve intervenir.

TABLA 7: CANTIDAD DE EQUIPOS, HRS. DOWN Y MTOS. CORRECTIVOS DIC 2020 – SEP 2021

NOMBRE DE LOS EQUIPOS	Cantidad de equipos	Suma de down h	Recuento de correctivos	Frecuencia de falla por mes (FF)
CRIMPING PRESS	8	757,7	1035	115,0
OMRON AJAX SALT POT	33	389,6	434	54,1
RIVET & COIN MACHINE II	2	369,3	487	48,2
SLURRY HONER	9	171,4	147	29,3
EP STATION	7	149,2	131	17,2
TO2 ETCH STATION	14	149,1	71	16,3
HREP STATION	14	131,1	104	14,6
TRIMMING	7	101,9	264	11,6
FUME HOOD	20	95,7	67	7,9
EP ROLLER REVERSING CAPSTAN	8	94	155	7,4
ULTRASONIC	22	80,7	34	7,2
AIR TUMBLER	4	57,7	65	4,3
FORMING TOOL	6	41,9	39	3,8
TEMPERATURE CONTROLLER	9	30,5	20	2,2
CRYOSTAT	4	24,8	10	1,1
CHEMPOLISH STATION	3	21	6	0,8
OVER TEMP BOX	3	18,4	7	0,7
BATH TEMPERATURE CONTROLLER	5	5,7	5	0,6
ETCHING STATION	2	2,9	2	0,2
TOTAL GENERAL	180	2692,6	3083	N/A

Tabla 7: Equipos, horas down y mantenimientos correctivos Dic 2020 – SEP 2021

En la Tabla 7 se puede observar un apartado que indica la frecuencia de falla de los equipos. Este es un dato que se utiliza para realizar el análisis de criticidad, también se comparan valores de mantenimientos correctivos realizados, horas en que los equipos estuvieron detenidos por el mantenimiento y los ID de los equipos donde se puede observar cuántos equipos hay por cada clase, ya que este ID indica a cuál equipo se refiere, así como

cuáles mantenimientos preventivos se le realizan y cuáles mantenimientos correctivos se le han realizado, además de su ubicación en la línea de producción, por ejemplo, de las Slurry honer existen 9 equipos.

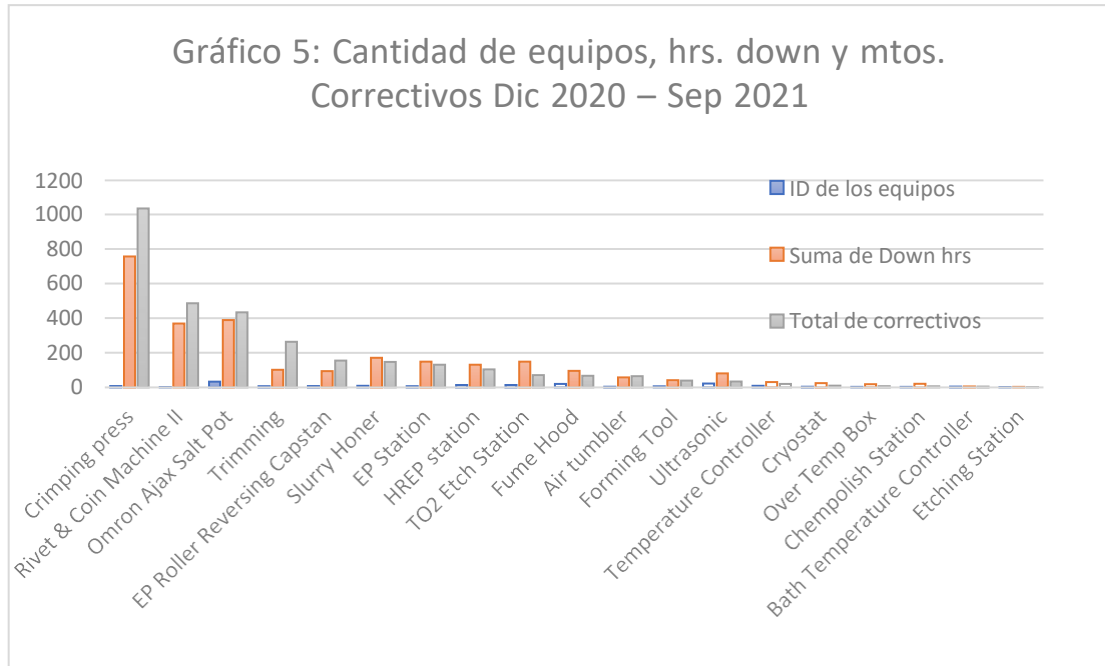


Gráfico 5: Equipos, horas down y mantenimientos correctivos Dic 2020 – SEP 2021

4.2 Análisis de criticidad

En las normas internacionales que se estudiaron en la investigación de este análisis de criticidad se establecen factores de frecuencia de falla y consecuencias asociados con los impactos de la operación. Las normas ISO JA1011 y JA1012 establecen criterios para analizar RCM, por lo que se adaptan muy bien a la metodología desarrollada en esta investigación en donde se toman factores como las disponibilidades de los repuestos, los costos del mantenimiento, impacto en la seguridad y también el impacto en el ambiente.

Estos factores se pueden ver descritos en la Tabla 9, los cuales se interrelacionan en la matriz de criticidad de la Tabla 8, en donde en el eje Y se tiene una frecuencia de falla relacionada tomada de la Tabla 7, en el eje X se tienen los factores de consecuencias descritos en la Tabla 9. En total son 5, aplicando una escala del 1 al 5 para cada uno se relacionan todos

en una escala de consecuencias que dan una sumatoria total de 25. En resumen, esta escala de consecuencias al final involucra los 5 factores descritos en la siguiente sección para darle de una manera cuantitativa un valor a cada equipo.

Tabla 8: Matriz de criticidad

FRECUENCIA (FF)	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		CONSECUENCIAS (CO)																				

Tabla 8: Matriz de criticidad

Para realizar el cálculo de criticidad de los equipos se utilizó la Tabla 9 en donde se definen los factores de frecuencia que se obtuvieron del análisis del histórico de equipos del área de la Tabla 7 y los factores de consecuencia descritos en la normativa. Para llevar a cabo el procedimiento de establecer los valores primero se establece una frecuencia de falla (FF) del 1 al 5 donde un 1 significa menos de 10 eventos al mes y un 5 más de 50 eventos al mes.

Por otra parte, los factores de consecuencia se establecen con la sumatoria de todos los factores, lo que da un total de 25 unidades de consecuencia, en donde:

1. IO: Es el impacto operacional.
2. FO: Es la flexibilidad operacional.
3. CM: Estos son los costos de mantenimiento asociados.
4. IMA: Es el impacto en el ambiente.
5. IS: Es el impacto de la seguridad.

Una vez que se tienen todos los factores en la tabla se realiza el producto de la frecuencia de fallas (FF) con la consecuencia de fallas (CO) para obtener los factores de criticidad (CT) de la Tabla 8, en donde esta matriz servirá como referencia para colocar en un rango específico cada familia de equipos y así ver claramente cuál es su impacto dentro de cada factor asociado y establecer su criticidad. Para los valores de criticidad mostrados en la matriz de criticidad se establecen rangos para definir cuáles son los equipos que se deben priorizar en esta investigación.

- ❖ Criticidad alta, color rojo, valores $50 \leq CT \leq 125$
- ❖ Criticidad media, color amarillo, valores $30 \leq CT \leq 49$
- ❖ Criticidad baja, color verde $5 \leq CT \leq 29$

Tabla 9: Factores de frecuencia y consecuencia

FACTOR DE FRECUENCIA (FF)	
<i>Descripción</i>	Ponderación
<i>Frecuente, Más de 50 eventos al mes</i>	5
<i>Probable, 40-50 eventos al mes</i>	4
<i>Posible, 20-40 eventos en 1 mes</i>	3
<i>Improbable, 10-20 eventos en 1 mes</i>	2
<i>Sumamente improbable, menos de 10 eventos en 1 mes</i>	1
FACTORES DE CONSECUENCIAS	
<i>Impacto operacional (IO)</i>	Ponderación
<i>Pérdidas mayores 76 % producción mes</i>	5
<i>Pérdidas 51 % a 75 % producción mes</i>	4
<i>Pérdidas 31 % a 50 % producción mes</i>	3
<i>Pérdidas 10 % a 30 % producción mes</i>	2
<i>Pérdidas inferiores 10 % producción mes</i>	1
<i>Factor flexibilidad operacional (FO)</i>	Ponderación
<i>No existe stock, tiempos reparación altos</i>	5
<i>Stock parcial, procedimiento reparación complejo</i>	4
<i>Stock parcial, procedimiento reparación sencillo</i>	3
<i>Stock suficiente, procedimiento reparación complejo</i>	2
<i>Stock suficiente, tiempos reparación bajos</i>	1
<i>Costos de mantenimiento (CM)</i>	Ponderación
<i>Costos materiales superiores 20000 USD</i>	5
<i>Costos materiales superiores 10000-20000 USD</i>	4
<i>Costos materiales superiores 3000-10000 USD</i>	3
<i>Costos materiales superiores 200-3000 USD</i>	2
<i>Costos materiales inferior 200 USD</i>	1
<i>Impacto ambiente (IMA)</i>	Ponderación
<i>Daños irreversibles en el ambiente</i>	5
<i>Daños severos al ambiente</i>	4
<i>Daños medios al ambiente</i>	3
<i>Daños mínimos al ambiente</i>	2
<i>Sin daño ambiental</i>	1
<i>Impacto seguridad (IS)</i>	Ponderación
<i>Muerte o incapacidad</i>	5
<i>Incapacidad parcial o permanente</i>	4
<i>Daños o enfermedades severas</i>	3
<i>Daños leves en personas</i>	2
<i>Sin impacto en la seguridad</i>	1

Tabla 9: Factores de frecuencia y consecuencia

Tabla 10: Criticidad de equipos

<i>EQUIPO</i>	FF	IO	FO	CM	IS	IMA	CO	CT
<i>Crimping press</i>	5	3	4	3	1	1	12	60
<i>Omron Ajax Salt Pot</i>	5	3	3	2	2	1	11	55
<i>Rivet & Coin Machine II</i>	4	3	4	4	1	1	13	52
<i>Slurry Honer</i>	3	2	2	3	1	1	9	27
<i>EP Station</i>	2	2	3	3	4	1	13	26
<i>HREP station</i>	2	2	2	2	4	1	11	22
<i>TO2 Etch Station</i>	2	2	2	2	4	1	11	22
<i>Trimming</i>	2	1	2	1	1	1	6	12
<i>Air tumbler</i>	1	2	3	2	1	1	9	9
<i>Cryostat</i>	1	1	4	2	1	1	9	9
<i>Over Temp Box</i>	1	1	4	2	1	1	9	9
<i>EP Roller Reversing Capstan</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Fume Hood</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Forming Tool</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Temperature Controller</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Chempolish Station</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Bath Temperature Controller</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Etching Station</i>	1	1	2	2	1	1	7	7
<i>Ultrasonic</i>	1	1	1	2	1	1	6	6

Tabla 10: Criticidad de los equipos

Nota: Para establecer los límites de un rango a otro en la criticidad de equipos se tomó el criterio de expertos del área.

En la Tabla 10 se puede observar la clasificación de la criticidad de la totalidad de equipos que se están analizando. Es indudable la importancia de aquellos que presentan una

criticidad más alta (en rojo), por otra parte, los que tienen una criticidad media (en amarillo) se deben mantener controlados para que su criticidad no aumente y cambien a criticidad alta y los de criticidad baja (en verde) son equipos que pueden no presentar un gran riesgo, pero no deben dejar de controlarse. Para efectos de análisis de este proyecto se enfoca el estudio en los equipos que presentan una criticidad alta y media:

- **Crimping press**
- **Omron Ajax salt pot**
- **Rivet and Coin machine II**

También en los equipos que poseen una criticidad media para que la recolección de resultados finales pueda ser buena en efectos de una comparación antes y después de la implementación:

- **Slurry honer**
- **EP Station**

Para estos equipos se realiza una caracterización de fallos en donde se identifiquen las posibles acciones correctivas que pueden tener cada uno y un análisis AMFE (análisis de modos y efectos de falla). Lo anterior para analizar de una manera cuantitativa cada modo de fallo y asignarles un valor estableciendo una severidad, una ocurrencia y un nivel de detección para generar estrategias específicas que ayuden a contrarrestar los modos de fallo que representen una mayor relevancia y afectación en cuanto a tiempo *down* y cantidad de llamado por mantenimiento correctivo.

4.3 Entrevistas al personal

Como parte de la recolección de datos para generar estrategias, aparte del arduo análisis de los historiales también se realizaron entrevistas al personal de mantenimiento más

experimentado del área. Esto con el fin de encontrar factores en común presentes en los modos de falla de los equipos y así tener una idea del panorama que se vive diariamente con los mantenimientos correctivos y las posibles mejoras que se puedan implementar. El fin al que se quiere llegar con las entrevistas es ver esos detalles que, por lo general, no son vistos por la rutina diaria y modificar ciertas costumbres que puede tener, tanto el personal de mantenimiento como el de producción y poder así mejorar la cultura del proceso y volverlo cada vez más confiable.

Cabe destacar que las estrategias que se consolidaron en este proyecto fueron en parte analizadas con el personal al que se le realizaron las entrevistas y propuestas a la parte de ingeniería tanto de mantenimiento como de manufactura donde se valoró la posibilidad de su implementación y su afectación en el proceso.

Las entrevistas se pueden encontrar en la parte de los apéndices, específicamente en el Apéndice D. Como se mencionó, las entrevistas se les realizaron a técnicos de mantenimiento experimentados, líderes de mantenimiento, encargado de la documentación del Departamento de Mantenimiento e ingeniero de mantenimiento del área.

4.4 Caracterización de fallas más comunes

A partir de la información recolectada en los históricos de mantenimiento se realizó una caracterización de los modos de falla de los equipos que presentaron una mayor criticidad. Para eso se identificó cada modo de falla con un nombre específico, por ejemplo, en la Tabla 11 el primer modo de falla que se puede observar es el: “limado de los dientes del dado”, este modo representa uno de los 9 tipos de falla que se identificaron para la *crimping press machine* que fue el equipo con mayor criticidad según el análisis. Al seguir con este mismo modo de falla de acuerdo con el Gráfico 6 es el que presenta una mayor

cantidad de mantenimientos correctivos y horas *down* para este equipo. Siguiendo el mismo procedimiento para los 5 equipos con la información recolectada durante los 9 meses se obtuvieron los siguientes modos de falla:

- Crimping press machine: 9 modos de falla
- Omron ajax salt pot: 12 modos de falla
- Rivet and Coin: 20 modos de falla
- Slurry honer: 17 modos de falla
- EP Station: 18 modos de falla

Como se puede observar se identificaron varios modos de falla para cada equipo y, por eso, es necesario ver cuáles de estos representan una mayor relevancia. Esto se debe al criterio del 80/20 de Pareto, el cual indica que para el 80 % de los problemas significa el 20 % de las causas. Esto quiere decir que si se concentran los esfuerzos en los modos de falla más importantes se reducirá parte de los llamados de emergencia presentes en las líneas, que representan el 80 % del problema actual del sistema. Por esto, se procede con el análisis AMFE (análisis de modos y efectos de falla) para tener un panorama más claro de cuáles son los más importantes y cuáles estrategias implementar.

A continuación, se muestran las tablas y gráficos relacionados con la caracterización realizada de los modos de falla referentes a cada equipo que evidenció el análisis de criticidad:

TABLA 11: MODOS DE FALLA CRIMPPING PRESS (DICIEMBRE DE 2020 A SEPTIEMBRE DE 2021)

ETIQUETAS DE FILA	Suma de h down	Cuenta de intervenciones
LIMADO DE LOS DIENTES DEL DADO	242,5	373
REQUIERE ALGÚN AJUSTE EN LA MEDIDA DEL CRIMP	197,5	299
CAMBIO DADO MAL ESTADO POR ALGUNA FISURA O QUEBRADURA	262,8	291
RECTIFICADO DEL DADO	30,8	46
LIMPIEZA EN UN COMPONENTE DEL EQUIPO	3	10
REGULACIÓN DEL FLUJO PARA CONTROLAR LA VELOCIDAD	2,4	8
BISAGRA DAÑADA	6,4	1
LUBRICACIÓN	0,2	1
(EN BLANCO)	13,5	
TOTAL GENERAL	759,1	1029

Tabla 11: Caracterización de fallas crimping press

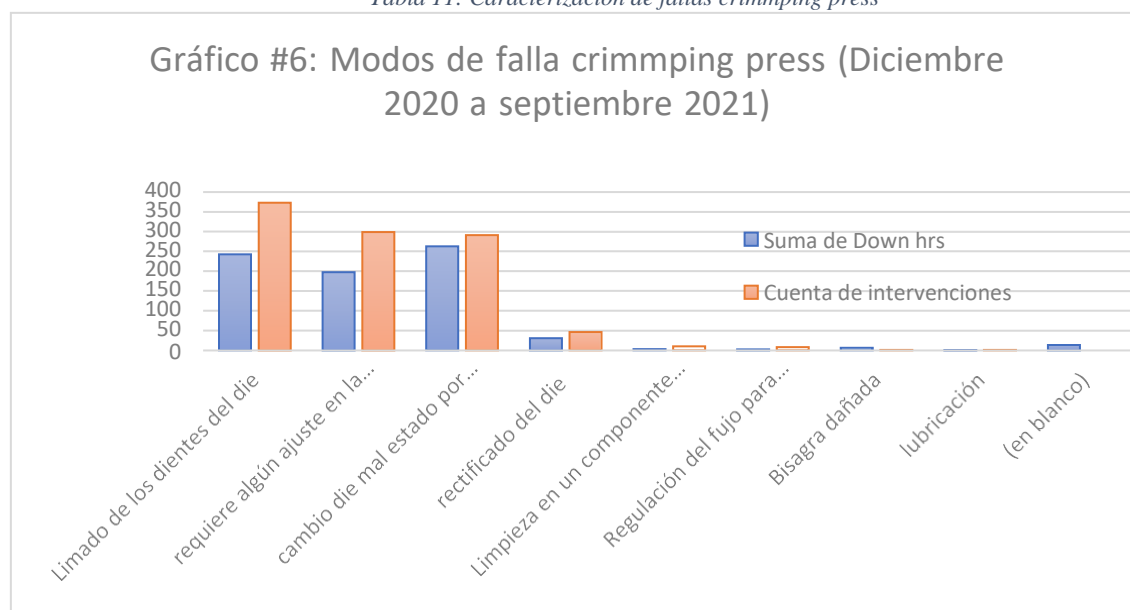


Gráfico 6: Caracterización de fallas crimping press

TABLA 12: MODOS DE FALLA OMRON SALT AJAX POT (DICIEMBRE DE 2020 A SEPTIEMBRE DE 2021)

ETIQUETAS DE FILA	Cuenta de intervenciones	Suma de down h
DETERIORO DE CONEXIONES ELÉCTRICAS	74	104,2
MUCHA SAL EN EL SISTEMA DE RECIRCULACIÓN	31	42,5
EXCESO DE SAL EN PARTES MÓVILES	78	40,8
FALLA DE LA TERMOCUPLA	32	36,5
PROBLEMA EN LOS ABANICOS	25	27,1
MALA LECTURA DEL SENSOR	32	18
SE REINICIA SISTEMA	44	17
VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS	19	14,1
AJUSTE DESPLAZAMIENTO	3	2,3
REEMPLAZO REGULADOR	1	2,2
CAE PIEZA EN LA SAL	4	1,7
NECESITA AJUSTE	2	0,8
TOTAL GENERAL	345	307,2

Tabla 12: Caracterización de fallas Omron ajax salt pot

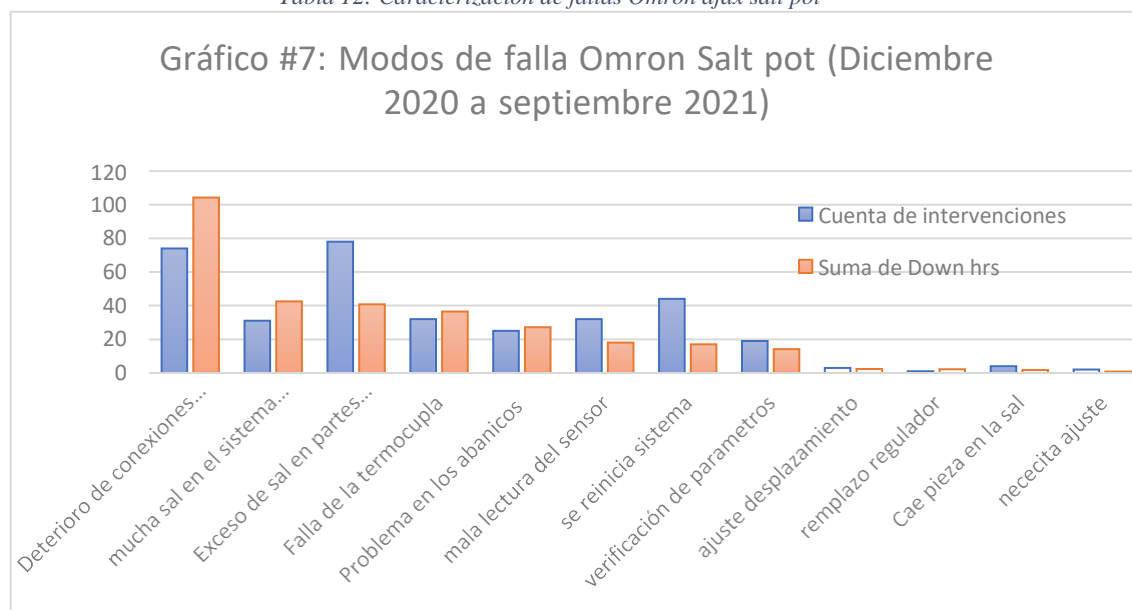


Gráfico 7: Caracterización de fallas Omron ajax salt pot

TABLA 13: MODOS DE FALLA RIVET AND COIN (DICIEMBRE DE 2020 A SEPTIEMBRE DE 2021)

ETIQUETAS DE FILA	Cuenta de intervenciones	Suma de down h
MAL ALINEADO DEL RIVET PUNCH	116	57
CAMBIO INSERT DIE	28	56,4
AJUSTE DE LA POSICIÓN DEL MADRIL PARA REALIZAR EL PUNCH CORRECTAMENTE	48	47,6
CAMBIO DEL RIVET PUNCH	47	47,2
CAMBIO DEL MANDRIL	34	44,4
ALINEAMIENTO DEL MANDRIL	53	28
AJUSTE EN EL POSICIONAMIENTO DEL RIVET PUNCH	45	25,7
AJUSTE EN LA PRESIÓN PARA REGULAR FUERZA	25	15,6
AJUSTE POSICIONAMIENTO DEL COIN PUNCH	21	13,2
MAL ALINEADO DEL COIN PUNCH	24	10,9
CAMBIO DEL PLATE	1	10,1
CAMBIO COIN PUNCH	15	7,8
(EN BLANCO)	1	6,1
MALA LECTURA DEL SENSOR	1	4,3
CAMBIO DEL TANTALUM	4	3,4
SE AJUSTA AVANCE DEL TANTALUM	5	2,8
SE RESTABLECEN PARÁMETROS INICIALES	2	0,8
AJUSTE DE LA PRESIÓN DEL PUNCH	1	0,4
AJUSTE PARA AUMENTAR EL FLUJO	1	0,3
AJUSTE EN LA POSICIÓN	1	0,1
TOTAL GENERAL	473	382,1

Tabla 13: Caracterización de fallas Rivet and Coin

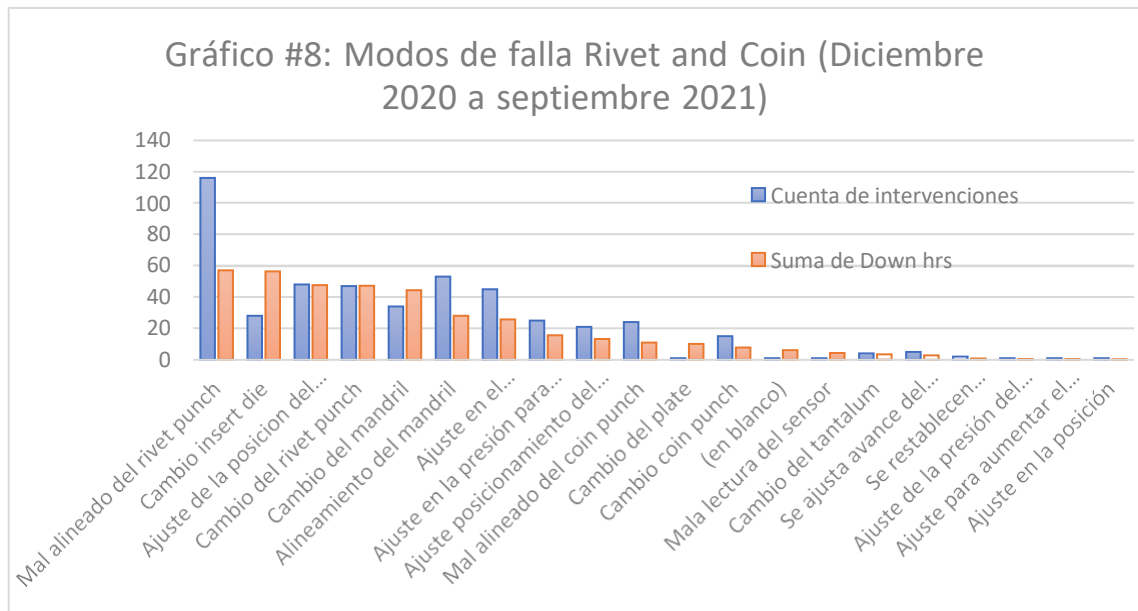


Gráfico 8: Caracterización de fallas Rivet and Coin

TABLA 14: MODOS DE FALLA SLURRY HONER (DICIEMBRE DE 2020 A SEPTIEMBRE DE 2021)

ETIQUETAS DE FILA	Cuenta de intervenciones	Suma de down h
MORDAZAS PRESENTAN UN DESAJUSTE	31	42,5
PRESENTA UN MAL ALINEADO EN MORDAZAS	35	28,2
CHUCK NO SOSTIENE LAS PIEZAS Y REQUIERE CAMBIO	24	22,7
BOMBA QUEDA ATASCADA POR FALLO EN LOS ROLES	4	19,6
CAMBIO DEL DRIVER STEPPER	2	12,5
PROBLEMA CABLEADO	11	12,1
ROBOHAND NECESITA AJUSTE	8	7,9
FUGA AIRE	2	7,4
EQUIPO PRESENTA UN ERROR Y NECESITA REINICIO	10	3,3
MANGUERA SE ENCUENTRA SUELTA	5	2,9
SWITCH DAÑADO	2	2,8
REQUIERE CAMBIO DE ROBOHAND	1	2,6
MANGUERA REVENTADA	5	2,5
CHUCK ESTÁ FLOJO	2	1,8
REQUIERE CAMBIO DE MORDAZAS	1	1,2

AJUSTE PRESIÓN DE AIRE	1	0,8
(EN BLANCO)		0,6
TOTAL GENERAL	144	171,4

Tabla 14: Caracterización de fallas Slurry honer

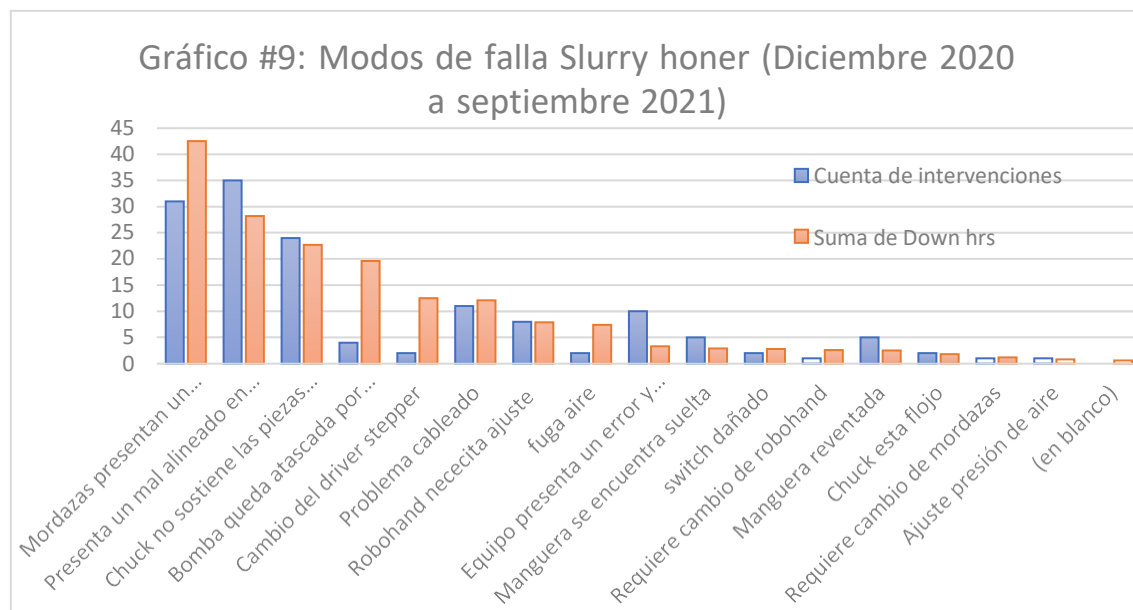


Gráfico 9: Caracterización de fallas Slurry honer

TABLA 15: MODOS DE FALLA EP STATION (DICIEMBRE DE 2020 A SEPTIEMBRE DE 2021)

ETIQUETAS DE FILA	Cuenta de intervenciones	Suma de down h
TERMINALES DE CONEXIÓN EN MAL ESTADO	78	45,6
PROBLEMA SISTEMA ELÉCTRICO	14	36,1
TEMPERATURA PRESENTA VARIACIÓN	11	27,4
NECESITA AJUSTE	26	25,9
CAMBIO DE ALCOHOL EN EL EQUIPO	11	21,7
LIMPIEZA	15	14,9
ENSAMBLE CAPSTAN	7	13,8
REINICIO DEL EQUIPO POR ALGUNA ANOMALÍA	35	12,1
TORNILLO EN MAL ESTADO	21	10,1
EXCESO HIELO	26	9,2
PROBLEMA EN LA MOVILIDAD	11	9,1
(EN BLANCO)		5,5

PRESENTA ALGÚN PROBLEMA EN EL CABLEADO ELÉCTRICO	12	4,8
ROL MAL ESTADO	3	2,4
SUJETADOR PINZA DAÑADO	2	1,8
REPARACIÓN VARÍA	4	1,7
SE CARGA RECETA	2	0,6
FITTINGS DAÑADOS	2	0,4
TOTAL GENERAL	280	243,1

Tabla 15: Caracterización de fallas EP Station

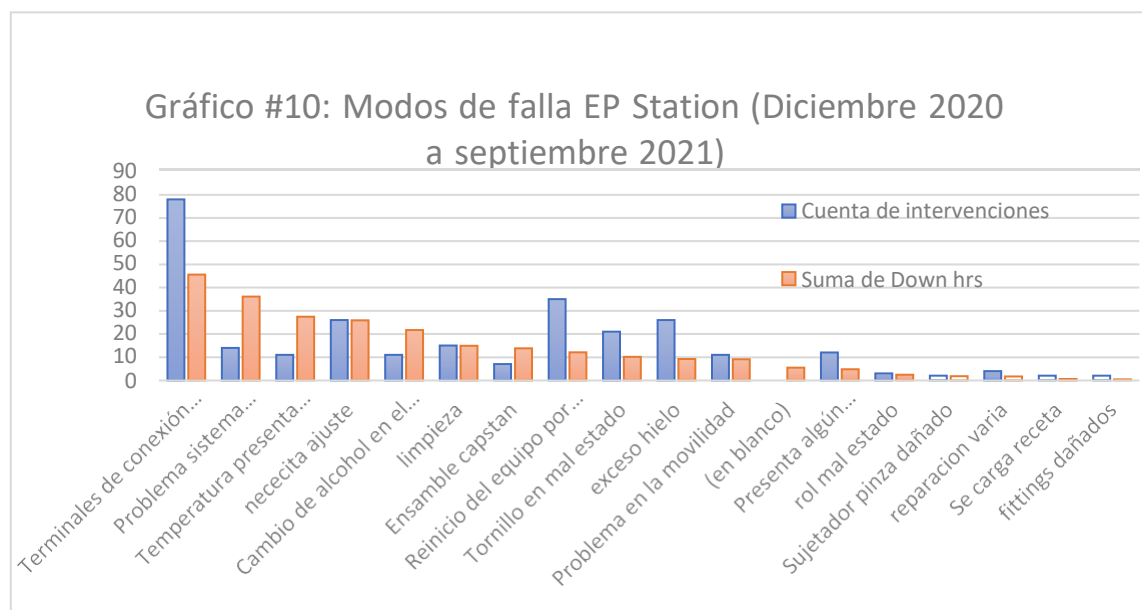


Gráfico 10: Caracterización de fallas EP Station

4.5 Análisis de AMFE

El análisis AMFE (análisis de modos y efectos de fallas) que se utilizó es del tipo máquinas y equipos que se usa para el análisis de productos, maquinaria y equipos para mejorar su eficacia y calidad. En este proyecto se empleó para poder asignarle un NPR (número de prioridad de riesgo) a cada modo de falla y así establecer o basar las estrategias en aquellas fallas que tengan un indicador más alto. Esto con el fin de establecer una solución

con sentido y buscar así el problema donde más está *doliendo*, para esto, se utilizaron tres factores descritos en la Tabla 16, los cuales son:

- S: Nivel de severidad (EFECTO)
- O: Probabilidad de ocurrencia (CAUSA)
- D: Nivel de detección (CONTROL)

Con base en estos se definió el NPR para cada modo de falla encontrado, por ejemplo, en la Tabla 17 es posible ver que el primer modo de falla es: “Requiere un limado en los dientes del dado”, al cual se le asignó una severidad de 10, ya que sin ese tipo de intervención correctiva el equipo no puede operar de una manera óptima y si no se interviene las unidades producidas fallan por inspección visual según el WI (Work Instructions).

También se le asignó una ocurrencia de 8 porque es el modo de falla más frecuente para este equipo, pues de acuerdo con la Tabla 11 solo en el periodo analizado (9 meses) tiene más de 300 intervenciones y una detección en puntaje de 3, ya que no se sale de control en el momento de detectar el fallo en el equipo, la detección es muy rápida, lo que da un NPR de 240. Por este motivo, se ubica como uno de los modos de falla problemáticos y que se deben intervenir, ya que solo este representa un 36.2 % que son los 373 correctivos del 1029 total.

De esta forma, se realizó el análisis de cada modo de falla que se encontró para cada equipo, donde se clasificaron los valores de NPR por colores. Un valor en rojo indica un NPR alto y que ahí se deben enfocar los esfuerzos para generar las estrategias, un valor amarillo indica un valor de NPR medio que no es tan importante, pero incluso así se puede considerar para la formulación de estrategias y controlarlo de cierta manera y un color verde indica un

valor de NPR bajo y una intervención *normal* en el equipo donde no existe riesgo de algún problema mayor.

TABLA 16: FACTORES AMFE

S	S: Nivel de severidad (EFECTO)
1	Mínima. No lo nota la persona usuaria
2-3	Escasa. Se nota ligera molestia por el cliente
4-5	Baja. Se nota la falla, enojo del cliente
6-7	Moderada. Insatisfacción del cliente
8-9	Crítico. Alto grado de insatisfacción
10	Muy elevada. Impacto en la seguridad
O	O: Probabilidad de ocurrencia (CAUSA)
1	Muy escasa ocurrencia, fallos inexistentes
2-3	Escasa ocurrencia. Muy pocos fallos
4-5	Ocurrencia moderada. Fallos ocasionalmente
6-7	Ocurrencia frecuente. Fallos con frecuencia
8-9	Ocurrencia elevada. Muy con frecuencia
10	Ocurrencia muy elevada. Fallo frecuente
D	D: Nivel de detección (CONTROL)
1	Muy escaso, defecto obvio
2-3	Escaso. Defecto detectado con facilidad
4-5	Moderado. Inspección detallada fácil detección
6-7	Frecuente. Defectos de difícil detección
8-9	Elevada. Detección casi improbable con métodos de inspección
10	Muy elevada. Defecto con dificultad elevada de detección

Tabla 16: Factores del análisis AMFE

Tabla 17: Análisis AMFE Crimping press

<i>Falla</i>	S	O	D	NPR
<i>Requiere limado de los dientes del dado</i>	10	8	3	240
<i>Requiere algún ajuste en la medida del crimp</i>	8	7	4	224
<i>Cambio dado mal estado por alguna fisura o quebradura</i>	10	5	3	150
<i>Rectificado del dado</i>	10	5	3	150
<i>Limpieza en un componente del equipo</i>	4	4	4	64
<i>Regulación del flujo para controlar la velocidad del crimp</i>	4	4	3	48
<i>Bisagra dañada</i>	4	4	1	16
<i>Lubricación</i>	4	4	2	32

Tabla 17: Análisis AMFE Crimping press

Tabla 18: Análisis AMFE Rivet y Coin Machine II

<i>Falla</i>	S	O	D	NPR
<i>Mal alineado del rivet punch</i>	10	6	5	300
<i>Cambio del rivet punch</i>	10	6	4	240
<i>Ajuste de la posición del mandril para realizar el punch correctamente</i>	10	7	3	210
<i>Cambio insert die</i>	10	5	3	150
<i>Cambio del mandril</i>	10	5	3	150
<i>Cambio del tantalum</i>	10	7	2	140
<i>Se ajusta avance del tantalum</i>	10	6	2	120
<i>Alineamiento del mandril</i>	8	5	2	80
<i>Ajuste en el posicionamiento del rivet punch</i>	8	5	2	80
<i>Ajuste posicionamiento del coin punch</i>	8	5	2	80
<i>Mal alineado del coin punch</i>	8	5	2	80
<i>Ajuste en la presión para regular fuerza</i>	8	3	2	48
<i>Cambio coin punch</i>	10	2	2	40
<i>Mala lectura del sensor</i>	10	2	2	40
<i>Ajuste de la presión del punch</i>	8	2	2	32
<i>Se restablecen parámetros iniciales</i>	7	2	2	28

<i>Cambio del plate</i>	10	1	2	20
<i>Ajuste para aumentar el flujo</i>	5	2	2	20
<i>Ajuste en la posición</i>	5	2	2	20

Tabla 18: Análisis AMFE Rivet & Coin

Tabla 19 Análisis AMFE Omron Ajax Salt Pot

<i>Falla</i>	S	O	D	NPR
<i>Exceso de sal en partes móviles</i>	8	9	8	576
<i>Deterioro de conexiones eléctricas</i>	8	8	8	512
<i>Mucha sal en el sistema de recirculación</i>	8	7	8	448
<i>Mala lectura del sensor</i>	7	8	6	336
<i>Falla de la termocupla</i>	8	7	5	280
<i>Problema en los abanicos</i>	8	6	5	240
<i>Se reinicia sistema</i>	5	7	5	175
<i>Verificación de parámetros</i>	4	5	5	100
<i>Ajuste desplazamiento</i>	4	5	5	100
<i>Reemplazo regulador</i>	4	4	5	80
<i>Necesita ajuste</i>	3	5	5	75
<i>Cae pieza en la sal</i>	2	5	5	50

Tabla 19: Análisis AMFE Omron ajax salt pot

Tabla 20: Análisis AMFE Slurry Honer

<i>Falla</i>	S	O	D	NPR
<i>Mordazas presentan un desajuste</i>	10	10	5	500
<i>Presenta un mal alineado en mordazas</i>	10	10	5	500
<i>Chuck no sostiene las piezas y requiere cambio</i>	10	7	5	350
<i>Bomba queda atascada por fallo en los roles</i>	10	6	3	180
<i>Problema cableado</i>	7	8	3	168
<i>Cambio del driver stepper</i>	10	5	3	150

<i>Robohand necesita ajuste</i>	6	5	5	150
<i>Fuga aire</i>	6	4	3	72
<i>Equipo presenta un error y necesita reinicio</i>	5	4	2	40
<i>Manguera se encuentra suelta</i>	5	4	2	40
<i>Chuck está flojo</i>	4	4	2	32
<i>Switch dañado</i>	5	3	2	30
<i>Requiere cambio de robohand</i>	3	3	2	18
<i>Manguera reventada</i>	3	3	2	18
<i>Requiere cambio de mordazas</i>	4	2	2	16
<i>Ajuste presión de aire</i>	2	2	2	8

Tabla 20: Análisis AMFE Slurry honer

Tabla 21: Análisis AMFE EP Station

<i>Falla</i>	S	O	D	NPR
<i>Terminales de conexión en mal estado</i>	8	8	7	448
<i>Problema sistema eléctrico</i>	8	8	7	448
<i>Temperatura presenta variación</i>	8	8	6	384
<i>Necesita ajuste en la unidad</i>	7	7	5	245
<i>Cambio de alcohol en el equipo</i>	8	6	5	240
<i>Limpieza del equipo</i>	8	5	4	160
<i>Exceso hielo en la bomba</i>	6	7	3	126
<i>Ensamble capstan</i>	6	5	4	120
<i>Reinicio del equipo por alguna anomalía</i>	6	5	3	90
<i>Tornillo en mal estado</i>	5	6	3	90
<i>Problema en la movilidad</i>	4	5	3	60
<i>(En blanco)</i>	4	5	2	40
<i>Sujetador pinza dañada</i>	3	3	2	18

<i>Presenta algún problema en el cableado eléctrico</i>	2	4	2	16
<i>Rol mal estado</i>	2	4	2	16
<i>Reparación varia</i>	2	3	2	12
<i>Se carga receta</i>	2	2	2	8
<i>Fittings dañados</i>	2	2	2	8

Tabla 21: Análisis AMFE EP Station

Según el análisis anterior en total se tienen 14 modos de falla con un NPR rojo, 18 modos de falla con un NPR amarillo y 40 modos de falla con un NPR verde. Por lo tanto, para la generación de estrategias se enfocan los esfuerzos en aquellos NPR ubicados en las secciones de color rojo y amarillo que es donde se observa claramente un problema que se puede intervenir. En el siguiente apartado la implementación de estrategias se valora con el equipo de mantenimiento del área y así poder ejecutarlas de la mejor manera. La secuencia que se quiere plantear para la generación de estrategias es la siguiente:

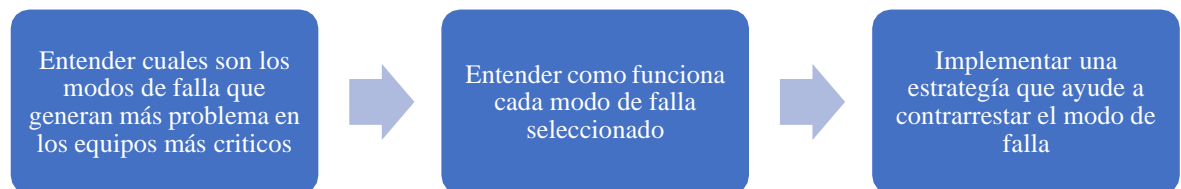


Ilustración 7 Generación de estrategias

Con base en el diagrama de flujo anterior, lo que se busca es entender completamente el funcionamiento de los modos de falla más importantes que se obtuvieron del análisis AMFE (análisis de modos y efectos de falla) para establecer con una lógica fundamentada en los datos estadísticos mostrados una serie de estrategias que puedan atacar los principales fallos sin tener que proponer grandes cambios organizacionales. Por el contrario, lo que se busca es generar estrategias que sean sencillas de aplicar, no requieran mucho tiempo para su implementación y no representen una inversión alta para la empresa y que gracias a un

análisis de este tipo se pueda observar un cambio importante en cuanto a la cantidad de mantenimientos correctivos que se generan y la cantidad de tiempo *down* de los equipos, ya que se puede saber dónde atacar y cómo atacar para ver buenos cambios en poco tiempo.

4.6 Generación y análisis de estrategias por implementar

Tabla 22: Generación de estrategias crimping press

<i>Crimping press</i>	Materiales	Métodos	Máquinas	Ambiente	Mano de obra	Acción inmediata	Encargado
<i>Mejorar el proceso para el cambio del dado en los setups</i>	El ajuste de los dados requiere tiempo para dar la medida y centrar el <i>crimp</i> en la unidad. Se deben realizar varias pruebas con varios <i>gauges block</i> hasta llegar al ajuste correcto	Tener un documento con la referencia de la familia y las combinaciones de las medidas para una mayor facilidad, así como dar capacitaciones con los técnicos con más experiencia	Un mayor conocimiento de cada <i>set up</i> y una menor duración en el cambio del dado	N/A	Junto con el equipo de producción elaborar un documento visible en el equipo con las combinaciones posibles de <i>gauge block</i> para la familia, así como capacitar al personal de mantenimiento para tener un mayor conocimiento de <i>set up</i>	Implementar el documento que se planteó en el anexo y mantenerlo de guía en el equipo para tener una base en el <i>set up</i>	Líder de mantenimiento
<i>Cambiar el diseño del dado para evitar rebabas y que hale la pieza</i>	En los dados superiores, cambiar diseño y probar su funcionamiento	Diseñar maquina el dado en la empresa y probar el resultado	Al tener un cierto ángulo en los bordes del dado no se va a generar una rebaba, ya que se va a ir desprendiendo del dado conforme se vaya usando	N/A	Solicitar al encargado de maquina los dados superiores que haga al menos un par de dados para realizar la prueba en los equipos	Brindar el diseño a mantenimiento y una vez listos los dados iniciar con la prueba	Ingeniero de mantenimiento
<i>Mejorar el stock de refracciones que más se utilizan</i>	Tener mínimo en el taller un juego de dados para cada equipo que esté trabajando	Revisar diariamente la cantidad de dados en el taller	Mejor tiempo de respuesta al no tener que ir a bodega por el dado y hacer el cambio en el equipo	N/A	Asignar a alguien del personal que tenga un mínimo de repuestos que se utilizan en el taller	Mantener el <i>stock</i> mínimo en el taller según el análisis	Líder de mantenimiento TA Y TB
<i>Utilizar un material más resistente para evitar las fisuras y desgastes</i>	Mejorar la calidad del material de los dados	En la actualidad, los dados superiores se realizan en la empresa por lo que utilizar un material más resistente puede aumentar la durabilidad de los dados	Disminuirá el desgaste o falla de los dados en el equipo	Cantidad de cambio de daños disminuirá	Al presentar un menor desgaste se necesitan menos intervenciones correctivas en el equipo	Realizar el análisis de un material más resistente para los dados, esta propuesta quedará como una recomendación	Ingeniero de mantenimiento
<i>Mantener un stock de dados rectificadas</i>	Dados que se desechan producto del desgaste o que presenten algún defecto en los dientes	Rectificar los dados desgastados en el taller de la empresa y mantenerlos en el taller para evitar algún atraso por falta de dados nuevos	Taller de precisión de la empresa	Un menor desecho de dados	Mantener a una persona encargada de recolectar los dados que se han cambiado y se pueden rectificar y plantear una tarea específica para el rectificado de estos	Plantear la tarea de recolección de dados y ejecutarla	Líder de mantenimiento
<i>Implementar un sistema para agilizar el set up, como guías o pines para tener de referencia o el de solo retirar la cabeza del dado inferior y no todo el dado</i>	Colocación de pines o marcas para tener como referencia en el momento de colocar el dado inferior y facilitar el hacerlo con la cámara	Colocar pines o marcas en los equipos para una mayor facilidad de ajuste	Crimping press machine, guías en el dado inferior	N/A	Diseñar y maquina en el taller de la compañía	Una vez listo el sistema empezar con un periodo de prueba en un equipo	Ingeniero de mantenimiento
<i>Monitorear la velocidad y fuerza del impacto del crimp</i>	Mecanismo para medir la velocidad del impacto	Medir la velocidad del impacto del equipo para identificar si se encuentra dentro de lo normal	Medidor de velocidad, para utilizarlo en el equipo	Menor quebradura de dados y menor desecho de estos.	Un técnico especializado en la labor.	Realizar una tarea preventiva para monitorear el impacto de la <i>crimping</i>	Ingeniero de mantenimiento

Tabla 22: Generación de estrategias crimping press

Tabla 23: Generación de estrategias Omron Ajax salt pot

Omron Ajax salt pot	Materiales	Métodos	Máquinas	Ambiente	Mano de obra	Acción inmediata	Encargado
<i>Proteger las conexiones eléctricas del daño al movimiento y la oxidación por la sal</i>	Materiales termocontraíbles o protectores en el cableado y conexiones	Colocar aislante en el cableado para protegerlos de la corrosión producida por la sal	En las salt pot que presenten más índice de correctivos o en todas si es posible.	N/A	Personal de mantenimiento asignado a esta labor, en horario que no afecte la producción de los equipos	Una vez que se apruebe la estrategia se empieza a colocar material aislante en las salt pots	Personal de mantenimiento
<i>Problemas de temperatura, mantener los sensores en su lugar y limpios</i>	Limpieza de los sensores con alcohol u otro método para asegurar su funcionamiento correcto	Puede suceder que no estén sensando el nivel del agua y, por eso, la temperatura exceda lo establecido, se puede colocar como una tarea preventiva.	Los sensores de nivel del agua en los equipos	N/A	Personal de mantenimiento asignado a la labor de revisión y limpieza de los sensores	Como parte de la tarea preventiva semanal, añadir la limpieza de los sensores en el equipo	Técnicos de mantenimiento
<i>Problema de temperatura, mantener los abanicos limpios para evitar sobrecalentamiento</i>	Limpieza de las aspas de los abanicos, así como lubricarlos para evitar un mal funcionamiento	El exceso de suciedad puede ocasionar que los abanicos se sobrecalienten y fallen, con un producto en específico limpiar los abanicos que están detrás de los equipos para aumentar su vida útil	Los abanicos que se encuentran detrás de las unidades tienen un difícil alcance por lo que dificulta su mantenimiento	N/A	Limpiar los abanicos requiere quitar las cubiertas traseras de los equipos, por lo que se propone implementarlo como tarea bisemanal de mantenimiento	Añadir la limpieza de los abanicos como parte de la tarea preventiva bisemanal en el equipo	Ingeniero de mantenimiento
<i>Implementación de termocuplas con una vida útil más duradera o darle mantenimiento a las actuales</i>	Termocuplas más resistentes que tengan una vida útil superior a las actuales o reparar las termocuplas actuales	Utilizar una termocupla que pueda tener una mayor durabilidad en el proceso o a las que están en los equipos darle mantenimiento	Cambio de termocuplas o dar mantenimiento a las que están, ver si están dobladas, expuestas y tratar de repararlas antes del paro	N/A	Revisión de las termocuplas por parte del personal de mantenimiento	Compra de una termocupla más resistente, incluir en la tarea semanal una revisión de las termocuplas	Ingeniero de mantenimiento
<i>Destacar el secado de las piezas a los operadores para evitar el excesivo salpicado de sal</i>	Unidades húmedas	Con los supervisores y líderes de producción velar porque el secado de las piezas sea efectivo para evitar la excesiva salpicadura de sal	Utilizar efectivamente las pistolas de aire de la estación	Se generarán menos gases producto de la interacción de la sal con el agua y afectará menos a la electrónica del equipo	Mal secado de las unidades por parte de los operadores	Una vez a la semana en las reuniones diarias destacar el uso del secado de las unidades y darle seguimiento en los equipos	Ingeniero de mantenimiento, supervisor de producción y líderes de producción
<i>Los reinicios frecuentes pueden deberse a alguna mala lectura de los sensores</i>	Sensores cubiertos por la sal producto de los gases del proceso	Limpiar con alcohol o limpiador de contactos todos los sensores del equipo para evitar errores en la lógica y que el equipo se detenga	Cableado de los sensores oxidados, sensores oxidados u obstruidos por lo que dificulta su funcionamiento correcto	N/A	Limpieza de los sensores del equipo por parte del personal de mantenimiento	Agregar una tarea semanal en donde se haga la limpieza y el ajuste en los sensores del equipo	Ingeniero de mantenimiento
<i>Mejorar mantenimiento preventivo diario para evitar las acumulaciones de sal en las partes móviles</i>	Facilitar herramientas a los técnicos para remover más fácilmente los excesos de sal	Realizar un mantenimiento diario más detallado para evitar la acumulación de sal	Sal en los clamshell, guías de los motores y ejes	N/A	Un mejor detallado del mantenimiento diario por parte de los técnicos	Añadir en la tarea preventiva diaria una limpieza más profunda de las partes móviles de los equipos y en la semanal las guías de los motores	Ingeniero de mantenimiento
<i>Implementar algún producto para evitar la excesiva acumulación de la sal.</i>	Productos que se utilizan para evitar la acumulación de sal, tanto en las partes mecánicas como las electrónicas	Aplicarlos junto con el mantenimiento preventivo para evitar los paros de emergencia por motivos de atascamiento	Exceso de sal en partes móviles y sistema de recirculación de agua	N/A	Con la ayuda de los técnicos intentar la implementación de algún producto para evitar el exceso de sal en el equipo	Realizar el estudio sobre la implementación de un producto que ayude a evitar la acumulación excesiva de sal en las partes móviles	Ingeniero de mantenimiento

Tabla 23: Generación de estrategias Omron Ajax salt pot

Tabla 24: Generación de estrategias Rivet & Coin

Rivet and Coin	Materiales	Métodos	Máquinas	Ambiente	Mano de obra	Acción inmediata	Encargado
<i>Capacitar operadores en el ajuste del rivet punch y coin punch del equipo</i>	Alineación del rivet punch para realizar correctamente la operación	Con la ayuda de los técnicos capacitar a los operadores de las rivet para alinear el equipo con el ajuste de parámetros y tener un mayor tiempo de respuesta	Al presentar un delineado el operador se detiene y solicita ayuda a mantenimiento. Esta acción la mayoría de las veces es solo un ajuste de parámetros	N/A	Operadores capacitados que puedan realizar el alineado del equipo	Capacitaciones a los operadores, inicialmente en turno A, para supervisar la labor por parte del líder de mantenimiento, las capacitaciones se dan durante el turno cuando el equipo requiera un ajuste y una capacitación formal los lunes durante un mes	Líder de mantenimiento
<i>Realizar el cambio del tantalum en horario no operativo del equipo</i>	El tantalum se cambia cada vez que se agota en el equipo	Cada cambio de turno o en horario en el equipo no esté operando, revisar el estado del tantalum y realizar el cambio	Cambio de tantalum en el equipo se realiza en horario operativo, lo que genera un tiempo down en el equipo	N/A	Como tarea diaria revisa el tantalum cuando el equipo no se esté operando	Implementar una tarea preventiva informal donde se revise el estado del tantalum al inicio y final de cada turno y cambiarlo de ser necesario para evitar paros de producción	Técnicos de mantenimiento
<i>Mantener un stock de repuestos en el taller</i>	Rivet punch, insert dado y mandrils	Mantener un mínimo de unidades en el taller	Cambios frecuentes	Mejor tiempo de respuesta que ir a bodega	Tener repuestos a mano por parte de los técnicos	Solicitar en la bodega la cantidad de repuestos que brindó el análisis y mantenerlos en el taller	Líder de mantenimiento

Tabla 24: Generación de estrategias Rivet & Coin

Tabla 25: Generación de estrategias slurry honer

Slurry honer	Materiales	Métodos	Máquinas	Ambiente	Mano de obra	Acción inmediata	Encargado
<i>Protección a los componentes del equipo del químico</i>	Las conexiones eléctricas del equipo se encuentran expuestas a los químicos	Colocar aislante en las conexiones eléctricas y evitar el daño producido por los químicos	Cableado que esté expuesto al químico, conexiones, tableros		Técnicos de mantenimiento encargados de llevar a cabo la labor de aislar el cableado en los equipos y conexiones del equipo	Una vez que se apruebe la estrategia se empieza a colocar material aislante en las slurry honer	Personal de mantenimiento
<i>Restaurar componentes del equipo</i>	Componentes como conexiones viejas, conectores, relays y componentes mecánicos que puedan generar alguna problemática	Analizar en cada slurry honer e ir remplazando componentes obsoletos que den problemas	Cableado, conexiones, drivers, relays, componentes mecánicos	Componentes desgastados por el slurry	Análisis por parte de los líderes y técnicos de mantenimiento	Realizar una reunión con el personal de mantenimiento donde se destaquen los posibles elementos por sustituir y empezar con el cambio progresivamente	Ingeniero, líderes y técnicos de mantenimiento
<i>Capacitar al personal sobre la sujeción del chuck para evitar el desalineado de las mordazas y este ajuste de las mordazas</i>	Mal desgaste de las unidades y desalineamiento de las mordazas	Chuck desajustado provoca un desgaste indebido y un desalineado en las mordazas	Chuck desalineado y mordazas desajustadas	N/A	Brindar a los operadores llaves allen para que ellos mismos puedan realizar el ajuste del equipo	Junto con el equipo de producción reunir a los operarios de las slurry honer y explicarles cómo se realizan los ajustes de las mordazas y las consecuencias de su desajuste	Ingeniero de producción, ingeniero de mantenimiento y líderes de mantenimiento
<i>Revisar los roles de la bomba peristáltica</i>	Roles trabados por el exceso de slurry	Revisión de roles, limpieza y lubricación	Roles de la bomba	Exceso de slurry y falta de lubricante	Revisión de los roles por parte de los técnicos	Implementar la tarea preventiva semanal sobre la revisión de los roles de la bomba	Ingeniero de mantenimiento

Tabla 25: Generación de estrategias slurry honer

Tabla 26: Generación de estrategias EP Station

EP Station	Materiales	Métodos	Máquinas	Ambiente	Mano de obra	Acción inmediata	Encargado
<i>Aislar y proteger conexiones eléctricas del equipo del químico</i>	Las conexiones eléctricas del equipo se encuentran expuestas a los químicos	Colocar aislante en las conexiones eléctricas y evitar el daño producido por los químicos	Cableado que esté expuesto al químico, conexiones, tableros	N/A	Técnicos de mantenimiento encargados de llevar a cabo la labor de aislar el cableado en los equipos y conexiones del equipo	Una vez que se apruebe la estrategia se empieza a colocar material aislante en las EP	Personal de mantenimiento
<i>Utilizar componentes resistentes al químico</i>	Conectores eléctricos en contacto con el químico	Implementar el uso de conectores que no sean deteriorados por el químico	Conectores que están en contacto directamente con la solución, son necesarios para el requerimiento de voltaje en la solución	N/A	Realizar la prueba del cambio de los conectores del equipo y monitorear su desgaste	Realizar el cambio de los conectores una vez que la compra se realice y dar seguimiento a su funcionamiento	Líder de mantenimiento
<i>Realizar el cambio del alcohol en horario en que el equipo no se encuentre en funcionamiento, cada periodo</i>	Alcohol del equipo pierde características necesarias para su funcionamiento	Cambiar el alcohol como tarea preventiva	Alcohol presenta suciedad y pierde capacidad de cumplir su función	Mejor función del alcohol en el equipo	Los técnicos son los encargados de efectuar el cambio del alcohol en el equipo	Implementar la tarea preventiva bisemanal del cambio del alcohol en el equipo	Ingeniero de mantenimiento
<i>Revisar que el rodete de la bomba no se encuentre congelado</i>	Hielo en el rodete de la bomba	La bomba no gira y la solución del equipo pierde funcionalidad	El rodete se congela, la bomba se traba y el equipo presenta un error	Acumulación de hielo en el rodete	Parte de la revisión diaria de los operadores y técnicos	Implementar la tarea preventiva diaria de quitar el exceso de hielo en el rodete de la bomba	Ingeniero de mantenimiento

Tabla 26: Generación de estrategias EP Station

En este caso, se propusieron estrategias que su fin fuera el de tratar de mitigar los modos de falla más importantes que demostraron los resultados, por ejemplo, en el equipo *crimping press machine* uno de los modos de falla más recurrentes es que el sistema de dado que utiliza el equipo sufre de un constante desgaste y el técnico de mantenimiento debe ir con frecuencia al equipo para tratar de corregir la deformidad que se le produce al dado, ya que se genera un tipo *rebaba*. Por lo tanto, una estrategia que se planteó es el cambio en el diseño de los dados superiores como se puede observar en el Anexo 2 de este trabajo. Con este diseño se evita que se generen tanto estas rebabas y que el llamado por parte de producción a mantenimiento para corregir este defecto y desgaste se disminuya considerablemente. Cada estrategia propuesta se analizó de la siguiente manera:

- Materiales
- Métodos
- Máquinas
- Ambiente
- Mano de obra
- Acción inmediata
- Encargado

Se utilizó el método de las 5 M para dar una base fundamentada a cada estrategia y establecer por qué puede ser de ayuda para contrarrestar los modos de falla presentados. Asimismo, se generó una acción inmediata y un encargado para empezar a mapear el desarrollo e implementación de esta.

4.6.1 Resumen de las estrategias

Tabla 27: Resumen estrategias

	Estrategia	Acción inmediata	Entregable de la estrategia (si procede)
Crimping press machine	1 Mejorar el proceso para el cambio del dado en los <i>setups</i>	Implementar el documento que se planteó en el resumen y mantenerlo de guía en el equipo para tener una base en el <i>set up</i>	Form adjunto en los anexos "configuración de familias"
	2 Cambiar el diseño del dado para evitar rebabas y que hale la pieza	Brindar el diseño a mantenimiento y una vez listos los dados iniciar con la prueba	Diseño del dado, según la figura adjunta en el análisis
	3 Mejorar el <i>stock</i> de refracciones que más se utilizan	Mantener el <i>stock</i> mínimo en el taller según el análisis	Cantidad requerida de dados definida por la ecuación descrita en el análisis
	4 Utilizar un material más resistente para evitar las fisuras y desgastes	Realizar el análisis de un material más resistente para los dados, esta propuesta quedará como una recomendación	Quedará como recomendación la investigación de un material de mayor calidad
	5 Mantener un <i>stock</i> de dados rectificadas	Plantear la tarea de recolección de dados y ejecutarla	N/A
	6 Implementar un sistema para agilizar el <i>set up</i> , como guías o pines para tener de referencia o el de solo retirar la cabeza del dado inferior y no todo el dado	Una vez listo el sistema empezar con un periodo de prueba en un equipo	Quedará como recomendación, se plantea detalladamente la recomendación
	7 Monitorear la velocidad y fuerza del impacto del crimpeo	Realizar una tarea preventiva para monitorear el impacto de la <i>crimping</i>	Generar la tarea preventiva de prueba pmc-01
Omron ajax salt pot	Estrategia	Acción inmediata	Entregable de la estrategia
	1 Proteger las conexiones eléctricas del daño al movimiento y la oxidación por la sal	Una vez que se apruebe la estrategia se empieza a colocar material aislante en las <i>salt pots</i>	Cotizaciones de los materiales termocontraíbles
	2 Problemas temperatura, mantener los sensores en su lugar y limpios	Como parte de la tarea preventiva semanal, añadir la limpieza de los sensores en el equipo	Generar la tarea preventiva de prueba pmo-02
	3 Problema temperatura, mantener los abanicos limpios para evitar sobrecalentamiento	Añadir una limpieza profunda de los abanicos como parte de la tarea preventiva bisemanal en el equipo	Generar la tarea preventiva de prueba pmo-03
	4 Implementación de termocuplas con una vida útil más duradera o darle mantenimiento a las actuales	Compra de una termocupla más resistente, incluir en la tarea semanal una revisión de las termocuplas	Cotización de la nueva termocupla y añadir a la tarea semanal la revisión de las termocuplas
	5 Destacar el secado de las piezas a los operadores para evitar el excesivo salpicado de sal	Una vez a la semana en las reuniones diarias destacar el uso del secado de las unidades y darle seguimiento en los equipos	Plan para los reentrenamientos para el personal de producción
	6 Los reinicios frecuentes pueden deberse a alguna mala lectura de los sensores	Agregar una tarea semanal en donde se haga la limpieza y el ajuste en los sensores del equipo	Generar la tarea preventiva de prueba pmo-04
7 Mejorar el mantenimiento preventivo diario para evitar las acumulaciones de sal en las partes móviles	Añadir en la tarea preventiva diaria una limpieza más profunda de las partes móviles de los equipos y en la semanal las guías de los motores	Añadir al mantenimiento diario una limpieza más profunda de las partes móviles	

Rivet and Coin machine	8	Implementar algún producto para evitar la excesiva acumulación de la sal.	Realizar el estudio sobre la implementación de un producto que ayude a evitar la acumulación excesiva de sal en las partes móviles	Quedará como recomendación el uso de algún producto que sirva para evitar la acumulación de sal en los <i>clamshells</i>
		Estrategia	Acción inmediata	Entregable de la estrategia
	1	Capacitar operadores en el ajuste del <i>rivet punch</i> y <i>coin punch</i> del equipo	Capacitaciones a los operadores, inicialmente en turno A, para supervisar la labor por parte del líder de mantenimiento, las capacitaciones se dan durante el turno cuando el equipo requiera un ajuste y una capacitación formal los lunes durante un mes	Plan para las capacitaciones de los operarios de las <i>rivet and coin</i>
	2	Realizar el cambio del tantalum en horario no operativo del equipo	Implementar una tarea preventiva informal donde se revise el estado del tantalum al inicio y final de cada turno y cambiarlo de ser necesario para evitar paros de producción	Estrategia sobre cómo efectuar la revisión del tantalum en el equipo
	3	Mantener un <i>stock</i> de repuestos en el taller, <i>rivet, coin y mandrils</i>	Solicitar en la bodega la cantidad de repuestos que brindó el análisis y mantenerlos en el taller	Cantidad requerida de repuestos definida por la ecuación descrita en el análisis
	Estrategia	Acción inmediata	Entregable de la estrategia	
Slurry honer	1	Protección a los componentes del equipo del químico	Una vez que se apruebe la estrategia se empieza a colocar material aislante en las <i>salt pots</i>	Cotizaciones de los materiales termocontraíbles
	2	Restaurar componentes del equipo	Realizar una reunión con el personal de mantenimiento donde se destaquen los posibles elementos por sustituir y empezar con el cambio progresivamente	Estrategia de las revisiones a los equipos y análisis del cambio de elementos deteriorados
	3	Capacitar al personal sobre la sujeción del <i>chuck</i> para evitar el desalineado de las mordazas y este ajuste de las mordazas	Junto con el equipo de producción reunir a los operarios de las <i>slurry honer</i> y explicarles cómo se realizan los ajustes de las mordazas y las consecuencias de su desajuste	Plan para las capacitaciones de los operadores de las <i>slurry honer</i>
	4	Revisar los roles de la bomba peristáltica	Implementar la tarea preventiva semanal sobre la revisión de los roles de la bomba	Generar la tarea preventiva de prueba pms-05
		Estrategia	Acción inmediata	Entregable de la estrategia
EP Station	1	Aislar y proteger conexiones eléctricas del equipo del químico	Una vez que se apruebe la estrategia se empieza a colocar material aislante en las <i>salt pots</i>	Cotizaciones de los materiales termocontraíbles
	2	Utilizar componentes resistentes al químico para los conectores al <i>beaker</i>	Realizar el cambio de los conectores una vez que la compra se realice y dar seguimiento a su funcionamiento	Cotizaciones de los conectores resistentes al químico
	3	Realizar el cambio del alcohol en el horario en que el equipo no se encuentre en funcionamiento, cada periodo	Implementar la tarea preventiva bisemanal del cambio del alcohol en el equipo	Generar la tarea preventiva de prueba pme-06
	4	Revisar que el rodete de la bomba no se encuentre congelado	Implementar la tarea preventiva diaria de quitar el exceso de hielo en el rodete de la bomba	Generar la tarea preventiva de prueba pme-07

Tabla 27: Resumen estrategias

4.6.2 Algunos requerimientos de las estrategias

Crimping press machine

1. Para la estrategia #1 se implementa el *form* propuesto en la sección 1 de los anexos del proyecto.
2. Para la estrategia #2 se implementa el diseño del dado presente en la sección 2 de los anexos del proyecto, en el taller de precisión de la empresa.
3. Para la estrategia #3 se mantendrá la cantidad de repuestos que brinde la siguiente ecuación:

$$\text{Máximo} = TLR + CMP - CMT$$

$$\text{Mínimo} = CMT - CTR$$

Donde:

- TLR: Tamaño del lote de reposición
- CMP: Consumo máximo medio durante el periodo de reposición
- CMT: Consumo mínimo medio durante el tiempo de reposición

Para el dado superior se tiene un consumo promedio por mes de 7.8 unidades, un consumo máximo por mes de 13 unidades y mínimo de 2 unidades, la cantidad del lote es variada, pero se inicia con una prueba de 5 unidades. Además, se estima una duración de 15 días para la calificación del dado una vez terminado en el taller de la empresa, entonces:

$$\text{Máximo} = 10 + \frac{13}{2} - \frac{2}{2} = 10.5 \approx 16 \text{ unidades}$$

$$\text{Mínimo} = \frac{13}{2} - \frac{7.8}{2} = 2.6 \approx 3 \text{ unidades}$$

Para el dado inferior se tiene un consumo promedio por mes de 14.3 unidades, un consumo máximo por mes de 29 unidades y mínimo de 2 unidades, la cantidad del lote es

variada, pero se piden 10 como orden del sistema. Además, se estima 1 mes para la llegada de los dados a la empresa y su posterior calificación, entonces:

$$\text{Máximo} = 10 + \frac{29}{2} - \frac{2}{2} = 23.5 \approx 24 \text{ unidades}$$

$$\text{Mínimo} = \frac{29}{2} - \frac{14.3}{2} = 7.35 \approx 7 \text{ unidades}$$

4. Para la estrategia #7 se genera la orden de mantenimiento preventivo PMC-01 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia semanal ejecutada por el personal de mantenimiento donde se revise la presión de los pistones y la velocidad del *crimp*.

Omron Ajax salt pot

1. Para la estrategia #1 se solicita la orden de compra presente en la sección 3 de los anexos, una vez que se tenga en la empresa el material, se empieza por realizar el proceso descrito en la estrategia.
2. Para la estrategia #2 se genera la orden de mantenimiento preventivo PMO – 02 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia semanal, donde se verifican el correcto estado y limpieza de los sensores del equipo. Además de su funcionamiento correcto, revisando su señal en las entradas al PLC.
3. Para la estrategia #3 se genera la orden de mantenimiento preventivo PMO – 03 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia bisemanal, donde se verifica el correcto estado y limpieza de los abanicos del equipo, para ayudar a evitar el sobrecalentamiento.
4. Para la estrategia #4 se añade a la tarea preventiva semanal la verificación del correcto estado de la termocupla, tanto en la integridad de la varilla *que no esté doblada* y que la conexión eléctrica se encuentre en un correcto estado. Además de la compra de 10 termocuplas (ver Anexo 4) resistentes a la corrosión, para iniciar un plan piloto en equipos de mayor uso según el Departamento de Producción.

5. Para la estrategia #5 se coordinan reuniones semanales con el Departamento de Producción para destacar el correcto secado de las unidades antes del proceso y así disminuir el exceso de salpicadura de la sal.
6. Para la estrategia #6 se incluye en la tarea preventiva diaria una limpieza más profunda de las partes móviles del equipo, para evitar el problema por el exceso de sal en el equipo y verificar adicionalmente la integridad de los componentes eléctricos que estén expuestos y las coberturas del material termocontraíble.
7. Para la estrategia #7 se genera la orden de mantenimiento preventivo PMO – 04 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia semanal, donde se haga la limpieza y el ajuste en los sensores del equipo.

Rivet and Coin Machine

1. Para la estrategia #1 realizar la capacitación de los operadores de las *rivet and coin* por parte del líder de mantenimiento de turno A. Estas capacitaciones deben efectuarse tres veces a la semana por un espacio de 3 semanas y empezar a monitorear por parte de producción la eficacia del entrenamiento en el personal.
2. Para la estrategia #2 se implementa el *form* descrito en el Anexo 5, el cual se colocará en el taller de mantenimiento para que al final del turno se confirme la revisión del estado del tantalum en el equipo.
3. Para la estrategia #3 se mantendrá la cantidad de repuestos que brinde la siguiente información, utilizando la ecuación anterior:

Para el *rivet* se tiene un consumo promedio por mes de 4.7 unidades, un consumo máximo por mes de 14 unidades y mínimo de 2 unidades, la cantidad del lote es variada, pero

se piden 10 como orden del sistema. Además, se estima 1 mes para la llegada de los dados a la empresa y su posterior calificación, entonces:

$$\text{Máximo} = 10 + \frac{14}{2} - \frac{2}{2} = \approx 16 \text{ unidades}$$

$$\text{Mínimo} = \frac{14}{2} - \frac{4.7}{2} = 4.65 \approx 5 \text{ unidades}$$

Para el *coin* se tiene un consumo promedio por mes de 2.14 unidades, un consumo máximo por mes de 8 unidades y mínimo de 1 unidad, la cantidad del lote es variada, pero se piden 10 como orden del sistema. Además, se estima 1 mes para la llegada de los dados a la empresa y su posterior calificación, entonces:

$$\text{Máximo} = 10 + \frac{5}{2} - \frac{1}{2} = 12 \text{ unidades}$$

$$\text{Mínimo} = \frac{8}{2} - \frac{2.14}{2} = 2.93 \approx 3 \text{ unidades}$$

Para los *madrils* se tiene un consumo promedio por mes de 3.14 unidades, un consumo máximo por mes de 7 unidades y mínimo de 1 unidad, la cantidad del lote es variada, pero se piden 10 como orden del sistema. Además, se estima 1 mes para la llegada de los dados a la empresa y su posterior calificación, entonces:

$$\text{Máximo} = 10 + \frac{7}{2} - \frac{1}{2} = 13 \text{ unidades}$$

$$\text{Mínimo} = \frac{7}{2} - \frac{3.14}{2} = 5.07 \approx 5 \text{ unidades}$$

Slurry Honer

1. Para la estrategia #1 se solicita la orden de compra presente en la sección 3 de los anexos. Una vez que se tenga en la empresa el material, se empieza por realizar el proceso descrito en la estrategia.

2. Para la estrategia #2 se realiza una reunión con el ingeniero y líder de mantenimiento, en donde se valore el cambio de componentes que puedan ocasionar algún paro de emergencia en el equipo. Estos cambios se valoran y se empiezan a implementar durante el tiempo de la toma de datos y en adelante, en horario no productivo del equipo para no añadir tiempo *down*.
3. Para la estrategia #3 se genera la orden de mantenimiento preventivo en el equipo PMS – 05 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia bisemanal, donde se verifica el correcto estado y limpieza de los rodamientos del equipo. En caso de que se requiera algún cambio de un rodamiento, se planifica el cambio en horario no productivo del equipo.

EP Station

1. Para la estrategia #1 se solicita la orden de compra presente en la sección 3 de los anexos. Una vez que se tenga en la empresa el material, se empieza por realizar el proceso descrito en la estrategia.
2. Para la estrategia #2 se solicita la orden de compra presente en la sección 6 de los anexos. Una vez que se tenga en la empresa los conectores de un material más resistente se empieza por realizar el proceso descrito en la estrategia.
3. Para la estrategia #3 se genera la orden de mantenimiento preventivo en el equipo PME – 06 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia bisemanal, donde se verifica el estado del alcohol del equipo. Se comprueba si está muy sucio y se realiza la prueba de voltaje establecida para que los valores estén dentro de la especificación, de no ser así se planifica el cambio del alcohol dentro del horario no productivo del equipo.

4. Para la estrategia #4 se genera la orden de mantenimiento preventivo en el equipo PME – 07 (refiérase al Anexo 7) de frecuencia diaria, donde se verifica el estado del rodete de la bomba, se comprueba la presencia de hielo y de ser necesario removerlo para evitar atascamientos en la bomba, preferiblemente el mantenimiento se realiza en el inicio o final de turno para no generar tiempo *down* en el equipo.

4.7 Calidad en la implementación de las estrategias

En cuanto a la calidad o el seguimiento que se implementa en las estrategias, primero se explica el manejo que tiene cada una según el equipo en el que se implementa:

Crimping press:

- El *form* propuesto de la estrategia número uno está de manera permanente en el equipo al alcance del técnico, así se puede tener la información necesaria al alcance y agilizar el *set up*. El responsable de estos formularios es el ingeniero de manufactura de la línea para su análisis posterior.
- El cambio en el diseño del dado, su elaboración y su posterior certificación es un proceso a cargo del ingeniero de mantenimiento. Estos dados se utilizan durante el periodo de prueba de 4 meses y son custodiados por el ingeniero de mantenimiento, ya que cualquier cambio de alguno de ellos en las *crimping* debe notificarse primero.
- La cantidad de repuestos descrita en el análisis es velada por el líder de mantenimiento de cada turno.

Omron Ajax salt pot:

- Para asegurar el cumplimiento en la calidad en las estrategias en esta familia de equipos el aseguramiento de las medidas de protección del cableado y conexiones eléctricas, así como la implementación de las nuevas tareas de mantenimiento preventivo son monitoreadas desde el inicio por el ingeniero de mantenimiento del área.

Rivet and Coin:

- Para esta familia de equipos la capacitación de la alineación del equipo por medio de parámetros es repartida por el líder de mantenimiento y monitoreada por los técnicos de mantenimiento, debido a cualquier inconveniente que pueda ocurrir en el momento de la manipulación del equipo por parte de los operadores.
- El estado del tantalum en el equipo debe quedar descrito en el formulario que se debe tener en el taller y su uso debe ser regido por el líder de mantenimiento diariamente.
- La cantidad de repuestos establecida se debe pedir a bodega cada inicio de semana y mantenerse en el rango que se obtuvo en el análisis.

Slurry honer y EP Station:

- Las estrategias de estas dos familias de equipos son monitoreadas por el Departamento de Mantenimiento, tanto la implementación de las protecciones como las labores de mantenimiento preventivo.

4.8 Variables de estudio en los equipos (antes de la implementación)

Las dos variables de estudio que se han analizado en este proyecto son las horas de mantenimiento correctivo u *horas down* de los equipos y la cantidad de mantenimientos correctivos. En el Gráfico 11 es posible observar el comportamiento de estas dos variables antes de la implementación de las estrategias que se obtuvieron gracias al análisis de la caracterización de fallas y el análisis AMFE (análisis de modos y efectos de fallo). En resumen, se puede observar un promedio de cantidad de fallos según los equipos más críticos de la siguiente manera:

- Crimping press: 112.56 fallos mensuales
- Rivet & Coin Machine II: 53.33 fallos mensuales
- Omron Ajax Salt Pot: 47.77 fallos mensuales
- Slurry honer: 15.77 fallos mensuales
- EP Station: 14 fallos mensuales

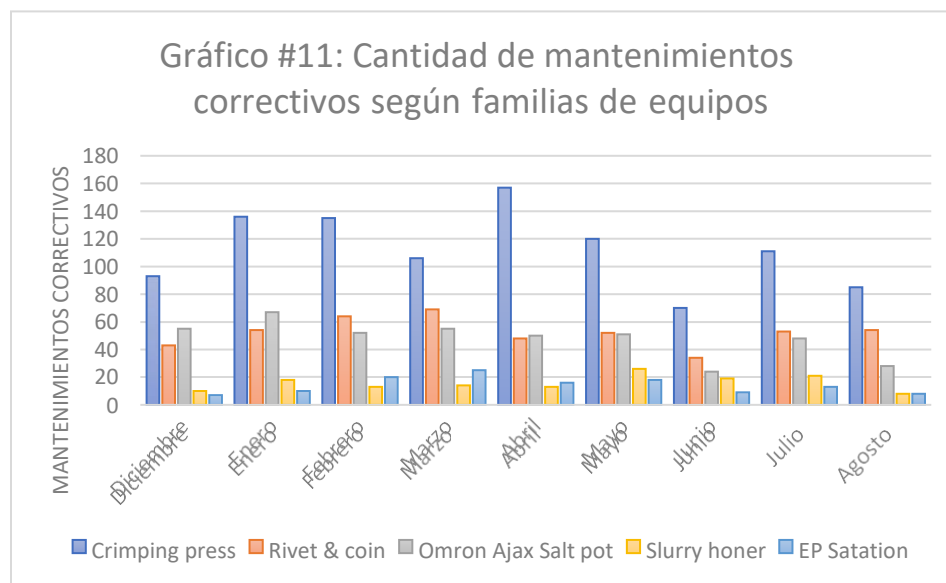


Gráfico 11: Cantidad de mantenimientos correctivos según familias de equipos

En cuanto a la cantidad de horas *down* de los equipos antes de la implementación de las estrategias, se puede observar su tendencia en el Gráfico 12. Cabe destacar que esta

tendencia que se observa en este gráfico y en el anterior fue la analizada durante el periodo de 9 meses que se observa en los gráficos (diciembre-agosto), durante este periodo se tiene un promedio de horas *down* en estos equipos como el siguiente:

- Crimping press: 83.03 horas *down* mensuales
- Rivet & Coin Machine II: 47.61 horas *down* mensuales
- Omron Ajax Salt Pot: 42.65 horas *down* mensuales
- Slurry honer: 18.62 horas *down* mensuales
- EP Station: 15.11 horas *down* mensuales

Estos datos promedios sirven en el momento de realizar la comparación en un antes y un después de implementar las estrategias y así observar el cambio que estas produjeron.

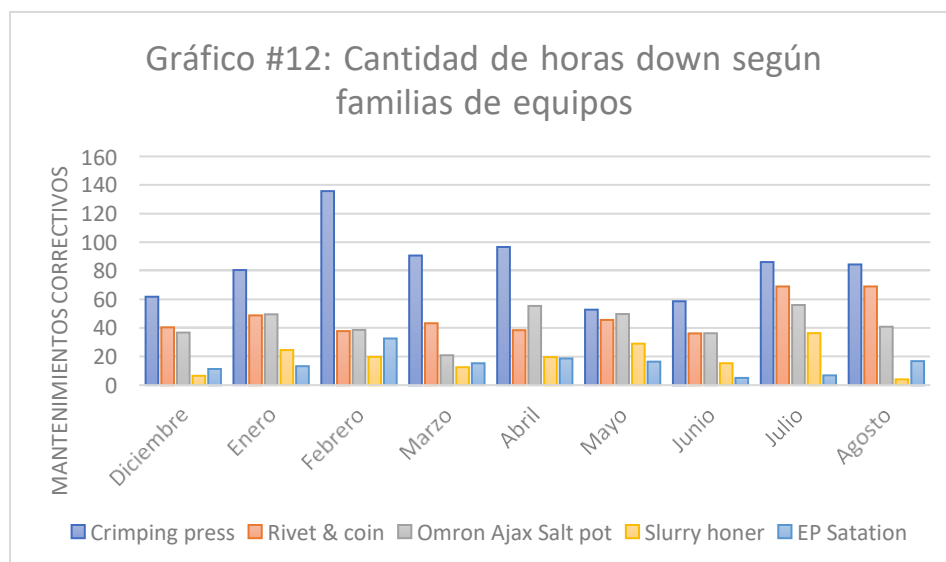


Gráfico 12: Cantidad de horas down según familias de equipos

Estos cinco equipos que se están analizando en total tienen un tiempo *down* de **1837.2 horas** y **2234** fallas, por lo que ese dato total es el que se tiene de referencia. De igual manera, se analiza el comportamiento de las variables de forma individual para observar el comportamiento de las variables.

4.9 Indicadores propuestos (antes de las estrategias)

Para controlar de una manera más eficiente y visual las dos variables de estudio de este proyecto y analizar con más detalle estas variables se procedió a formular los indicadores de los gráficos siguientes. Estos indicadores no se utilizaban en el departamento y ayudarán a realizar la comparación en los escenarios del antes y después. En el Gráfico 13 se puede observar el tiempo medio de falla, este indicador muestra el tiempo promedio que transcurre en un equipo entre la aparición de cada falla. De esto es posible concluir que cuanto más alto sea el valor de este indicador el equipo presenta una confiabilidad mayor.

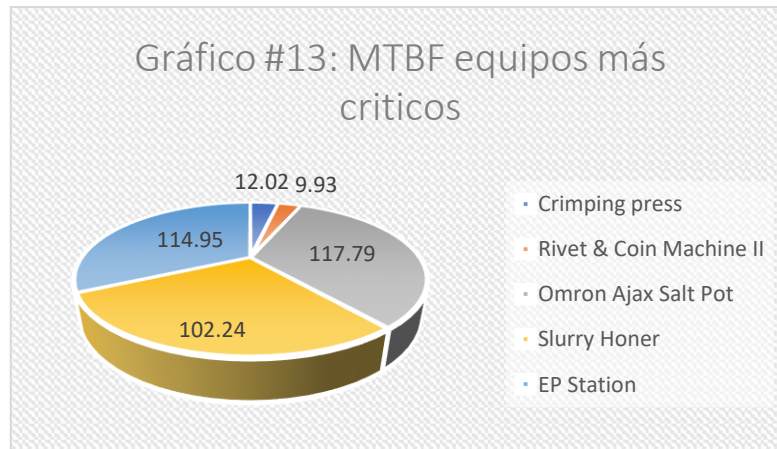


Gráfico 13: MTBF equipos más críticos

Continuando con el Gráfico 13 se observa que la familia de la *slurry honer* tiene un MTBF alto, por lo que de los 5 equipos en análisis es en el que transcurre un mayor tiempo, desde que aparece una falla hasta que aparece la siguiente. Por el contrario, la familia de la *crimping press* es la que tiene el MTBF más bajo, por lo que las intervenciones en ellas suelen ser muy frecuentes y es donde se deben enfocar los esfuerzos para tratar de que este indicador tenga una tendencia al alza.

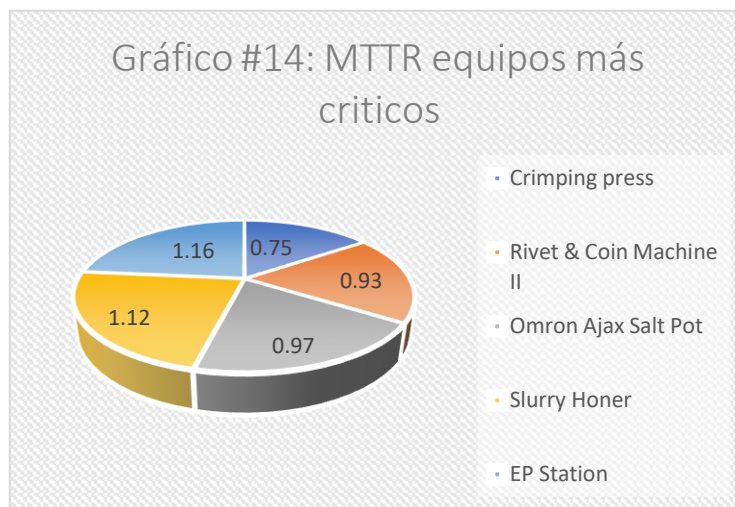


Gráfico 14: MTTR equipos más críticos

El siguiente indicador que se propuso es el descrito en el Gráfico 14, el MTTR indica el tiempo promedio en que un equipo vuelve a estar en marcha después de que ocurriese una falla. Por eso, es que cuanto menor sea este indicador menor es el tiempo en que un equipo esta *down*. Como es posible observar en el gráfico el menor MTTR lo tiene la familia de las *crimping press*. Con base en esto se puede afirmar que las *crimping press* son una familia de equipos que fallan mucho y su arreglo no dura mucho tiempo en la mayoría de los casos. Por otro lado, se tiene a la *slurry honer* que falla poco, pero su reparación requiere un mayor tiempo que los demás equipos. Con base en este análisis es posible tener un panorama más claro de comportamiento del resto de familias:

- ❖ La *crimping press* y la *Rivet & Coin Machine II* son equipos que su reparación no dura mucho tiempo, pero su tendencia al llamado por averías es alta.
- ❖ La Omron Ajax Salt pot es un equipo que, al presentar una avería su reparación es fácil, pero mayor que los anteriores dos y su ocurrencia de llamados es más alta.

- ❖ La *slurry honer* y la *EP Station* son familias de equipos que su reparación dura más que los anteriores, pero su ocurrencia no es tan alta como los primeros dos.

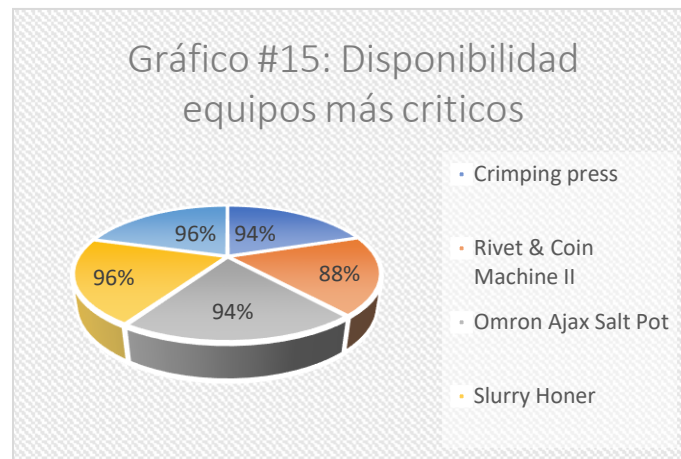


Gráfico 15: Disponibilidad equipos más críticos

Además de los 2 indicadores vistos anteriormente también se obtuvieron las disponibilidades de los equipos. Como lo muestra el Gráfico 15, la disponibilidad más baja presentada en los 5 equipos fue la de la *Rivet & Coin machine II* con un 88 % y la más alta fue de 96 % en 3 de los 5 equipos. Esta disponibilidad servirá de ayuda para observar si al final hubo un aumento o una disminución en la producción de los equipos.

4.10 Resumen de resultados después de la implementación de las estrategias

La recolección de los historiales se realizó una vez que se cumplió el tiempo aproximado (5 meses) en donde se implementaron las estrategias propuestas. El filtrado de datos se efectuó con base en el análisis que se realizó en la primera parte de este trabajo, en donde se obtuvieron los 5 equipos más críticos, en total para estos equipos se obtuvieron en cuanto a horas *down* **571.1 horas** y **672 mantenimientos correctivos** realizados. Esto da un

promedio mensual en total de 142.8 horas y 198.6 fallas y comparar con el dato del antes de implementar las estrategias se obtiene una reducción del 30.1 % en un escenario de antes y después.

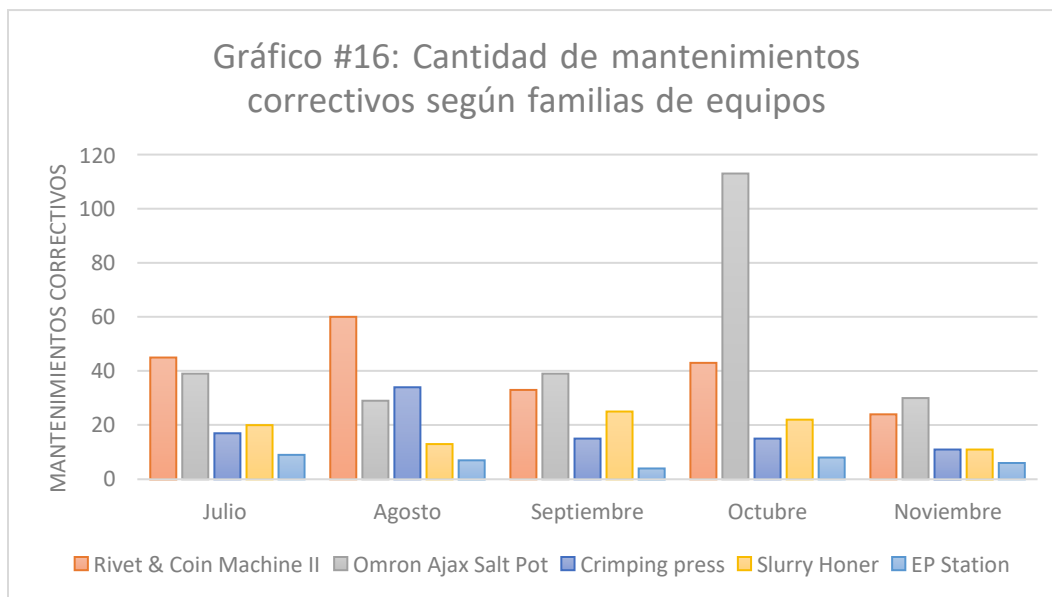


Gráfico 16: Cantidad de mantenimientos correctivos según familias de equipos

Para cada equipo se obtuvo un promedio de horas *down* y cantidad de fallas de la siguiente manera con base en el Gráfico 16:

- ❖ Crimping press: 25.62 horas *down* y 18.4 fallas
- ❖ Rivet & Coin Machine II: 29.12 horas *down* y 41 fallas
- ❖ Omron Ajax Salt Pot: 35.66 horas *down* y 50 fallos
- ❖ Slurry Honer: 14.38 horas *down* y 18.2 fallas
- ❖ EP Station: 9.44 horas *down* y 6.8 fallas

Este análisis mostró cómo fue el comportamiento de estas dos variables después del periodo de implementación. En el Gráfico 16 y el Gráfico 17 se observa cómo algunos equipos redujeron su criticidad en cuanto a una u otra variable y ya no ocupan el primer

puesto, lo que indica que sí hubo un cambio positivo para el área después de este periodo de implementación.

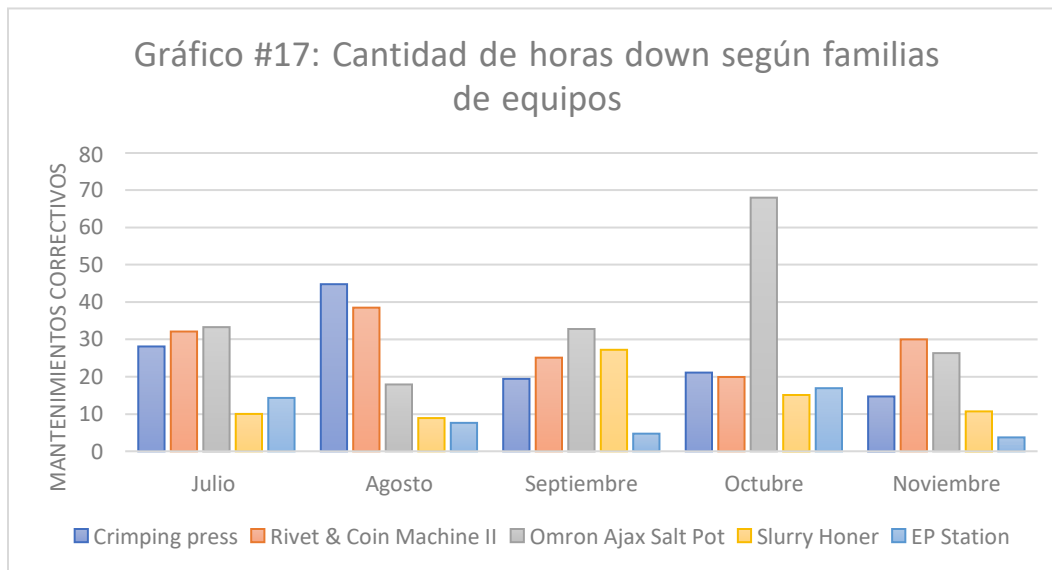


Gráfico 17: Cantidad de horas down según familias de equipos

4.10.1 Indicadores después de la implementación de las estrategias

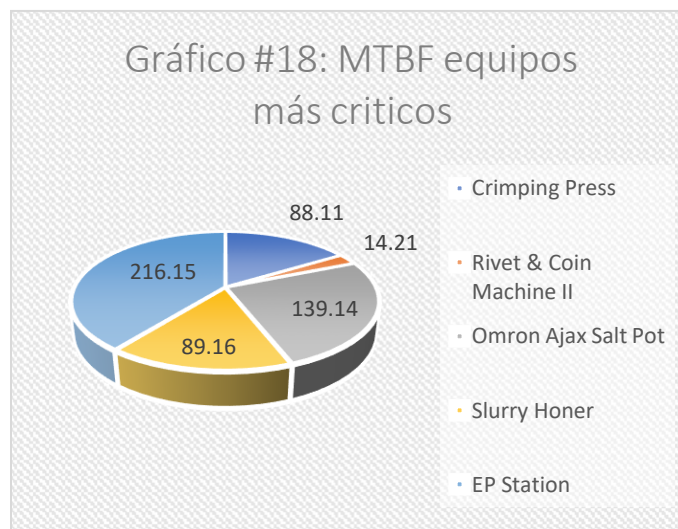


Gráfico 18 MTBF equipos más críticos

Los indicadores que se formularon en este proyecto también cambiaron. Por ejemplo, en el Gráfico 18 la *crimping press* presentó un MTBF de 12.02 que indicaba un tiempo muy corto entre cada aparición de falla y en este nuevo panorama muestra que tuvo un aumento a 88.11, por lo que el indicador para este equipo aumentó significativamente, lo que es algo muy positivo, ya que este fue el equipo que presentó una criticidad más alta de los 5 que se analizaron.

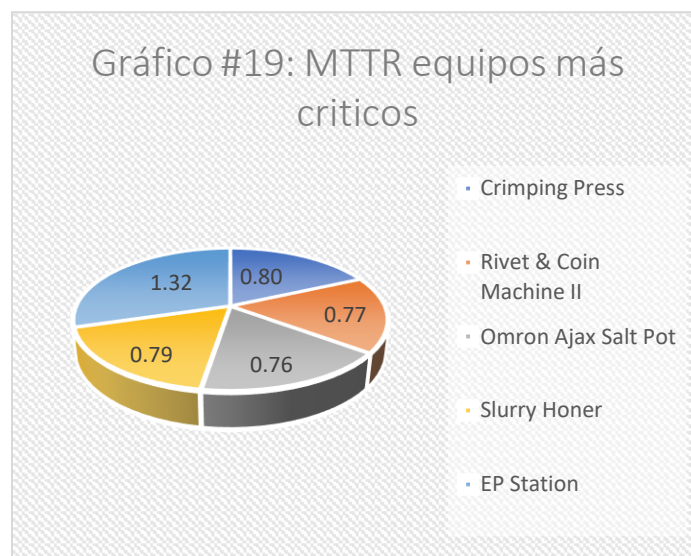


Gráfico 19: MTTR equipos más críticos

Al analizar el MTTR también se puede observar que algunos indicadores se mantuvieron similares y otros se redujeron. Por ejemplo, en la Omron Ajax *salt pot* se pasó de un 1.12 en el Gráfico 14 a un 0.79 en el Gráfico 19. Esto se puede deber, por ejemplo, a que una de las estrategias de este equipo fue intensificar las limpiezas diarias que se realizaban, al ser esto así el equipo no se llena tanto de sal y es una labor más fácil volver a restaurarlo después de una falla.

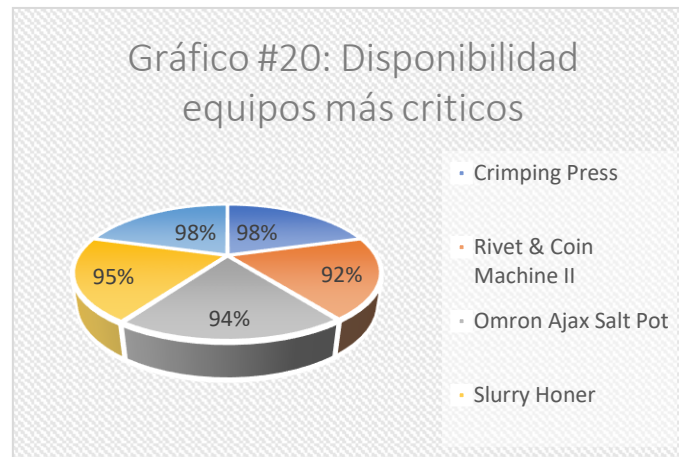


Gráfico 20: Disponibilidad equipos más críticos

En cuanto a las disponibilidades de los equipos después de la toma de datos, se puede observar que en la mayoría de ellos se presenta un aumento. Por ejemplo, en la *Rivet & Coin machine II* pasó de un 88 % en el Gráfico 15 a un 92 % en el Gráfico 20. Esto se debe a la disminución de la cantidad de fallas y horas *down* de las Rivet & Coin.

4.11 Algunas irregularidades presentadas en la data

Como se pudo observar en el Gráfico 16 y el Gráfico 17 se presentaron dos situaciones que se salieron del rango esperado (aumentaron) en comparación con la gráfica realizada con la *data* antes de la implementación de las estrategias. Estas situaciones son las de las: **Rivet & Coin agosto de 2022** y **Omron Ajax salt pot octubre 2022**, para esto, se realiza el análisis del porqué se salieron de control estas dos familias de equipos en estas fechas:

Rivet & Coin agosto de 2022

En agosto de 2022 para las Rivet & Coin se dieron fallos que se relacionan con las siguientes características:

- 30 % por algún ajuste de parámetros
- 25 % por tema de alineamiento
- 20 % por cambio del Coin
- 20 % por cambio del Rivet
- 5 % por problemas varios

Con base en los porcentajes anteriores y charlas con el personal de mantenimiento, uno de los factores que pudo influir en esta *irregularidad* fue el ingreso de nuevo personal de producción o cambio del personal de operación del equipo. Por lo tanto, en ese entonces se perdió al personal entrenado en el ajuste de parámetros. Además, otro motivo fue el envío de 3 técnicos de mantenimiento al extranjero por lo que el departamento quedó limitado y el tiempo de respuesta aumento.

Omron Ajax salt pot octubre 2022

En octubre de 2022 para Omron Ajax salt pot se dieron fallos que se relacionan con las siguientes características:

- 33 % por partes móviles pegadas
- 22 % por realizar *home*
- 11 % por cambio de termocupla
- 11 % por ajuste de sensor
- 5 % por rellenar agua del tanque
- 4 % por cambio de conector
- 4 % por algún problema en la tubería
- 3 % por cambio de algún relé
- 3 % por error en el eje z
- 2 % por caída de pieza
- 1 % por algún error en el eje x
- 1 % por cambio de abanico

- 1 % por cambio de algún fusible

En este mes de octubre se presentó una tendencia mayor en el mantenimiento correctivo *partes móviles pegadas* con un 33 % que equivale a 37 llamadas, comparándolo con la *data* antes de la implementación de las estrategias, se obtuvo una mayor cantidad de correctivos de 21 llamadas, por lo que se refleja una notable diferencia. Para los cuatro principales modos de falla de la lista anterior se plantearon estrategias descritas en la sección 4.6.1, lo que evidencia que la eficacia en esta implementación no fue tan efectiva este mes, por ejemplo, en la aplicación de los mantenimientos correctivos diarios y el mantenimiento de los sensores, también el ingreso de nuevo personal técnico pudo influir según las respuestas dadas por el Departamento de Mantenimiento.

4.12 Análisis económico

En el análisis económico que se planteó para el proyecto se contempla una serie de apartados para plasmar correctamente la idea en la parte del beneficio económico que se obtuvo en el proyecto y cómo se llegó hasta ahí. Para esto se tiene un estudio de mercado para valorar las alternativas a las inversiones que se tengan que realizar, un estudio técnico para evaluar los cambios que se deben contemplar y el estudio financiero donde se pueden observar mediante indicadores cuán factible económicamente es el proyecto.

Para obtener el total de la inversión inicial y los gastos asociados con la implementación de las estrategias se debe considerar una serie de puntos requeridos para la puesta en marcha:

- Materiales y repuestos necesarios para la implementación de las estrategias.
- Costo del tiempo para la capacitación de personal en las estrategias que lo requieran.

- Costo mano de obra para la puesta en marcha de las estrategias.
- Costo de mantenimiento preventivo extra en los equipos que lo requieran como parte de las estrategias.
- Cambio de diseño y elaboración en el dado de la *crimping press machine* en el taller de la empresa.

Los puntos anteriores tienen un costo asociado descrito en los siguientes apartados, el cual es necesario para establecer un correcto FNE (flujo neto de efectivo) para el proyecto.

4.12.1 Estudio de mercado (compra de repuestos)

Para el estudio de mercado se analizó junto con el Departamento de Mantenimiento dónde adquirir los repuestos y materiales necesarios para implementar las estrategias. McMaster fue el suplidor elegido debido a la facilidad que presenta la empresa para realizar las compras con este suplidor en el ámbito internacional.



Ilustración 8: McMaster
Fuente: McMaster (2022)-

A continuación, se detalla el total de compras que se realizó como parte de la inversión inicial del proyecto y la implementación de las estrategias que requirieron la compra de algún material o repuesto.

Tabla 28: Costos de materiales y repuestos			
Detalle		Precio	
Materiales termocontraíbles para proteger conexiones eléctricas	Salt pot estrategia 1	\$317.70	¢190.620,00
Termocupla para realizar plan piloto	Salt pot estrategia 4	\$1,605.00	¢963.000,00
Materiales termocontraíbles para proteger conexiones eléctricas	Slurry honer estrategia 1	\$317.70	¢190.620,00
Materiales termocontraíbles para proteger conexiones eléctricas	EP Station estrategia 1	\$317.70	¢190.620,00
Conectores resistentes a los químicos	EP Station estrategia 2	\$304.50	¢182.700,00
Total		\$2,862.60	¢1.717.560,00

Tabla 28: Costos de materiales y repuestos

4.12.2 Estudio técnico (implementación de las estrategias)

En la empresa se cuenta con personal técnico especializado en labores de mantenimiento correctivo y preventivo que, además, cuenta con amplia experiencia en el funcionamiento del área. Para el funcionamiento de las estrategias se requirió la ayuda de técnicos para poner en marcha las estrategias, brindar las capacitaciones, cambiar el diseño en el dado de la *crimping press* y ejecutar las labores de mantenimiento preventivo extra.

Tabla 29: Costos de implementación de estrategias	
Detalle	Inversión/implementación
Compra de materiales y repuestos	¢1.717.560,00
Capacitación Rivet & Coin Machine mensual	¢108.000,00
Capacitación <i>slurry honer</i> mensual	¢108.000,00
Puesta en marcha de las estrategias mensuales	¢240.000,00
Elaboración y diseño del dado	¢1.800.000,00
Aumento promedio en mantenimiento preventivo mensual	¢709.315,56
Total	¢4.682.875,56

Tabla 29: Costos implementación de las estrategias

El costo total de la inversión para la puesta en marcha de las estrategias es de **¢4.682.875,56**, pero a este monto se le debe restar el costo por mantenimiento preventivo extra,

el costo de las capacitaciones y la puesta en marcha, por lo que queda un total de **¢3.517.560,00**. Este costo cubre la compra de repuestos y materiales necesarios, así como el diseño del dado superior de las crimping press. El costo de las capacitaciones, implementación y aumento de mantenimiento correctivo se analiza como parte del FNE (flujo neto de efectivo) del proyecto donde se contempla como un gasto fijo mensual, el Apéndice A muestra lo explicado más detalladamente.

Tabla 30: Aumento promedio en mantenimientos preventivos	
Crimping press	¢76.466,67
Rivet & Coin Machine II	¢5.022,22
Omron Ajax Salt Pot	¢58.266,67
Slurry Honer	¢60.000,00
EP Station	¢509.560,00
Total	¢709.315,56

Tabla 30: Aumento promedio en aumento de mantenimiento preventivo

4.12.3 Ahorro en horas de mantenimiento correctivo

El resultado que más importancia representa en este trabajo es el ahorro en horas de mantenimiento correctivo, ya que si un equipo no se encuentra detenido está produciendo. Este resultado se refleja en la Tabla 31 donde se observa el valor total del ahorro en los cinco equipos durante los meses en que se pusieron en marcha las estrategias para mejorar el mantenimiento correctivo.

Tabla 31: Ganancia en ahorro de mantenimiento correctivo	
Detalle	Inversión/implementación
Ahorro en horas de correctivo mes 1	¢8.449.950,67
Ahorro en horas de correctivo mes 2	¢6.284.346,67
Ahorro en horas de correctivo mes 3	¢11.019.798,67
Ahorro en horas de correctivo mes 4	¢11.045.742,67
Ahorro en horas de correctivo mes 5	¢10.838.514,67
Total	¢47.638.353,33

Tabla 31: Ganancia en ahorro de correctivo

Para el análisis de costos se contempla un aumento del 4 % en el costo del mantenimiento preventivo para garantizar un valor más real. Estos ahorros reflejan la sumatoria de ahorro en horas de mantenimiento correctivo de cada equipo. Los equipos se ubican en un punto en específico del proceso, por lo que el valor del producto en ese punto varía según su avance final. Por lo tanto, el valor total reflejado en la Tabla 31 representa un ingreso que se obtuvo al reducir el mantenimiento correctivo y aumentar la producción en los cinco equipos analizados.

4.12.4 Estudio financiero

El estudio financiero realizado muestra los indicadores que se obtuvieron con los resultados obtenidos en los meses que se implementaron las estrategias. Para esto, se utilizó Microsoft Excel para generar el FNE (flujo neto de efectivo) donde se desglosa cada sección de gastos, ahorros e inversiones.

Tabla 32: Indicadores análisis financiero	
K	10.00 %
VNA	₡30.460.588,22
VAN	₡26.943.028
TIR	197 %
PR	1 mes
% de ganancia	766 %
ID	866 %

Tabla 32: Indicadores análisis financiero

En la Tabla 32 se muestran los indicadores de los resultados, que refleja datos aceptables para un proyecto de inversión. Esto se debe a que la inversión inicial no es tan alta y las ganancias son buenas en cada periodo analizado. Con un VAN de ₡26.943.028,22 y una TIR de 197 % el proyecto refleja que las estrategias fueron acertadas. También demuestra que el aumento en la producción representa un gran porcentaje de ganancia que anteriormente no se aprovechaba debido al exceso de mantenimiento correctivo que, sin embargo, no era

notorio por el gran volumen de producción, no obstante, sale a la luz con un análisis de esta índole.

4.12.5 Escenarios del proyecto

Para que el proyecto sea bien recibido se necesitan plantear escenarios donde se pueda observar qué pasa si las cosas salen de acuerdo con lo planeado, si mejoran o si, por el contrario, empeoran. Para esto, se tiene un escenario normal, uno pesimista y uno optimista.

La diferencia para el ahorro en mantenimiento correctivo varía un menos 20 % en el escenario pesimista y un más 20 % en el escenario optimista, un 15 % para el aumento en horas de mantenimiento preventivo y un 10 % para el costo de implementación.

Tabla 33: Resultados FNE proyecto

Escenarios Probabilidad	Pesimista 35 %	Normal 50 %	Optimista 15 %
Ahorro en mantenimiento correctivo mes 1	€6.759.960,53	€8.449.950,67	€10.139.940,80
Ahorro en mantenimiento correctivo mes 2	€5.027.477,33	€6.284.346,67	€7.541.216,00
Ahorro en mantenimiento correctivo mes 3	€8.815.838,93	€11.019.798,67	€13.223.758,40
Ahorro en mantenimiento correctivo mes 4	€8.836.594,13	€11.045.742,67	€13.254.891,20
Ahorro en mantenimiento correctivo mes 5	€8.670.811,73	€10.838.514,67	€13.006.217,60
Horas de mantenimiento preventivo	€815.712,89	€709.315,56	€602.918,22
Costo de implementación	€264.000,00	€240.000,00	€216.000,00
Escenarios	Pesimista	Normal	Optimista
VAN	19 199 584,89	26 943 028,22	34 455 183,36
TIR	147 %	197 %	247 %

Tabla 33: Resultados FNE

Mediante el uso de las funciones estadísticas de Microsoft Excel se obtiene un TIR (tasa interna de retorno) y un VAN (valor actual neto) para cada escenario del proyecto. Estos resultados logran asumir 3 desviaciones estándar, lo que evidencia una confianza del 99.74 %, lo que quiere decir que todavía en el escenario pesimista es un buen proyecto debido principalmente a su baja inversión inicial y su gran ganancia (ver FNE en los apéndices).

4.12.6 Supuestos

Para realizar el estudio económico se plantean algunas suposiciones que se enuncian a continuación:

- Las estrategias que se plantearon y que se implementaron como parte del plan piloto tienen respaldo histórico sobre la mejora de un antes y después, por lo que esa diferencia es la que se utiliza para calcular el ahorro y valor en el aumento de tiempo de producción en los equipos a los cuales se les implementó estas estrategias. Además, se estimó un aumento en un 4 % en los gastos totales que se generaron por cada periodo.
- Las cotizaciones y costos por mantenimiento preventivo son reales para el año 2022, ya que es cuando se comenzó con la implementación.

Capítulo V Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se establecen algunas conclusiones y recomendaciones determinadas a partir de los resultados del proyecto:

5.1 Conclusiones

El análisis de criticidad demostró cuáles equipos presentaban una criticidad más alta, en donde se evaluaron 19 familias de equipos de producción, lo que da como resultado 5 familias de equipos con una criticidad más alta que los demás. Estos equipos representan un 65.3 % del total de las horas *down* y un 72.5 % de órdenes de mantenimiento correctivo, por lo que el resultado del análisis fue el correcto.

En el análisis de modos y efectos de falla se demostraron las fallas con un NPR (Número de Prioridad de Riesgo) más elevado, en base a eso se logran establecer las estrategias más acertadas para contrarrestar las fallas que impactan más en cuanto a mantenimiento correctivo y horas *down* de la planta.

Se logró cumplir con el objetivo general del proyecto. En total se redujo un 31 % las horas *down* de los equipos y un 32.32 % la cantidad de falla (mantenimientos correctivos), sobrepasando el 20 % que se propuso para las dos variables de estudio.

Los indicadores propuestos demuestran una mejora en el tiempo de respuesta, por ejemplo, en la *crimping press* que fue el equipo de mayor criticidad, obtuvo un MTTR y un MTBF mucho mejor en un escenario de antes y después de la implementación de las estrategias.

El análisis financiero realizado demostró mediante los indicadores del VAN (valor actual neto) y la TIR (tasa interna de retorno) que el proyecto es muy viable, ya que la

inversión no es muy alta y el tiempo de recuperación de la inversión no es mucho. Además, se demostró que el valor del ahorro en las horas de mantenimiento correctivo supera los €10.000.000 prácticamente en los 5 meses en los que se implementaron las estrategias.

5.2 Recomendaciones

Es importante agregar las estrategias a la documentación y seguir utilizando tanto los repuestos como las medidas de protección para los equipos, ya que el periodo en que se implementaron fue de prueba y si se quieren mantener las mejoras se debe continuar con este proceso.

Se recomienda analizar este tipo con los datos más recientes para observar si los equipos más críticos se mantuvieron o cambiaron, así como sus modos de falla para plantear nuevas estrategias.

Es relevante tener en cuenta la totalidad de estrategias que se plantearon en la sección 4.6, para su evaluación y posterior implementación que por temas de logística y tiempo no se pudieron implementar, pero queda su análisis del porqué funcionaría su puesta en marcha.

Se recomienda implementar en el Departamento de Mantenimiento el sistema de indicadores propuesto. Lo anterior para observar qué tendencia maneja mes a mes los mantenimientos correctivos y así generar un proceso de mejora continua.

Capítulo VI Bibliografía

- Alvarado Verdín, V. M. (2015). *Ingeniería económica: nuevo enfoque*. Grupo Editorial Patria. <https://elibro.utn.elogim.com/es/ereader/biblioutn/39446?page=9>
- Baca, G. (2011). *Fundamentos de Ingeniería Económica* (4.^a ed.). McGraw-Hill.
- Boero, C. (2020). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor-Universitas. <https://elibro-net.ezproxy.utn.ac.cr/es/lc/biblioutn/titulos/172523>
- Campos, O.; Toletino, G. y Toledo, M. (2018). *Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos*. Instituto Politécnico Nacional 1 Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (Unidad Zacatenco). <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>
- Cruz Fernández, A. (2017). *Gestión de inventarios*. UF0476. IC Editorial. <https://elibro.utn.elogim.com/es/ereader/biblioutn/59186?page=121>
- Gallarà, I. y Pontelli, D. (2020). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor-Universitas. <https://elibro-net.ezproxy.utn.ac.cr/es/lc/biblioutn/titulos/172527>
- García Palencia, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial, Principios Fundamentales*. Ediciones de la U.
- González Ajuech, V. L. (2017). *Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales*. Grupo Editorial Patria. <https://elibro-net.ezproxy.utn.ac.cr/es/lc/biblioutn/titulos/40508>
- Guevara Betancourt, G. (2014). *Planificación e implementación del mantenimiento del equipo de superficie para bombeo hidráulico en la empresa Mkpservic Servicios*

Petroleros CÍA. LTDA. de la ciudad de Francisco de Orellana. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3132/1/25T00219.pdf>

Hurtado Paspuel, F. (2016). *Aplicación de la metodología Amfec (análisis de modos de fallas, efectos y criticidad), en una máquina sacheteadora de colágeno tipo vertical en el laboratorio farmacéutico Rocnarf, S. A.* Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18554/1/GERSSON%20ANTONIO%20HERNANDEZ%20JIMENEZ%20-%20TESIS.pdf>

Macián Martínez, V.; Tormos Martínez, B. y Lerma Peris, M. J. (2020). *Sistemas de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO): requerimientos y funcionalidades.* Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. <https://elibro-net.ezproxy.utn.ac.cr/es/lc/biblioutn/titulos/130030>

Navarro Elola, L. (2009). *Gestión integral de mantenimiento.* Marcombo. <https://elibro.utn.elogim.com/es/ereader/biblioutn/45905?page=40>

Oña García, V. (2017). *Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad del proceso operativo en el área de impresiones y su incidencia en la productividad de la empresa leterago del Ecuador, S. A.* Universidad Tecnológica Indoamérica. <http://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/678/1/TESIS%20O%c3%91A%20GARC%c3%8dA%20OSCAR%20VINICIO.pdf>

Otero, J. A.; Arcique, R. T. y Jiménez, D. M. (2010). *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad* (Vols. Tecnología, Ciencia, Educación, vol. 25, núm. 1). Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48215094003>

Padilla Castillo, A. (2014). *Elaboración de un plan mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de bypass para la empresa zona franca Celsia, S. A. E.S.P. de la ciudad de Barranquilla.* Universidad Autónoma del Caribe.
<http://repositorio.uac.edu.co/handle/123456789/810>

Torres Guevara, R. (2021). *Diseño de un sistema de monitoreo de modos de falla para transformadores poste, empleados en la red de distribución de la región Huetar (Caribe) del ICE (Cóncevas).* Instituto Tecnológico de Costa Rica.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/13251/TFG_Roberto_Guevara_Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Capítulo VII Anexos del proyecto

1. Form propuesto

Configuración de familias crimping press machine						
Nombre de familia	Gauge block 1 recomendado	Gauge block 2 recomendado	Gauge block 3 recomendado	Medida general	Marque con una x la configuración que se utiliza	Duración del cambio de familia
Familia 1						
Familia 2						
Familia 3						
Familia 4						
Familia 5						
Familia 6						
Familia 7						
Familia 8						
Familia 9						
Familia 10						

Copia controlada

2. Diseño del dado

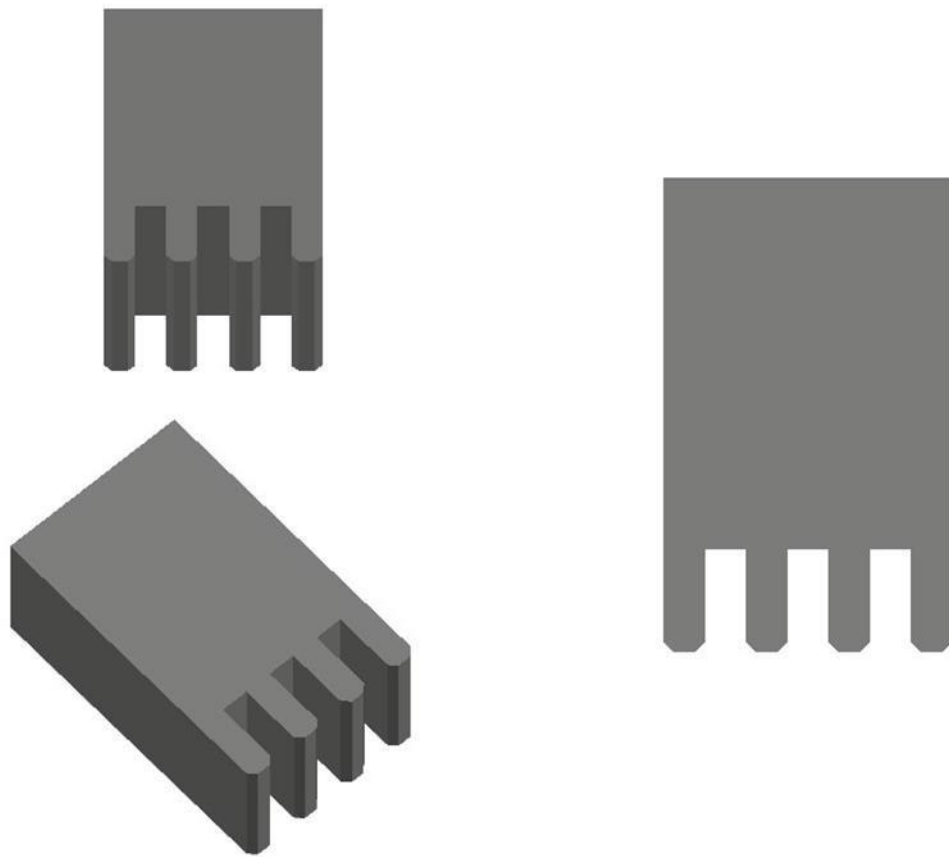


Ilustración 9 Diseño del dado propuesto

3. Cotizaciones



Ships in the morning

1	Heat-Shrink Tubing Black Refill Assortment, 0.09" ID Before Shrinking 7496K83	10 Packs of 5 each Order quantity totals 50	\$3.67 Pack	\$36.70
2	Black Heat-Shrink Tubing 0.19" ID Before Shrinking, 1/2 Feet Long 6363K211	10 Packs of 10 each Order quantity totals 100	\$6.92 Pack	\$69.20

Merchandise \$105.90
 Applicable shipping and tax will be added.

4. Cotizaciones



Ships in the morning

1	Thermocouple Probe for Liquids and Gases Armored Cable, Type J 39095K11	10 Each	\$53.56 Each	\$535.60
---	--	------------	-----------------	----------

Merchandise \$535.60
 Applicable shipping and tax will be added.

6. Cotizaciones




Ships in the morning

1	Alligator Clip	50	\$2.03	\$101.50
	Banana Jack Connection, 304 Stainless Steel, Red	Each	Each	
	7236K89			

Merchandise \$101.50

Applicable shipping and tax will be added.

7. Esquema de tareas preventivas

		ÁREA DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO					VERSIÓN: preliminar	
							FECHA VIGENCIA:	
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO								
CÓDIGO	PMC-01	PMO-02	PMO-03	PMO-04	PMS-05	PME-06	PME-07	
FECHA DE INICIO								
FECHA DE CULMINACIÓN								

UTILICE SIEMPRE LOS ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:



Código	Equipo	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	Frecuencia	EST.	INC.
PMC-01	Crimping press	Monitorear la velocidad y fuerza del impacto del crimpeo de los cilindros neumáticos del equipo, utilizar un manómetro calibrado para medir la presión y cerciorarse de que la velocidad de salida sea la correcta	Semanal		
PMO-02	Omron Ajax salt pot	Como parte de la tarea preventiva semanal, añadir la limpieza de los sensores en el equipo, específicamente los sensores de nivel del agua para que el equipo no sufra problemas por falta del líquido	Semanal		
PMO-03	Omron Ajax salt pot	Añadir una limpieza profunda de los abanicos como parte de la tarea preventiva bisemanal en el equipo para que estos no sufran problemas de sobrecalentamiento y desgaste producto de la sal	Bisemanal		
PMO-04	Omron Ajax salt pot	Realizar la limpieza y el ajuste en los sensores del equipo, los sensores de <i>clamshell</i> , los sensores de <i>home</i> , los de los ejes de los motores, para ayudar a eliminar los reinicios frecuentes en los equipos	Semanal		
PMS-05	Slurry honer	Revisar el estado de los roles de la bomba, sacar el cabezal, llevarlo al taller y darle su lubricación para evitar que se traben. Esta tarea debe hacerse en horario no operativo del equipo para no afectar producción	Semanal		
PME-06	EP Station	Realizar el cambio del alcohol en el horario en que el equipo no se encuentre en funcionamiento, cada periodo	Bisemanal		
PME-07	EP Station	Revisar que el rodete de la bomba no se encuentre congelado	Diaria		
OBSERVACIONES:					

Apéndices

Apéndice A: FNE normal

Tabla 34: FNE normal						
Periodos	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Ingreso por horas de producción recup.		€8.449.950,67	€6.284.346,67	€11.019.798,67	€11.045.742,67	€10.838.514,67
Costo de mantenimiento preventivo		€709.315,56	€737.688,18	€767.195,70	€797.883,53	€829.798,87
Costo implementación		€240.000,00	€240.000,00	€240.000,00	€240.000,00	€240.000,00
Capacitación		€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00
Utilidad		€7.392.635,11	€5.198.658,49	€9.904.602,96	€9.899.859,13	€9.660.715,79
Depreciación del equipo		€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00
Flujo neto efectivo operativo		€7.192.635,11	€4.998.658,49	€9.704.602,96	€9.699.859,13	€9.460.715,79
Inversión inicial	€ (3 517 560,00)					
Flujo neto efectivo	€ (3 517 560,00)	€7.192.635,11	€4.998.658,49	€9.704.602,96	€9.699.859,13	€9.460.715,79
FLUJO NETO ACUMULADO		€7.192.635,11	€12.191.293,60	€21.895.896,56	€31.595.755,70	€41.056.471,49
FLUJO NETO VALOR PRESENTE		€6.538.759,19	€4.131.122,72	€7.291.211,84	€6.625.134,30	€5.874.360,17
FLUJO NETO ACUMULADO PRESENTE		€6.538.759,19	€10.669.881,91	€17.961.093,75	€24.586.228,06	€30.460.588,22
K	10.00 %					
VNA	€30.460.588,22					
VAN	€26.943.028					
TIR	197 %					
PR	1 mes					
% de ganancia	766 %					
ID	866 %					

Tabla 34 FNE normal

Apéndice B: FNE pesimista

Tabla 35: FNE pesimista						
Periodos	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Ingreso por horas de producción recup.		€6.759.960,53	€5.027.477,33	€8.815.838,93	€8.836.594,13	€8.670.811,73
Costo de mantenimiento preventivo		€848.341,40	€882.275,06	€917.566,06	€954.268,71	€992.439,45
Costo implementación		€264.000,00	€264.000,00	€264.000,00	€264.000,00	€264.000,00
Capacitación		€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00
Utilidad		€5.539.619,13	€3.773.202,27	€7.526.272,87	€7.510.325,43	€7.306.372,28
Depreciación del equipo		€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00
Flujo neto efectivo operativo		€5.339.619,13	€3.573.202,27	€7.326.272,87	€7.310.325,43	€7.106.372,28
Inversión inicial	€ (3 517 560,00)					
Flujo neto efectivo	€ (3 517 560,00)	€5.339.619,13	€3.573.202,27	€7.326.272,87	€7.310.325,43	€7.106.372,28
FLUJO NETO ACUMULADO		€5.339.619,13	€8.912.821,40	€16.239.094,27	€23.549.419,70	€30.655.791,98
FLUJO NETO VALOR PRESENTE		€4.854.199,21	€2.953.059,73	€5.504.337,24	€4.993.050,63	€4.412.498,08
FLUJO NETO ACUMULADO PRESENTE		€4.854.199,21	€7.807.258,94	€13.311.596,18	€18.304.646,81	€22.717.144,89
K	10.00 %					
VNA	€22.717.144,89					
VAN	€19.199.585					
TIR	147 %					
PR	1 mes					
% de ganancia	546 %					
ID	646 %					

Tabla 35 FNE pesimista

Apéndice C: FNE optimista

Tabla 35: FNE optimista						
Periodos	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Ingreso por horas de producción recup.		€10.139.940,80	€7.541.216,00	€13.223.758,40	€13.254.891,20	€13.006.217,60
Costo de mantenimiento preventivo		€627.034,95	€652.116,35	€678.201,00	€705.329,04	€733.542,20
Costo implementación		€216.000,00	€216.000,00	€216.000,00	€216.000,00	€216.000,00
Capacitación		€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00	€108.000,00
Utilidad		€9.188.905,85	€6.565.099,65	€12.221.557,40	€12.225.562,16	€11.948.675,40
Depreciación del equipo		€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00	€200.000,00
Flujo neto efectivo operativo		€8.988.905,85	€6.365.099,65	€12.021.557,40	€12.025.562,16	€11.748.675,40
Inversión inicial	€ (3 517 560,00)					
Flujo neto efectivo	€ (3 517 560,00)	€8.988.905,85	€6.365.099,65	€12.021.557,40	€12.025.562,16	€11.748.675,40
FLUJO NETO ACUMULADO		€8.988.905,85	€15.354.005,50	€27.375.562,90	€39.401.125,05	€51.149.800,45
FLUJO NETO VALOR PRESENTE		€8.171.732,59	€5.260.412,93	€9.031.974,00	€8.213.620,76	€7.295.003,07
FLUJO NETO ACUMULADO PRESENTE		€8.171.732,59	€13.432.145,52	€22.464.119,53	€30.677.740,29	€37.972.743,36
K	10.00 %					
VNA	€37.972.743,36					
VAN	€34.455.183					
TIR	247 %					
PR	1 mes					
% de ganancia	980 %					
ID	1080 %					

Tabla 36 FNE optimista

Apéndice D: Entrevistas

Formulario de notas de la entrevista

: Confluent Medical Technologies : 15/02/2022 : 1:30 p. m.
 Nombre del entrevistado: Daniel Aguilar Quirós
 Puesto del entrevistado: Equipment technician lead Correo electrónico: daniel.aguilar@confluent medical.com

Pregunta n.º 1: ¿Cuáles equipos son los más incidentes en cuanto a mantenimientos correctivos?

-Salt pots

-Crimping press

-Slurry honer

Pregunta n.º 2: ¿De acuerdo con los equipos anteriores cuáles serían algunas de las fallas más recurrentes con base en su experiencia?

-Salt pots: Corrosión en conexiones eléctricas, sensores, motores, conectores

-Crimping press: daño debido al impacto, fisuras y quebraduras.

Pregunta n.º 3: ¿Cuáles cree usted que pueden ser algunos factores importantes que influyan en las fallas mencionadas?

-Salt pot, HREP: Contacto del equipo con los químicos y la sal

-Crimping press: Alto impacto del dado contra el nitinol

-Slurry honer: Contacto de las partes mecánicas con el líquido abrasivo

Pregunta n.º 4: ¿Cómo trataría de reducir el tiempo que se toma al atender una avería del mantenimiento?

-Promoviendo el análisis inicial de la falla

-Mejorando el *stock* de refacciones

-Mejora del plan de mantenimiento preventivo

Pregunta n.º 5: ¿Cuáles acciones se pueden tomar para tratar de contrarrestar la incidencia de las fallas o el tiempo en que se atiende la avería?

-Salt pot, HREP: Aislar componentes críticos que estén en contacto con los químicos

-Slurry honer: Aislar componentes críticos del líquido abrasivo

-Crimping press: Mejorar o agilizar el procedimiento para el cambio de dado

Salt pots: Aislar componentes que se puedan dañar por la corrosión de la sal.

Formulario de notas de la entrevista

: Confluent Medical
Technologies : 15/02/2022 : 2:30 p. m.

Nombre del

entrevistado: Jonathan Bonilla Vega

Correo

Puesto del Maintenance Documentation

electrónico

jonathan.bonilla@confluentmedical.

entrevistado: Clerk

:

com

Pregunta n.º 1: ¿Cuáles equipos son los más incidentes en cuanto a mantenimientos correctivos?

-Crimping press

-Rivet and Coin

Pregunta n.º 2: ¿De acuerdo con los equipos anteriores cuáles serían algunas de las fallas más recurrentes con base en su experiencia?

-Crimping press: problemática con los dados, ajustes del equipo para el cambio de familia (*set ups*)

-Rivet and Coin: ajustes, técnico, operario

Pregunta n.º 3: ¿Cuáles cree usted que pueden ser algunos factores importantes que influyan en las fallas mencionadas?

-Mejor entrenamiento del personal operativo y técnico

-Un mejor conocimiento del equipo por parte del personal que lo opera y le da mantenimiento

Pregunta n.º 4: ¿Cómo trataría de reducir el tiempo que se toma al atender una avería del mantenimiento?

-Mejor conocimiento de las averías y los ajustes (entrenamiento)

-Aplicando técnicas de mantenimiento predictivo

Pregunta n.º 5: ¿Cuáles acciones se pueden tomar para tratar de contrarrestar la incidencia de las fallas o el tiempo en que se atiende la avería?

-Mejora en el proceso

-Mejora en la operación

-Mantenimiento predictivo

-Mantenimiento preventivo

Formulario de notas de la entrevista

: Confluent Medical Technologies : 16/02/2022 : 2:00 p. m.
 Nombre del entrevistado: Luis Acevedo Salas
 Puesto del entrevistado: Equipment engineer : Correo electrónico luis.acevedo@confluentmedical.com

Pregunta n.º 1: ¿Cuáles equipos son los más incidentes en cuanto a mantenimientos correctivos?

-Crimping press

-Salt pot

-Slurry honer

Pregunta n.º 2: ¿De acuerdo con los equipos anteriores cuáles serían algunas de las fallas más recurrentes con base en su experiencia?

-Crimping press: Alineado, ajustes (*set ups*)

-Salt pots: Fallas por temperatura, calentamiento del agua y corrosión

-EP: Proceso (duración), conexión eléctrica

-Slurry honer: Problemas de desgaste, presión ejercida en los mandriles

Pregunta n.º 3: ¿Cuáles cree usted que pueden ser algunos factores importantes que influyan en las fallas mencionadas?

-Crimping press: calidad de los dados de formado, desgaste de los dados

-Salt pot: ambiente (exceso de sal)

-EP: contacto con el químico

-Slurry honer: Operativo

Pregunta n.º 4: ¿Cómo trataría de reducir el tiempo que se toma al atender una avería del mantenimiento?

-Mejorando el tiempo de entrega de bodega

-Repuestos que más se utilizan en el taller, para tener una respuesta más rápida a la falla presentada.

Pregunta n.º 5: ¿Cuáles acciones se pueden tomar para tratar de contrarrestar la incidencia de las fallas o el tiempo en que se atiende la avería?

-Slurry honer: Brindando más capacitación al operador y herramienta

-Crimping press: Material de los dados

-EP: Implementar materiales eléctricos resistentes al químico

Salt pots: Termocuplas más resistentes

Formulario de notas de la entrevista

: Confluent Medical Technologies : 15/02/2022 : 1:00 p. m.

Nombre del entrevistado: Willy Vílchez Altamirano

Puesto del entrevistado: Equipment Technician Correo electrónico: Willy.vilchez@confluentmedical.com

Pregunta n.º 1: ¿Cuáles equipos son los más incidentes en cuanto a mantenimientos correctivos?

-Crimping press

-Salt pots

-HERP

-Slurry honer

Pregunta n.º 2: ¿De acuerdo con los equipos anteriores cuáles serían algunas de las fallas más recurrentes con base en su experiencia?

-Crimping press: problemas con los dados (quebraduras)

-Salt pot: exceso de sal en el equipo, lo que provoca una serie de problemas característicos.

-HREP: problemas con la agitación, corrosión del sistema eléctrico

- Slurry honer: componentes obsoletos, problemas con el cableado eléctrico

Pregunta n.º 3: ¿Cuáles cree usted que pueden ser algunos factores importantes que influyan en las fallas mencionadas?

- Crimping press: material de los dados, malos ajustes (*set up*)
- Salt pot: Factor humano, piezas mojadas, salpicaduras de sal caliente
- HREP: Componentes expuestos al químico
- Slurry honer: Falta de actualizar componentes, cableado nuevo

Pregunta n.º 4: ¿Cómo trataría de reducir el tiempo que se toma al atender una avería del mantenimiento?

- Crimping press: desarrollar una mejora del proceso (automatización)
- Salt pot: manera de eliminar el agua de las piezas
- HREP: aisla: componentes electrónicos
- Slurry honer: Restauración de componentes del equipo

Pregunta n.º 5: ¿Cuáles acciones se pueden tomar para tratar de contrarrestar la incidencia de las fallas o el tiempo en que se atiende la avería?

- Mejoras del proceso
- Restauraciones
- Implementación de MI

Formulario de notas de la entrevista

:	Confluent Medical Technologies	:	15/02/2022	:	2:00 p. m.
Nombre del entrevistado:	Luis Salazar Alfaro	Correo electrónico:	Luis.salazar@confluentmedical.com		
Puesto del entrevistado:	Equipment Technician Lead				

Preguntas

Pregunta n.º 1: ¿Cuáles equipos son los más incidentes en cuanto a mantenimientos correctivos?

- Crimping press
- Salt pot
- Slurry honer

Pregunta n.º 2: ¿De acuerdo con los equipos anteriores cuáles serían algunas de las fallas más recurrentes con base en su experiencia?

-Crimmping press: dados dañados, quebrados, fisuras, deformaciones

-Salt pots: exceso de sal, problemas con los sensores, sensores del tanque de agua, conexiones eléctricas (deterioro), conectores de los motores.

Pregunta n.º 3: ¿Cuáles cree usted que pueden ser algunos factores importantes que influyan en las fallas mencionadas?

- Crimmping press: calidad de los dados de formado

-Salt pot: mantenimiento preventivo, exceso de sal en los componentes

Pregunta n.º 4: ¿Cómo trataría de reducir el tiempo que se toma al atender una avería del mantenimiento?

-Crimmping press: manteniendo un *stock* con dados rectificadas o nuevos, implementar un sistema de pines como las *crimmping* de TAA para agilizar el *set up* del equipo en el cambio de familia (guía).

-Salt pot: Analizar alguna manera de proteger los componentes de la sal, resguardar las conexiones.

Pregunta n.º 5: ¿Cuáles acciones se pueden tomar para tratar de contrarrestar la incidencia de las fallas o el tiempo en que se atiende la avería?

-Crimmping press: *stock* de dados, maneras de agilizar el *set up*

-Salt pot: Mantenimiento preventivo

Anexo III

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA USO Y MANEJO DE LOS TRABAJOS
FINALES

DE GRADUACIÓN UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

Página | 37

(Trabajo Individual)

Ciudad,

Fecha.

Señores/as

Vicerrectoría de Investigación. Sistema Integrado de Bibliotecas y Recursos Digitales

Estimados señores/as:

Yo Francisco Flores Molina portador (a) de la cédula de identidad número 609340956. En mi calidad de autor (a) del trabajo de graduación titulada:

Análisis causa raíz de los modos y efectos de falla más frecuentes en el área de componentes y su incidencia en la cantidad de fallas y horas de down on the machine en el campo Medical Technologies

El cual se presenta bajo la modalidad de, marque una opción:

Proyecto de Graduación

Tesis de Graduación

Presentado en la fecha 12 05 23 DIA/MES/AÑO, autorizo a la Universidad Técnica Nacional, sede central, para que mi trabajo pueda ser manejado de la siguiente manera:

Autorizo
Ver capítulo V, disposiciones finales, artículo 41 (O aquel que refiera a derechos patrimoniales)

Marque con una X o un ✓	
Conservación de ejemplares para préstamo y consulta física en biblioteca.	X
Inclusión en el catálogo digital del SIBIREDI (Cita catalográfica)	Página 38
Comunicación y divulgación a través del Repositorio Institucional	X
Resumen (Describe en forma breve el contenido del documento)	X
Consulta electrónica con texto protegido	X
Descarga electrónica del documento en texto completo protegido	X
Inclusión en bases de datos y sitios web que se encuentren en convenio con la Universidad Técnica Nacional contando con las mismas condiciones y limitaciones aquí establecidas.	X
Divulgación del resumen en el Repositorio UTN, con una cantidad de 200 a 500 palabras	X

Por otra parte, declaro que el trabajo que aquí presento es de plena autoría, es un esfuerzo realizado de forma personal, académica e intelectual con plenos elementos de originalidad y creatividad. Garantizo que no contiene citas, ni transcripciones de forma indebida que puedan devenir en plagio, pues se ha utilizado la normativa vigente de la American Psychological Association (APA). Las citas y transcripciones utilizadas se realizan en el marco de respeto a las obras de terceros. La responsabilidad directa en el diseño y presentación son de competencia exclusiva, por tanto, eximo de toda responsabilidad a la Universidad Técnica Nacional.

Consciente de que las autorizaciones no reprimen mis derechos patrimoniales como autor del trabajo. Confío en la que Universidad Técnica Nacional respete y haga respetar mis derechos de propiedad intelectual.

Firma del estudiante: Francisco Flores Molina

Cédula: 609390856

Día: 19 Mayo 2023