

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

SEDE CENTRAL

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

“Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela.”

Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Electromecánica

Keylin Chavarria Solano

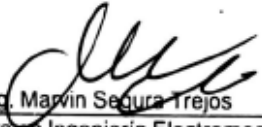
Alajuela, 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL

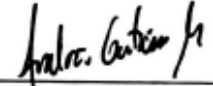


Acta de Aprobación 05-2025

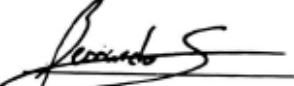
En la ciudad de Alajuela, a las dieciocho horas del día 8 del mes de agosto del año 2025 el Tribunal evaluador conformado por las personas: **ING. MARVIN SEGURA TREJOS**, **ING. CHARLIE ESPINOZA MATARRITA**, **ING. ANDRES ANTONIO GUTIEREZ MATA**, **ING. KAREN GUTIERREZ OCAMPO**, **ING. BERNARDO SANDOVAL RODRIGUEZ** proceden a evaluar la presentación del proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciado en Ingeniería Electromecánica la estudiante **Keylin Valeria Chavarría Solano**, identificación 117290952, titulado "Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket y ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela." 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.

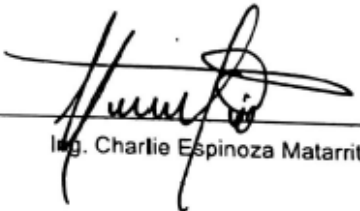

Ing. Marvin Segura Trejos


Director Licenciatura en Ingeniería Electromecánica y Lector


Ing. Andrés Antonio Gutiérrez Mata (tutor)


Keylin Valeria Chavarría Solano (Estudiante)


Ing. Bernardo Sandoval Rodríguez (Sector Industrial)


Ing. Charlie Espinoza Matarrita (Lector interno)


Ing. Karen Gutiérrez Ocampo (Lector externo)

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE
GRADUACIÓN**

Fecha: 08/08/2025

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **"Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela."**, elaborado por la estudiante **Keylin Valeria Chavarría Solano**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de **Licenciado en Ingeniería Electromecánica**.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.



Ing. Andrés Antonio Gutiérrez Mata
(Tutor)

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR INTERNO DEL TRABAJO
FINAL DE GRADUACIÓN**

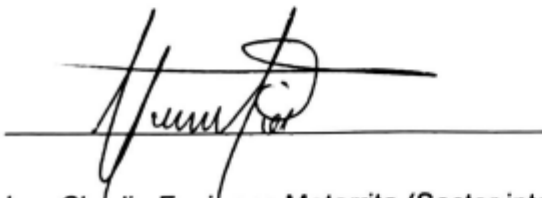
Fecha: 08/08/2025

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: **"Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela."**, elaborado por la estudiante **Keylin Valeria Chavarría Solano**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de **Licenciado en Ingeniería Electromecánica**.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.



Ing. Charlie Espinoza Matarrita (Sector interno)
(Lector interno)

**UNIVERSIDAD TECNICA NACIONAL LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR EXTERNO DEL TRABAJO
FINAL DE GRADUACIÓN**

Fecha: 08/08/2025

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: "**Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela.**", elaborado por la estudiante **Keylin Valeria Chavarría Solano**, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por el grado académico de **Licenciado en Ingeniería Electromecánica**.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su entrega ante el Comité de Trabajos Finales de Graduación.



Ing. Karen Gutiérrez Ocampo
(Lector externo)

UNIVERSIDAD TÉCNICA NACIONAL
LICENCIATURA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL FILÓLOGO
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

20 de julio de 2025

Señores miembros de la Comisión de Trabajo Final de Graduación

Estimados señores:

Leí y corregí el Trabajo Final de Graduación, denominado: "Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela." Elaborado por el estudiante: Keylin Valeria Chavarría Solano, optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Electromecánica.

Corregí el trabajo en aspectos, tales como: construcción de párrafos, vicios del lenguaje que se trasladan a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico, y desde ese punto de vista considero que está listo para ser presentado como Trabajo Final de Graduación; por cuanto cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Se suscribe cordialmente:

EDITH RAISSA
PIZARRO
ALFARO (FIRMA)



Firmado digitalmente por
EDITH RAISSA PIZARRO
ALFARO (FIRMA)
Fecha: 2025.07.20 09:21:01
-06'00'

Firma del filólogo

DECLARACIÓN JURADA

El suscrito, **Keylin Valeria Chavarría Solano** con cédula de identidad número **117290952**, 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 proyecto de graduación; 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: 21 de Julio 2025



Keylin Valeria Chavarría Solano

Estudiante

Dedicatoria

El presente proyecto se lo dedico a Dios y a todas las personas que han sido parte de mi formación personal y profesional.

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a Dios y la vida por permitirme culminar esta investigación. A mis papás y hermanos por el apoyo y motivación brindado en todo el proceso de estudio, sin ellos no lo hubiera logrado. A mi pareja, mis amigos y compañeros de la universidad por escucharme y aconsejarme para avanzar en el desarrollo de este trabajo.

También agradecer a mis tutores y lectores y cada una de las personas que me colaboraron con información y conocimiento de la empresa donde pude realizar esta investigación.

Índice General

Índice General.....	10
Índice de figuras.....	13
Índice de tablas.....	15
Índice de gráficos.....	17
Introducción.....	20
Capítulo I.....	21
1. Línea de partida del proyecto.....	21
1.1. Marco Situacional y Planteamiento del problema.....	21
1.2. Justificación.....	26
1.3. Alcance del proyecto.....	27
1.4. Estado de la cuestión.....	29
1.5. Preguntas de la investigación.....	34
1.5.2. Preguntas específicas.....	34
1.6. Objetivos.....	35
Capítulo II.....	36
2. Marco teórico.....	36
2.1. Manufactura de cables.....	36
2.2. Mantenimiento.....	37
2.3. Análisis económico.....	43
Capítulo III.....	46
3. Marco Metodológico.....	46
	10

Capítulo IV	51
4. Desarrollo de la propuesta	51
4.1. Definir	51
4.1.1. Definir para el proceso de <i>jacket</i>	52
4.1.2. Definir para el proceso de <i>ribbonizer</i>	57
4.2. Medir	61
4.2.1. Medir para el proceso de <i>jacket</i>	62
4.2.2. Medir para el proceso de <i>ribbonizer</i>	65
4.3. Analizar	70
4.3.1. Analizar para el proceso de <i>jacket</i>	71
4.3.2. Analizar para el proceso de <i>ribbonizer</i>	96
4.4. Implementar	115
4.4.1. Implementar para el proceso de <i>jacket</i>	116
4.4.2. Implementar para el proceso de <i>ribbonizer</i>	123
4.5. Controlar	131
4.5.1. Controlar para el proceso de <i>jacket</i>	132
4.5.2. Controlar para el proceso de <i>ribbonizer</i>	133
4.6. Análisis económico	138
4.6.1. Análisis económico para el proceso de <i>jacket</i>	138
4.6.2. Análisis económico para el proceso de <i>ribbonizer</i>	140
Capítulo V	143
5. Conclusiones y recomendaciones	143
5.1. Conclusiones	143

5.2. Recomendaciones	145
Referencias bibliográficas	146
Anexos	151

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo de proceso de <i>jacket</i>	53
Figura 2 Diagrama de CTQ de proceso de <i>jacket</i>	54
Figura 3 Diagrama de flujo de proceso de <i>ribbonizer</i>	58
Figura 4 Diagrama de CTQ de proceso de <i>ribbonizer</i>	59
Figura 5 Ishikawa para determinar la causa raíz de las máquinas del proceso de <i>jacket</i>	73
Figura 6 Distribución actual de los ductos de extracción de gases de las máquinas de <i>ribbonizer</i> a enero 2025	97
Figura 7 Ishikawa para determinar la causa raíz de las máquinas del proceso de <i>ribbonizer</i>	98
Figura 8 Propuesta de interfaz para el cálculo de temperatura y velocidad de los parámetros de la extrusora	123
Figura 9 Ubicación del sensor AVT-D-R.....	124
Figura 10 Apariencia final del sensor AVT-D-R	125
Figura 11 Base negra para el sensor AVT-D-R	125
Figura 12 Sensor AVT-D-R desconectado.....	126
Figura 13 Partes por limpiar del sensor AVT-D-R.....	126
Figura 14 Dirección del flujo de aire del sensor AVT-D-R.....	127
Figura 15 Bomba de dispensado de químico.....	128
Figura 16 Sistema de extracción de gases para una máquina de <i>ribbonizer</i> actual	130
Figura 17 Propuesta de actualización de la altura a la cual se ubica el damper del sistema de extracción de gases.....	131
Figura 18 Vista propuesta para añadir al plano del sistema de extracción de gases.	136
Figura 19 Sección de limpieza del manual del sensor AVT-D-R.....	151

Figura 20 Aceptación de mangueras PVC para uso con químicos 152

Índice de tablas

Tabla 1 Variables del proyecto	48
Tabla 2 SIPOC para el proceso de <i>jacket</i>	52
Tabla 3 Características electromecánicas del proceso de las máquinas del proceso de <i>jacket</i>	57
Tabla 4 SIPOC para el proceso de <i>ribbonizer</i>	58
Tabla 5 Características electromecánicas del proceso de las máquinas del proceso de <i>ribbonizer</i>	61
Tabla 6 Características electromecánicas del proceso de las máquinas del proceso de <i>jacket</i>	72
Tabla 7 porcentaje de R^2 con regresión lineal y regresión cuadrática para cada una de las áreas de temperatura y la velocidad del tornillo en comparación con el MFI en ordenes de producción con paros no programados relacionados a atasco de material	78
Tabla 8 Porcentaje de R^2 con regresión lineal y regresión cuadrática para cada una de las áreas de temperatura y la velocidad del tornillo en comparación con el MFI en ordenes de producción sin paros no programados relacionados a atasco de material.....	83
Tabla 9 Tabla resumen del porcentaje de R^2 con regresión cuadrática para cada una de las áreas de temperatura y la velocidad del tornillo en comparación con el MFI en órdenes de producción con y sin paros no programados relacionados a atasco de material	88
Tabla 10 Mediciones de metros por segundo durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	109
Tabla 11 Histograma durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	110
Tabla 12 Mediciones de temperatura durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.....	111
Tabla 13 P-Value para la comparación de las mediciones de flujo y temperatura por máquina recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	112

Tabla 14 Ecuaciones para determina el valor de las características en el proceso de extrusión de acuerdo con el valor de MFI	121
Tabla 15 Resumen del valor de las características en el proceso de extrusión para un valor de 0.804 y 0.826 de MFI.....	121
Tabla 16 Temperaturas de la hoja de procesos para la extrusora del proceso de <i>jacket</i>	122
Tabla 17 Valor de VAN para la propuesta de mejora en la extrusora	139
Tabla 18 Valor de VAN para las propuestas de mejora en las máquinas del proceso de <i>ribbonizer</i>	142

Índice de gráficos

Gráfico 1 Tiempo de paro por tipo de orden en los tickets de los técnicos para el proceso de <i>jacket</i> durante diciembre 2023 y I semestre 2024.....	62
Gráfico 2 Tiempo de paro por tipo de orden en los tickets de los técnicos para el proceso de <i>jacket</i> durante diciembre 2023 y I semestre 2024.....	63
Gráfico 3 Gráfico de Pareto del detalle de la cantidad de tiempo de paro no planeado por causa específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024	64
Gráfico 4 Tiempo de paro por tipo de orden en los tickets de los técnicos para el proceso de <i>ribbonizer</i> durante diciembre 2023 y I semestre 2024	66
Gráfico 5 Diagrama de Pareto de la cantidad de tiempo de paro no planeado por equipo con averías reportadas en el proceso de <i>ribbonizer</i> durante diciembre 2023 y I semestre 2024	67
Gráfico 6 Gráfico de Pareto del detalle de la cantidad de tiempo de paro no planeado por causa específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024	69
Gráfico 7 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la cabeza con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados	80
Gráfico 8 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la velocidad del tornillo con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados	80
Gráfico 9 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 1 con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados.....	81
Gráfico 10 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 2 con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados.....	81
Gráfico 11 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 3 con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados.....	82

Gráfico 12 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la abrazadera con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados	82
Gráfico 13 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la matriz con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados	83
Gráfico 14 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la cabeza con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	85
Gráfico 15 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la velocidad del tornillo con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	85
Gráfico 16 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 1 con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	86
Gráfico 17 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 2 con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	86
Gráfico 18 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 3 con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	87
Gráfico 19 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la abrazadera con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	87
Gráfico 20 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la matriz con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados	88
Gráfico 21 Cantidad de tiempo de paro en espera comparado con la cantidad de tiempo de paro en reparación específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024	93
Gráfico 22 Cantidad de tiempo de paro en espera comparado con la cantidad de tiempo de paro en reparación específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024	107
Gráfico 23 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de flujo de la máquina 1 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	113

Gráfico 24 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de flujo de la máquina 2 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	113
Gráfico 25 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de temperatura de la máquina 1 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	114
Gráfico 26 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de temperatura de la máquina 1 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.	114
Gráfico 27 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la cabeza de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	117
Gráfico 28 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la velocidad del tornillo de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	117
Gráfico 29 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la zona 1 de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	118
Gráfico 30 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la zona 2 de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	118
Gráfico 31 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la zona 3 de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	119
Gráfico 32 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la abrazadera de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	119
Gráfico 33 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la matriz de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.	120

Introducción

Este trabajo de investigación se plantea desarrollar en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela, Costa Rica. Se cuenta con un área productiva del proceso de extrusión, esto involucra los procesos de *jacket* y *ribbonizer*, que consisten respectivamente en la extrusión de PVC alrededor de un grupo de hilos conductores de electricidad y la unión longitudinal de varios de estos cables de manera que se adhieran entre ellos formando una cinta o faja.

La investigación consistirá en el análisis de las fallas que generan los tiempos de paro no planeados en las máquinas de los procesos de *jacket* (en español recubrimiento, de ahora en adelante *jacket*) y *ribbonizer* (en español encintado, de ahora en adelante *ribbonizer*) que generan problemas de calidad en el producto. Los datos que se pueden recopilar y analizar, se obtienen directamente de la información que proveen los técnicos por medio de las notas y reporte de cantidad de horas de tiempos de paro al ajustar la máquina para solucionar estas no conformidades.

Se plantea realizar toda la investigación apegada a la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC), ya que según (Ríos et al., 2016) es un método que se acopla al problema que se desea estudiar y que provee las herramientas para los pasos de acuerdo con el cronograma que se deben seguir para el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, se analizarán desde varios ámbitos los factores que pueden verse afectados por los tiempos de paro por fallas en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer*, generando de esta forma una problemática desde el ámbito social, económico, ambiental, legal y tecnológico.

Capítulo I

1. Línea de partida del proyecto

1.1. Marco Situacional y Planteamiento del problema

Título:

Análisis de los tiempos de paro por fallas de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para manufactura de cable durante el III cuatrimestre 2024 y I cuatrimestre 2025 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela.

Línea de investigación:

Manufactura

Área temática:

Manufactura de cables para ensamblados utilizados en servidores.

Tema de investigación:

Fallas en los equipos.

Objeto de estudio:

El efecto de los tiempos de paro por fallas en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* sobre el tiempo disponible del equipo en diciembre 2023 y I semestre 2024 en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela.

Situación Problemática:

Con los avances tecnológicos que se han visto recientemente, tener información de forma rápida y precisa se vuelve fundamental para las operaciones de la mayoría de las empresas y personas que proveen o buscan servicios de cualquier tipo, por lo que el estado óptimo y sin fallas de los servidores se vuelve crítico en esta cuarta revolución industrial a que se enfrenta actualmente la población de acuerdo con (Bonilla, 2023). Esta investigación va dirigida hacia la manufactura de cables en fajas. La aplicación final del cable se da en una compañía de tecnología multinacional en el área de centros de datos que tienen como ubicación países como EE. UU., Reino Unido, China, India y Japón. De acuerdo con (Google, 2024) y (Fernández, 2024), los centros de datos o servidores son instalaciones

físicas que hacen una relación software-hardware donde muchas organizaciones almacenan las aplicaciones, datos críticos y pueden mantener la Internet funcionando por medio de una instalación física de diversos equipos, ubicados en múltiples partes del mundo y en el cual, para 2021 cada usuario genera alrededor de 1,7 Mb de datos cada segundo, lo que globalmente se traduce como 28000 suscriptores viendo contenido en Netflix, 695000 historias compartidas en Instagram, 9132 conexiones hechas en LinkedIn, 69000000 de mensajes enviados en WhatsApp, 5000 descargas en TikTok, 500 horas de videos subidos a YouTube, 197.6 millones de emails enviados, 2 millones de conexiones en Tinder, 2 millones de visualizaciones en Twitch y 1.6 millones de dólares en compras online de acuerdo con (Winder, 2024).

La función de este cable es transmitir la información de todo tipo de documentos, ya sean fotos, pdf, archivos de office, videos; esto es posible gracias a la información que proporciona el cable al orientar la señal. Este cable se encarga de transmitir las señales que direccionan un sistema óptico que consiste en dos filas paralelas de tres espejos cada una, creando varias posibles comparaciones entre ellas para transmitir la señal de una de las tres entradas hacia una de las tres salidas.

Con respecto al impacto que puede tener el mal funcionamiento o fallo del cable, se puede considerar la velocidad de la navegación, de acuerdo con (G. Pérez, 2023), si una página de internet carga lentamente (una reducción de 500 milisegundos más de lo normal), en 3 segundos se pierden hasta el 45% de los visitantes. Estos servidores y la cinta de cables cuentan con sistemas de redundancia, por lo tanto, si la señal no puede llegar por el camino primario, lo hace por un camino secundario. Debido a esto, muy difícil que se ocasione un fallo total en la conectividad y transferencia de datos y siendo el mayor riesgo que puede experimentar el consumidor final la disminución de la velocidad entre su búsqueda y los resultados posibles y el cliente directo pierda los visitantes de los sitios que se visitan.

A sabiendas de la importancia de la problemática vista en los consumidores, la empresa de manufactura de dispositivos electrónicos, incluyendo esta faja de cables, se compromete a cumplir con altos estándares de calidad para evitar que los dispositivos que se crean puedan fallar y ocasionar algún problema para los consumidores. Para manufacturar este cable, es necesario tener un cable preensamblado, al que se le va a colocar el *jacket* o aislante térmico/eléctrico y protector y luego se va a formar la faja de cables en el proceso de *ribbonizer*. El proceso de *jacket* consiste en una línea automatizada de producción, en la cual se coloca el cable preensamblado en la línea extrusión; se colocan bolitas PVC (polyvinyl chloride por su término en inglés o cloruro de polivinilo, de ahora en adelante PVC), en una tolva en la que se precalienta el material, luego pasa a un tornillo sin fin en el que se calienta progresivamente hasta derretir las bolitas PVC, presurizarlo y hacerlo salir por una boquilla en forma circular; el cable con el *jacket* pasa por agua a temperaturas controladas y en recirculación para enfriar el PVC y mantener la forma adecuada; posteriormente pasa por un sistema de identificación de variaciones de diámetro, de forma que si se encuentra fuera de las especificaciones se procede a descartar el material defectuoso; también se le realizan pruebas eléctricas para descartar falta de aislante PVC y que se cumplan con las características eléctricas adecuadas; finalmente pasa al sistema de poleas para enrollar el cable y no generar cuellos de botella y finalmente se enrolla en una carrucha que cuenta con movimiento rotativo sobre su propio eje y longitudinal para un enrollado correcto. El material debe dejarse en reposo una cantidad determinada de tiempo para luego pasar al proceso de *ribbonizer*, en el cual se hace una configuración de cables de acuerdo con la cantidad de cables que requiera la faja por manufacturar; se procede a alinearlos por medio de un sistema de elementos mecánicos; una vez en posición, una bomba centrífuga provee tetrahidrofurano por goteo que reacciona con el calor previsto por una serie de resistencias para unir los cables de manera que formen una faja; luego pasa por un sistema de limpieza y finalmente es enrollado en una carrucha.

La empresa manufacturera cuenta con diferentes políticas internas y certificaciones reconocidas internacionalmente que ayudan o potencian el cumplimiento de los requisitos de los clientes. Algunas de estas certificaciones son ISO 9001 (Sistemas de gestión de calidad), ISO 50001 (Sistema de gestión energética), Bandera Azul Ecológica, Esencial Costa Rica, entre otras. Por ejemplo, la certificación ISO 9001, provee una dirección para la empresa para mejorar el desempeño y promover bases para un desarrollo sostenible de la calidad. Es por lo que los problemas de calidad se vuelven de gran importancia para la compañía. Otro ejemplo es el impacto ambiental, que de acuerdo con la certificación ISO 50001, los consumos innecesarios de energía, repuestos, material prima, material de desecho y componentes de las máquinas que sean poco eficientes o generen múltiples problemas de calidad, pueden llegar a demostrar la poca capacidad de la empresa de gestión energética. Los cables que se fabrican individualmente y las fajas de cables ensambladas se fabrican bajo los estándares de UL 758 y no cumplir con las características necesarias e impactar de manera negativa en los resultados de las auditorías.

Adicionalmente, con respecto al impacto ecológico, se debe tomar en cuenta que los cables fabricados individualmente y las fajas cables que se fabrican en las máquinas de *ribbonizer* utilizan materiales como cobre, PVC y diversos químicos que son necesarios para el funcionamiento y activación de ciertas propiedades de las materias primas, por lo que el impacto ambiental puede durar años, ya que el PVC no se puede reutilizar y tarda hasta 1000 años en descomponerse. En Costa Rica se desechan 550 toneladas de plástico diariamente, de acuerdo con un estudio de (Grajales Navarrete, 2018), los químicos son potenciales contaminantes al ambiente y requieren de tratamientos especiales y finalmente el cobre que puede o no ser reutilizado por proveedores externos. Durante el IV trimestre 2023 y I trimestre 2024, se contabilizan 335638 metros de cables desechados por problemas relacionados a la calidad.

Esta empresa multinacional, cuenta con más de 1000 personas obreras y para el 2025 se tiene planeado contratar 250 personas adicionales, esto gracias a nuevos procesos

y la ampliación de la cantidad de producción, entre ellos de cables que pasan por los procesos de *jacket* y *ribbonizer* y que pueden significar cuellos de botella al no tener la capacidad adecuada. En Costa Rica el 7.9% de las personas en edad y condiciones de trabajar se encuentran desempleadas según un censo del INEC del 2024 del (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 2024), por lo que el recorte de personal o cierre de la empresa aumentaría estos números.

1.2. Justificación

Los tiempos de paro en la industria manufacturera tienen repercusiones negativas en los aspectos económicos, ya que son tiempos que no se puede producir material para la venta. Esto, ligado con el no cumplimiento de los requisitos de calidad como mayor causante de tiempos muertos, permite desarrollar investigaciones interdisciplinarias con soluciones en el ámbito de la electromecánica.

La reducción de costos de manufactura y desechos pueden ser significativos de acuerdo con los 335 638 metros de cable desechado y las 897 horas muertas no planeadas de las máquinas *ribbonizer* y 2 600 horas de paro no planeado en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer*, presentan un elevado costo económico de aproximadamente \$1 375 000 semestralmente.

La competitividad de las empresas hoy en día es alta, por lo que utilizar metodologías como Seis Sigma para el análisis de este problema, puede representar una diferencia con las competencias y puede generar beneficios como asegurar la calidad, sostenibilidad, reducir la variabilidad de los procesos e identificar y eliminar fuentes de desperdicios porque se busca perfeccionar los procesos.

Con este proyecto se pretende proponer posibles soluciones que reduzcan los tiempos muertos y cantidad de material defectuoso en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer*, para poder brindar un producto de mejor calidad y tiempo de entrega al reducir los paros no planeados y su costo.

1.3. Alcance del proyecto

En esta investigación se pretende analizar los datos de los 3 turnos (turno 1: lunes a sábado de 6:00 am a 2:00pm; turno 2: lunes a sábado de 2:00 pm a 10:00 pm y turno 3 de domingo a viernes de 10:00 pm a 6:00 am) de diciembre 2023, I semestre 2024, ya que, a partir de diciembre de 2023 se comienzan a recopilar los datos necesarios para esta investigación en las líneas de *jacket*. Adicionalmente, en el área de extrusión se ubican dos líneas de extrusión de *jacket*, de las cuales se van a analizar los datos recopilados de todas de ellas y dos máquinas de *ribbonizer*.

Los tiempos muertos no planeados de las líneas de *jacket* y *ribbonizer* se planean analizar para identificar las causas de estos y delimitar la cantidad de condiciones de la máquina por estudiar.

El alcance de este trabajo de investigación abarca las siguientes actividades:

- Recopilación de la información de los tiempos de paro no planeados de las líneas de *jacket* y *ribbonizer* durante los tres turnos de producción por medio de la información de las intervenciones de los técnicos a la máquina y el reporte de disponibilidad de las líneas.
- Análisis de los datos de los tiempos de paro no planeados y delimitación de la cantidad de categorías que se deben estudiar por medio de la tasa promedio de finalización de reparación por causas.
- Determinación la causa raíz de los tiempos de paro las máquinas de *jacket* y *ribbonizer* por medio de diagramas de espina de pescado, usando como base la información de ajustes y cambios anotados por los técnicos para cada tiquete.
- Establecimiento de propuestas de solución ingenieriles para las causas de horas de paro no planeadas de la máquina de *ribbonizer* acorde con la causa raíz y las alternativas electromecánicas aplicables.
- De acuerdo con las soluciones propuestas, realizar los cálculos necesarios y pruebas de piso para evaluar el posible impacto de estas por medio del MTBF

(Mean Time Between Failure por sus siglas en inglés o Tiempo Medio Entre Fallas, de ahora en adelante MTBF) y MTTR (Mean Time To Repair por sus siglas en inglés o Tiempo Medio Para Reparar, de ahora en adelante MTTR).

- Estimar el tiempo de disponibilidad propuesto de las máquinas de acuerdo con los tiempos planeados por mantenimientos preventivos y la cantidad de tiempo definido que pueden ser utilizadas las máquinas.
- Análisis de relación entre la disponibilidad actual de las máquinas con respecto a la disponibilidad estimada y planeada de acuerdo con las soluciones propuestas para comprobar el impacto que pueden tener las posibles soluciones planteadas con respecto a la situación actual de las máquinas.
- Realizar un análisis económico del costo-beneficio de la propuesta electromecánica con respecto al costo actual de los tiempos de paro no planeado para la evaluación del impacto económico (análisis de retorno de la inversión).

El alcance de esta investigación no contempla la implementación de alguna de las propuestas electromecánicas en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer*, debido a que el financiamiento sería 100% por parte de la empresa fabricante de componentes electrónicos. Sin embargo, se puede comprobar el impacto de las propuestas por medio de los cálculos explicados de manera general en el desarrollo del alcance del anteproyecto.

1.4. Estado de la cuestión

Referencia #1

Fernández, E. (2020). *Estudio de llenado de la matriz en procesos de extrusión por elementos finitos*. [Trabajo fin de grado en Ingeniería Aeroespacial]. Universidad de Sevilla.

<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/105006/TFG-3139-FERNANDEZ%20CAMACHO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Resumen:

El trabajo de (Fernández Camacho, 2020) se centra en el proceso de llenado de moldes por medio de procesos de extrusión, el análisis de las fuerzas que se ven envueltas en los procesos mecánicos y los diversos mecanismos que se evalúan en el desarrollo del trabajo. Adicionalmente se hacen simulaciones relacionando la velocidad, deformaciones y ángulos de algunos de los componentes necesarios para este proceso

Uso en el TFG:

Para la investigación que se desea desarrollar, se planea investigar el proceso de *jacket* o extrusión de plástico. Estos cables provienen del proceso de extrusión, por lo que entender de manera correcta el funcionamiento de este proceso, brinda bases para entender las características del producto que se está recibiendo para este proceso por estudiar.

Referencia #2

Flores, F. (2023). *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* [Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica]. Universidad

Técnica Nacional. <https://repositorio.utn.ac.cr/items/18bf51b3-cde5-4c61-be7f-7d1b637dbc33>

Resumen:

El proyecto de (Flores Molina, 2023) referenciado se centra en mejorar la eficiencia y confiabilidad de los equipos utilizados en la producción de dispositivos médicos a través de un análisis exhaustivo de las causas raíz de las fallas de los equipos más frecuentes y relacionadas a mantenimiento en los equipos críticos.

Uso en el TFG:

Para el presente trabajo de graduación, se pretende analizar los tiempos muertos relacionados únicamente a los problemas de calidad para identificar una causa raíz y posibles soluciones, por lo que la metodología DMAIC usada en el proyecto de Flores presenta una gran ayuda al tener un ejemplo claro de cómo aplicar la metodología.

Referencia #3

Morales, J. (2023). *Estudio técnico financiero de los resultados de integrar generación distribuida a la red eléctrica de JASEC mediante modelado y simulación en ETAP* [Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado académico de Licenciatura en Mantenimiento Industrial] Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14959>

Resumen:

El proyecto de (Morales Hernández, 2023) realiza un exhaustivo análisis económico acerca de integrar diversas mejoras en una red eléctrica, incluyendo desde la recolección de datos, hasta la simulación de los flujos de potencia.

Uso en el TFG:

El análisis financiero realizado en el proyecto de Morales funciona como una guía base para obtener el impacto económico que se puede generar por la propuesta generada de acuerdo con la información obtenida como resultado de la investigación de los tiempos de paro por problemas de calidad.

Referencia #4

Bisante, N., Negro, E. (2022). *Reestructuración de los sistemas productivos de empresa metalúrgica* [Trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado

académico de Ingeniería Electromecánica]. Universidad Tecnológica Nacional.
<https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/7038>

Resumen:

Según (Bisante & Negro, 2022), se busca mejorar los procesos productivos, de seguridad e higiene, y de manejo de materiales, mediante el cálculo y diseño de las máquinas y sistemas de transporte, manejo y fabricación, con el estudio, análisis, propuesta y validación de un diseño de la disposición de estos equipos y ahonda en temas como la materia prima, productos semielaborados y finales.

Uso en el TFG:

Como se puede determinar por el alcance del presente proyecto de investigación, tener referencias que se relacionen con la mejora de procesos productivos, diseño de máquinas y fabricación, manejo de materias primas y productos en las líneas, se pueden utilizar como guías para plantear posibles soluciones para esta investigación.

Referencia #5

Villegas, J. (2023). *Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica durante el periodo 2021-2022*. [Trabajo Final de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería en Procesos de Calidad]. Universidad Técnica Nacional.
<https://repositorio.utn.ac.cr/items/90d6bac6-a647-4d3c-aca5-28919427c59a>

Resumen:

Como se evidencia el proyecto de (Villegas Vega, 2023), se desarrollan puntos muy interesantes del proceso de extrusión y se realiza un análisis muy completo para la propuesta de soluciones para reducir el desperdicio de material prima.

Uso en el TFG:

La información que se puede obtener del proyecto de Villegas puede impactar con ideas innovadoras para la aplicación por estudiar al estar relacionados con los procesos de extrusión. Adicionalmente, se aplica una investigación de tipo DMAIC que funciona como

base para la metodología que se puede desarrollar en esta investigación y utiliza herramientas como el diagrama de Pareto, análisis causa raíz y 5 porqués.

Referencia #6

Villegas, B. (2021). *Implementación de un modelo de detección de fallas en sistemas fotovoltaicos para el Laboratorio de investigación de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad*. [Proyecto de Graduación para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica]. Tecnológico de Costa Rica.

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13988>

Resumen:

El trabajo de (Villegas Soto, 2021) estudia una variedad de elementos y técnicas posibles para la detección de fallas en sistemas fotovoltaicos por medio de programaciones y componentes del sistema que presentan datos para la evaluación, análisis y toma de decisiones con respecto a estas.

Uso en el TFG:

Se conoce que actualmente las máquinas de *jacket* y *ribbonizer* no tienen un sistema de detección de fallas robusto, por lo que el proyecto de Villegas demuestra una excelente referencia para la propuesta de detección de fallas en el presente proyecto en caso de ser necesario.

Referencia #7

Colás, A. (2021). *Automatización de un proceso de fabricación flexible utilizando un robot colaborativo*. [Trabajo fin de grado]. Escuela Politécnica La Almunia.

<https://zaguan.unizar.es/record/107512/files/TAZ-TFG-2021-3770.pdf>

Resumen:

El trabajo de (Colás Fraile, 2021) se enfoca en la transformación de un proceso de fabricación a tecnologías de acuerdo con la cuarta revolución industrial, que faciliten la fabricación flexible por medios automatizados y costos económicos bajos, creando posibles soluciones para los consumidores y facilidades para los operarios.

Uso en el TFG:

La investigación que presenta (Colás Fraile, 2021) presenta propuestas alternativas ligadas a la cuarta revolución industrial, donde se puede observar las diversas técnicas y aportes que se realizan y podrían ser de utilidad para presentar la propuesta para disminuir el impacto de los tiempos muertos por problemas de calidad, adicionalmente, la interacción del usuario-PLC-robot puede ser de utilizadas para la elaboración de esta investigación.

Referencia #8

Castillo, J., Panadero, J. (2020). *Virtualización de servicios, respaldo y monitorización. Del CPD clásico a la infraestructura componible y la hibridación de servicios*. [Trabajo final de graduación para optar por el grado de Ingeniería Informática]. Escuela de administración de redes y sistemas operativos. Universidad Oberta de Catalunya. <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/116626/7/jperezmosTFG0620memoria.pdf>

Resumen:

El trabajo de Castillo estudia necesidades y desempeño de los servicios que proveen los centros de datos, el uso de plataformas, el rendimiento y la disponibilidad de los servicios con respecto a los requerimientos solicitados y modificaciones que se le deben realizar a los sistemas para mejorar el funcionamiento.

Uso en el TFG:

Los cables que se manufacturan la máquina de *jacket* y *ribbonizer* estudiada en este trabajo de investigación, tienen la aplicación final en servidores, por lo que para lograr entender mejor estos sistemas se puede utilizar el trabajo de (Moscoso, 2020) como referencia del funcionamiento de los centros de datos en general.

1.5. Preguntas de la investigación

1.5.1. Pregunta general

¿Los tiempos de paro en las máquinas de los procesos de *ribbonizer* y *jacket* impactan de forma negativa en el tiempo disponible de las máquinas?

1.5.2. Preguntas específicas

- ¿La mayor cantidad de paro en los equipos de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* se deben a los mantenimientos preventivos?
- ¿Es posible la reducción de los tiempos muertos por medio de soluciones electromecánicas?
- ¿El retorno de la inversión de las propuestas de estrategias electromecánicas va a ser positivo, es decir, se puede recuperar la inversión en al menos 6 meses de acuerdo con los requerimientos de la empresa?

1.6. Objetivos

1.6.3. Objetivo General

Analizar la causa raíz de los tiempos de paro por fallas en las máquinas de los procesos *jacket* y *ribbonizer* para la generación de propuestas de soluciones de ingeniería mediante el análisis de los datos históricos registrados en una empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica en Alajuela para el I cuatrimestre del 2025.

1.6.4. Objetivos Específicos

1. Definir los problemas que se asocian con la mayor cantidad de tiempos de paro en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para la identificación de la causa raíz de estos por medio de técnicas de análisis causa-raíz.
2. Proponer estrategias de solución a la causa raíz de los tiempos de paro por fallas en las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para la reducción de estos tiempos de paro por medio de recursos de ingeniería electromecánica.
3. Determinar por medio del análisis de los tiempos de paro no planeados y pruebas de campo el impacto de las acciones para la propuesta de correcciones en el plan de mantenimiento y ajustes iniciales de las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer*.
4. Determinar el costo de la implementación de las posibles soluciones determinadas para la comparación con los costos actuales de los tiempos muertos por medio de un análisis económico de costo-beneficio.

Capítulo II

2. Marco teórico

Para lograr elaborar y comprender este trabajo de investigación, se debe iniciar conociendo los conceptos iniciales y de mayor relevancia para su entendimiento y fundamentación teórica adecuada, los cuales se desarrollan a lo largo de todo el capítulo II.

2.1. Manufactura de cables

Hoy en día, la manufactura de cables es una parte importante de la vida cotidiana, ya que tienen aplicaciones desde la transferencia de corriente eléctrica, hasta la transferencia de datos e información en diferentes equipos, edificios e incluso ciudades, un cable es un cordón formado por uno o varios conductores aislados y recubiertos por una envoltura flexible.

El proceso de manufactura va a depender del tipo de cable que se fabrique y del calibre que se requiera fabricar. Un cable es uno de los componentes principales encargados de transmitir información en los dispositivos de interconexión eléctrica, los puede haber de varios tipos, desde cable de potencia, goma, resistentes a incendios y coaxiales. Un dispositivo de interconexión eléctrica es un dispositivo utilizado en sistemas de redes y es un término ampliamente utilizado para cualquier hardware que conecte diferentes recursos de red de un punto a otro o de varios puntos a varios puntos con el fin de transmitir señales eléctricas que se interpretan como señales.

Los dispositivos clave que comprenden una red son conmutadores, enrutadores, bridge (puentes), repetidores y puertas de enlace. Para esta investigación se analizan los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para la fabricación de cables coaxiales, por lo que es de suma importancia comprender que es un cable de tipo coaxial.

2.1.1. Cable coaxial

De acuerdo con (CommScope, 2017), un cable de tipo coaxial es un conductor central que tiene varias capas de recubrimiento como lo son la cubierta protectora de plástico, una malla metálica y un aislante. Cada una de estas capas debe ser colocada de

forma individual y con alta precisión para evitar cualquier potencial fallo o retraso en la transmisión de la señal eléctrica. Normalmente, tiene aplicaciones en las que las señales eléctricas deben ser transmitidas a altas frecuencias.

La función del conductor central es transmitir la información de la manera más eficiente posible, la capa protectora de plástico o también conocida como dieléctrico se encarga de separar y aislar el conductor central con la malla metálica, la función de la malla metálica es proteger de cualquier distorsión o ruido que pueda ocasionarse en el cable y finalmente el material aislante va a prevenir de que se pueda ocasionar un cortocircuito que impida el funcionamiento de los dispositivos a los cuales se han conectado los cables de tipo coaxial.

2.2. Mantenimiento

Según (Pérez Rondón, 2021) el mantenimiento es "Toda una serie de acciones que deben realizar las personas encargadas de este departamento o área, con la finalidad de que los equipos, máquinas, componentes e instalaciones involucrados dentro de un proceso industrial estén en las condiciones requeridas de funcionamiento". el mantenimiento puede constar de una revisión detallada o incluso la aplicación de diversos procedimientos para prevenir o corregir cualquier situación que pueda ocurrir en una máquina, equipo o instalación.

Realizar un adecuado mantenimiento es importante para una correcta disminución de los tiempos de paro en producción, ya sean planeados o no planeados de acuerdo con (Yuseff M. et al., 2020). También previene cualquier tipo de daño irreparable, reduce los costos al tener una menor cantidad de tiempos de paro, desgastes innecesarios de los componentes o un ahorro energético al mejorar el funcionamiento y lo más importante, previene que se puedan dar accidentes de trabajo por el mal funcionamiento de alguno de los sistemas que se consideran en el plan de mantenimiento.

De acuerdo con el texto de (Nomadia Smart Mobility Solutions, 2023) es de alta importancia documentar correctamente los mantenimientos realizados en los equipos ya

que permite realizar buenos controles y mejoras a lo largo del tiempo, tener una buena asignación de recursos, tanto obreros, como de suministros y son muy buenos insumos para la elaboración de proyectos de mejora en las empresas. También se destaca que el análisis del rendimiento se puede lograr por medio de la recopilación de los datos de registros de los mantenimientos realizados.

2.2.1. Tipos de mantenimiento

A lo largo de la historia del desarrollo industrial se han estudiado diversos tipos de mantenimiento y ha ido evolucionando de forma que cada vez sean más eficientes y mejores. Según (Mancuzo, 2020), tener diversos tipos de mantenimiento ayuda a atacar o prevenir problemas que ocasionan altos tiempos de paro e intervenciones costosas.

Otro punto importante de los tipos de mantenimiento para los equipos o instalaciones a los que se les aplique en cualquiera de sus etapas es que ayudan a mejorar la disponibilidad, maximizan los usos que se les pueden dar a los equipos y aumentan la vida útil.

El mantenimiento puede ser de varios tipos como lo son el mantenimiento correctivo, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento preventivo y es importante comprender cada uno de ellos, sin embargo, para efectos de este proyecto de investigación se van a definir solo los dos siguientes:

2.2.1.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es el tipo de mantenimiento que se utiliza cuando la máquina deja de operar o deja de operar correctamente por alguna falla o avería en el sistema y lo que pretende es poner en funcionamiento de nuevo la máquina, según (Pérez Rondón, 2021). Son intervenciones que se dan de forma inesperada y que no representan un tiempo que se tiene preestablecido y que puede durar de unos pocos minutos, hasta tardar varias horas o días en solucionarse.

Uno de los principales retos que se enfrentan al tener que realizar mantenimientos correctivos es que en muchas ocasiones no se cuenta con los suministros necesarios para

llevar a cabo el mantenimiento correctivo, por lo que se requiere esperar cierto tiempo para poder llevarlo a cabo. Otro reto que se puede dar es la falta de conocimiento, expertos en el proceso o equipo para solucionar las averías que se tienen.

Como consecuencia de los altos tiempos de paro por mantenimientos correctivos, se puede notar que la vida útil de los equipos se disminuye, que las reparaciones inesperadas no están contempladas dentro del presupuesto o solo un cierto monto se tiene determinado, por lo que se puede desajustar el presupuesto o tener que solicitar un monto más elevado para cubrir la reparación. Adicionalmente, va a depender de la reparación que se deba hacer el costo que puede ser muy elevado en comparación a realizar un mantenimiento preventivo.

2.2.1.2. Mantenimiento preventivo

De acuerdo con (Pérez Rondón, 2021) el mantenimiento preventivo son acciones planificadas durante un tiempo y con una frecuencia establecida con el fin de garantizar la disponibilidad y eficiencia del equipo y prevenir posibles fallas.

Realizar un correcto y eficiente mantenimiento preventivo es de suma importancia, ya que permite que los equipos o instalaciones tengan una vida útil más prolongada y que las interrupciones o tiempos de paro se minimicen o reduzcan o más posible. También ayuda a evitar costos imprevistos ya que se anticipan los problemas y al ser mantenimientos que son planificados, permite monitorear la cantidad de tiempo y de recursos que se van a necesitar para realizarlo y por ende se tiene una mejor planeación de la producción de la empresa.

Contar con un plan de mantenimiento preventivo brinda múltiples beneficios para las compañías que los utilizan de forma adecuada, esto ya que según (Pérez Rondón, 2021) impacta directamente en la reducción o planificación de costos, la eficiencia de los procesos en los que es aplicado, la disminución de los tiempos de paro no planeados, la evaluación y mejora de condiciones de seguridad al prevenir potenciales fallos o problemas de

seguridad, se optimizan los recursos tanto de personal de mantenimiento como de insumos que se requieren utilizar.

2.2.2. Elementos claves del mantenimiento

Cuando se estudia acerca del mantenimiento se entiende la vital importancia de registrar los datos adecuados para realizar mejoras y monitorear de forma correcta, con los indicadores aptos para cada caso. Para este proyecto de investigación hay varios elementos que se deben comprender para el mejor entendimiento de este. Algunos de estos elementos son:

2.2.2.3. Fallas

De acuerdo con el texto de (Mancuzo, 2020) las fallas en mantenimiento son cualquier evento inesperado provocado por el mal funcionamiento de un o varios equipos o sistemas e impactan por medio del tiempo requerido para una intervención en la productividad de la empresa.

La mayoría de las fallas que ocurren se pueden prevenir por medio de un adecuado plan de mantenimiento preventivo, sin embargo, es usual que se puedan dar nuevos fallos o se den variaciones inesperadas en un proceso productivo.

Según (Gallarà & Pontelli, 2020), las fallas pueden tener diferentes niveles de gravedad de acuerdo con cómo se consideren en cada empresa, por lo general se clasifican por la cantidad de tiempo que el equipo o máquina se encuentre detenido. Otra forma en la que pueden ser clasificadas es por el tipo de sistema que se afecte, por ejemplo, pueden ser eléctricos, mecánicos, magnéticos, de proceso o humanas.

2.2.2.4. Tiempo de paro no planeado

Según (Pérez Rondón, 2021), los tiempos de paro no planeados en un proceso productivo, son cualquier tiempo de interrupción en un proceso o máquina por cualquier tipo de inconveniente, ya sea máquina, material, herramientas o cualquier otra causa, ocurren de manera no prevista. Pueden ser periodos cortos o largos que va a depender la severidad del fallo o accesibilidad de recursos que se tengan en el momento para atacarlos.

Estos tiempos de paro no planeados pueden ser causados por diversos motivos de acuerdo con (Boero, 2020), por lo que es importante llevar un control adecuado de la información para ser analizada posteriormente. Algunos de los motivos son la falta de planificación o de mantenimiento de los componentes, el error humano, insuficiente inventario para llevar a cabo los mantenimientos necesarios y la falta de seguimiento o control en los planes de mantenimiento preventivo.

Este tiempo puede ser medido en horas, minutos, segundos o cualquier otra unidad de tiempo que se considere conveniente. Para efectos de esta investigación se utilizan horas como unidades de medición de tiempos no planeados.

2.2.3. Indicadores de mantenimiento

Como es bien sabido, lo que no se mide no se puede controlar. Así como existen elementos claves para comprender el mantenimiento, se tienen indicadores que permiten monitorear diversos factores importantes cuando se trabaja con los planes de mantenimiento o mejoras que se puedan realizar. Para efectos de esta investigación es importante familiarizarse con los siguientes conceptos de acuerdo con (Gómez Torres, 2023):

2.2.3.1. MTBF (Mean Time Between Failure)

El MTBF por sus siglas en inglés Mean Time Between Failure es el tiempo medio entre fallas, es decir, el promedio de duración entre fallos reparables de un equipo o máquina. En otras palabras, es la cantidad de tiempo en buen funcionamiento entre la cantidad de fallos que tiene un equipo o cada cuanto en unidades de tiempo es que falla un sistema.

Este es uno de los indicadores más importantes cuando se trabaja en mantenimiento, ya que permite posteriormente medir la confiabilidad de una máquina.

Se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$

Uno de los beneficios de medir el MTBF es que, realizando el cálculo correcto, se puede determinar la frecuencia de mantenimiento con la que se debe determinar una actividad o acción preventiva, de esta forma se pueden ajustar mantenimientos de acuerdo con las capacidades y usos específicos de un equipo o sistema.

2.2.3.2. MTTR (Mean Time to Repair)

El MTTR por sus siglas en inglés, Mean Time To Repair es el tiempo medio de reparación, o el promedio en el que se tarda en reparar un sistema y que funcione de forma correcta. Este indicador es importante para conocer cuánto es el tiempo de falla y calcular los costos de este, de igual forma se puede predecir cuanto tiempo se va a tardar en la próxima reparación de este tiempo. Este indicador se relaciona con mantenibilidad en casos en los que sea un concepto que se requiera analizar.

La fórmula matemática es:

$$MTTR = \frac{\textit{tiempo total de mantenimiento}}{\textit{número de reparaciones}}$$

El MTTR registrado de manera adecuada ayuda a evaluar cuanto tiempo se tarda en hacer una reparación y de esta forma comprender cuales mejoras se pueden realizar a un mantenimiento o encontrar razones por las cuales se necesiten otros insumos o entrenamientos especiales para algunas personas.

2.2.3.3. Disponibilidad

Por definición, la disponibilidad de un equipo de acuerdo con Pérez (2021) es el porcentaje de tiempo que la máquina o sistema se encuentra en óptimas condiciones para su uso y es independiente de que se estén usando o no para producción.

La disponibilidad es la capacidad que tiene un equipo o sistema de funcionar en un momento en un intervalo definido de tiempo, es considerada una probabilidad de que el equipo esté en funcionamiento correcto en el tiempo.

Según (Sosa Gómez, 2023), la disponibilidad tiene diversas formas de calcularse, dependiendo de los factores que se deseen considerar, ya sea que se consideren los

tiempos de paro planeados y no planeados, lo cual se explica mejor en las siguientes ecuaciones.

Para calcular la disponibilidad de un equipo se debe utilizar la siguiente ecuación matemática:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

La disponibilidad también puede ser calculada por medio de la ecuación matemática:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{(\text{Horas totales de funcionamiento planeadas} - \text{Horas en paradas})}{\text{Horas totales de funcionamiento planeadas}}$$

Para esta ecuación es importante destacar que las horas en paradas consideran todos los tipos de mantenimiento, ya sean correctivos o preventivos.

Es importante monitorear este indicador para identificar posibles áreas de mejora en las que se pueda reducir los tiempos de paro y por ende reducir los costos. De acuerdo con (Bautista-Valhondo, 2022), también es importante para planificar correctamente los tiempos de producción y comprometer las fechas de envío y producción de las órdenes.

2.3. Análisis económico

Cuando se investiga algún proceso en el cual se puede evaluar correcciones, mejoras o cambios es importante evaluar si un proyecto es viable o no, es decir si se va a tener un retorno de la inversión y en qué cantidad de tiempo, además de comparar los egresos de dinero con respecto a los ingresos obtenidos. Según (A. Pérez, 2021), esto se le conoce como un análisis económico y es de gran utilidad para ligar la gestión técnica/ingenieril con la perspectiva de negocio y las posibles inversiones que se deban hacer para obtener un beneficio económico que se pueda obtener.

Para que se logre un correcto análisis económico es importante considerar indicadores que permitan evaluar y monitorear adecuadamente el impacto que se puede tener en un proceso productivo. Algunos de los indicadores más importantes son:

2.3.1. VAN

Sus siglas representan valor actual neto, sin embargo, se le conoce también como el valor presente neto. De acuerdo con Moreno y Suárez (2018) “Cuando se evalúa una inversión se deben comparar los egresos (inversiones, gastos y costos) con los ingresos beneficios y valor de mercado o salvamento de la inversión”.

En otras palabras, el VAN permite conocer si un proyecto por ejecutar genera más dinero que lo que se invierte y considera los ingresos, la devaluación que puede tener la moneda y su inversión inicial.

Se puede calcular por medio de la siguiente fórmula o el respectivo cálculo por medio del programa Excel:

$$VAN = \frac{R_t}{(1+i)^t} - Inversión\ inicial$$

Donde:

VAN= Valor Actual Neto

R_t= flujo de caja neto en el periodo t (ingresos)

i= tasa de descuento o interés

t= periodo de flujo de caja o periodo en el que se reciben los ingresos

Un resultado positivo representa una ganancia en el proyecto, por lo que se puede determinar que es un proyecto viable. Por el lado contrario si el resultado del cálculo del VAN es negativo el proyecto no es viable y se pierde dinero al ejecutarlo.

2.3.2. TIR

Sus siglas significan Tasa Interna de Retorno. Según Moreno y Suárez (2018) es uno de los índices de evaluación financiera de proyectos de mayor aplicación. La TIR consiste en calcular el rendimiento o interés sobre la inversión no recuperada a lo largo de la vida útil del proyecto.

Este indicador lo que demuestra es una comparativa de lo que se invierte en el proyecto en comparación con los ingresos esperados a futuro.

Se puede calcular por medio de la siguiente fórmula o el respectivo cálculo por medio del programa Excel:

$$TIR = \left(\frac{\text{Flujo de efectivo neto}}{\text{Inversión inicial}} \right)^{\frac{1}{\# \text{ de periodos}}}$$

Donde:

TIR= Tasa Interna de Retorno

Es importante comprender el concepto de tasa mínima de rendimiento para poder analizar y comparar el resultado del TIR de un proyecto. La tasa mínima de rendimiento es un valor determinado por la empresa, la cual es el rendimiento mínimo que una empresa espera obtener de un proyecto.

Si el TIR es mayor que la tasa mínima de rendimiento se considera que el proyecto es rentable y es una buena decisión invertir en este. De lo contrario, si el TIR es menor que la tasa mínima de rendimiento entonces el proyecto no es rentable y no es una buena decisión invertir en él.

Capítulo III

3. Marco Metodológico

Luego de realizar varias lecturas acerca de metodologías de investigación, se ha concluido que el análisis por medio de Seis Sigma es el más adecuado, ya que, de acuerdo con (Herrera Acosta, 2006) se muestra una metodología de mejora de procesos que se ve bien aplicada para problemas divergentes, como se evidencia en este anteproyecto. Seis Sigma propone una estrategia para la resolución de problemas por medio de diferentes estrategias, como lo son DMAIC (por sus siglas en español de Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar) e IDOV (por sus siglas en español Identificación, Diseño, Optimización y Verificación) (DMAIC funciona mejor para procesos ya existentes, mientras que IDOV funciona mejor para procesos nuevos a los que se quiere llegar a nivel seis sigmas). Los procesos de *jacket* y *ribbonizer* de cables, son procesos ya existentes, por lo que se selecciona la metodología DMAIC para realizar este trabajo de investigación.

DMAIC se compone de 5 etapas o pasos principales que son definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Cada uno de los usos de la metodología se detallan a continuación:

1. Etapa de definir:

Se define el alcance, metas, objetivos del proyecto o investigación que se va a llevar a cabo, junto con sus respectivas variables e indicadores base. Adicionalmente a lo planteado en este anteproyecto, se determinan las características críticas del proceso y se realiza un diagrama SIPOC (por sus siglas en inglés Supplier, Input, Process, Outputs and Customer o en español Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas, Clientes, de ahora en adelante SIPOC, diagrama que contiene los suministros, entradas, procesos, salidas y clientes de un proyecto por estudiar), un diagrama de CTQ (Critical to Quality por sus siglas en inglés o críticas para calidad, de ahora en adelante CTQ) (que define los parámetros críticos de la calidad de un producto) para analizar las diferentes partes que se ven envueltas en el proceso.

2. Etapa de medir:

Esta etapa se centra en recopilar datos necesarios de forma cuantitativa para los tres turnos de producción determinados en el alcance para las máquinas de los procesos de *jacket* y *ribbonizer* con respecto a los indicadores presentados. Los datos que se requieren recolectar como mínimo son horas de paro entre horas totales de producción, la disponibilidad de la máquina, las causas de paro de las máquinas por mantenimientos correctivos, las horas de producción por cantidad de cable producido en metros y el costo en dólares de los tiempos de paro de las máquinas. Para la recopilación de estos datos se plantea usar programas de registros de información propios de la empresa, que son alimentados por información que proveen los técnicos de mantenimiento, las máquinas, el personal de calidad y producción, para posteriormente realizar gráficos de barras y diagrama de Pareto para condensar la información requerida mediante el software Excel o MiniTab.

3. Etapa de analizar:

Con respecto a los datos recopilados en la segunda etapa de la metodología DMAIC, se desarrolla un análisis de los datos de los tiempos de paro por medio de gráficos o tablas que categoricen el tipo de defecto y la cantidad de tiempo de paro de la máquina por medio del programa Microsoft Excel o MiniTab. En la etapa de analizar se debe ahondar la identificación de la causa raíz de los tiempos muertos por problemas de calidad, utilizando los datos recopilados en la etapa de medir para delimitar los principales factores de impacto y poder realizar un diagrama causa-efecto o un análisis 5 por qué de acuerdo con esta información.

4. Etapa de mejorar:

Cuando se habla de la etapa de mejora, lo primero es determinar el plan de acción de acuerdo con la causa raíz arrojada por el análisis de los datos. En esta etapa se determinan propuestas de soluciones ingenieriles por medio de la metodología de cascada utilizada en los procesos lineales como los estudiados, se propone un plan de acción y cronograma de actividades e hitos necesarias para la planificación de la propuesta.

Adicionalmente de las propuestas de solución electromecánica, en esta etapa también se va a analizar los valores de MTBF, MTTR o resultados de planes piloto previos y posteriores a las propuestas y con respecto a esta información proponer un plan de mantenimiento preventivo para que los equipos se mantengan en las mejores condiciones.

5. Etapa de controlar:

En la última etapa, se debe proponer estrategias de control para las propuestas que se planearon en la etapa de mejorar, por ejemplo, si una de las posibles soluciones planteadas incluye parámetros específicos para ciertos equipos, se debe documentar como van a ser controlados. En esta etapa se documenta la forma en la que se recomienda monitorear los resultados de los indicadores que se definieron en este anteproyecto. Se calcula el retorno de la inversión y se define si el proyecto es viable al obtener un retorno en un periodo aproximado de 2 años. Adicionalmente, se hace un cierre del trabajo de investigación, por lo que se determinan las conclusiones y recomendaciones del proyecto. Para este proyecto se consideran las siguientes variables e indicadores de estudio:

Tabla 1 Variables del proyecto

Objetivos	Variables	Indicadores
<p>Analizar la causa raíz de los tiempos de paro por fallas en las máquinas de los procesos <i>jacket</i> y <i>ribbonizer</i> para la generación de propuestas de soluciones de ingeniería mediante el análisis de los datos históricos registrados en una empresa fabricante de dispositivos de</p>	<p>Tiempos de paro</p>	<p>Disponibilidad de las máquinas de <i>jacket</i> y <i>ribbonizer</i> (tiempo total productivo / tiempo total disponible) Tiempo de paro entre el tiempo total de producción</p>

interconexión electrónica en Alajuela para el I cuatrimestre del 2025.		
Definir los problemas que se asocian con la mayor cantidad de tiempos de paro en las máquinas de los procesos de <i>jacket</i> y <i>ribbonizer</i> para la identificación de la causa raíz de estos por medio de técnicas de análisis causa-raíz.	Reportes de paro de las máquinas de los procesos de <i>jacket</i> y <i>ribbonizer</i>	Porcentaje de fallo=tiempo de paro específico para un equipo / tiempo total de fallo de la máquina
Proponer estrategias de solución a la causa raíz de los tiempos de paro por fallas en las máquinas de los procesos de <i>jacket</i> y <i>ribbonizer</i> para la reducción de estos tiempos de paro por medio de recursos de ingeniería electromecánica.	Disponibilidad	Disponibilidad actual de la máquina entre disponibilidad propuesta por las estrategias de solución
Determinar por medio del análisis de los tiempos de paro no planeados y pruebas de campo el	Frecuencia y ajustes iniciales de los equipos	MTBF de las estrategias de solución Cantidad de horas de paro

<p>impacto de las acciones para la propuesta de correcciones en el plan de mantenimiento y ajustes iniciales de las máquinas de los procesos de <i>jacket</i> y <i>ribbonizer</i>.</p>		<p>Temperaturas y velocidad en la extrusora</p>
<p>Determinar el costo de la implementación de las posibles soluciones determinadas para la comparación con los costos actuales de los tiempos muertos por medio de un análisis económico de costo-beneficio.</p>	<p>Costos de los tiempos de paro actuales e inversión por las soluciones planteadas</p>	<p>VAN TIR</p>

Fuente: Elaboración propia (2024)

Capítulo IV

4. Desarrollo de la propuesta

Como ya fue mencionado en el marco metodológico, se planea usar la metodología DMAIC para analizar los tiempos de paro no planeados tanto los procesos de *jacket* como de *ribbonizer* de una forma estructurada y eficiente, con el fin de obtener las propuestas más acertadas a los actuales problemas. Para esto, se desarrolla en los siguientes puntos de este capítulo cada una de las etapas de acuerdo con el orden de la metodología elegida para esta investigación.

4.1. Definir

Esta es la primera etapa de un análisis DMAIC, para tener una mejor comprensión del contexto de la empresa fabricante de cables, se procede a explicar desde los puntos más generales, hasta los más específicos y que posteriormente van a ser utilizados.

Esta empresa realiza diversos tipos de procesos de fabricación de un cable de tipo coaxial, por lo que trabaja con procesos de extrusión de material dieléctrico, colocación de la capa metálica al material, extrusión de la capa de aislante térmico y ribbonizado del cable. Dependiendo de las especificaciones del producto por fabricar, es que los procesos van a variar y ser diferentes entre sí. Para efectos de esta investigación es importante comprender los procesos de extrusión de la capa aislante o *jacket* y del proceso de ribbonizado.

Al investigar dos procesos diferentes, lo más adecuado para comprender de una mejor forma los procesos es realizar la explicación de cada uno de ellos de manera independiente a como se muestra en los siguientes puntos.

Cabe destacar que cuando se realiza el proceso de *jacket*, el cable coaxial ya ha pasado por los procesos de manufactura donde se colocan el material dieléctrico en un conductor central y el proceso de colocar la capa metálica. Inmediatamente y posterior a este proceso es que se procede con los procesos de *jacket* y *ribbonizer*.

4.1.1. Definir para el proceso de *jacket*

Este es el primer proceso que se analiza para esta investigación. Es el proceso de extruir resina derretida sobre un cable, la resina es generalmente de tipo aislante y resistente al ambiente, en este proceso es utilizada la resina PVC. La función principal de este aislante es de evitar cualquier tipo de daño o desgaste y evitar que se pueda producir alguna interferencia eléctrica o magnética en la transmisión de la señal del cable.

La resina PVC es una resina termoplástica que puede fundirse al aplicar calor y solidificarse al enfriarse y se puede mezclar con aditivos como lo son los colorantes, estabilizadores (previenen el deterioro por factores ambientales, luz o calor) y lubricantes (reducen viscosidad y mejoran la formación)(Vlachopoulos & Polychronopoulos, 2019).

El proceso consiste en derretir esta resina y hacerla pasar por una boquilla, en la que se obtiene la forma deseada (en este caso circular) y posteriormente enfriarla, medirla y enrollarla en una carrucha.

De acuerdo con (MacNeil, 2025), para comprender de una mejor manera este proceso es importante realizar una tabla SIPOC para entender cuáles son los proveedores, insumos, proceso general, salidas o entregables del proceso y los clientes que se van a tener, esto se define en la tabla 2:

Suppliers (Proveedores)	Inputs (Insumos)	Process (Proceso)	Outputs (Entregables)	Customers (Clientes)
Proceso de colocación de malla metálica	Cable con malla metálica	Ver diagrama de la figura 1	Cable extruido	Proceso de <i>ribbonizer</i>
Proveedor de resina	Resina			Proceso de corte y preparación de cable

Tabla 2 SIPOC para el proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Por medio del siguiente diagrama de flujo se puede observar de manera muy general cuales son los procesos a los que debe someterse el material para pasar de los insumos al entregable. El diagrama de flujo es muy importante para establecer las fases necesarias de un proceso productivo de una forma gráfica, simplificada y agradable a la vista, el flujo del proceso de *jacket* se muestra en la figura 1.

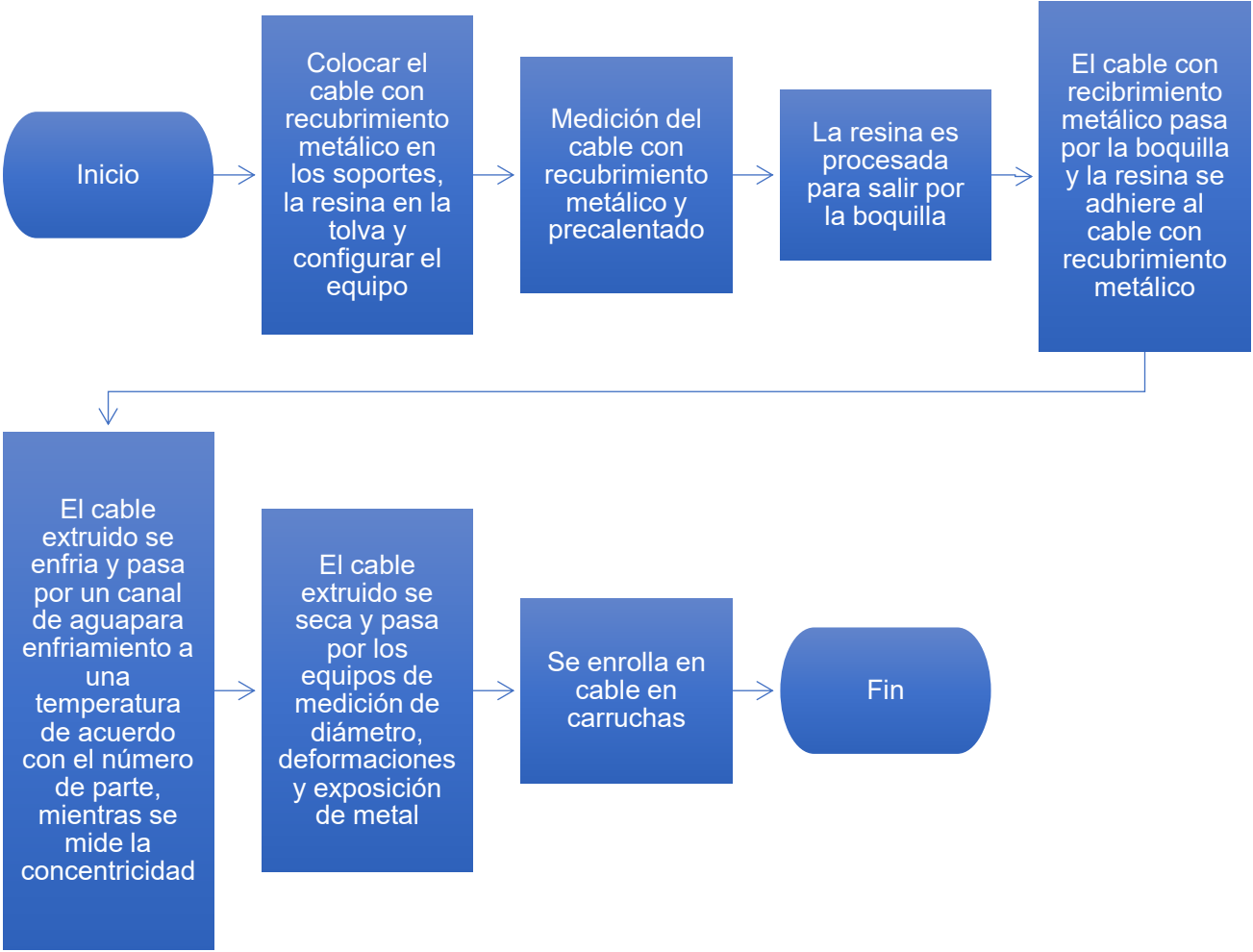


Figura 1 Diagrama de flujo de proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Cuando se trabaja con procesos productivos, es de suma importancia analizar cuáles son los aspectos críticos para que los clientes obtengan los productos requeridos con los niveles de calidad esperados y así evitar cualquier tipo de inconveniente tanto en la compra, como en la aplicación del material que se está fabricando. Para tener claridad en

los requerimientos se desarrolla un diagrama de “críticos a la calidad” por su término en inglés “Critical to Quality” o CTQ que permite determinar cuáles son los aspectos que más relevancia van a tener como salida del proceso productivo. Se pueden observar los diferentes niveles en la figura 2, en el cual el nivel III representa los requisitos específicos del cliente.

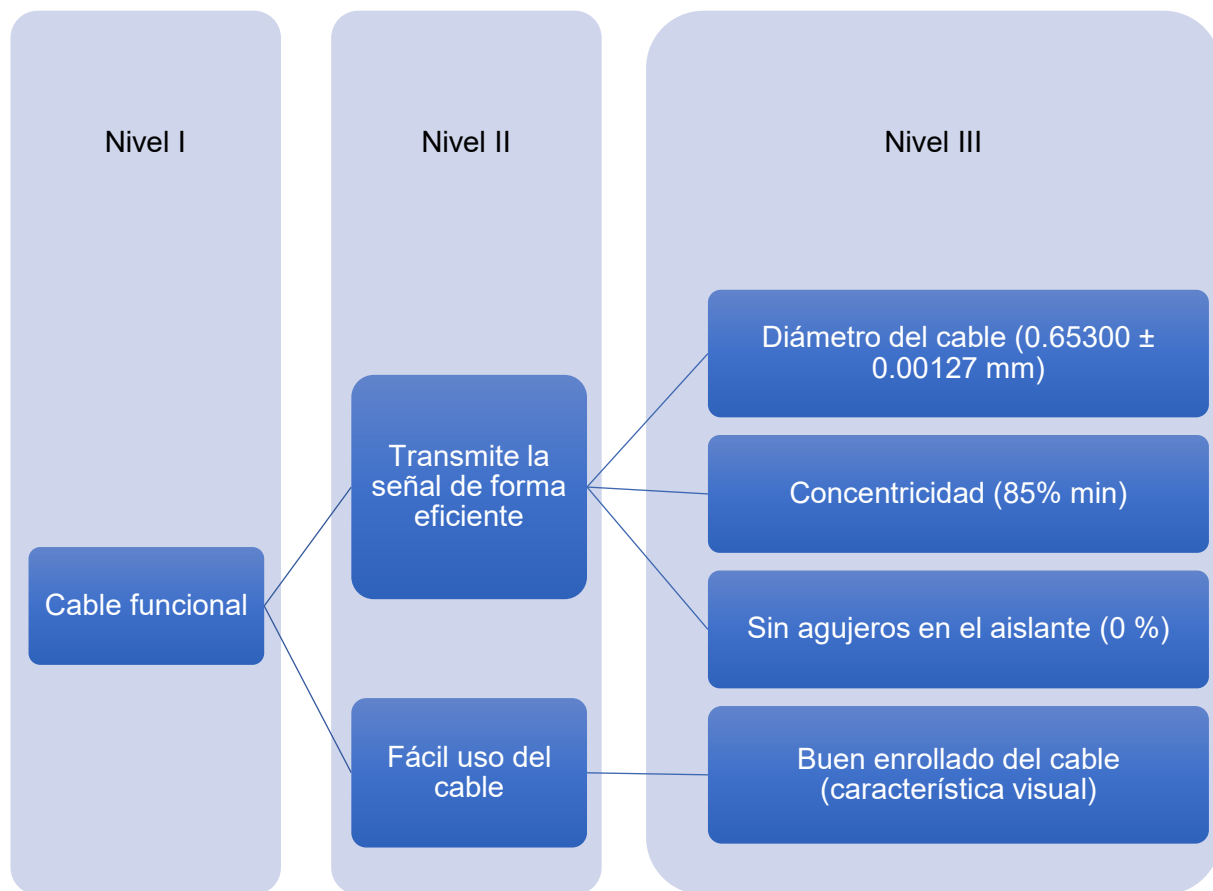


Figura 2 Diagrama de CTQ de proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para lograr que estas características se cumplan en el producto final, se define de forma más detallada el proceso de *jacket* por medio de una serie de equipos por los cuales pasa el producto para ser terminado.

El proceso de *jacket* consiste en colocar un cable con malla metálica al inicio de la línea, para colocarle una capa de resina aislante y enrollarlo en una carrucha para que pueda ser utilizado en las diferentes aplicaciones que puede tener, el proceso ocurre en una misma línea y cuenta con diversos subprocesos que hacen posible la correcta

fabricación del cable. Los principales subprocesos para colocar el aislante térmico son los que se muestran a continuación:

- Sistema de alimentación de cable:

El sistema de alimentación de cable en el proceso de *jacket*, cuenta con una base mecánica para colocar la carrucha de cable semiprocesado. Al colocar el material, se permite que gire sobre su propio eje para desenrollarse. Posteriormente el material se pasa por medio de una pistola de calor para precalentar el cable antes de ingresar en la cabeza y la matriz de la extrusora. Es importante que todos los componentes estén bien alineados para evitar cualquier problema con la calidad del material saliente del proceso.

- Extrusora:

La extrusora es la parte más compleja del proceso y es donde se coloca la capa de material aislante sobre la malla metálica del cable preensamblado. Para esto, se cuenta con varias partes esenciales que al cumplir sus funciones de forma adecuada permiten tener un cable adecuado a los requisitos previamente establecidos en el diagrama de CTQ. El primer componente es la tolva cilíndrica que va a contener la resina a temperatura ambiente para alimentar progresivamente la garganta y el paso hacia el barril. El barril es un cilindro dentro del cual se tiene un tornillo sin fin el cual va a tener un diferencial de diámetros más amplio cerca de la entrada del material y más cerrado cerca de la salida del material. El barril cuenta con tres zonas de calor diferentes para derretir la resina paulatinamente. Luego de tornillo sin fin se cuenta varios componentes de salida del material, los cuales establecen el estado final de la resina que se extruye en el proceso, estos componentes son una abrazadera, un adaptador, la cabeza y la matriz que le da forma a la resina saliente. Es importante destacar que cada uno de estos componentes de la extrusora cuentan con temperaturas establecidas que posteriormente se van a caracterizar.

- Canal de enfriamiento:

El canal de enfriamiento se ubica a una distancia determinada para cada número de parte de la salida de la extrusora. Este canal tiene una longitud de 3 metros y utiliza agua a una temperatura entre 37.79° C y 48.89° C. Cuenta con un sistema de recirculación de agua de forma constante y guías mecánicas móviles para mantener la correcta alineación del cable durante su enfriamiento, evitando así la deformación del cable.

- Sistema de medición final:

El sistema de medición consta de dos láseres y un comprobador de metal expuesto en el cable. El primer láser se encarga de medir el diámetro del cable, realizando aproximadamente seis mil mediciones por segundo y alertando la máquina si se sale de los parámetros de especificación para cada producto. El segundo láser se encarga de identificar irregularidades a lo largo del cable, por ejemplo, cuellos y abultamientos anormales que deben ser removidos en el proceso. Finalmente, se tiene el comprobador de metal expuesto, que consiste en muchas cadenas metálicas a las que se les aplica un voltaje determinado para cada número de parte y si existe algún agujero o capa delgada de material aislante alerta a la máquina para remover la sección de cable defectuosa.

- Sistema de enrollado de cable:

El sistema de enrollado de cable es el encargado de colocar el material de forma ordenada en una carrucha, evitando que se enrede el cable entre sí. Para asegurar el correcto enrollado, se tiene una rueda de goma que prensa con una banda el cable a una tensión y velocidad adecuada para cada número de parte jala el cable a lo largo de la línea de *jacket*, posteriormente, se tiene un acumulador de pies que es un sistema de poleas fijas en la parte inferior y móviles en la parte superior, lo que permite que se pueda acumular material listo para ser enrollado mientras se realiza un cambio de carrucha o se remueve el material defectuoso detectado por los sensores antes mencionados. Finalmente, se cuenta con el soporte de la carrucha que se mueve sobre su propio eje y en dirección perpendicular al sentido del cable a velocidades especificadas para cada número de parte y que permite enrollar el cable de forma automatizada en el proceso.

Las principales características electromecánicas del proceso ayudan a comprender la capacidad y requerimientos del sistema, tener fácil acceso a la información para investigar y analizar cualquier información que se requiera del sistema, como por ejemplo para la ejecución de proyectos de mejora o reparaciones más complejas, permitiendo así la reducción de los costos operativos y de mantenimiento. En la tabla 3 se pueden observar las principales características electromecánicas.

Característica	Parámetro	Unidad
Alimentación eléctrica	480	V
Capacidad de extracción de gases	72 min	CFM
Velocidad de extracción de gases	1.22	m/s
Temperatura de agua del canal	37.79 - 48.89	° C
Presión de aire comprimido	44-72	PSI
Temperatura de la pistola de calor	160-171	° C
Tensión del sistema de alimentación de cable	350-400	PSI
Tensión del sistema de enrollado de cable	128-212	PSI

Tabla 3 Características electromecánicas del proceso de las máquinas del proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.1.2. Definir para el proceso de *ribbonizer*

El proceso de *ribbonizer* es el segundo proceso que se analiza en esta investigación y es de suma importancia comprenderlo desde los aspectos generales hasta los aspectos más detallados que se necesitan en la etapa de analizar. En rasgos generales el proceso de *ribbonizer* consiste en tomar múltiples cables, alinearlos de manera horizontal y unirlos por medio del químico tetrahidrofurano formando una faja de cables correctamente colocados.

Este proceso es realizado para organizar los cables de una mejor forma y reducir el espacio y organizar de una forma óptima los cables durante la aplicación que se les deba dar en la industria.

Al igual que en proceso de *jacket*, se comienza con el diagrama SIPOC que permite identificar desde una perspectiva alta de negocio las características generales del proceso,

es decir, los proveedores, insumos, proceso general, entregables y clientes de las salidas del proceso como se puede observar en la tabla 4:

Suppliers (Proveedores)	Inputs (Insumos)	Process (Proceso)	Outputs (Entregables)	Customers (Clientes)
Proceso de extrusión	Cable extruido	Ver diagrama de abajo	Cable ribbonizado	Proceso de corte y preparación de cable
Proveedor de tetrahidrofurano	Tetrahidrofurano			

Tabla 4 SIPOC para el proceso de *ribbonizer*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Como se menciona en la tabla SIPOC para el proceso de *ribbonizer* el proceso se detalla por medio de un diagrama de flujo de forma muy general y representada de forma gráfica para una comprensión más sencilla de cada una de sus partes de manera secuencial y de forma de cascada al ordenar los procesos en el orden que deben suceder para cumplir con el correcto flujo de trabajo y lograr un buen producto final. En la figura 3 se puede observar el diagrama de flujo para el proceso de *ribbonizer*:

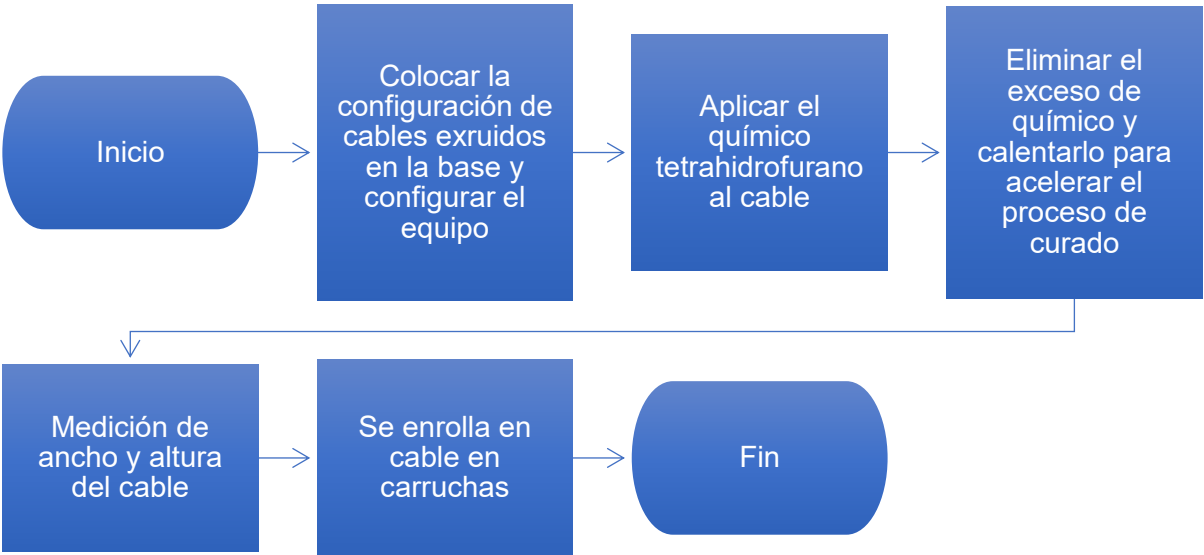


Figura 3 Diagrama de flujo de proceso de *ribbonizer*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Luego se procede con el diagrama de CTQ para evaluar cuáles son las características de calidad que debe cumplir el producto para ser aceptable por los clientes y ser utilizado de manera adecuada. Esa herramienta permite identificar las características de una forma visualmente sencilla y ayuda a definir cuáles son los esfuerzos que se deben definir para cumplir con los estándares de calidad que se requieren. A continuación, se presenta el diagrama de CTQ para el proceso de *ribbonizer* en la figura 4.

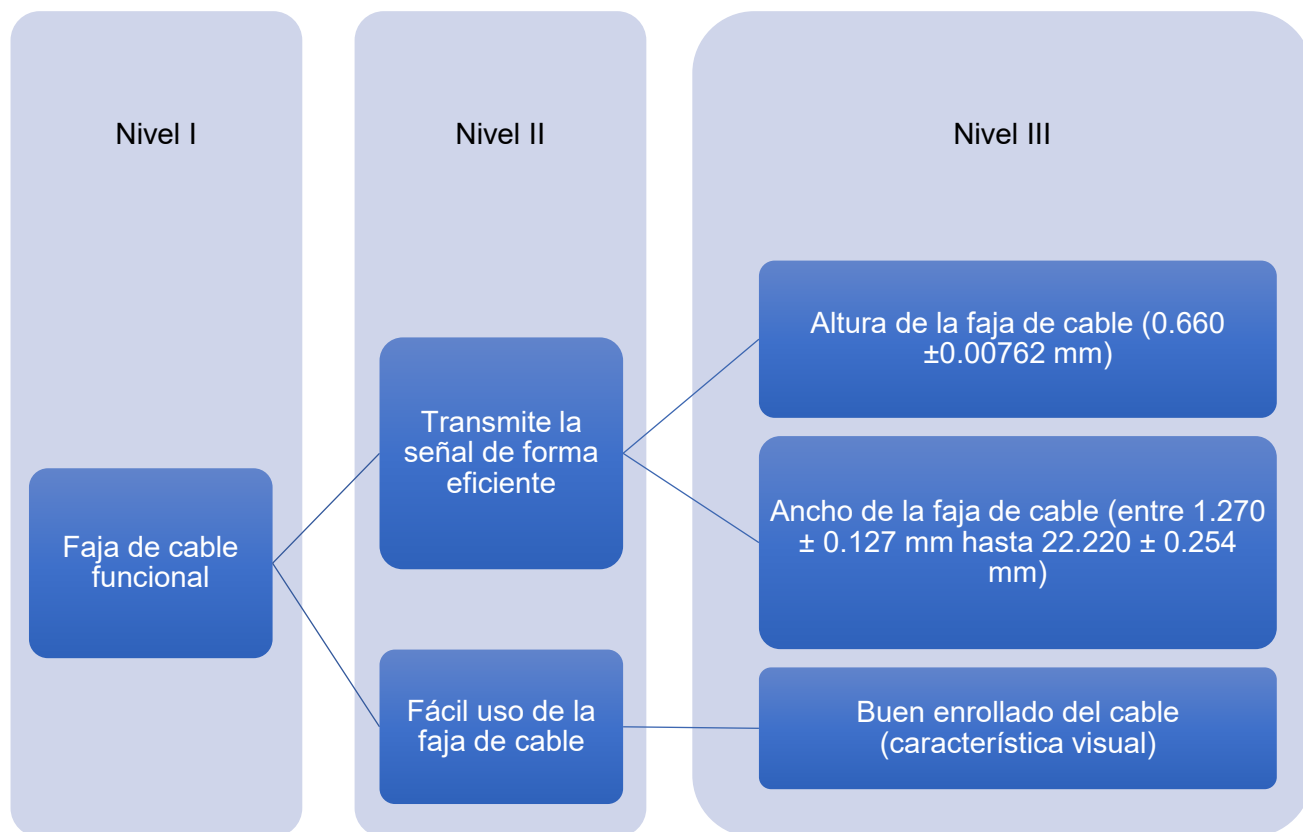


Figura 4 Diagrama de CTQ de proceso de *ribbonizer*

Fuente: Elaboración propia (2025)

El proceso de *ribbonizer* consiste en unir cables individuales con su material aislante y unirlos por medio de la aplicación de químico y calor para

- Sistema de alimentación:

El sistema de alimentación consiste en una base con 18 soportes de carruchas a cada lado, el sistema es completamente mecánico y debe configurarse de forma específica para cada uno de los números de parte que se manufacturen en el momento de comenzar

con la producción. Este sistema permite colocar y alinear los cables de forma correcta para evitar cables cruzados o desalineaciones en la alineación posterior.

- Sistema de bombeo:

El sistema de bombeo de químico del proceso de *ribbonizer* consiste en aplicar químico a los cables individuales para cambiar la consistencia del material aislante y permitir la unión de forma paralela entre ellos. Para iniciar se tienen una serie de componentes mecánicos que alinean los cables individuales hasta ubicarlos de forma tangente entre ellos. También consta de una bomba de desplazamiento positivo que impulsa el químico de forma líquida por las mangueras de distribución hacia la salida ubicada en una esponja y esta a su vez en la parte superior e inferior de una prensa mecánica. La prensa se encarga con esponjas que se humedecen con el químico de aplicarlo de forma uniforme a lo largo del cable. La bomba cuenta con parámetros establecidos de tamaño de gota y frecuencia de goteo para cada número de parte. Adicionalmente, todo el espacio de aplicación del químico se encuentra aislado por medio de acrílicos para evitar que los vapores salgan y en la parte superior se encuentra la campana del ducto de extracción de gases para extraer los gases no aptos para las personas que se encuentren cerca de esta máquina.

- Sistema de aplicación de calor:

El sistema de aplicación de calor consiste en un horno con resistencias superiores e inferiores que se mantienen a una temperatura de 115° C dentro del mismo y que permiten el curado del cable de forma rápida. A la salida del horno se ubica una campana del sistema de extracción para eliminar el calor y gases posterior a la aplicación del calor.

- Sistema de enrollado:

El sistema de enrollado consiste en un láser que mide el largo y ancho de la faja de cables de acuerdo con las dimensiones para cada número de parte. Luego pasa por un rodillo de goma que, en conjunto con una banda, son los encargados de jalar la faja de cable que se está produciendo y luego es enrollada en una carrucha, lista para ser utilizada en el próximo proceso.

Conociendo los principales subprocesos de *ribbonizer*, es importante caracterizar electromecánicamente las principales características del proceso para comprender de forma más sencilla las diferentes fallas que se pueden ocasionar en el proceso. Las principales características electromecánicas se definen en la tabla 5.

Característica	Parámetro	Unidad
Alimentación eléctrica	220	V
Capacidad de extracción de gases	72 min	CFM
Velocidad de extracción de gases	1.22	m/s
Temperatura del horno	115	° C
Presión de aire comprimido	44-72	PSI
Tensión del sistema de enrollado de cable	35	Newton
Tamaño de gota	20-30	%
Frecuencia de goteo	10-30	Segundos
Presión de las abrazaderas	7	PSI

Tabla 5 Características electromecánicas del proceso de las máquinas del proceso de *ribbonizer*

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.2. Medir

La segunda etapa de la metodología DMAIC es la de medir, en esta etapa es importante reconocer cuáles son los parámetros que se deben medir para comprender la situación actual del proceso o procesos que se están estudiando. Esta fase se dedica completamente a evaluar el desempeño actual del proceso y establecerlo como línea base para lo que se desee analizar.

Es de suma importancia que los datos sean recolectados y almacenados con total transparencia para analizar y decidir qué acciones se deben tomar de acuerdo con los resultados obtenidos en esta etapa.

De esta manera, se considera conveniente separar la información de acuerdo con los dos procesos que se investigan, se recolectaron los datos de los tiquetes de los técnicos para las máquinas de los procesos de *ribbonizer* y de *jacket* y se compilaron en gráficos para su mejor interpretación, cada tiquete cuenta con el número de orden que se corre, la cantidad de tiempo de paro, la descripción del problema, la descripción del arreglo realizado

para solucionar el problema, el tipo de tiquete que se está realizando y otra información que para efectos de esta investigación no se consideran necesarias.

Se procede a leer y analizar cada uno de los tiquetes y se agrega el equipo que tiene averías y se le añaden dos datos más para facilitar el análisis, el primero es el equipo o sistema que es afectado y el segundo es el detalle de cuáles son las causas de fallo en el equipo definido.

De igual forma se comienza con el proceso de *jacket* y posteriormente con el proceso de *ribbonizer* ya que ese es el flujo del cual se procesa el material.

4.2.1. Medir para el proceso de *jacket*

Como se observa en el siguiente gráfico, la mayor cantidad de tiempos de paro se debe a la categoría de mantenimiento correctivo. Este es el único tiempo que se va a analizar para esta investigación es el tiempo de mantenimiento correctivo, debido a que los ajustes o calibraciones y mantenimiento preventivos salen del alcance de este trabajo de investigación. El mantenimiento correctivo corresponde a 590.8 horas de paro no planeados para las máquinas del proceso de *jacket* como se muestra en el gráfico 1.

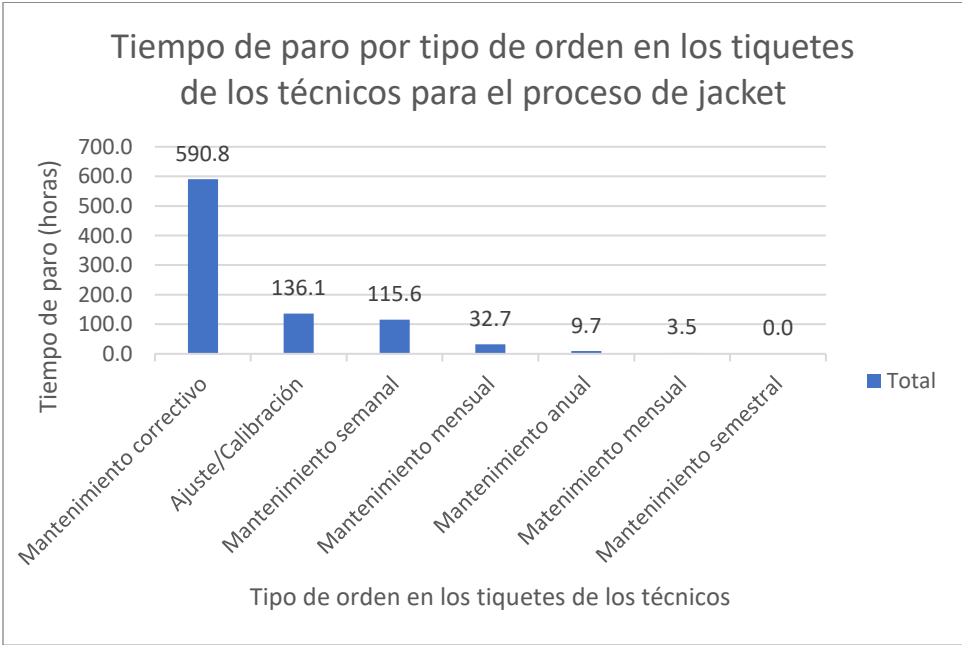


Gráfico 1 Tiempo de paro por tipo de orden en los tiquetes de los técnicos para el proceso de *jacket* durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2024)

Como ya se ha mencionado los tiempos de paro no planeados corresponde a la categoría de mantenimiento correctivo, sin embargo, para comprender las posibles causas de esto es necesario separar en diferentes categorías los tiempos de paro por mantenimientos correctivos.

En este caso el total del tiempo de paro por mantenimientos correctivos es de 590.8 horas para las máquinas del proceso de *jacket*, las cuales se proceden a categorizar de acuerdo con el equipo o sistema que falla. Para esto se procede a utilizar el principio de Pareto como herramienta para seleccionar las categorías que representan un mayor impacto en la cantidad de tiempos de paro por mantenimientos correctivos. Con esta técnica se puede observar que 473.08 horas corresponden al equipo de extrusora y representa un 80.07% del tiempo de paro no planeado de los mantenimientos correctivos del equipo.

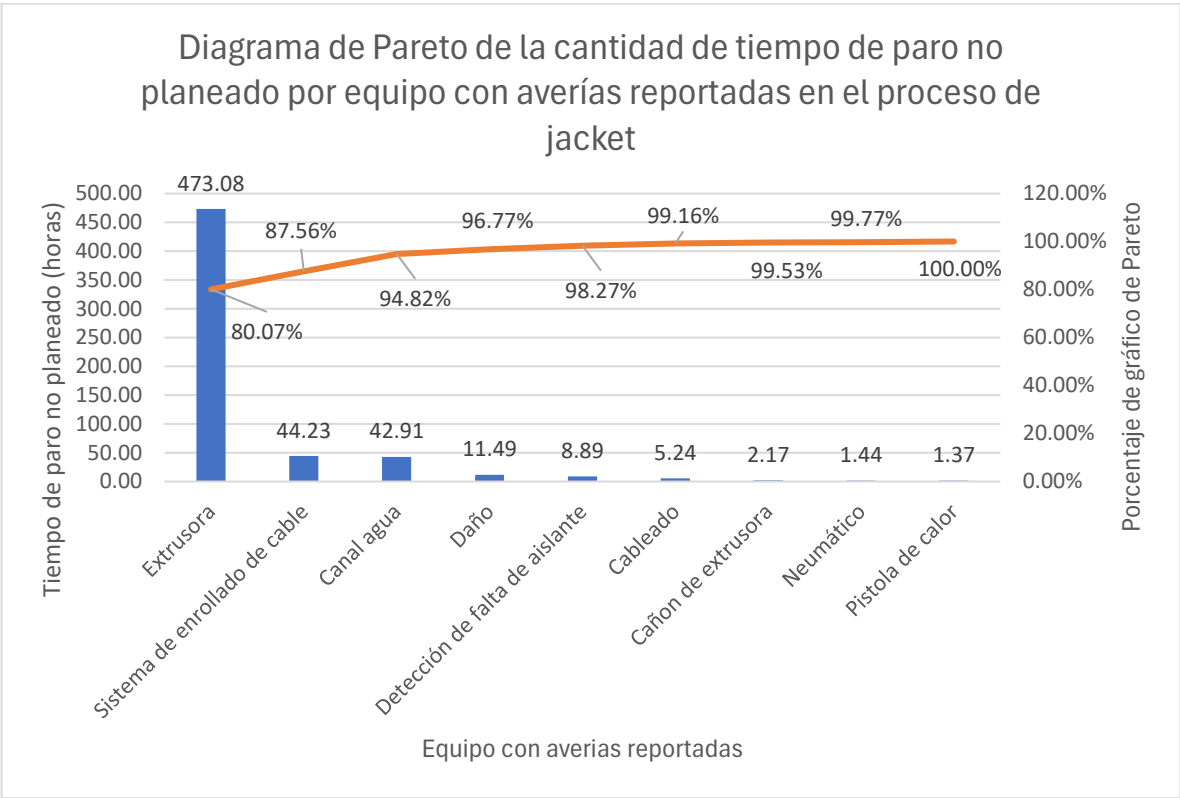


Gráfico 2 Tiempo de paro por tipo de orden en los tickets de los técnicos para el proceso de *jacket* durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2024)

Al determinar que el equipo de extrusora es el que representa la mayor cantidad de tiempo de paro de los equipos, se procede a categorizar los tickets de los técnicos de

forma que se pueda representar gráficamente por medio de otro diagrama de Pareto, la cantidad de tiempo de paro no planeado que representa cada una de las fallas. Como se puede observar en el gráfico 3, la mayor cantidad de tiempo de paro no planeado se debe a atascos en el tornillo sin fin con un 59.51% del tiempo, seguido de problemas a la entrada del material con un 18.24%, lo que completa un 77.74% de los tiempos de paro en el equipo de extrusora.

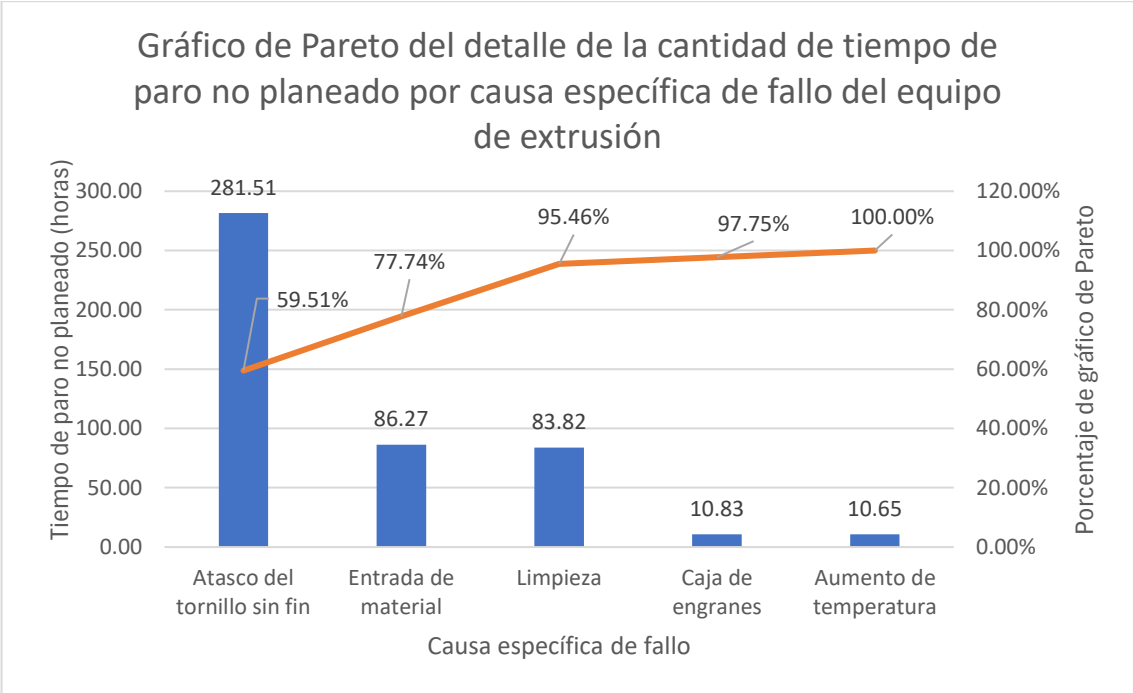


Gráfico 3 Gráfico de Pareto del detalle de la cantidad de tiempo de paro no planeado por causa específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2024)

Finalmente, se cuenta con la cantidad de tiempo efectivo de producción total en el periodo de estudio que corresponde a 4269 horas y se sabe que se tiene 515 tiquetes para la atención del proceso de *jacket*. Por lo que se puede realizar el cálculo del tiempo medio entre fallas por medio de la ecuación de la sección 2.2.3.1 y el tiempo medio para reparar de la sección 2.2.3.2, con el fin de calcular disponibilidad en las máquinas de *jacket* de acuerdo con la ecuación de la sección 2.2.3.3. establecida en el marco teórico. Con esto se determina que las máquinas tienen una disponibilidad de 87.81%.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

$$MTTR = \frac{590.8 \text{ horas}}{515} = 1.15 \text{ horas}$$

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$

$$MTBF = \frac{4269 \text{ horas}}{515} = 8.29 \text{ horas}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{8.29 \text{ horas}}{8.29 \text{ horas} + 1.15} * 100 = 87.81\%$$

4.2.2. Medir para el proceso de *ribbonizer*

Se inicia categorizando los tickets por tipo de orden técnica y se genera un gráfico con el tiempo de paro por tipo de orden en los tickets de los técnicos para cada proceso como se detalla en el gráfico 4. Como se puede observar, de las 169.31 horas de paro totales, la mayor cantidad de horas de paro se deben a los mantenimientos correctivos, estos son los que van a ser utilizados para la investigación de este proceso al ser tiempos de paro no planeados como se define en el alcance de este proyecto.

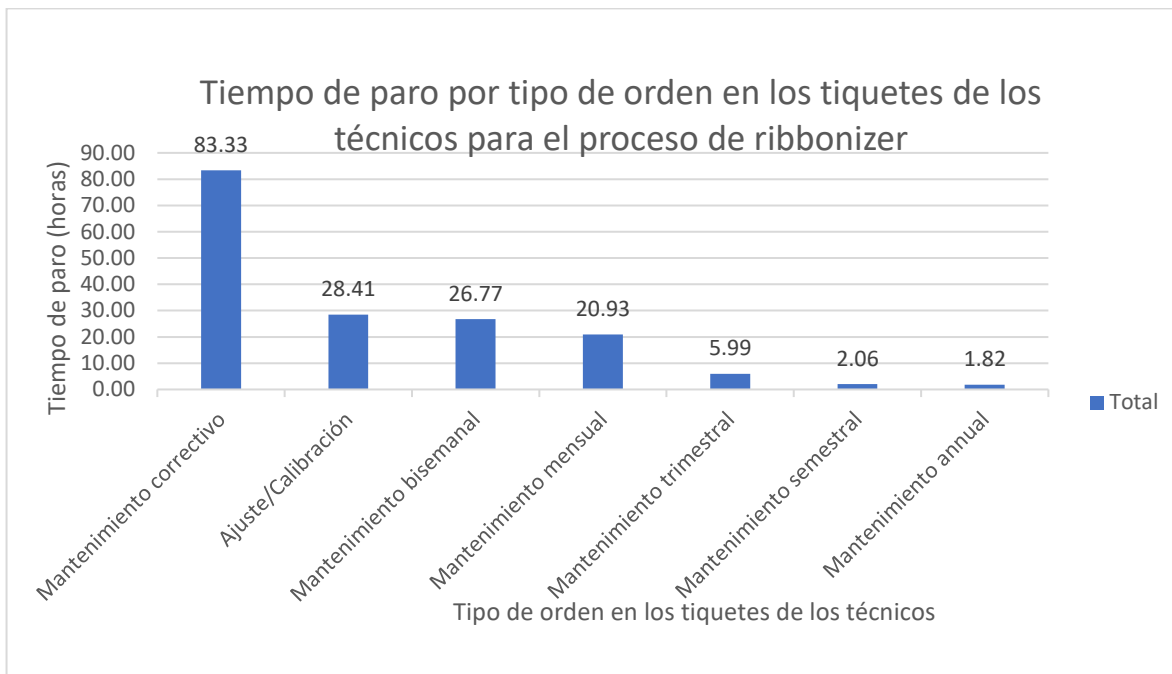


Gráfico 4 Tiempo de paro por tipo de orden en los tickets de los técnicos para el proceso de *ribbonizer* durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2024)

En ambos procesos la mayor cantidad de tiempos de paro se debe a la categoría de mantenimientos correctivos, entonces es necesario desglosarlo un poco más para comprender la mayor causa de este tipo de tiempos. Para eso se elabora el gráfico 5 de tipo Pareto para visualizar de una forma más sencilla los datos que se tienen y desglosándose en el tipo de equipo o sistema donde se da la interrupción de la actividad productiva. Para el proceso de *ribbonizer* la mayor cantidad de tiempos de paro por mantenimientos correctivos se debe al sistema de extracción de aire y gases y al sistema de goteo de tetrahidrofurano, con 43.38 horas y 27.15 horas de paro no planeado respectivamente.

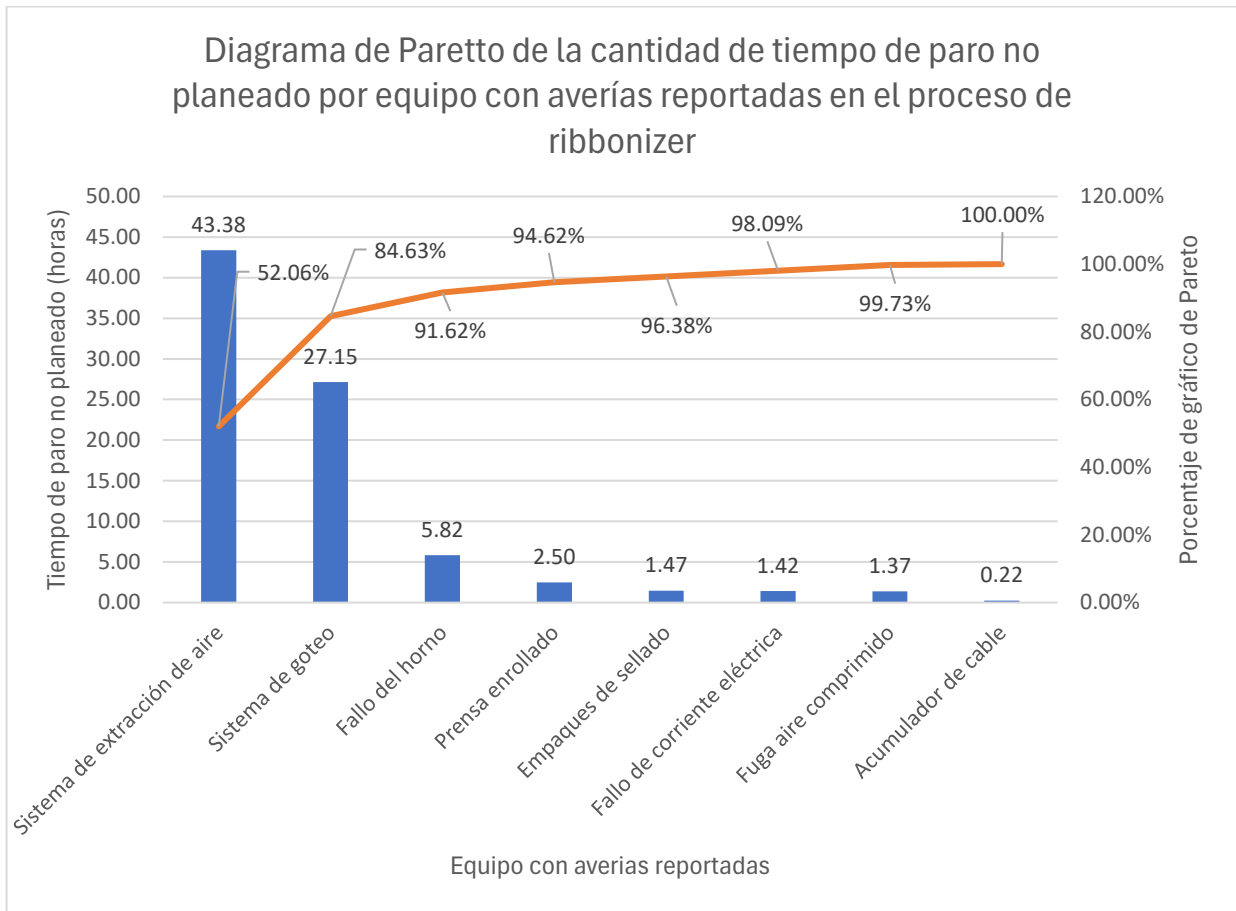


Gráfico 5 Diagrama de Pareto de la cantidad de tiempo de paro no planeado por equipo con averías reportadas en el proceso de *ribbonizer* durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2024)

De acuerdo con el gráfico 5, los tiempos de paro por mantenimientos correctivos del sistema de extracción de aire y gases y al sistema de goteo de tetrahidrofurano representan en conjunto un 84.63%. al ser un gráfico de tipo Pareto, podemos concluir que trabajar en estos dos sistemas representa un 20% de los esfuerzos que se deben realizar para obtener más de un 80% de impacto positivo o disminución de los tiempos de paro no planeados. Es por esto por lo que se realiza otro diagrama de Pareto para detallar cuáles son las principales causas de tiempos de paro no planeados para estos dos sistemas y analizar de una mejor forma los datos recopilados.

Como se puede observar en el gráfico 6, el ajuste del damper, la limpieza del sensor y el ajuste de goteo representan un 81.98% de los tiempos de paro, sin embargo, en diciembre de 2024 se realiza un cambio tipo de bomba en el sistema de goteo de la máquina

por parte del equipo de ingeniería y se realiza la caracterización de los parámetros del proceso.

Antes de realizar el cambio de la bomba, para ajustar el sistema de goteo, se realizaba de forma manual en la máquina, directamente en la bomba Pulsatron LPB2MA, regulándola por medio del tamaño de la gota y la frecuencia de la gota con parámetros muy amplios como es un mínimo de 20% y máximo de 30% de tamaño de gota y un mínimo de 10 segundos y máximo de 30 segundos de frecuencia de goteo. Durante la presente investigación, el equipo de ingenieros de proceso realiza un diseño de experimentos (DOE) para determinar los mejores parámetros para el sistema de goteo, con lo que definen que el mejor ajuste se da cuando la frecuencia de goteo es de 20 segundos y el tamaño de la gota se encuentra entre un 25% y 30%. Es gracias a la investigación de este equipo de manera independiente al presente trabajo de graduación que no se considera este tiempo para analizar.

En su lugar se procede a considerar el cambio de mangueras del sistema de bombeo como uno de los principales equipos o sistemas para analizar en la siguiente etapa del proyecto. Es decir, se proceden a analizar las fallas del ajuste del damper, la limpieza del sensor de temperatura del sistema de extracción y el cambio de manguera del sistema de goteo, representando en total un 75.96% del tiempo de paro no planeado.

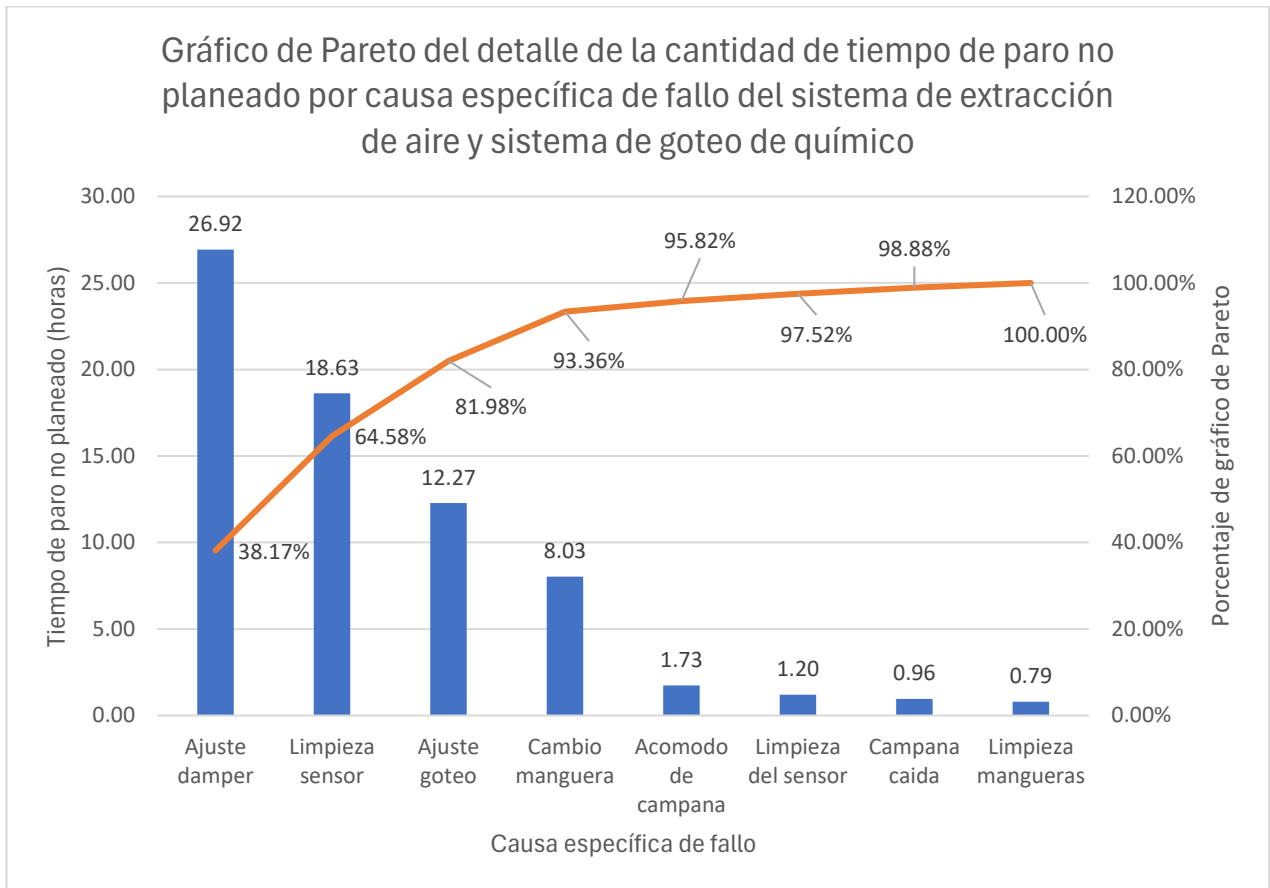


Gráfico 6 Gráfico de Pareto del detalle de la cantidad de tiempo de paro no planeado por causa específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2024)

Finalmente, se cuenta con la cantidad de tiempo efectivo de producción total en el periodo de estudio que corresponde a 4990.48 horas y se sabe que se tiene 148 tickets para la atención del proceso de *jacke*t. Por lo que se puede realizar el cálculo del tiempo medio entre fallas por medio de la ecuación de la sección 2.2.3.1 y el tiempo medio para reparar de la sección 2.2.3.2, con el fin de calcular disponibilidad en las máquinas de *jacke*t de acuerdo con la ecuación de la sección 2.2.3.3. establecida en el marco teórico. Con esto se determina que las máquinas tienen una disponibilidad de 90.52%.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

$$MTTR = \frac{169.32 \text{ horas}}{148} = 3.53 \text{ horas}$$

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$

$$MTBF = \frac{4990.48 \text{ horas}}{148} = 33.72 \text{ horas}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{33.72 \text{ horas}}{33.72 \text{ horas} + 3.53 \text{ horas}} * 100 = 90.52\%$$

4.3. Analizar

La tercera etapa de la metodología DMAIC es la etapa de analizar, en las siguientes páginas se procede a desarrollar el estudio de los datos recopilados y tabulados en la segunda etapa de esta metodología. Esta etapa es de suma importancia para lograr comprender todos los posibles factores que impactan de alguna forma los fallos que se han decidido analizar en el desarrollo de la etapa de medir y con todas las investigaciones que se realicen poder establecer cuál es la causa raíz de este.

Para lograr un entendimiento claro se utiliza la herramienta de diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado para evaluar todas las posibles causas del problema, estudiarlas de forma detallada para finalmente establecer la causa raíz de los tiempos de fallo que se deciden analizar en este proyecto de investigación. Otra variable que se va a analizar son los patrones o tendencias evidentes en los datos recopilados en la etapa de medición, esto ayuda a tener una visualización de cuáles son las causantes y frecuencias de fallo que se debe proponer atacar.

Esta etapa no solo se analizan las causas de los problemas, sino que también puede validar hipótesis, verificar si los datos son consistentes y enfocarse en la correcta interpretación de los datos. Una correcta identificación de la causa raíz de los problemas que se estudian, permite que se localicen o se concentren los esfuerzos por proponer posibles soluciones en los subprocesos o equipos que requieran verdaderamente atención con mayor urgencia.

Como ya se había indicado, para esta etapa también se procede a realizar el análisis para cada uno de los procesos que se están investigando de forma individual, comenzando por el proceso de *jacket* y continuando con el proceso de *ribbonizer*.

4.3.1. Analizar para el proceso de *jacket*

En la etapa de medir se definió que, la mayor cantidad de tiempo de paro no planeado se debe a atascos en el tornillo sin fin con un 59.51% del tiempo, seguido de problemas a la entrada del material con un 18.24%, lo que completa un 77.74% de los tiempos de paro en el equipo de extrusora que es lo que se va a analizar en el desarrollo de esta etapa.

Para iniciar se debe describir cómo funciona una extrusora, lo primero es que se coloca la resina PVC granulada en una tolva. La resina va a ir desplazándose por una cabeza a una temperatura establecida para pasar al área del barril, donde se encuentran tres zonas que aumentan la temperatura progresivamente y el material es desplazado por medio de un tornillo sin fin hasta llegar a una abrazadera a otra temperatura y a su salida tiene un juego de filtros para eliminar las impurezas del material y finalmente pasar por una matriz a la máxima temperatura a la que se expone el material para darle la forma circular alrededor del cable con recubrimiento metálico en el proceso.

Posteriormente, se debe caracterizar electromecánicamente los principales parámetros que se utilizan en la extrusora. Para eso se elabora la tabla 6 para facilitar la obtención de los datos.

Característica de la extrusora	Parámetro	Unidad
Alimentación eléctrica	480	V
Temperatura de la pistola de calor	165.5-176.5	° C
Velocidad del tornillo	10	RPM
Temperatura de la cabeza	198.5-206.5	° C
Temperatura de Zona 1	151.5-167.5	° C
Temperatura de Zona 2	167.5-178.5	° C
Temperatura de Zona 3	167.5-178.5	° C
Temperatura de la abrazadera	187.5-195.5	° C
Temperatura de la matriz	206.5-220.5	° C
Configuración de filtros	40-100-60- 400	Aperturas por pulgada lineal

Tabla 6 Características electromecánicas del proceso de las máquinas del proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Una de las principales herramientas y más aptas para definir cuáles son las posibles causas es el diagrama de Ishikawa (también es conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado). Con la ayuda de este diagrama, se evalúan las seis principales aristas que conforman un proceso y se categorizan de forma adecuada las posibles causas del problema para después investigar si efectivamente son la causa raíz o no de un problema.

Se consulta con los expertos en el área de ingeniería de equipos, ingeniería de procesos mantenimiento, facilidades y calidad para obtener todas las posibles causas de los atascos del tornillo sin fin y los problemas a la entrada del material. Con esta información, se elabora la figura 5 con un diagrama de Ishikawa para visualizar la información recopilada de una forma más sencilla.

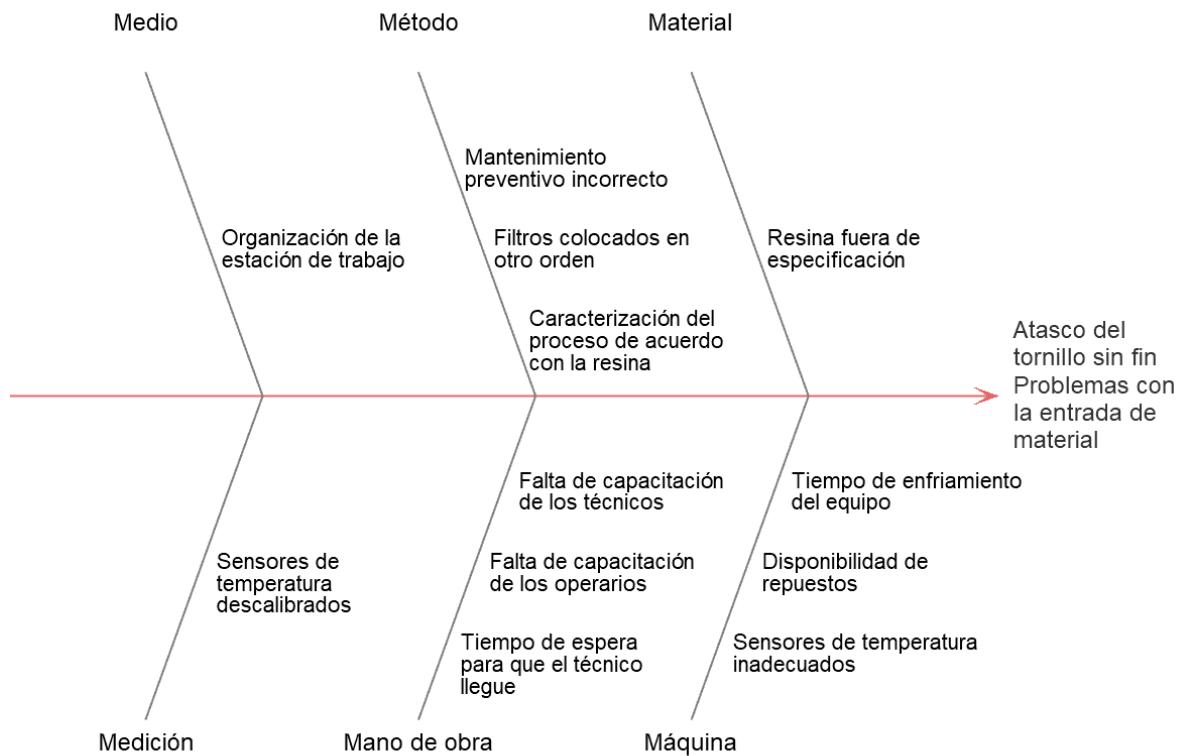


Figura 5 Ishikawa para determinar la causa raíz de las máquinas del proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2024)

El siguiente paso es evaluar cada una de las posibles causas para determinar si son contribuyentes o no a que se ocasionan los tiempos de paro. Para facilitar el análisis de esta información se procede a enlistar y justificar si son causas que impactan el proceso de forma negativa ocasionando tiempos de paro no planeados.

- Medio:
 - Organización de la estación de trabajo:

Para cualquier rol que se desempeñe, tener una estación de trabajo organizada es de suma importancia para mantener una eficiencia del proceso y de la productividad que tienen los asociados. Adicionalmente, esto mejora las condiciones de salud al estar organizado y limpio y mejora las condiciones de seguridad al reducir el riesgo de sufrir un accidente laboral por tener mal posicionados objetos que puedan ocasionar un daño a las personas.

La empresa donde se realiza esta investigación sigue la metodología 5S de LEAN que consiste en 5 etapas de acuerdo con (Safety Culture, 2024) son:

1. Clasificación: en esta etapa se separa todo lo innecesario en el proceso, esto ayuda remover todos los elementos innecesarios de la estación de trabajo para evitar tener herramientas de trabajo innecesarias en el área de trabajo.
2. Organización: consiste en posicionar las herramientas de trabajo de forma adecuada de acuerdo con la frecuencia de uso, tamaño y peso del objeto, mano dominante de la persona y la seguridad que pueda causar el objeto. Con estas consideraciones se acomoda de manera adecuada las herramientas por utilizar.
3. Limpieza: esta fase la persona encargada del proceso debe mantener limpia su estación de trabajo y la máquina en la que está trabajando.
4. Estandarización: para que sea una metodología exitosa se debe procurar que sea sostenible en el tiempo y es por esto por lo que se debe estandarizar la estación de trabajo de forma que sea sencillo poder mantenerla en orden y evitar cualquier condición que pueda ir en contra de lo que se quiere lograr.
5. Seguir mejorando: finalizando con esta etapa, periódicamente se debe revisar si se puede hacer alguna otra mejora y realizar el ciclo de nuevo. Además, es importante realizar caminatas Gemba o auditorías de proceso que consideren esta metodología.

Sabiendo que la empresa utiliza esta metodología, se confirma que todos los días se realizan caminatas Gemba y se envía un correo con los fallos o recomendaciones pertinentes. Adicionalmente, el proceso de *jacket* es auditado una vez al mes de forma aleatoria y uno de los puntos a considerar es el cumplimiento de la metodología 5S.

Es por esta razón, que se descarta que esta pueda ser la causa raíz de alguno de los dos fallos que se dan en el proceso de *jacket*.

- Método:
 - Mantenimiento preventivo incorrecto:

Cuando se investiga acerca de mantenimiento preventivo, se hace con el objetivo de asegurar que los tiempos de operación de una máquina sean estables y se mantengan en el tiempo. Realizar estas actividades de forma adecuada, permite mantener los equipos en las mejores condiciones de trabajo, y manteniendo bajos los recursos necesarios disponibles para el momento que sean necesarios. La vida útil de los componentes también es prolongada y se evita realizar paros y cambios de componentes innecesarios.

Realizar las labores de mantenimiento preventivo permite mantener la seguridad de los equipos e identificar potenciales riesgos en el proceso que pueden ser corregidos antes de que alguna persona se pueda ver afectada.

Para el proceso de *jacket*, el mantenimiento que se realiza queda documentado de forma digital. Al revisar la información de los tiquetes, se puede observar que el resumen técnico concuerda con la información del plan de mantenimiento, por lo tanto, se comprueba que el personal de mantenimiento realiza las labores correspondientes para el proceso de *jacket*.

Otro factor importante es que ninguno de los tiquetes abiertos para mantenimiento correctivo se relaciona con daños o desgastes en los componentes del sistema, por lo tanto, se puede considerar como otro indicador de que el mantenimiento preventivo que ese realiza es el adecuado para el proceso que se requiere.

Es por estas dos razones, que se considera que el mantenimiento preventivo que se realiza al momento de tomar los datos del periodo estudiado permite demostrar que no es una de las causas raíz de los tiempos de paro no planeados en el proceso de *jacket*.

- Filtros colocados en otro orden:

En el proceso de extrusión, se determina el orden de los filtros de malla metálica que se deben colocar entre el final del tornillo y la matriz de extrusión. Esto se puede encontrar en la hoja técnica de proceso.

Colocar los filtros en el orden adecuado permite garantizar que el material extruido en el cable salga con el acabado y calidad adecuados y no se vea afectada la uniformidad

o partículas inadecuadas. Otro factor importante que incida que se colocaron los filtros en orden inadecuado o son los problemas con el flujo de material y las caídas de presión que se pueden dar en el barril y el tornillo, lo cual no está evidenciado de ser un problema reportado en los tickets de mantenimiento correctivo.

Si los filtros requeridos en el proceso son los inadecuados o son colocados en un orden diferente causa que se deba dar un reemplazo más frecuente de los filtros en el proceso para evitar que otros componentes del equipo se dañen y la reparación sea aún más costosa. De acuerdo con la información de los tickets de mantenimiento correctivos de los técnicos, los filtros no han sido cambiados durante el proceso de reparación. Lo que permite identificar que tampoco puede ser una causa relacionada a los tiempos de paro no planeado.

Gracias a esta información recopilada es que se identifica que el orden de los filtros es el correcto para el proceso de extrusión.

- Caracterización del proceso de acuerdo con la resina:

Caracterizar un proceso de extrusión es importante ya que los parámetros que se deben de configurar son delicados y cada lote de resina va a tener características diferentes que van a comportarse de forma diferente entre ellos, por lo que conocer estas características facilita el proceso de ajuste inicial de la máquina y puede impactar de forma negativa en la disponibilidad del equipo al requerir mantenimientos, ajustes y reparaciones no planeadas.

Para analizar correctamente esta sección se deben involucrar conceptos de reología que se basan principalmente en la literatura de (Vlachopoulos & Polychronopoulos, 2019). Iniciando por explicar en qué consiste la reología como uno de los principios básicos del estudio de las resinas, la reología es el estudio del flujo y deformación de materiales bajo influencia de algún agente externo, en este caso el comportamiento en flujo y deformación de la resina PVC con respecto a las temperaturas y velocidad de giro del tornillo que se configuran en la extrusora.

La reología explica que la viscosidad de un material puede cambiar con respecto a la temperatura aplicada. La viscosidad es la resistencia que presenta un material a fluir, entre más viscoso sea va a fluir más lentamente y entre menos viscoso sea más fácilmente va a fluir el material. Adicionalmente es importante comprender que existen algunos fluidos de tipo no newtonianos, esto significa que la viscosidad va a ser cambiante dependiendo de la temperatura y esfuerzos que se le aplican.

En el caso de la resina PVC es considerada como un fluido no newtoniano, como ya se menciona previamente, esto quiere decir que la viscosidad cambia con respecto a la temperatura y el esfuerzo aplicado. En específico, a mayor temperatura se disminuye la viscosidad y por ende el material fluye más fácilmente y a menor temperatura aumenta la viscosidad y el material fluye más lentamente. Con respecto al esfuerzo aplicado, se cuenta con una velocidad de giro del tornillo de la extrusora que debe ser considerado, la velocidad de giro influye de forma que a mayor velocidad disminuye la viscosidad, por lo que el material fluye de mejor forma, mientras que a menor velocidad aumenta la viscosidad y el material tiene más resistencia a fluir.

Al ser la viscosidad una característica tan cambiante durante el proceso, lo correcto es utilizar algún otro indicador para definir cuáles son las características del proceso que se deben establecer. Además, el comportamiento entre lotes no permite conocer un valor de viscosidad constante para cada uno de ellos.

Aquí es donde se introduce el concepto de índice de fluidez en masa o MFI por sus siglas en inglés de "Melted Flow Index", es la cantidad de material que fluye en un tiempo dado, a través de un orificio de tamaño constante a temperatura y un peso estándar definidos por la norma ASTM-D3835. Cuando se tiene un MFI alto, se tiene una viscosidad baja y cuando se tiene un MFI bajo la resina tiene alta viscosidad y fluye con mayor dificultad. Por ende, para un MFI bajo, se deben utilizar temperaturas y velocidad de tornillo mayores para facilitar el flujo del material y por otro lado para un MFI alto se deben usar temperaturas y velocidad de tornillo más bajas para evitar problemas con el flujo de material.

Sabiendo esto, se puede notar que al aplicar ciertas temperaturas a cada lote con un MFI diferente, se puede obtener diferentes condiciones en la resina y en la extrusora, por eso definir si existe una relación entre ellas es de suma importancia para conocer si es una potencial causa para los problemas de atasco en el tornillo y en la entrada del material. Para comprender esto por medio estadístico, se grafica por medio de un diagrama de dispersión con regresión lineal, la relación de las diferentes temperaturas y la velocidad del tornillo en relación con el MFI.

Inicialmente, se analizan los valores obtenidos en treinta órdenes de producción que cuentan con tiquetes relacionados con problemas de atasco de material en el tornillo o a la entrada de la extrusora. Para esto, se realiza el cálculo del coeficiente de determinación o R^2 , en estadística, esto indica que tan bien explica un modelo de regresión la variable dependiente. Para esto se realiza el cálculo por medio del software Minitab con regresión lineal y regresión cuadrática; estos son dos modelos matemáticos que explican la relación entre el eje Y y el eje X por medio de una línea recta (regresión lineal) o una curva parabólica (regresión cuadrática). En resumen, el coeficiente de determinación explica el porcentaje de variación de la variable en el eje Y causada por la variable del eje X, por lo tanto, puede establecer la relación de cada una de las características en comparación con el valor de MFI. Como se puede observar en la tabla 7.

Característica	Órdenes con paros no programados	
	R2 regresión lineal (%)	R2 regresión cuadrática (%)
Velocidad del tornillo	7.2	7.5
Temperatura de la cabeza	0.1	0.5
Temperatura de Zona 1	8.3	11.7
Temperatura de Zona 2	0.7	1.5
Temperatura de Zona 3	0.1	0.8
Temperatura de la abrazadera	0.5	3.7
Temperatura de la matriz	10.4	17

Tabla 7 porcentaje de R^2 con regresión lineal y regresión cuadrática para cada una de las áreas de temperatura y la velocidad del tornillo en comparación con el MFI en ordenes de producción con paros no programados relacionados a atasco de material

Fuente: Elaboración propia (2025)

De acuerdo con estos valores, se procede a usar los valores y gráficos para regresión cuadrática, ya que de acuerdo con (Minitab, 2024) el tipo de ajuste que se debe utilizar es el que cuenta con un R^2 mayor. También se conoce que un porcentaje de R^2 mayor al 70% es aceptable y se puede concluir de los resultados que solo el 7.5 % de la variación de la velocidad del tornillo está explicada por la variación del MFI, solo el 0.5% de la variación de la temperatura de la cabeza está explicada por la variación del MFI, solo el 11.7% de la variación de la temperatura de la zona 1 está explicada por la variación del MFI, solo el 1.5% de la variación de la temperatura de la zona 2 está explicada por la variación del MFI, solo el 0.8% de la variación de la temperatura de la zona 3 está explicada por la variación del MFI, solo el 3.7% de la variación de la temperatura de la abrazadera está explicada por la variación del MFI y solo el 17% de la variación de la temperatura de la matriz está explicada por la variación del MFI en el proceso de extrusión, específicamente en ordenes con paros no planeados por tiempos relacionados a atascos de material en el tornillo o la entrada de material. Por lo tanto, se puede decir que no existe relación entre los parámetros o características estudiados y los valores de MFI.

Se elige trabajar con gráficos de dispersión desde el gráfico 7 hasta el 13, ya que permite observar el comportamiento de los resultados obtenidos en cada una de las órdenes de producción y con respecto a utilizar una curva de regresión permite conocer el valor de otros datos desconocidos mediante el uso de valores ya conocidos y generar un valor de R^2 .

Con esto se procede a mostrar los gráficos de dispersión con regresión cuadrática para cada una de las características analizadas. En el eje Y se observa cada una de las características y en el eje X se muestra el valor de MFI. Cada uno de los puntos de la gráfica representa el valor de temperatura utilizado en un MFI correspondiente y la línea curva de la gráfica representa la curva de regresión cuadrática para los valores estudiados.

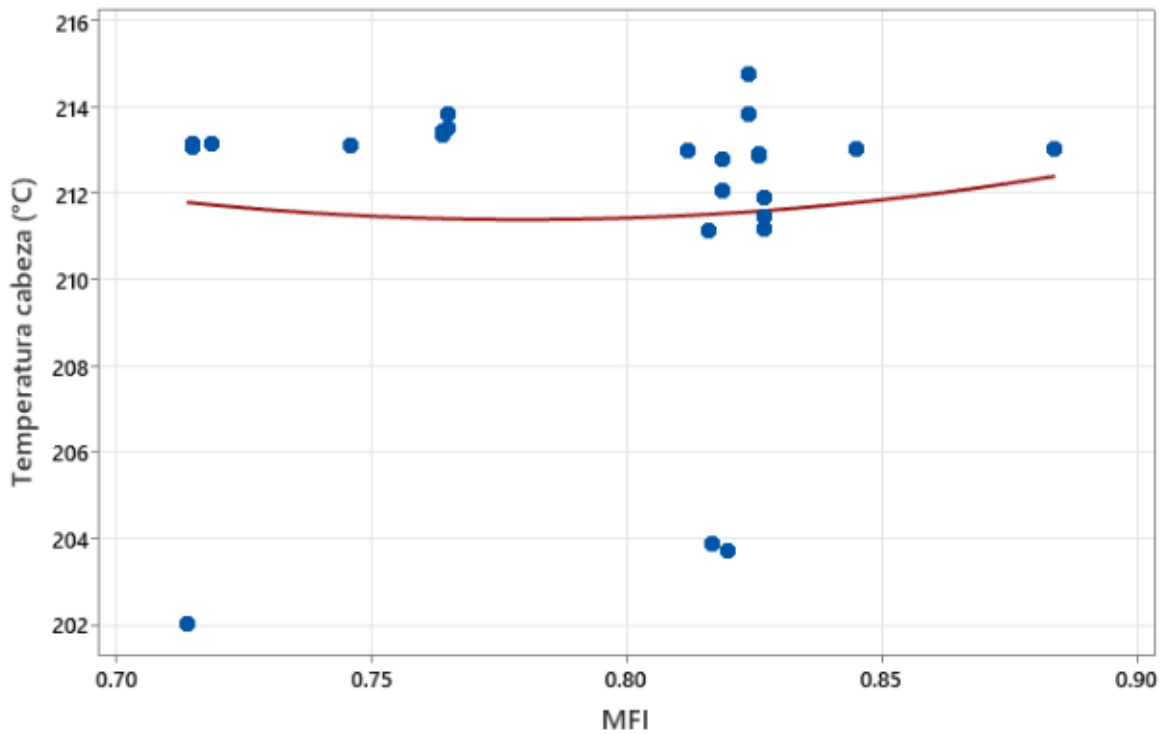


Gráfico 7 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la cabeza con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

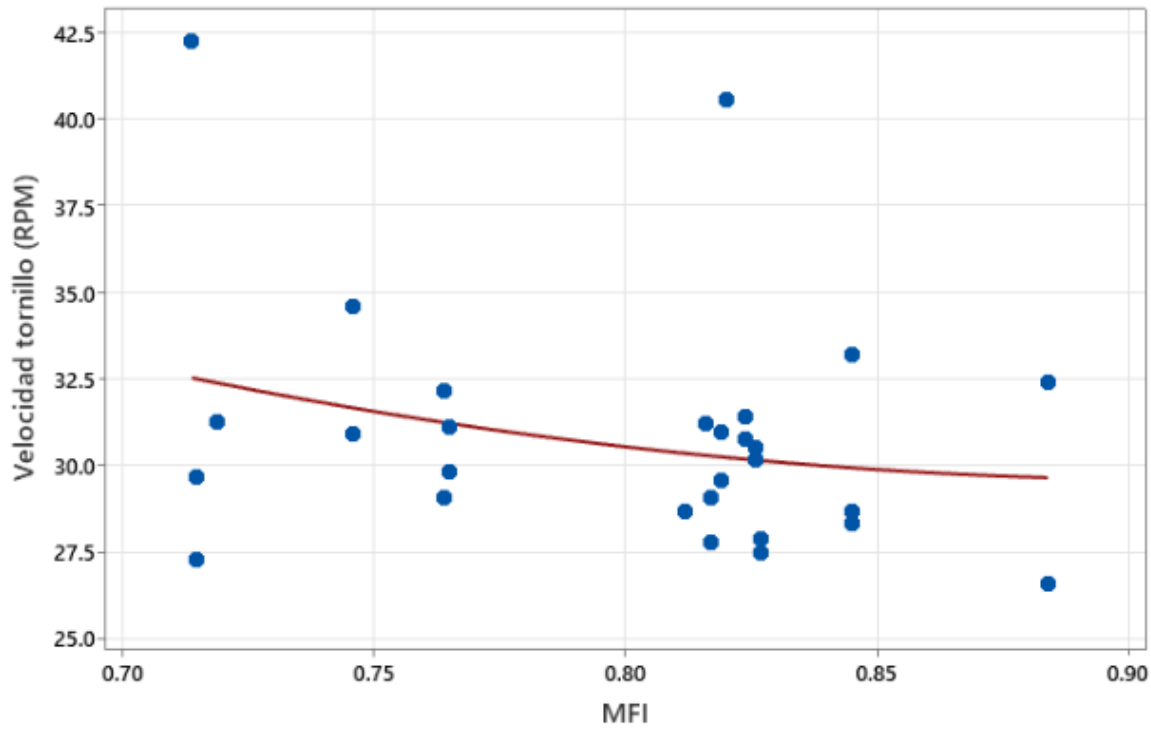


Gráfico 8 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la velocidad del tornillo con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

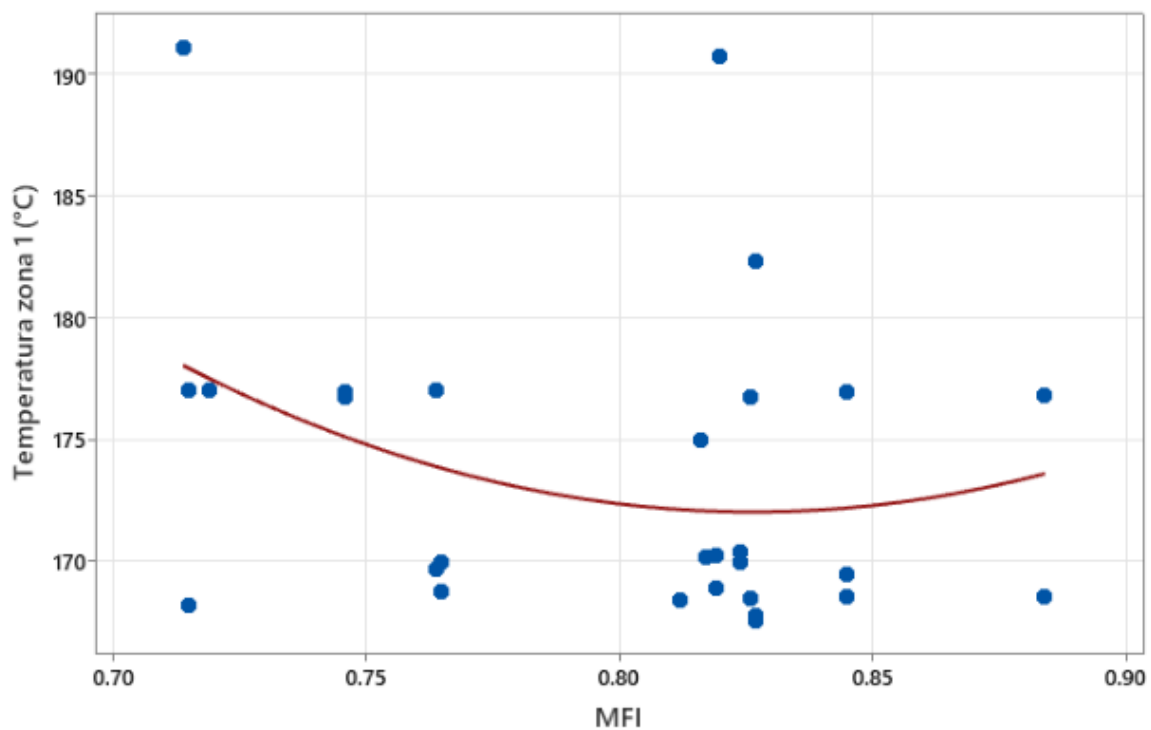


Gráfico 9 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 1 con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

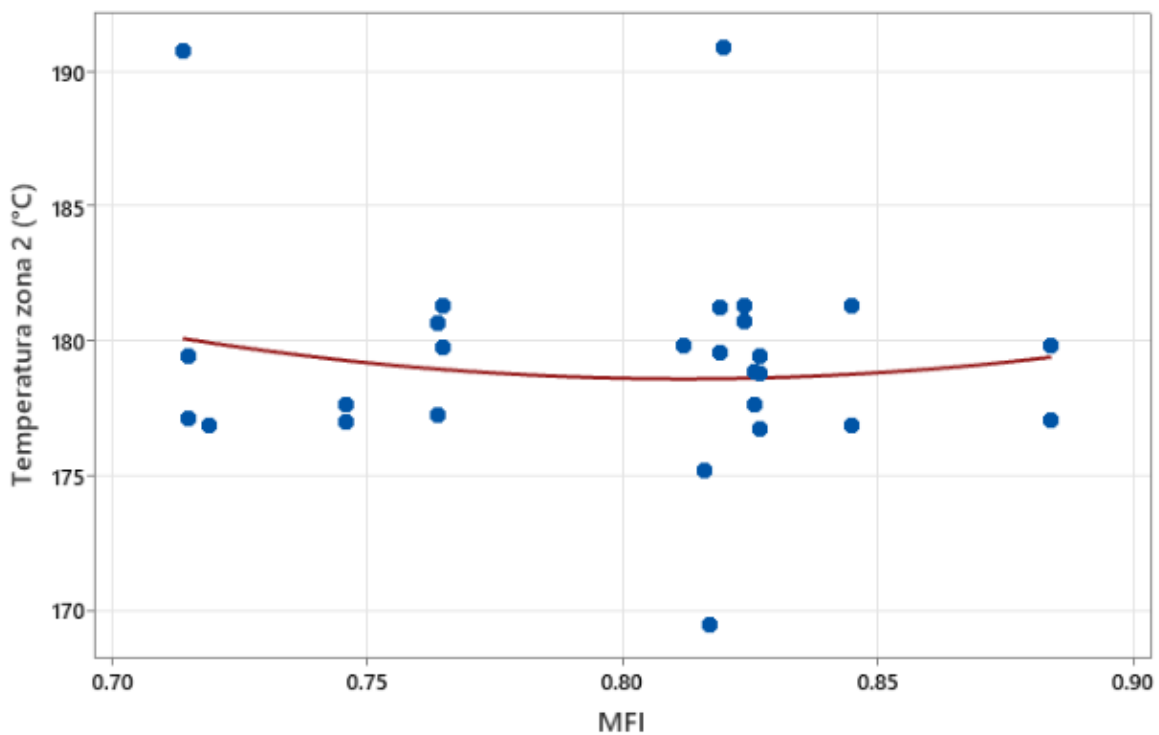


Gráfico 10 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 2 con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

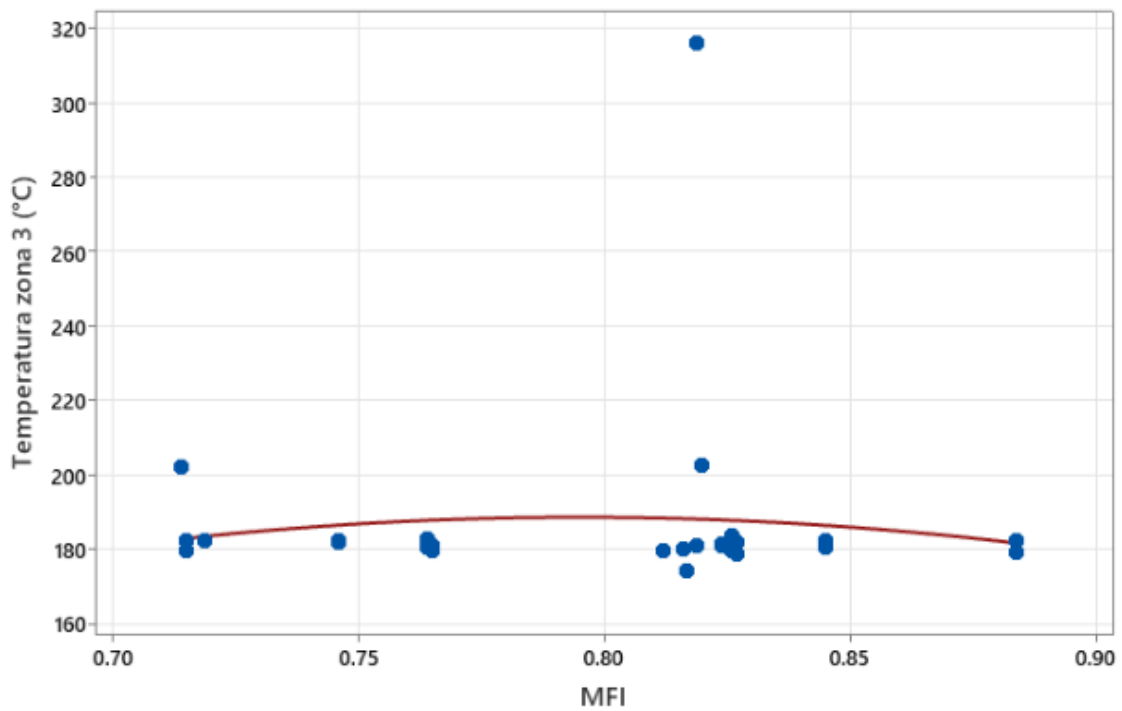
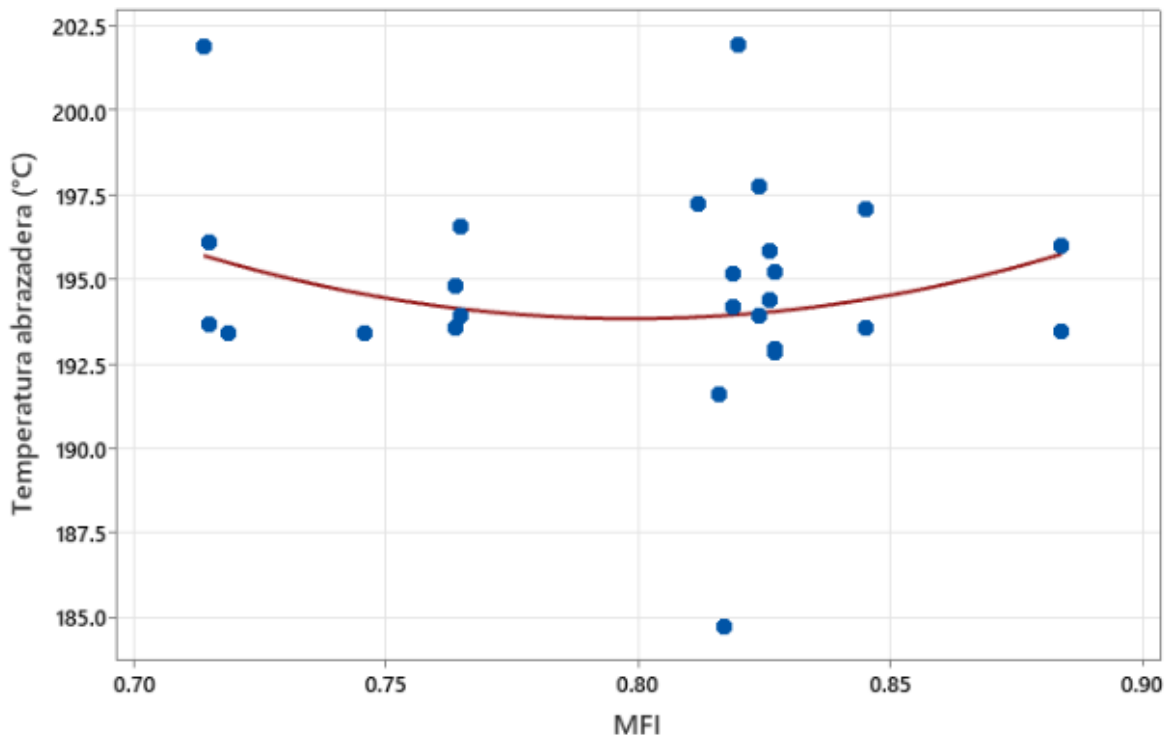


Gráfico 11 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la zona 3 con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)



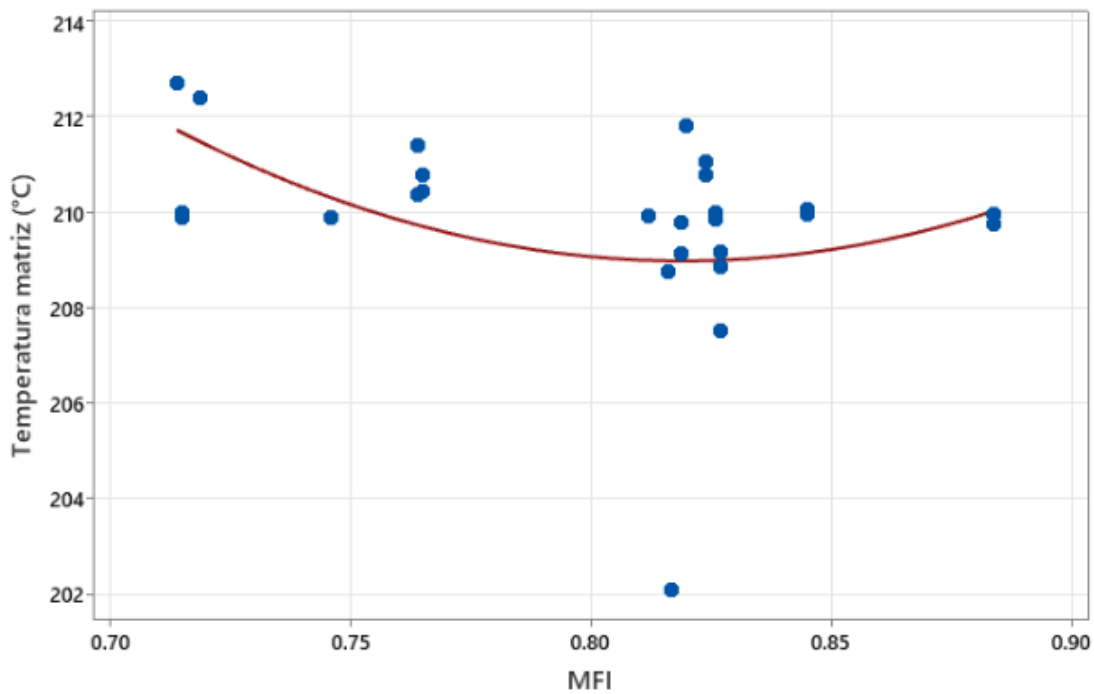


Gráfico 13 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la matriz con el MFI en órdenes con tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

Luego se procede a analizar los registros de temperaturas y velocidad de giro de tornillo para treinta órdenes de producción que no presentaron tiempos de paro no planeados en el proceso productivo como se muestra en la tabla 8.

Característica	Órdenes sin paros no programados	
	R2 regresión lineal	R2 regresión cuadrática
Velocidad del tornillo	84.8	84.9
Temperatura de la cabeza	85	85.8
Temperatura de Zona 1	79.6	80.9
Temperatura de Zona 2	82.4	86.7
Temperatura de Zona 3	71.2	76.9
Temperatura de la abrazadera	90.3	90.5
Temperatura de la matriz	80.1	82.2

Tabla 8 Porcentaje de R² con regresión lineal y regresión cuadrática para cada una de las áreas de temperatura y la velocidad del tornillo en comparación con el MFI en órdenes de producción sin paros no programados relacionados a atasco de material

Fuente: Elaboración propia (2025)

Al igual que con los datos de las órdenes no planeadas, se elige presentar las gráficas con regresión cuadrática al mostrar un valor de R^2 mayor que el de la regresión lineal.

De acuerdo con (Minitab, 2024), un porcentaje de R^2 mayor al 70% es aceptable y se puede concluir de los resultados que el 84.9% de la variación de la velocidad del tornillo está explicada por la variación del MFI, el 85.8% de la variación de la temperatura de la cabeza está explicada por la variación del MFI, el 80.9% de la variación de la temperatura de la zona 1 está explicada por la variación del MFI, el 86.7% de la variación de la temperatura de la zona 2 está explicada por la variación del MFI, el 76.9% de la variación de la temperatura de la zona 3 está explicada por la variación del MFI, el 90.5% de la variación de la temperatura de la abrazadera está explicada por la variación del MFI y el 82.2% de la variación de la temperatura de la matriz está explicada por la variación del MFI en el proceso de extrusión, específicamente en órdenes sin paros no planeados por tiempos relacionados a atascos de material en el tornillo o la entrada de material.

A continuación, se muestran los gráficos del 14 al 20 para cada una de las áreas con temperatura o velocidad de tornillo en relación con el MFI.

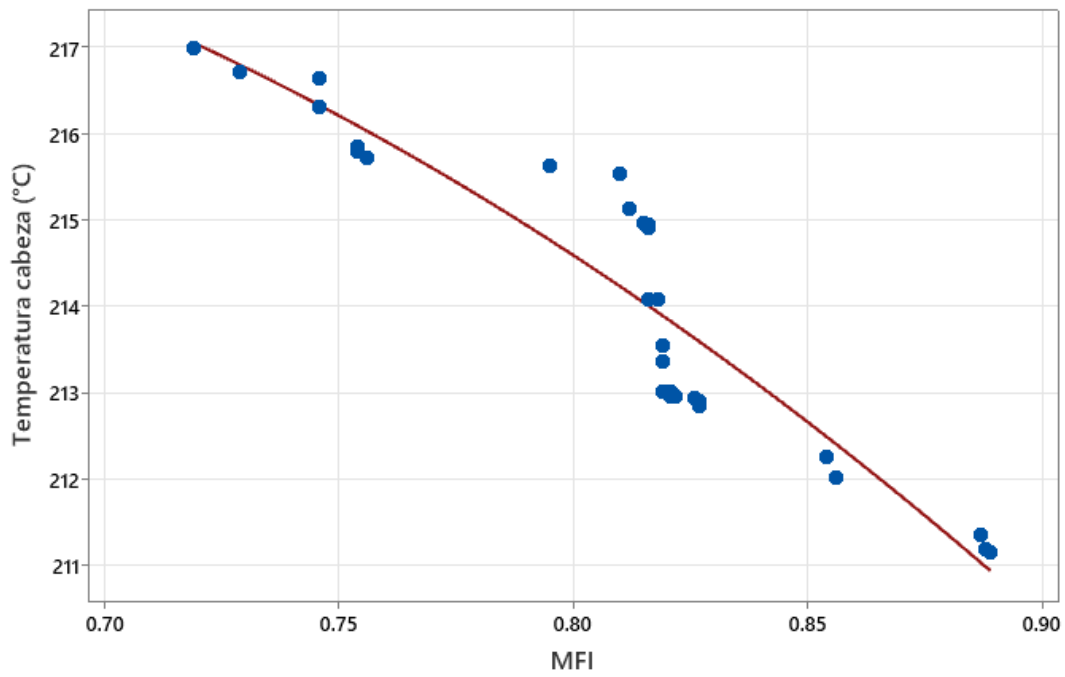


Gráfico 14 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la cabeza con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

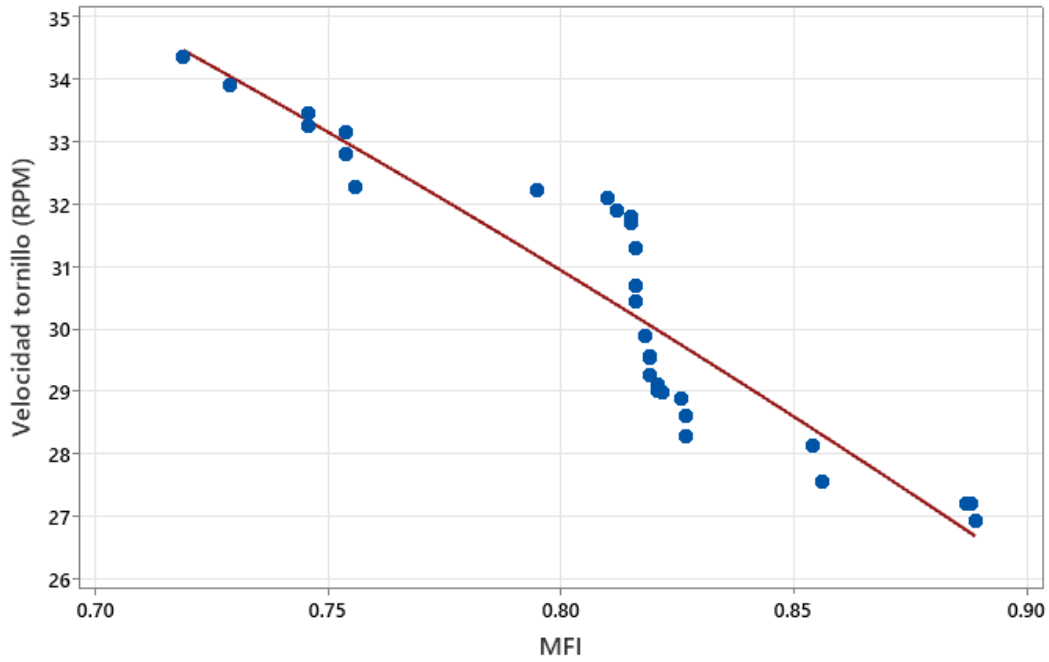


Gráfico 15 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la velocidad del tornillo con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

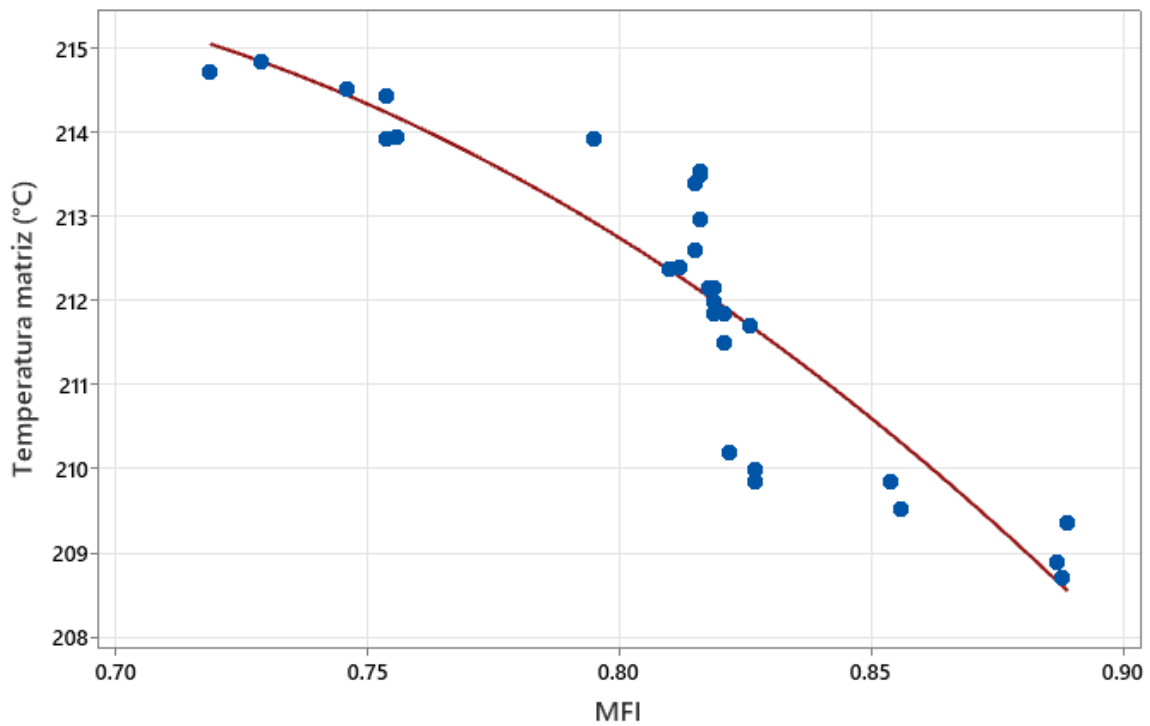


Gráfico 20 Diagrama de dispersión con regresión cuadrática para relacionar la temperatura de la matriz con el MFI en órdenes sin tiempos de paro no planeados

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para facilitar la comparación de los resultados de R^2 con regresión cuadrática para todas las áreas analizadas, se procede a elaborar la tabla 9, una tabla resumen donde se pueden comparar los resultados obtenidos en ambos casos.

	R2 regresión cuadrática órdenes con paros no planeados (%)	R2 regresión cuadrática órdenes sin paros no planeados (%)
Velocidad del tornillo	7.5	84.9
Temperatura de la cabeza	0.5	85.8
Temperatura de Zona 1	11.7	80.9
Temperatura de Zona 2	1.5	86.7
Temperatura de Zona 3	0.8	76.9
Temperatura de la abrazadera	3.7	90.5
Temperatura de la matriz	17	82.2

Tabla 9 Tabla resumen del porcentaje de R^2 con regresión cuadrática para cada una de las áreas de temperatura y la velocidad del tornillo en comparación con el MFI en órdenes de producción con y sin paros no programados relacionados a atasco de material

Fuente: Elaboración propia (2025)

Como se puede observar en los diagramas de dispersión con regresión cuadrática y en los valores obtenidos de R^2 , al ser comparados entre sí para órdenes que cuentan con paros planeados y sin paros planeados, que el valor es superior para órdenes que no tuvieron paros planeados por atascos en el tornillo o la entrada de material, por lo cual se puede decir que los valores de temperaturas y velocidad utilizados en las órdenes con MFI específicos se ajustan mejor con el proceso y por ende, no causan atascos en el tornillo y la entrada del material, generando una menor cantidad de tiempos no planeados en los tiquetes de mantenimiento y por el lado contrario, se demuestra que las órdenes que tienen paros no planeados presentan un ajuste que no es el adecuado y causando tiempos de paro no planeados por atascos de material en la extrusora.

Con esta evidencia, se logra comprobar que la caracterización del perfil de temperaturas y velocidad en el proceso de extrusión se relacionan de forma negativa con los tiempos de paro no planeados analizados en esta sección.

- Material:
 - Resina fuera de especificación:

Como se ha mencionado anteriormente la resina que se utiliza en este proceso es resina PCV. Sin embargo, es una resina con una receta especial diseñada específicamente para la empresa al momento de diseñar el proceso y a lo largo de toda la producción el proveedor ha manejado de forma confidencial los parámetros y componentes utilizados para la fabricación de la resina. Debido a esto, la empresa no cuenta con los parámetros o características específicos necesarios para determinar si se encuentra dentro o fuera de especificación.

Al recibir cada uno de los lotes de material, se obtiene una hoja con la información general de que se encuentra dentro de especificación debido al valor de gravedad específica de la resina, la cual solo presenta el resultado y no contiene parámetros de aceptación o rechazo, este documento es firmado por el inspector de la empresa, a este documento se le conoce comercialmente como “Certificado de análisis” de un producto.

Con los registros para las órdenes de compra utilizadas durante este periodo de tiempo se puede confirmar que la resina se encuentra en condiciones adecuadas para ser utilizada y, por ende, se descarta que este sea un factor que influya como causa raíz de los fallos encontrados en el proceso de *jacket*.

- Medición:
 - Sensores de temperatura descalibrados:

En el proceso de *jacket*, específicamente en la extrusora, se cuentan con nueve sensores de temperatura que se deben establecer de acuerdo con los requerimientos establecidos en la hoja de procesos para cada número de parte. Al ser tantos sensores, si alguno de ellos se encuentra descalibrado al momento de producir se pueden ocasionar problemas en el proceso y por ende la detención de la línea de forma no planeada.

La calibración de los sensores se debe dar de forma mensual para garantizar su correcto funcionamiento en el equipo y no incurrir en lecturas falsas de temperatura.

El departamento de calibraciones se encarga de realizar las calibraciones necesarias para cada sensor y equipo que lo requiera en la empresa. Adicionalmente, al momento de evaluar la máquina, se revisan las etiquetas de calibraciones y todas cuentan con las fechas de calibración al día y la correcta etiqueta que lo comprueba.

El departamento de calibraciones confirma que todos los sensores de las dos máquinas han sido realizados con la frecuencia necesaria, por lo que se descarta que la calibración de los sensores sea un causante relevante para el proceso de *jacket*.

- Mano de obra:
 - Falta de capacitación de los técnicos:

La capacitación de los técnicos de mantenimiento en una empresa de manufactura es de suma importancia, ya que permite proveer de la información necesaria para ejecutar sus labores de manera adecuada y segura. La empresa cuenta con los procedimientos necesarios para realizar este tipo de tareas pruebas y cuenta con un registro de entrenamientos para cada persona.

En el caso del proceso de *jacket*, el procedimiento para realizar el mantenimiento de las máquinas de *jacket*, es muy específico en los pasos a seguir, ubicaciones de los elementos necesarios y la información requerida se encuentra al alcance en un documento corporativo que puede ser acceder en cualquier momento por medio de la base de datos donde se almacenan.

Con respecto a la importancia de tener este documento actualizado, se entiende que no solo ayuda a mejorar las habilidades del personal técnico, sino también a optimizar los recursos y tiempo realizando las labores que se requieren y con la frecuencia que se necesita para cada caso. La seguridad es otro factor de suma importancia, ya que permite tener conocimiento de las normas y riesgos que se pueden tener al realizar las labores para prevenir cualquier tipo de accidente que pueda ocurrir durante las labores de mantenimiento. También se tiene un incremento en la productividad, ya que se reducen u optimizan los tiempos en los que se debe realizar un mantenimiento.

Finalmente, se requiere de registros y algún tipo de evidencia de que los entrenamientos son efectivos para la persona que se capacite para el rol. Estos entrenamientos cuentan con una prueba de selección múltiple donde se ponen en práctica todos los conocimientos adquiridos durante el entrenamiento. Para los seis técnicos de mantenimiento que realizaron los mantenimientos en el periodo analizado, de acuerdo con recursos humanos se cuenta con los entrenamientos y pruebas necesarias para realizar las labores, por lo tanto, los técnicos cuentan con la capacitación necesaria para realizar las labores requeridas.

- Falta de capacitación de los operarios:

En el caso de los operarios de producción, la capacitación correcta es necesaria para evitar tiempos de paro no planeados debido al desconocimiento de los procedimientos, incurriendo en errores que pueden detener la máquina. Otra razón es por tener un manejo inadecuado de la maquinaria, aumentando el riesgo de incurrir en fallas de las máquinas, averías o daños que incidan en el paro no planeado, esto también puede generar una mayor

dificultad para solucionar problemas. Al impactar en los tiempos de paro, se puede tener también una disminución de la productividad por mantenimientos correctivos que se deban realizar.

La empresa procura brindar un entrenamiento correcto para que los operarios cuenten con las herramientas adecuadas para realizar los procedimientos requeridos durante su jornada laboral, por esto se brinda una instrucción de trabajo detallada o un paso a paso para que tengan claridad en las acciones que tienen que tomar. Adicionalmente, luego de leer y comprender el documento se procede a realizar una prueba de selección múltiple para verificar los conocimientos adquiridos y cada operario cuenta con el apoyo de un líder de línea, que es una persona experta en el proceso para que realice las preguntas necesarias principalmente en las primeras semanas de trabajo.

En el proceso de *jacket* laboraron 19 personas en el periodo de estudio, al verificar con el departamento de recursos humanos, todo el personal cuenta con los entrenamientos necesarios y pruebas aprobadas, por lo que se procede a descartar que los operarios cuenten con falta de entrenamientos.

- Tiempo de espera para que el técnico llegue:

El tiempo de espera para que un técnico de mantenimiento atienda un tiquete de producción es importante monitorearlo ya que nos puede indicar si es necesario contratar más personal, trabajar en capacitaciones, distribuir mejor los recursos o evaluar la estructura del departamento para atender los problemas que se puedan tener. Además, si los tiempos son bajos, representan un menor impacto en el tiempo de inactividad o en la productividad de una máquina, reducen los costos de mantenimiento y también previenen posibles daños a los equipos por tener menos tiempo detenidos o funcionando parcialmente en un proceso. En el caso del proceso de *jacket*, al analizar el análisis de distribución de tiempos se obtienen los siguientes resultados en el gráfico 21.

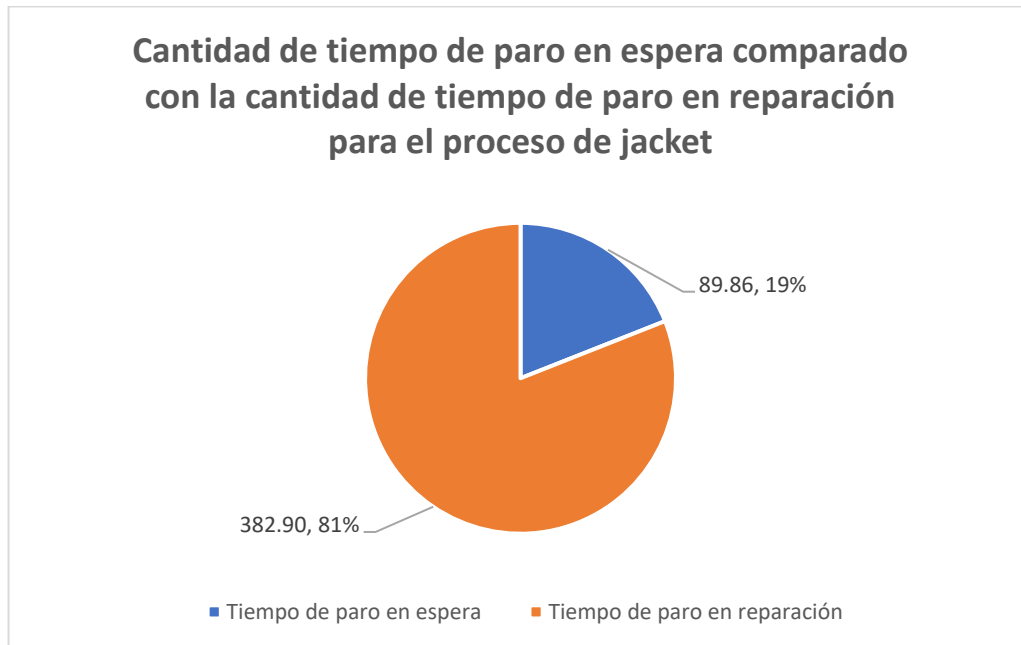


Gráfico 21 Cantidad de tiempo de paro en espera comparado con la cantidad de tiempo de paro en reparación específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2025)

Al utilizar el principio de Pareto, el 81% del tiempo de paro es debido a tiempo de reparación de los equipos y solo un 19% es considerado para los tiempos de espera para que un técnico de mantenimiento realice las acciones correctas necesarias para que las máquinas continúen funcionando. Debido a que la mayor cantidad de tiempo es causado por el mantenimiento y no a tiempos de espera se descarta esta posible causa como causa raíz a los tiempos de paro.

- Máquina:
 - Tiempo de enfriamiento del equipo:

Cuando se analizan los tiempos de mantenimiento en procesos que requieren altas temperaturas es importante para algunas labores de mantenimiento correctivo esperar a que el equipo se enfríe total o parcialmente para realizar las labores requeridas.

En el caso del proceso de *jacket*, al analizar el equipo de la extrusora, pueden llegar a un máximo de 699.82° Kelvin (o 426.67° C) en algunos componentes de la máquina, por eso es importante dejarla enfriar para proceder con las acciones necesarias.

Al consultar con los técnicos de mantenimiento, explican que el tiempo de espera para el enfriamiento es considerado dentro del tiempo de espera para atender un tiquete. Como se puede observar en el análisis de tiempos de paro en espera, solo representa un 19% total del tiempo de paro por mantenimiento y de acuerdo con el principio de Pareto, no es el principal inconveniente que se debe atacar de forma inmediata, por esto, se descarta que el tiempo de enfriamiento sea la causa raíz de los tiempos de paro no planeados en el proceso de *jacket*.

- Disponibilidad de los repuestos:

Los repuestos en mantenimiento son importantes para garantizar el funcionamiento de la máquina o equipo cuando ocurre algún tipo de fallo en alguno de los componentes que requiera ser reemplazado inmediatamente, esto mejora la cantidad de tiempo disponible de la máquina y reduce los tiempos de mantenimiento correctivo.

Adicionalmente, si no se cuenta con los repuestos en el momento necesario, se puede incurrir en malas prácticas o reparaciones improvisadas para solventar las necesidades productivas del momento, implicando incluso, posibles riesgos en la seguridad de las personas que utilicen las máquinas o equipos.

Contar con una buena disponibilidad de repuestos, facilita la ejecución de mantenimientos correctivos y promueve la reducción de costos y tiempos de paro no planeados. La empresa manufacturera cuenta con un inventario de repuestos de diferentes tipos para los componentes de acuerdo con su frecuencia de cambio y necesidades productivas. Al revisar las notas de los tiquetes de los técnicos para los atascos del tornillo sin fin y los problemas a la entrada del material, no se encuentra ninguna referencia a espera de repuestos para reemplazar.

Con la información del inventario de repuestos y, además, la falta de evidencia en los tiquetes de paro no planeados para la espera de repuestos, se puede concluir, que este potencial riesgo o potencia causa raíz, no influye en los tiempos de paro de las máquinas del proceso de *jacket*.

- Sensores de temperatura inadecuados:

En el proceso de extrusión de cable, es de suma importancia contar con las temperaturas adecuadas para lograr que el material se comporte de manera adecuada durante todo el proceso y no se den problemas con el comportamiento de los equipos, ni con el comportamiento de los materiales que se utilizan y con los acabados finales por la degradación del material.

Para garantizar que las temperaturas sean las adecuadas en el proceso, es importante contar con los sensores adecuados para cada una de las partes del proceso. El equipo extrusor es un equipo comprado directamente del fabricante, por lo tanto, se deben utilizar los sensores recomendados y mantener una calibración adecuada. Al revisar el historial de calibraciones, no se encuentra ningún daño reportado y desde el momento del primer ingreso del equipo, es decir, desde el momento de su compra, no se ha tenido que realizar ningún cambio de sensores de temperatura.

Con esta información se comprueba que los sensores utilizados son los recomendados por el fabricante American Kuhne para la extrusora que se utiliza en el proceso de *jacket* y con esto se procede a descartar que los sensores que se utilicen sean los inadecuados para el proceso

Al analizar los tiquetes de forma detallada, puede observar que hay diversos problemas ocurriendo en el equipo extrusor American Kuhne AK 075 301A/C EXT como el atasco del tornillo, los filtros sucios, aumento de presión en el barril, atasco de material en los filtros, limpiezas adicionales del barril y elevaciones anormales y excesivas de la temperatura en algunas de las zonas, por lo que las posibles causas específicas serían muy difíciles de atacar y no se atacaría la causa raíz del problema.

De acuerdo con el análisis desarrollado por medio de la herramienta de diagrama de Ishikawa y el análisis de cada una de las posibles causas para el proceso de *jacket*, se determina que la causa raíz de los tiempos de paro por mantenimientos correctivos es la incorrecta caracterización del proceso de acuerdo con la resina.

4.3.2. Analizar para el proceso de *ribbonizer*

Ahora se procede a analizar el proceso de *ribbonizer*. Al igual que en el proceso de *jacket* el primer paso que se realiza es consultar con las diferentes áreas de ingeniería de procesos, ingeniería de equipos, calidad, mantenimiento y facilidades para determinar todas las posibles causas que puedan ocasionar los tiempos de paro específicamente relacionadas al ajuste del damper, la limpieza del sensor de temperatura del sistema de extracción de gases y los cambios de manguera en el sistema de goteo.

Para comprender de una mejor forma el análisis se explica acerca de los sistemas de extracción. “Los sistemas de extracción de aire son dispositivos que se encargan de purificar el aire dentro de una habitación, extrayendo el aire contaminado, pero no solamente se encargan de extraerlo, sino que también son sistemas que nos ayudan a ventilar una zona y favoreciendo el que fluya aire limpio. Estos sistemas garantizan la renovación del aire dentro de los recintos y la eliminación de agentes contaminantes que puedan representar un riesgo para la salud de los ocupantes de estos espacios.” (Kinenergy International, 2022).

Se muestra la distribución de los ductos del sistema de extracción en la figura 6 con algunos de los criterios de (González Sierra, 2021).

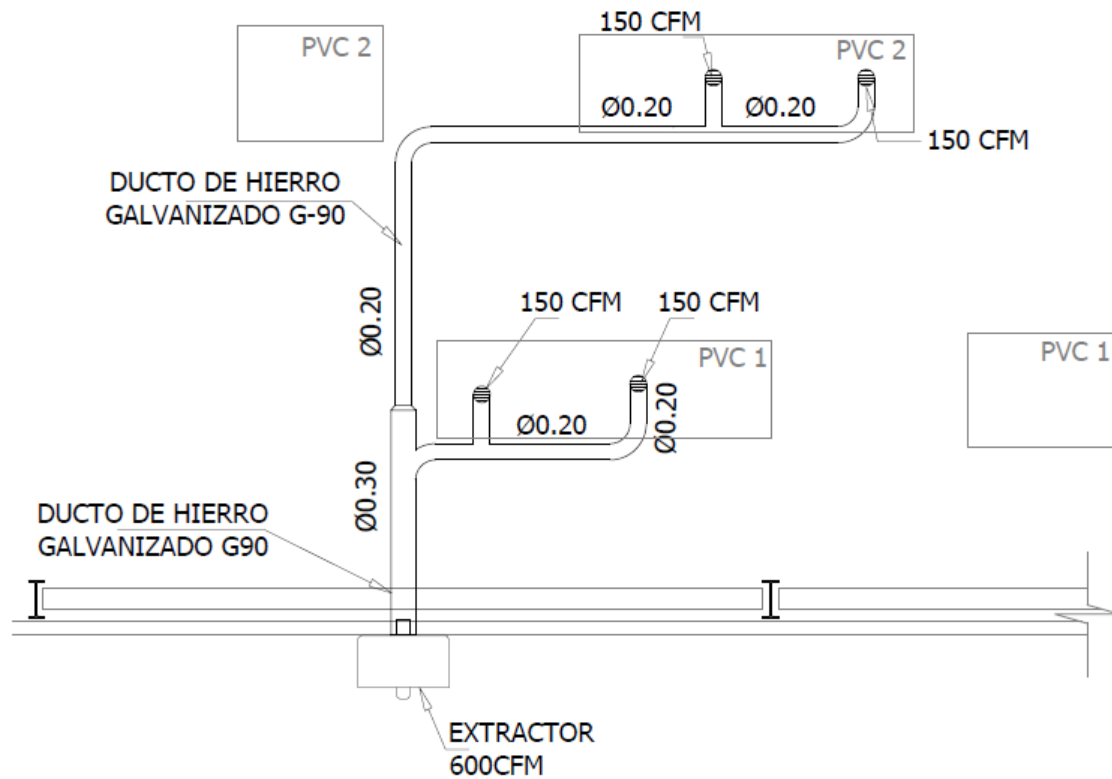


Figura 6 Distribución actual de los ductos de extracción de gases de las máquinas de *ribbonizer* a enero 2025

Fuente: Elaboración propia (2024)

El tetrahidrofurano es un químico líquido, incoloro y tóxico (Supelco, 2023) de comportamiento similar a la acetona. Este químico tiene múltiples funciones en la industria, pero en el proceso de *ribbonizer*, es utilizado como solvente de resinas, lo que permite que utilizando la cantidad adecuada se pueda disolver las resina PVC y luego de su secado permite la unión de los cables.

Luego de comprender el sistema de extracción, se procede a categorizar cada uno de los factores en las seis categorías que requiere un diagrama de Ishikawa y ordenarlas en el diagrama que se puede observar en la figura 7.

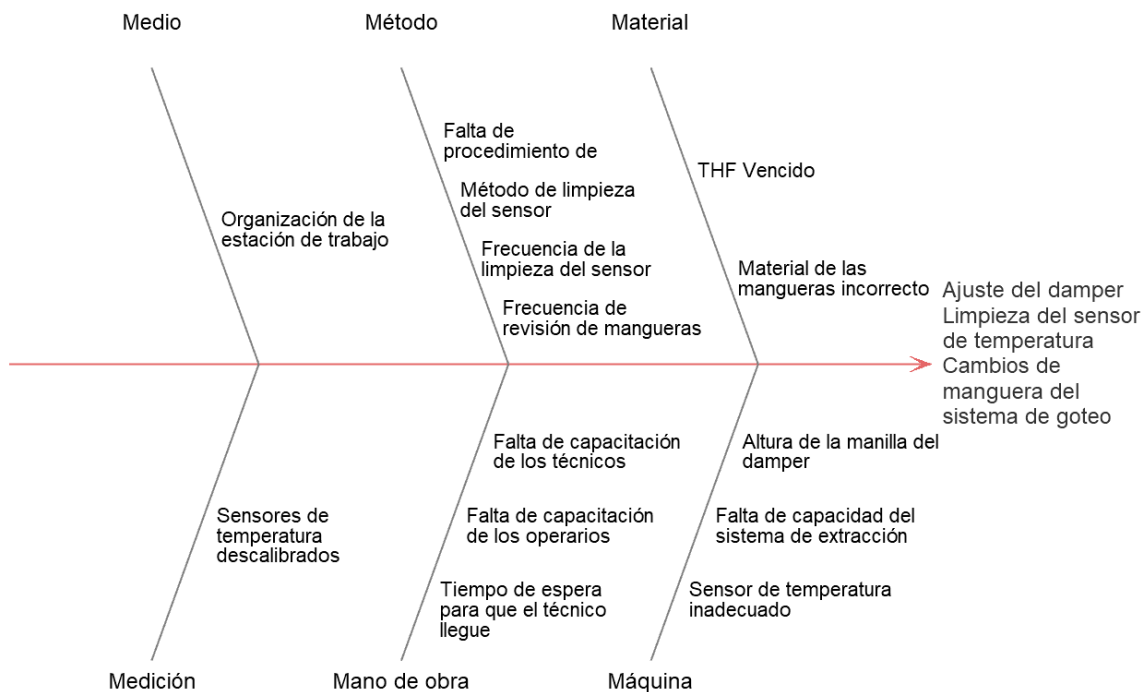


Figura 7 Ishikawa para determinar la causa raíz de las máquinas del proceso de *ribbonizer*

Fuente: Elaboración propia (2024)

A continuación, se desarrolla la justificación de cada uno de los factores que pueden ocasionar que las máquinas de *ribbonizer* se deban detener para realizar un mantenimiento correctivo, para facilitar la comprensión se procede a enlistar de acuerdo con la categoría en la que fue previamente establecida:

- Medio:
 - Organización de la estación de trabajo:

Como se desarrolla en el proceso de *jacket*, se descarta de igual forma en el proceso de *jacket* que la organización de la estación de trabajo pueda estar impactando de manera negativa en ca cantidad de tiempos de paro no planeados. Esto debido a que se utiliza la metodología Lean de 5S para organizar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener.

Se debe recalcar que esta metodología ya estaba implementada previo al periodo de datos que se recopilaron para esta investigación y se realizan auditorías mensuales en este proceso también y está incluido en la caminata Gemba que se realiza diariamente.

Con respecto a las caminatas Gemba, se solicita revisar si se ha realizado alguna recomendación o fallo en este proceso, de lo cual no se ha encontrado registro.

- Método:
 - Falta de procedimiento de resolución de problemas:

Cuando se trabaja en cualquier rol que requiera solucionar problemas, es importante tener conocimiento de como identificarlos, analizarlos y solucionarlos de la forma más eficiente y rápida para evitar contratiempos mayores o problemas que se pueda agravar con el tiempo. En mantenimiento esto puede verse relacionado desde la cantidad de tiempos de paro, hasta con factores de seguridad que puedan afectar a cualquier persona que se vea relacionada.

El contar con un procedimiento de resolución de problemas, permite a las personas encargadas de realizar la tarea una mayor facilidad de hacerlo ya que hay información que facilita la identificación y correcta resolución. Esto permite dirigir los esfuerzos al área adecuada donde se requieren y realizar una coordinación más eficiente de las necesidades o tareas que puedan surgir.

Para esta investigación se debe evaluar que exista un procedimiento que cubra la limpieza del sensor, ajuste del damper y reemplazo de las mangueras. Existe un procedimiento llamado “PVC *Ribbonizer*” con herramientas útiles para ciertos tipos de alarmas de la máquina, en esta se documenta cuales acciones evaluar cuando se activa la alarma por una menor medición del sistema de extracción para el flujo de salida, cuenta con un procedimiento de resolución de problemas y las especificaciones de las mangueras que se utilizan en el sistema de bombeo.

Con esto se logra comprobar que hay un procedimiento establecido para la solución de problemas, el cual cuenta con toda la línea base de cómo evaluar y solucionar algunos

de los problemas que pueden ocasionar tiempos de paro no planeados en las máquinas de *ribbonizer*, por lo que se descarta que esta sea una de las potenciales causas de los tiempos de paro que se analizan.

- Método de limpieza del sensor:

En general cuando se utiliza cualquier método o procedimiento para realizar el mantenimiento preventivo o correctivo de un equipo, es importante que explique a detalle cómo se debe realizar la acción, para garantizar la precisión de las mediciones, prevenir fallos, prologar la vida útil, garantizar la seguridad y reducir costos por cualquier imprevisto que pueda suceder.

En los manuales de los diversos componentes o equipos que se utilizan, generalmente, tienen un procedimiento establecido para establecer una línea base que las empresas pueden estudiar para aplicar de acuerdo con las necesidades con las que se cuenten. En este caso, de acuerdo con el procedimiento establecido en el manual de usuario del sensor modelo AVT-D-R de (HK Instruments, 2023) y el procedimiento de mantenimiento preventivo que la empresa se alinean de manera adecuada.

Al verificar esto, se demuestra que el procedimiento para realizar la limpieza es el adecuado.

- Frecuencia de la limpieza del sensor:

La frecuencia de limpieza de un sensor es de vital importancia para garantizar la precisión de las medidas, la vida útil y su correcto desempeño. El sensor modelo AVT-D-R se encuentra ubicado en los ductos de extracción de gases químicos, estos gases pueden generar mayor suciedad en las tuberías y por ende los componentes que se encuentren en ella, por esta razón es importante contar con una adecuada frecuencia de limpieza del sensor.

Para esto, se calcula la frecuencia con la que se debe hacer la limpieza considerando que, durante el tiempo de estudio, la limpieza del sensor está especificada cada dos semanas por requerimiento del plan de mantenimiento. Adicionalmente, se

conoce que, en el mismo periodo, se produce durante 4990.48 horas y de acuerdo con la información de los tiquetes de los técnicos, se realizaron 23 mantenimientos por este modo de falla. Con esta información se procede a realizar el cálculo del tiempo medio de fallas o MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$
$$MTBF = \frac{4990.48 \text{ horas}}{23} = 216.98 \text{ horas}$$

De acuerdo con el MTBF, un paro cada 216.98 horas es reportado por medio de los tiquetes de los técnicos por limpieza del sensor, por lo que, al tener una producción 24/7 representa un paro cada 9.04 días.

Con una frecuencia de limpieza bisemanal y una frecuencia real de 9.04 horas se puede determinar que la frecuencia de limpieza del sensor es la inadecuada para el proceso, determinando así la causa raíz de la limpieza del sensor.

- Frecuencia de revisión de mangueras:

Cuando se tiene un sistema de bombeo de químicos, es importante revisar frecuentemente que las mangueras se encuentren en buen estado para evitar cualquier inconveniente durante la producción de material, ya que los materiales tienden a ser corrosivos y aumenta el riesgo de deterioro, causando grietas, fugas, daños y posible contaminación en el producto.

Para comenzar se evalúa la frecuencia actual del mantenimiento preventivo a las mangueras y se determina que cuentan con una frecuencia trimestral. El mantenimiento consiste solamente en verificar que no existan fugas en las mangueras del sistema de bombeo.

Para conocer si la frecuencia de inspección de mangueras es la correcta, debe realizar el cálculo de tiempo medio entre fallas o MTBF, para eso se conoce de acuerdo con los registros de los tiquetes de mantenimiento, que la cantidad de veces que se ha tenido un paro no planeado en el tiempo de estudio es de 21 reportes. Además, se conoce

que en este mismo periodo se produjo 4990.48 horas. Con esta información, se aplica la ecuación de MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$
$$MTBF = \frac{4990.48 \text{ horas}}{21} = 237.61 \text{ horas}$$

Se determina que cada 217 horas ocurre alguna eventualidad relacionada con las mangueras del sistema de bombeo. Al tener la producción activa 24/7, esto representa un paro no planeado cada 9.90 días.

Con esto se sabe que la frecuencia con la que se revisa el sistema de bombeo es inadecuada, ya que en este periodo se realiza cada tres meses y lo correcto es realizarla cada 9.90 días, por lo que se determina que esta es una de las causas que ocasionan los tiempos de paro no planeados en el sistema de bombeo

- Material:
 - Tetrahidrofurano vencido:

Todos los componentes necesarios para realizar un producto en una línea de producción están debidamente identificados y registrados en el sistema de inventario. El tetrahidrofurano como uno de los componentes necesarios para llevar a cabo el proceso de *ribbonizer* se encuentra identificado. También cada producto tiene identificado la fecha de lote y vencimiento, si hay algún elemento que no supere el periodo de vida útil, se procede a desechar y el sistema de inventario alerta del material vencido en el sistema.

La empresa sigue el método FIFO para la asignación de material, lo que significa que lo primero en entrar debe ser lo primero en salir. La asignación de material se da de forma automática para el número de identificación que se obtenga, lo que no solo mejora la eficiencia del proceso, pero asegura que los componentes van a ser usados en un orden adecuado.

Gracias al sistema con el que se cuenta para la asignación de material se puede descartar que este factor por considerar no influye negativamente en los fallos que se tienen.

- Material de las mangueras incorrecto:

Al trabajar con químicos se debe tener mucho cuidado en los materiales que se utilizan para los sistemas de transporte o almacenamiento de los químicos ya que se puede dañar con una mayor frecuencia a la esperada por el producto. El material que se utiliza para transportar el tetrahidrofurano son múltiples mangueras transparentes de PVC en el sistema de goteo.

Sabiendo esto, se procede a verificar que el material, investigando las aplicaciones de este material en la industria y lo adecuado que pueda ser para utilizar químicos, para esto se realiza la lectura de la ficha técnica de las mangueras transparentes PVC y se confirma que el material es apto para el uso con químicos (Plásticos Cj, 2023).

Con esta información se confirma que el tipo de manguera y el material seleccionado son aptos para el proceso, por lo que no debe ser el causante de estos problemas.

- Medición:
 - Sensor de temperatura descalibrado:

Con respecto a este factor, el sensor de temperatura que se ubica en la parte superior de la campana de extracción es el que envía la señal para alertar al sistema de una menor extracción de aire del sistema. El sensor tiene una calibración de frecuencia mensual, se revisa la etiqueta presente en el sensor y se encuentra que la próxima calibración debe ser realizada en tres semanas y la última calibración fue realizada 1 semana antes de la fecha de revisión, se verifica con el equipo de calibraciones y se tiene agendada la calibración para la fecha necesaria. También se consulta con el encargado de realizar la calibración acerca de los registros de la calibración del sensor y se verifica que efectivamente se ha realizado la calibración con la frecuencia adecuada.

Adicionalmente se realizan verificaciones de la medición del sensor sea similar a los datos medidos por un anemómetro EXTECH AN200. Estas mediciones se realizan en diferentes momentos del día y durante los tres turnos. Como se muestra en la tabla 10, los valores son similares y los rangos de velocidad de flujo de extracción de un mínimo de 1.22 m/s establecidos de acuerdo con la norma número 45, anexo A.7.4.7. de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego o norma "NFPA 45" se encuentran adecuados. Cabe destacar que la temperatura no es un factor limitante para el sistema de extracción.

Al no encontrarse ninguna anomalía con el sistema, se procede a descartar que la calibración del sensor de temperatura del sistema de extracción de gases pueda ser el causante de los fallos ocurridos en el periodo que se está investigando.

- Mano de obra:
 - Falta de capacitación de los técnicos:

Cuando se habla de entrenamientos o capacitaciones, es de suma importancia comprender que es una de las bases fundamentales para que las personas realicen sus actividades laborales de forma segura, correcta y eficiente. Esto va directamente ligado con que los equipos o máquinas que son utilizados funcionen de manera correcta.

Específicamente en entrenamientos especiales para técnicos se adquieren conocimientos y herramientas que ayuden con el diagnóstico, reparación y mantenimientos que se le puedan dar a un equipo en específico, obteniendo como resultado prácticas más seguras, menor cantidad de fallos en los equipos o máquinas y por ende mejoras en la productividad.

La empresa cuenta con una lista de entrenamientos generales para el grupo técnico y específicos para cada máquina, lo que permite que se pueda comprender de una mejor forma y al tiempo necesario para cada persona las tareas por realizar. Para lograr una buena capacitación se debe contar con un procedimiento que explique detalladamente las tareas que se deben realizar y un método de comprobación de los conocimientos, en este caso se cuenta con una prueba virtual.

Al final del entrenamiento se realiza un entrenamiento acompañado, que consiste en que durante el primer mes de trabajo el técnico va a contar con soporte y guía de otro técnico con más tiempo en el puesto de trabajo para que lo guíe en los momentos que sean necesarios y evacue las dudas que puedan surgir durante su tiempo de aprendizaje.

Se encontraron registros de seis técnicos de mantenimiento que han realizado labores de mantenimiento tanto preventivas como correctivas, se procede a verificar con el departamento de recursos humanos si todos cuentan con la capacitación completa actualizada y se recibe confirmación de que todos tienen los entrenamientos y pruebas al día.

Adicionalmente, las instrucciones de trabajo se encuentran disponibles por medio de una base de datos para ser consultadas en el momento que se requiera.

- Falta de capacitación de los operarios:

En cuanto a capacitación de los operarios, se maneja de la misma forma que los técnicos, se les provee de una instrucción de trabajo con todos los procedimientos necesarios para que realicen las labores correspondientes al proceso y máquina en la que van a desempeñar sus actividades. Posteriormente se les realiza una prueba acerca de las funciones y procedimientos que deben cumplir y finalmente se brinda el acompañamiento por un mes de un líder de línea, para asegurar que la persona comprenda el procedimiento que debe realizar de forma completa y segura.

La diferencia entre la capacitación técnica y la capacitación de los operarios radica en las funciones que deben o no realizar en su puesto de trabajo. El o la operaria va a desempeñar funciones de producción y manipulación de los equipos de acuerdo con las especificaciones establecidas, mientras que el técnico de mantenimiento va a realizar labores de diagnóstico, reparación y prevención en equipos o máquinas según se requiera en el momento.

Se revisaron los registros y 20 personas abrieron tickets para los técnicos de mantenimiento durante el periodo establecido para el proceso de *ribbonizer*. Cada una de

las 20 personas cumple con los requisitos mencionados anteriormente, por lo que no se considera la capacitación de los operarios como una de las causas de los tiempos de paro establecidos.

- Tiempo de espera para que el técnico llegue:

Al analizar la causa o causas raíz de los tiempos de paro en máquinas por fallas, se debe analizar cómo se selecciona la cantidad de tiempo de paro por mantenimiento correctivo. La importancia de analizar esto es determinar si el problema radica en la ejecución del mantenimiento o en el tiempo de espera para que llegue un técnico a cumplir con sus labores. Si el problema radica en el tiempo de espera se debe analizar la cantidad de recursos, cargas de trabajo y la gestión del mantenimiento como tal, por otro lado, si la mayor cantidad de horas se encuentran en la ejecución del mantenimiento desde que el técnico comienza su análisis hasta que se le entrega la máquina a producción, entonces se deben atacar las causas sobre las que ocurren las fallas.

En el gráfico 22, se puede observar que el 81% de las horas de paro en los sistemas de extracción y goteo, se deben a las labores realizadas por el técnico de mantenimiento y un 19% se deben al tiempo de espera desde el momento que se abre el tiquete, hasta que el técnico de mantenimiento inicia con sus labores.

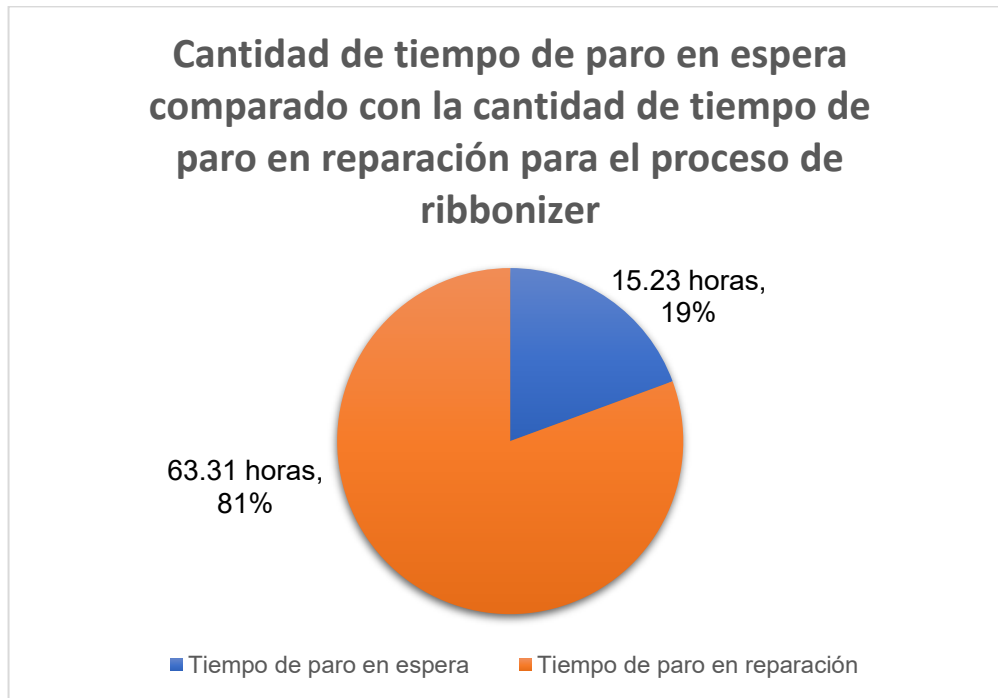


Gráfico 22 Cantidad de tiempo de paro en espera comparado con la cantidad de tiempo de paro en reparación específica de fallo del sistema de extracción de aire y sistema de goteo de químico durante diciembre 2023 y I semestre 2024

Fuente: Elaboración propia (2025)

Con respecto al principio de Pareto, solo el 19% de las horas totales de paro para los sistemas de extracción de aire y sistema de goteo se deben a tiempo de espera, lo cual indica que no es una de las razones que se deben atacar de manera inicial para proponer soluciones que puedan llevar a la disminución de los tiempos de paro de una máquina o equipo. Es por esto por lo que se descarta esto como un de las principales razones.

- Máquina:
 - Altura de la manilla del damper:

Como en todo sistema de extracción, cuando varios equipos están conectados a un extractor se puede necesitar un ajuste de las válvulas tipo damper para regular el sistema. Este tipo de accesorio del sistema es importante colocarlo para ajustar en tiempo real el sistema, dependiendo de las necesidades del momento, ya que puede variar dependiendo de la carga de partículas contaminantes o condiciones operativas. Es importante destacar que si el sistema de extracción no funciona de manera adecuada puede implicar daños a la salud de las personas que están relacionadas con este proceso.

Al inspeccionar la válvula tipo damper, se encuentra que está ubicada a una altura de 2.60 metros sobre el suelo, por lo que el acceso sin una escalera se imposibilita para los operarios, que al mismo tiempo requieren de una escalera para realizar el ajuste y no tienen el entrenamiento adecuado para poder realizar este procedimiento. Sabiendo esto, los operarios deben abrir un ticket a los técnicos para que realicen el ajuste, ya que este grupo si cuenta con acceso a escaleras y el entrenamiento adecuado para realizar esta labor de manera segura.

Al revisar la información de los tickets de los técnicos, no se menciona ningún tipo inconveniente al realizar el ajuste del damper, ni se menciona el uso de la escalera. Sin embargo, al operario no tener los permisos necesarios para realizar esta función se convierte en una causa inevitable de este tiempo de paro no planeado.

- Falta de capacidad del sistema de extracción:

El sistema requiere tener una velocidad mínima de 1.2192 m/s de extracción en el ducto. Es importante que esta medida se cumpla para evitar que puedan ocurrir daños a la salud de las personas que laboran cerca de la máquina, ya que de acuerdo con la ficha técnica del tetrahidrofurano de (Supelco, 2023) este químico es tóxico y tiene implicaciones negativas en la salud de las personas como se puede consultar en el documento completo.

De acuerdo con la programación de la máquina, cualquier valor que el sensor detecte menor a 1.2192 m/s la máquina se detiene para que sea revisado y corregido el problema. Cabe destacar que la cantidad de químico que se utiliza va a depender de la configuración que se debe fabricar en el momento.

Se realiza la toma de datos de velocidad de flujo de las dos máquinas durante seis días productivos en los tres turnos, se verifica que durante las mediciones se utilizan diversas configuraciones incluyendo máxima cantidad y mínima cantidad de líquido requerido. Es importante destacar que las mediciones del anemómetro y del sensor son tomadas al mismo momento.

Como se puede observar en la tabla 10, se presentan los valores de la medida de velocidad de flujo en metros por segundo para las dos máquinas conectadas al sistema de extracción durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024. Para realizar la toma de mediciones se utiliza el sensor de la marca HK Instruments, modelo AVT-D-R y un anemómetro de la marca EXTECJ Instruments modelo AN200.

Día y turno	Medida	Máquina 1		Máquina 2	
		Anemómetro	Sensor	Anemómetro	Sensor
Día 1, Turno 1	m/s	1.488	1.494	1.707	1.697
Día 1, Turno 2	m/s	1.636	1.626	1.727	1.737
Día 1, Turno 3	m/s	1.494	1.509	1.585	1.575
Día 2, Turno 1	m/s	1.661	1.666	1.651	1.646
Día 2, Turno 2	m/s	1.570	1.565	1.463	1.468
Día 2, Turno 3	m/s	1.377	1.387	1.605	1.595
Día 3, Turno 1	m/s	1.590	1.585	1.397	1.412
Día 3, Turno 2	m/s	1.311	1.316	1.417	1.407
Día 3, Turno 3	m/s	1.453	1.458	1.575	1.595
Día 4, Turno 1	m/s	1.549	1.544	1.534	1.549
Día 4, Turno 2	m/s	1.427	1.422	1.687	1.702
Día 4, Turno 3	m/s	1.280	1.290	1.697	1.687
Día 5, Turno 1	m/s	1.397	1.402	1.549	1.554
Día 5, Turno 2	m/s	1.326	1.341	1.509	1.509
Día 5, Turno 3	m/s	1.671	1.666	1.681	1.697
Día 6, Turno 1	m/s	1.351	1.361	1.392	1.397
Día 6, Turno 2	m/s	1.412	1.402	1.585	1.595
Día 6, Turno 3	m/s	1.615	1.626	1.519	1.514

Tabla 10 Mediciones de metros por segundo durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para representar gráficamente si todos los datos están sobre el límite inferior de especificación se proceden a graficar los datos por medio de un histograma con ajuste de curva para cada uno de los instrumentos y las máquinas como se puede observar en la tabla 11. Como se puede ver, todos los datos son superiores al límite inferior de especificación "LIE".

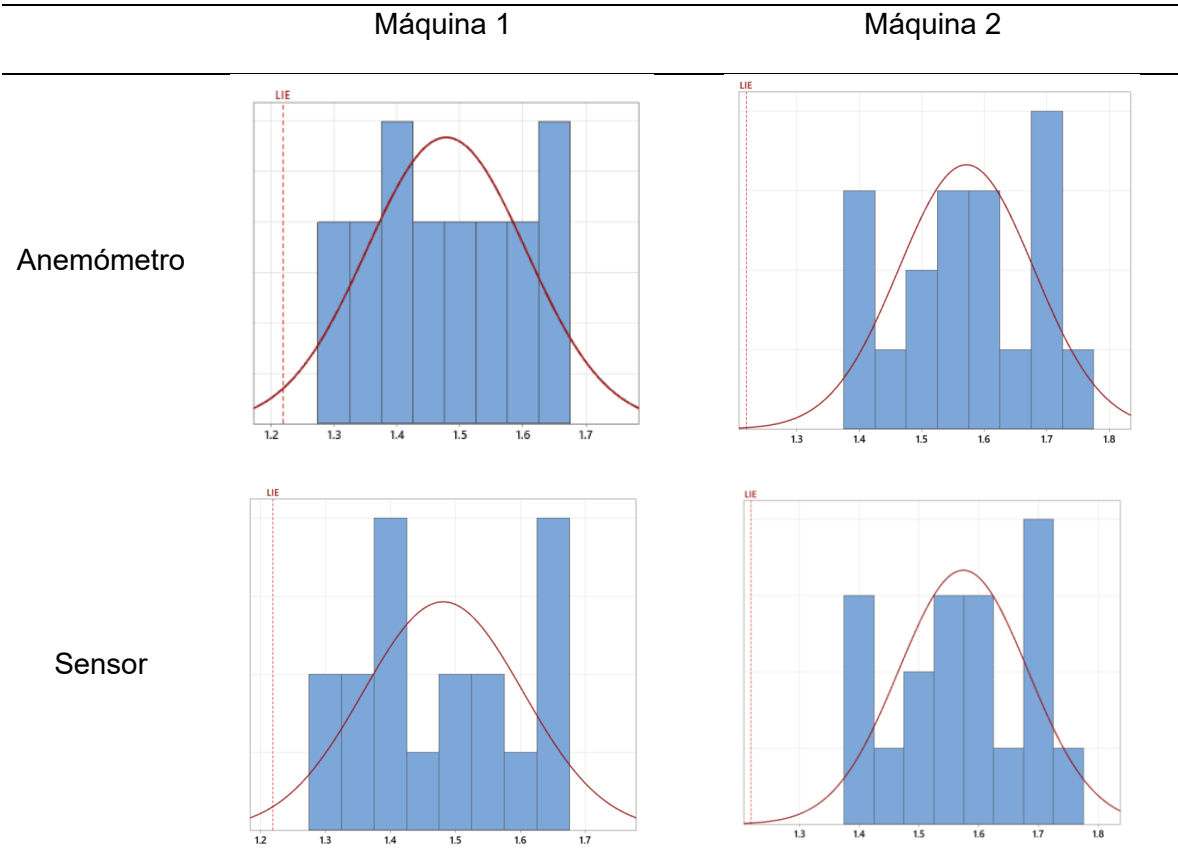


Tabla 11 Histograma durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2024)

También se tienen los datos de las mediciones de temperatura en la tabla 12 para cada una de las máquinas y los instrumentos de medición en grados Kelvin durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024. Los datos de temperatura solo se utilizan de referencia para determinar si hay alguna diferencia significativa en los datos, esto debido a que el valor de temperatura no implica ninguna limitante para el sistema como tal.

Día y turno	Medida	Máquina 1		Máquina 2	
		Anemómetro	Sensor	Anemómetro	Sensor
Día 1, Turno 1	° Kelvin	296.37	296.43	296.04	295.98
Día 1, Turno 2	° Kelvin	296.21	296.21	295.98	296.15
Día 1, Turno 3	° Kelvin	295.87	295.82	296.54	296.65
Día 2, Turno 1	° Kelvin	296.65	296.59	296.43	296.37
Día 2, Turno 2	° Kelvin	296.48	296.65	296.04	296.15
Día 2, Turno 3	° Kelvin	296.26	296.15	296.15	296.43
Día 3, Turno 1	° Kelvin	295.87	295.59	295.87	295.82
Día 3, Turno 2	° Kelvin	295.98	296.09	296.59	296.48
Día 3, Turno 3	° Kelvin	296.21	295.98	296.21	295.98
Día 4, Turno 1	° Kelvin	296.32	296.26	295.98	296.26
Día 4, Turno 2	° Kelvin	296.04	295.98	296.37	296.21
Día 4, Turno 3	° Kelvin	296.43	296.32	296.26	296.43
Día 5, Turno 1	° Kelvin	296.54	296.48	296.71	296.59
Día 5, Turno 2	° Kelvin	296.71	296.76	296.54	296.65
Día 5, Turno 3	° Kelvin	296.15	296.04	296.32	296.15
Día 6, Turno 1	° Kelvin	296.76	296.76	296.76	296.82
Día 6, Turno 2	° Kelvin	295.93	295.93	296.04	296.15
Día 6, Turno 3	° Kelvin	296.37	296.32	295.93	296.04

Tabla 12 Mediciones de temperatura durante seis días consecutivos en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Finalmente, con ayuda del software Minitab se procede a analizar los resultados de las mediciones por máquina y medición realizada. Para esto se utiliza una prueba de T pareada ya que los datos que se están recolectando son mediciones realizadas en un mismo momento en cuanto a tiempo y ubicación y se desea comparar el valor de dos instrumentos de medición diferentes, por lo que esta prueba se convierte en la más apta para este análisis. (Minitab Support, 2024).

En la siguiente tabla se puede observar los valores del P-Value y el intervalo de confianza para cada medición y equipo. El valor de P-Value es usado para determinar la media de la población de las diferencias estadísticamente diferentes de la media hipotética de las diferencias.

Para esto se define que la hipótesis nula es que la diferencia estadística de las medias sea igual a 0 y una hipótesis alternativa que las medias estadísticas sean diferentes de 0. Adicionalmente, para esto se determina un valor de alfa de 5% para concluir si existe

una diferencia significativa entre las dos medias estadísticas, obteniendo los intervalos de confianza al 95% de los datos analizados.

Por definición, si el valor de P-Value es mayor que el valor de alfa de un 5% en este caso, se tiene la suficiente evidencia para decir que no se puede rechazar la hipótesis nula. De igual forma, si el rango del intervalo de confianza al 95% contiene el valor 0, también se tiene la suficiente evidencia para decir que no se puede rechazar la hipótesis nula.

En la tabla 13, se puede observar que los valores obtenidos para P-Value son todos mayores al 0.05 y todos los intervalos de confianza contienen el valor 0, entonces se tiene la suficiente evidencia para decir que no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir que no hay una diferencia estadísticamente significativa en los resultados de las mediciones con el sensor y con el anemómetro.

Medición	Máquina	P-Value	Intervalo de confianza al 95%
Flujo	Máquina 1	0.172	(-0.00700, -0.00135)
	Máquina 2	0.243	(-0.00853, 0.00232)
Temperatura	Máquina 1	0.105	(-0.01000, 0.09640)
	Máquina 2	0.403	(-0.10680, 0.04510)

Tabla 13 P-Value para la comparación de las mediciones de flujo y temperatura por máquina recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2024)

Adicionalmente se grafican todos los diagramas de caja y bigotes de la prueba T pareada en los gráficos del 23 al 26.

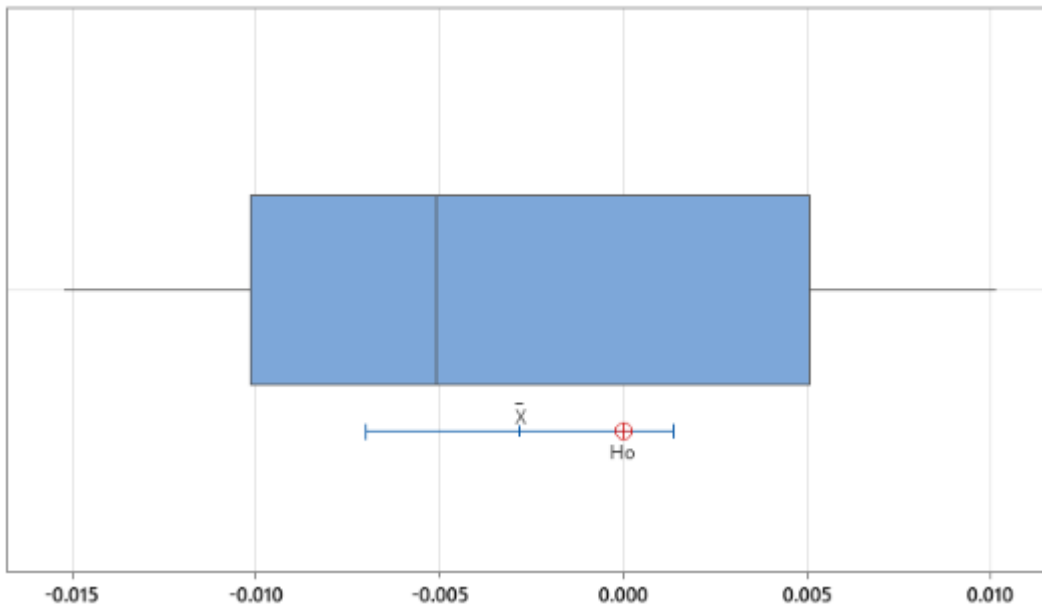


Gráfico 23 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de flujo de la máquina 1 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2025)

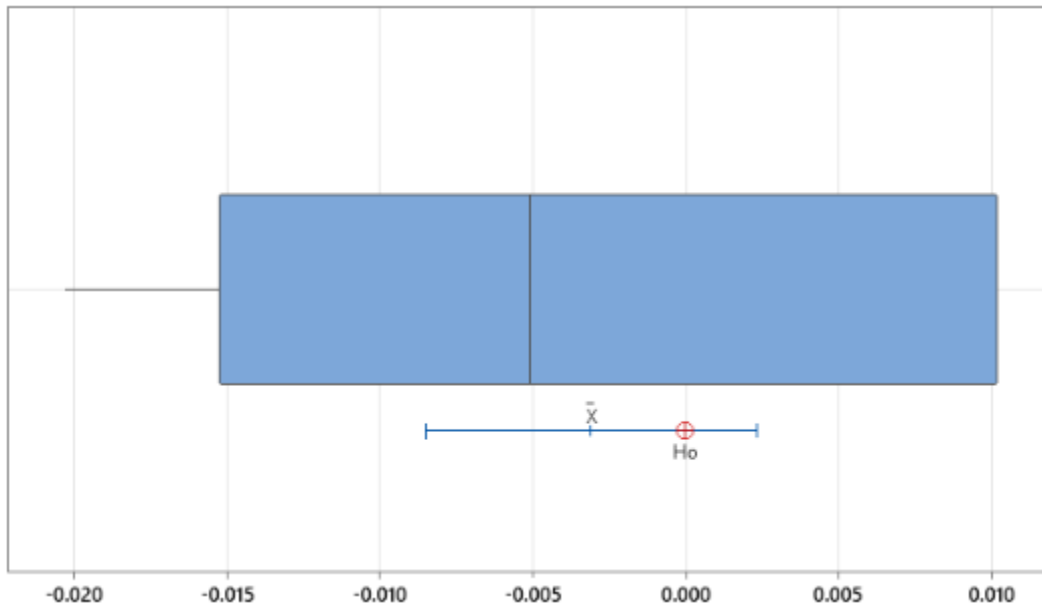


Gráfico 24 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de flujo de la máquina 2 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2025)

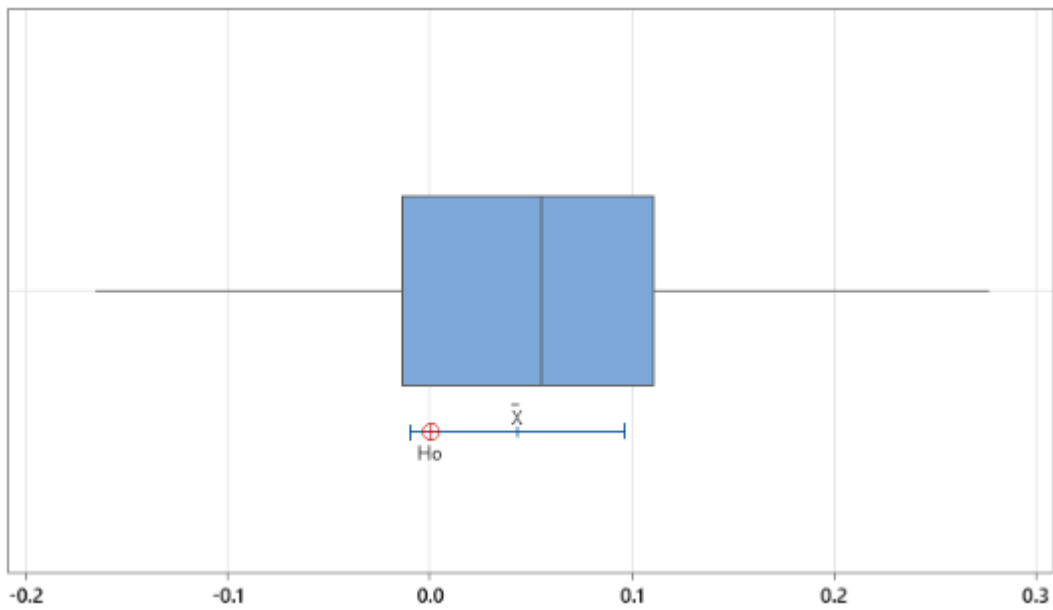


Gráfico 25 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de temperatura de la máquina 1 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2025)

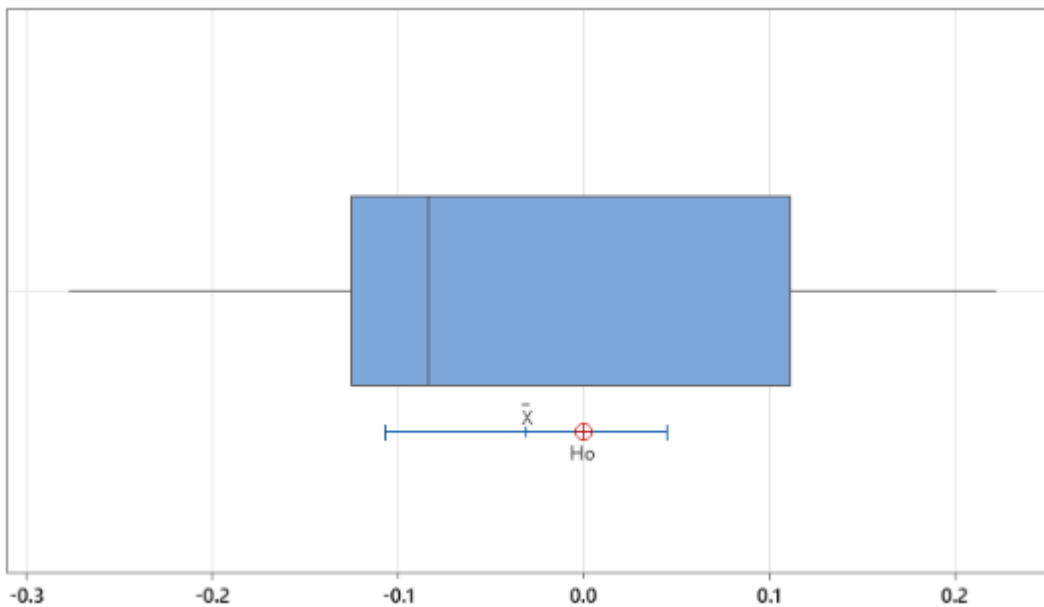


Gráfico 26 Diagrama de caja y bigotes de la prueba T pareada para la comparación de las medidas de temperatura de la máquina 1 de los datos recolectados en los 3 turnos operativos en el mes de diciembre 2024.

Fuente: Elaboración propia (2025)

Como se planeaba analizar, los resultados de las mediciones logran comprobar de una manera estadística que el sistema si es capaz de extraer el aire requerido y las mediciones que realiza el sensor con respecto a un anemómetro calibrado son correctas.

- Sensor de temperatura inadecuado:

Cuando se selecciona un sensor de temperatura para trabajar con procesos químicos es importante elegir el que tenga las mejores características para la aplicación en la cual se va a utilizar. En este caso el sensor va a estar expuesto a gases calientes y químicos producto del proceso de *ribbonizer*, por lo que elegir un sensor adecuado es de suma importancia para evitar que se den errores en la medición requerida.

El sensor que se utiliza para medir la cantidad de metros por segundo y temperatura que se extraen de este proceso es un sensor de la marca HK Instruments, modelo AVT-D-R. De acuerdo con la ficha técnica por (HK Instruments, 2018), se confirma que esta familia de sensores es apta para el monitoreo de flujo y velocidad de aire en aplicaciones de flujo de aire variable y sistemas de extracción de gases, por lo que las características del sensor concuerdan con la aplicación en la cual es utilizado y se puede considerar un sensor apto y se confirma que el tipo de sensor no es la causa raíz de los fallos que alerta el sensor en el proceso.

De acuerdo con el análisis desarrollado por medio de la herramienta de diagrama de Ishikawa y el análisis de cada una de las posibles causas para el proceso de *ribbonizer*, se determina que las causas raíz de los tiempos de paro por mantenimientos correctivos es la frecuencia de la limpieza del sensor de temperatura del sistema de extracción, la altura a la que está colocado el damper del sistema de extracción y la frecuencia de la revisión e inspección de las mangueras del sistema de bombeo.

4.4. Implementar

En la etapa de implementar para esta investigación, se desarrollan las propuestas que se pueden realizar para el proceso de *jacket* y *ribbonizer*. Al contar con toda la información de la etapa de analizar, se puede determinar las causas raíz principales que permiten el desarrollo adecuado de esta sección y con esta información se procede a plantear posibles soluciones para las tres principales causas de tiempos muertos, las cuales son la caracterización de los parámetros para la extrusora del proceso de *jacket* y la

limpieza del sensor de temperatura del sistema de extracción y la altura del damper en el proceso de *ribbonizer*.

De igual forma, como se han desarrollado las secciones anteriores, se procede a desarrollar la información para el proceso de *jacket* y *ribbonizer* por separado para facilitar la comprensión de la información, comenzando por el proceso de *jacket* y continuando con el proceso de *ribbonizer*.

4.4.1. Implementar para el proceso de *jacket*

Como se define en la sección anterior, la causa raíz de los tiempos de paro no planeados en el proceso de *jacket* por atascos en el tornillo y en la entrada del material es por la inadecuada caracterización del proceso de acuerdo con la resina.

Para caracterizar el proceso de acuerdo con la resina PVC que se utiliza para correr el producto en las líneas de *jacket*, se debe definir el perfil de temperatura de acuerdo con las características del material para prevenir las inconsistencias de mezclado en las resinas impactando en los atascos en la zona de la resina y en la entrada del material. Como ya fue mencionado anteriormente en la etapa de analizar, se pretende usar el valor de MFI de la resina para relacionarlo con la temperatura y velocidad de giro del tornillo adecuados, para esto se utilizan los gráficos del 27 al 33 para representar por medio de un gráfico de dispersión con regresión cuadrática la curva que se debe utilizar para definir la temperatura de acuerdo con el MFI de cada una de las órdenes.

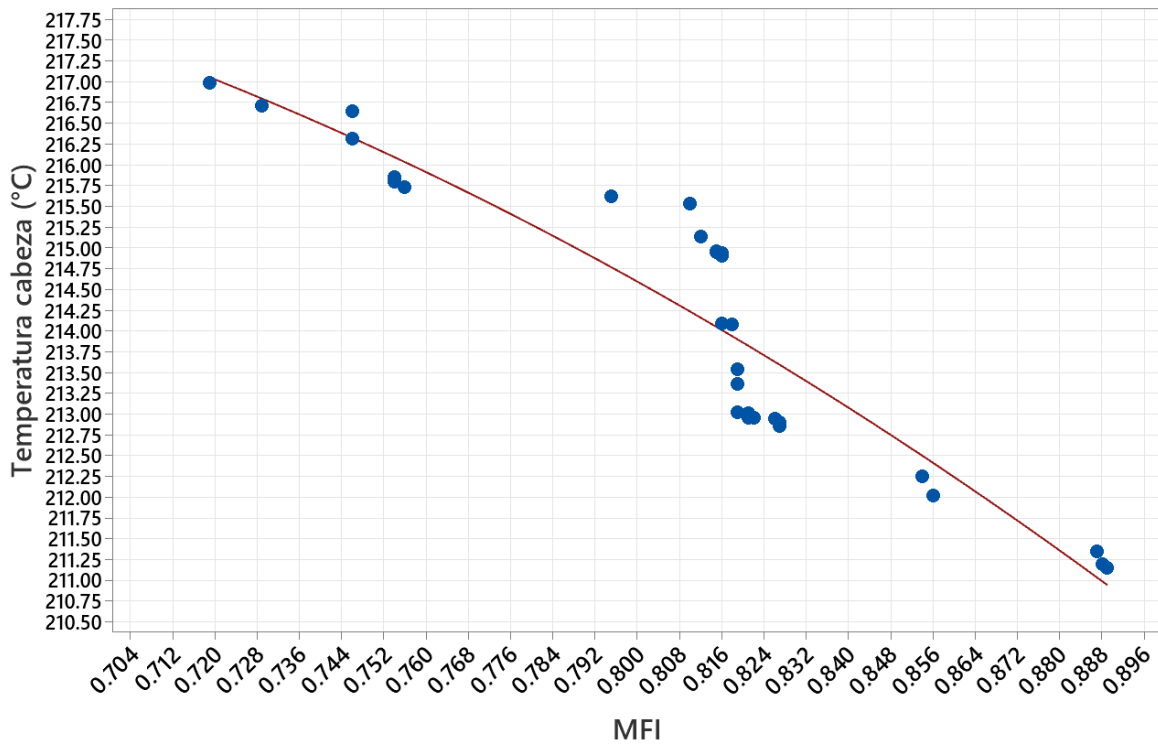


Gráfico 27 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la cabeza de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

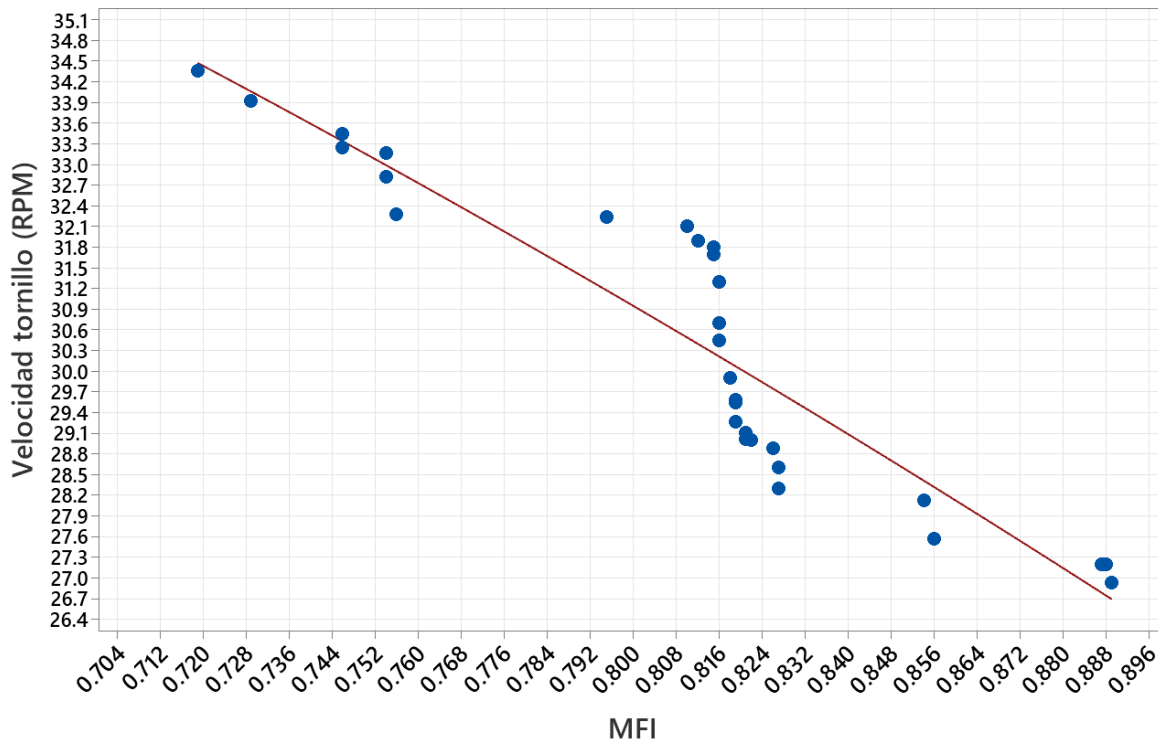


Gráfico 28 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la velocidad del tornillo de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

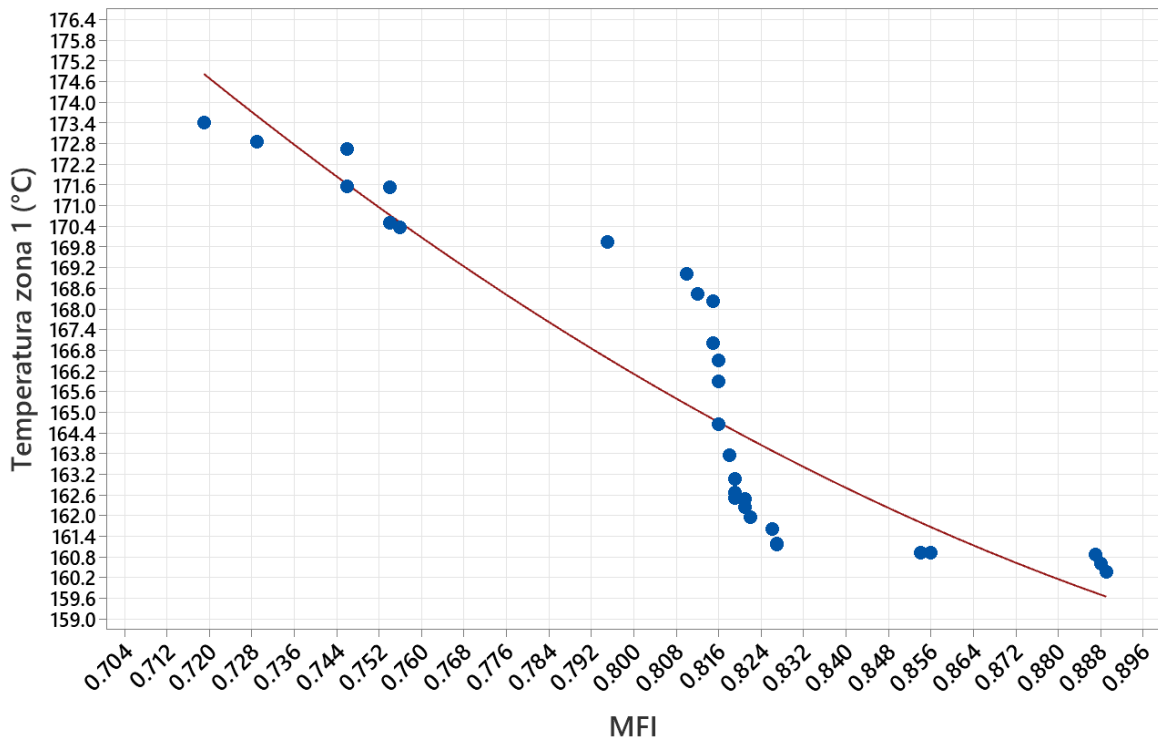


Gráfico 29 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la zona 1 de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

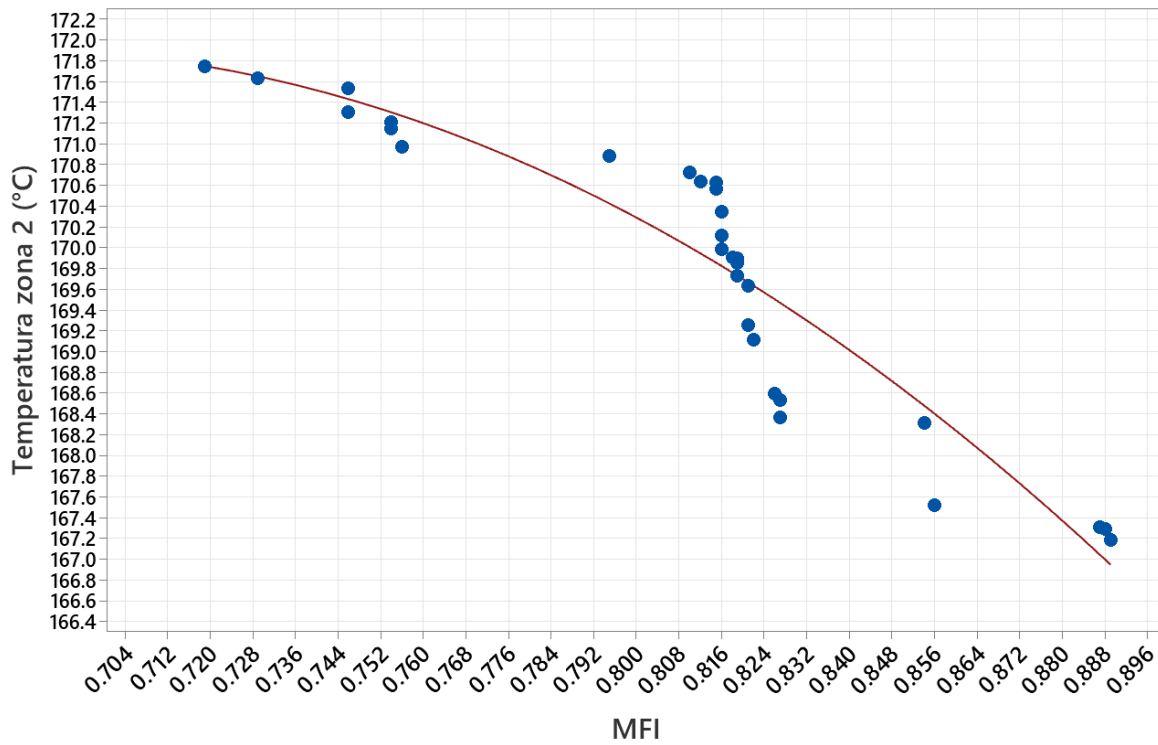


Gráfico 30 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la zona 2 de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

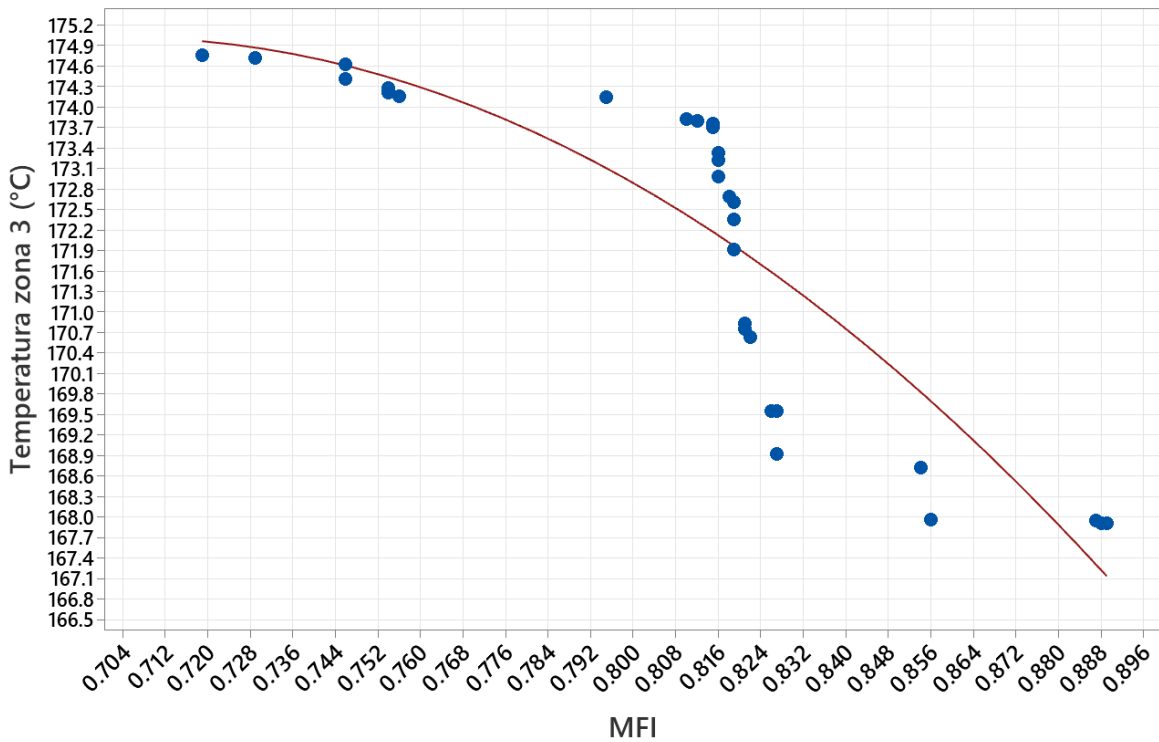


Gráfico 31 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la zona 3 de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

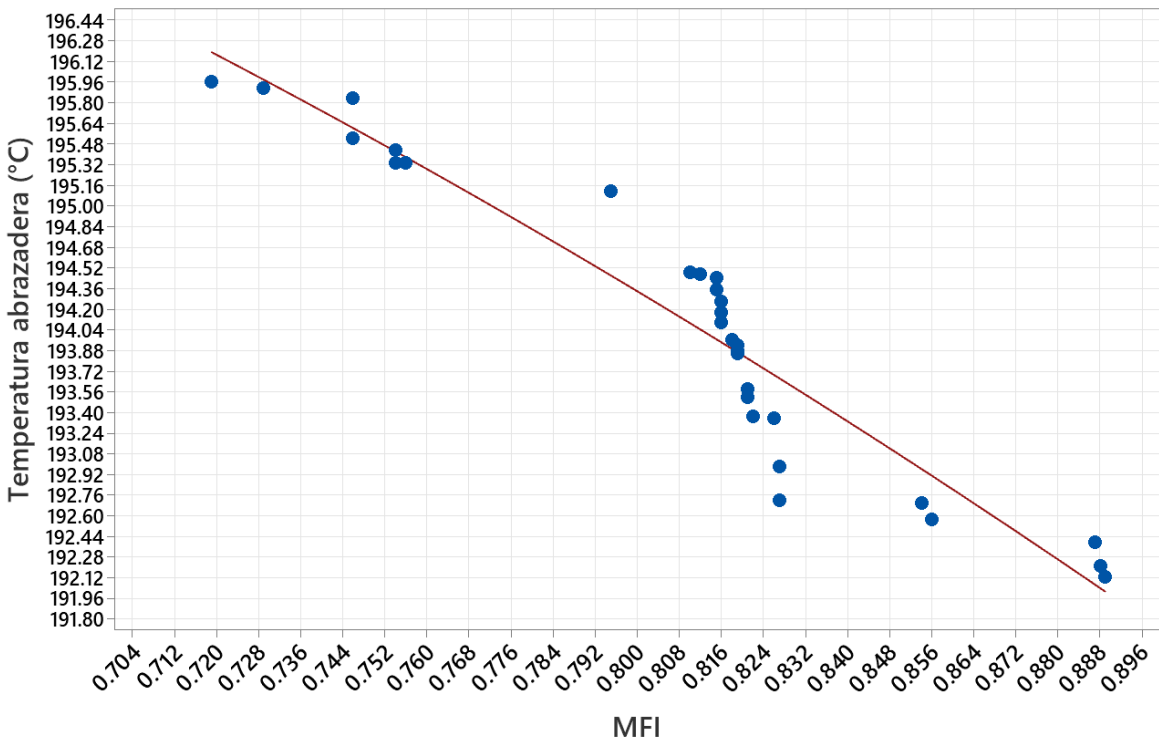


Gráfico 32 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la abrazadera de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

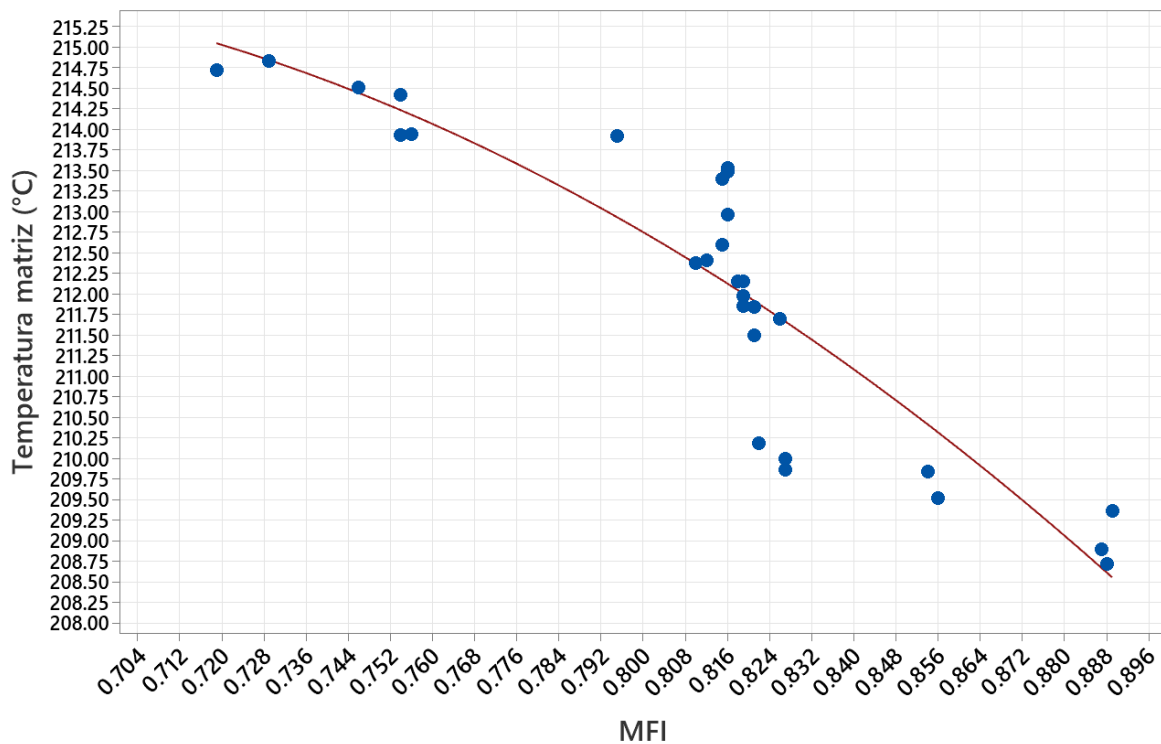


Gráfico 33 Gráfico de dispersión con regresión cuadrática para determinar la temperatura en la matriz de la extrusora de acuerdo con el MFI de la resina.

Fuente: Elaboración propia (2025)

La forma correcta de utilizar los gráficos del 27 al 33 es ubicando en el eje X el valor del MFI de la resina que se utiliza, trazar una línea vertical hasta intersectar con la línea curva roja y trazar una línea horizontal sobre el eje Y para determinar el valor de la característica que se debe determinar en la característica seleccionada.

Sin embargo, para evitar cualquier tipo de confusión, es preferible utilizar la ecuación de las curvas de regresión cuadrática (como se explica en la página 79 de este documento) para efectuar el cálculo de las temperaturas con respecto al MFI de cada orden de resina. Esta ecuación es la que genera originalmente las curvas que se observan en las figuras anteriores por medio del programa Minitab y se colocan en la tabla 14.

Característica	Ecuación de la curva con regresión cuadrática
Velocidad del tornillo (RPM)	$202.8 + 64.99 * MFI - 62.76 * MFI^2$
Temperatura de la cabeza (°C)	$51.09 - 4.8 * MFI - 25.49 * MFI^2$
Temperatura de Zona 1 (°C)	$370.2 - 419.4 * MFI + 205.3 * MFI^2$
Temperatura de Zona 2 (°C)	$118.6 + 156.6 * MFI - 114.9 * MFI^2$
Temperatura de Zona 3 (°C)	$61.29 + 323.2 * MFI - 229.6 * MFI^2$
Temperatura de la abrazadera (°C)	$201.6 + 6.34 * MFI - 19.23 * MFI^2$
Temperatura de la matriz (°C)	$171.9 + 139.4 * MFI - 110.5 * MFI^2$

Tabla 14 Ecuaciones para determina el valor de las características en el proceso de extrusión de acuerdo con el valor de MFI

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para evaluar el impacto que puede tener colocar las temperaturas y velocidad calculadas para cada uno de los valores de MFI determinados en la tabla 15, se procede a utilizar diez valores de MFI diferentes para aplicarlos en las ecuaciones de la tabla 14.

Característica	MFI de 0.804	MFI de 0.826	MFI de 0.814	MFI de 0.788	MFI de 0.822	MFI de 0.854	MFI de 0.812	MFI de 0.832	MFI de 0.808	MFI de 0.824
Velocidad del tornillo (RPM)	214.48	213.66	214.12	215.04	213.82	212.53	214.19	213.43	214.34	213.74
Temperatura de la cabeza (°C)	30.75	29.73	30.29	31.48	29.92	28.40	30.39	29.45	30.57	29.83
Temperatura de Zona 1 (°C)	165.71	163.85	164.84	167.19	164.17	161.76	165.01	163.37	165.36	164.01
Temperatura de Zona 2 (°C)	170.23	169.56	169.94	170.65	169.69	168.54	170.00	169.35	170.12	169.62
Temperatura de Zona 3 (°C)	172.73	171.60	172.24	173.40	171.82	169.85	172.34	171.26	172.54	171.71
Temperatura de la abrazadera (°C)	194.27	193.72	194.02	194.66	193.82	192.99	194.07	193.56	194.17	193.77
Temperatura de la matriz (°C)	212.55	211.65	212.15	213.13	211.82	210.36	212.24	211.39	212.39	211.74

Tabla 15 Resumen del valor de las características en el proceso de extrusión para un valor de 0.804 y 0.826 de MFI

Fuente: Elaboración propia (2025)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 15 y el análisis realizado previamente, se proyecta aptas condiciones operativas, donde no se identifican paros no planeados por causa de los atascos en el tornillo y la entrada del material, lo que sugiere que los parámetros propuestos y el comportamiento de la extrusora concuerdan.

Actualmente, la hoja de proceso para *jacket* muestra las siguientes temperaturas de referencia como se muestra en la tabla 16, por lo que se deben eliminar de la hoja de procesos y establecer que se debe ver el documento “Manual de proceso de extrusión” para utilizar las temperaturas correctas en el proceso de *jacket*.

Característica de la extrusora	Parámetro	Unidad
Velocidad del tornillo	10	RPM min
Temperatura de la cabeza	198.5-206.5	° C
Temperatura de Zona 1	151.5-167.5	° C
Temperatura de Zona 2	167.5-178.5	° C
Temperatura de Zona 3	167.5-178.5	° C
Temperatura de la abrazadera	187.5-195.5	° C
Temperatura de la matriz	206.5-220.5	° C

Tabla 16 Temperaturas de la hoja de procesos para la extrusora del proceso de *jacket*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para facilitar el proceso productivo, se sugiere incluir un link en la instrucción de trabajo de ajustes iniciales en el proceso de *jacket* que dirija a una hoja de cálculo en el programa Excel, en la cual con ingresar el valor de MFI, se realice el cálculo de forma automática por medio de la ecuación de la tabla 14 para cada uno de los valores y posteriormente se realice el ajuste en el equipo. La interfaz propuesta se muestra en la figura 8.

Para la etapa de implementar se propone añadir la siguiente información a la instrucción de trabajo “Manual del proceso de extrusión”, debe contener las siguientes instrucciones luego del paso 5.8:

5.9. Ubique el valor de MFI con la documentación de la orden de resina por utilizar.

5.10. Abra el hipervínculo (generado por la empresa) y coloque el valor de MFI en el espacio establecido en la figura 8.

MFI:		0.804	
Característica	Ecuación de la curva con regresión cuadrada	Resultado	Unidades
Velocidad del tornillo (RPM)	$202.8+64.99*MFI-62.76MFI^2$	214.48	RPM
Temperatura de la cabeza (°C)	$51.09-4.8 MFI -25.49 MFI^2$	30.75	°C
Temperatura de Zona 1 (°C)	$370.2-419.4 MFI +205.3 MFI^2$	165.71	°C
Temperatura de Zona 2 (°C)	$118.6+156.6 MFI -114.9 MFI^2$	170.23	°C
Temperatura de Zona 3 (°C)	$61.29+323.2 MFI -229.6 MFI^2$	172.73	°C
Temperatura de la abrazadera (°C)	$201.6+6.34 MFI -19.23 MFI^2$	194.27	°C
Temperatura de la matriz (°C)	$171.9 +139.4 MFI -110.5 MFI^2$	212.55	°C

Figura 8 Propuesta de interfaz para el cálculo de temperatura y velocidad de los parámetros de la extrusora

Fuente: Elaboración propia (2025)

5.11. Una vez establecidos los valores de temperatura y velocidades necesarias proceda a colocarlas correspondientemente en el cuadro de diálogo del monitor “HMI principal”

5.12. Espere hasta que la pantalla indique que se ha alcanzado las temperaturas deseadas.

El paso 5.12 debe ser el paso que previamente estaba denominado como paso 5.11 y todos los pasos posteriores deben ser actualizados para seguir el consecutivo adecuado.

4.4.2. Implementar para el proceso de *ribbonizer*

Para el proceso de *ribbonizer* se determinan en la etapa de analizar tres causas que se deben atacar ya que impactan en los tiempos de paro no planeados. Estas causas son

4.4.2.1. Implementar para la frecuencia de la limpieza del sensor

En el caso de la causa de frecuencia de la limpieza del sensor se ha definido una frecuencia teórica de 9.04 días de acuerdo con los cálculos de tiempo medio entre fallas de la etapa de análisis. De acuerdo con la empresa, solamente se realizan mantenimientos preventivos con frecuencia semanal, quincenal, mensual, trimestral, semestral y anual, por lo que lo correcto es establecer una frecuencia semanal para este mantenimiento preventivo.

Al revisar el plan de mantenimiento actual, no existe ningún mantenimiento preventivo de frecuencia semanal, por lo que se debe añadir esta frecuencia al plan de mantenimiento. También se tiene establecido el procedimiento de limpieza del sensor y se conoce que este mantenimiento tiene una duración de 0.5 horas.

El procedimiento de limpieza del sensor se explica a continuación, sin embargo, se realizan aclaraciones para mejorar el entendimiento de este.

Método de limpieza del sensor AVT-D-R:

1. Asegure que la maquina esté funcionado sin producto.
2. Identifique la ubicación del sensor en la campana del sistema de extracción como se muestra en la figura 8.

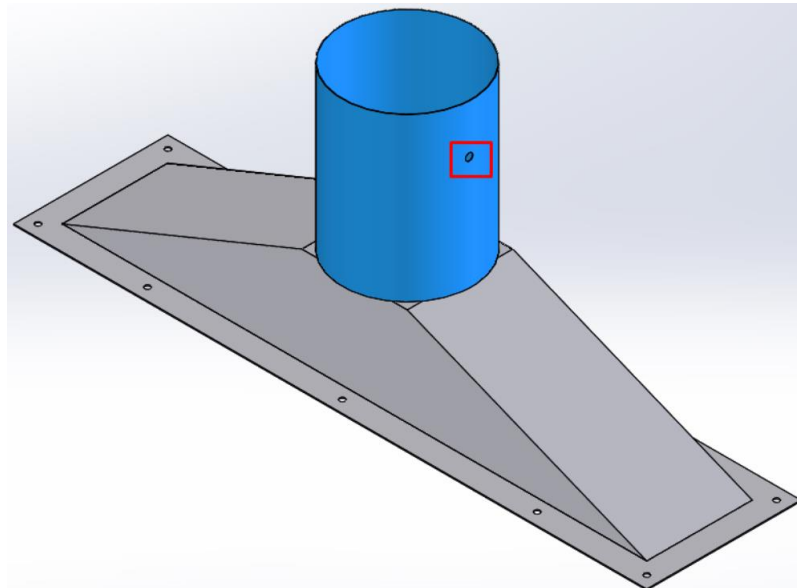


Figura 9 Ubicación del sensor AVT-D-R

Fuente: Elaboración propia (2025)

3. Apague la máquina y desconecte cualquier fuente de voltaje del sensor.
4. Utilice guantes de látex en todo momento que manipule la sonda o sensores. Se pueden encontrar en el área técnica.
5. Desconecte las fuentes de voltaje del sensor manualmente como se muestra en la figura 9.

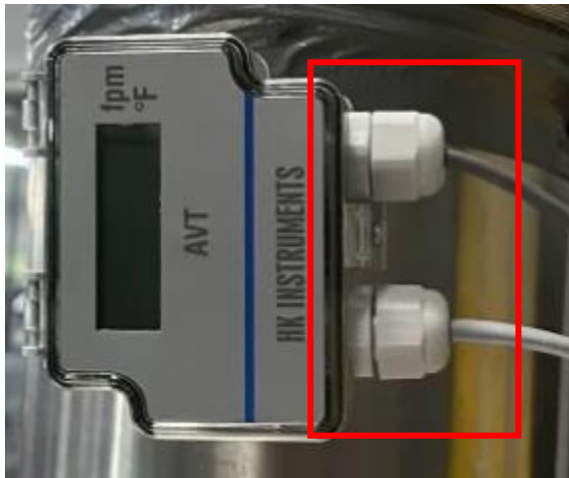


Figura 10 Apariencia final del sensor AVT-D-R

Fuente: Elaboración propia (2025)

6. Remueva el sensor de la base negra como se muestra en la figura 10, desenrosque las tuercas de la base con ayuda de una llave tipo Allen y saque el sensor como se muestra en la figura 11.



Figura 11 Base negra para el sensor AVT-D-R

Fuente: Elaboración propia (2025)



Figura 12 Sensor AVT-D-R desconectado

Fuente: (HK Instruments, 2023)

7. Limpie con un paño suave desechable las superficies de la sonda y los sensores de acuerdo con las ubicaciones de la figura 12.

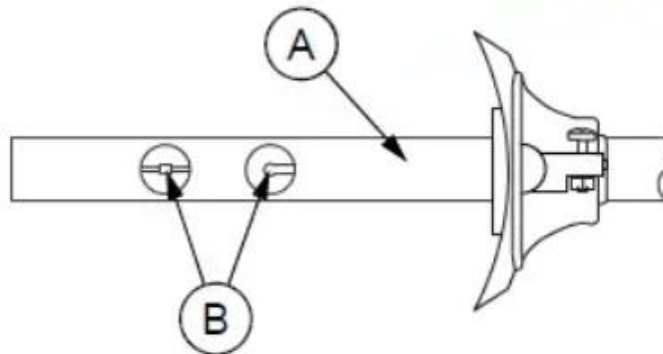


Figura 13 Partes por limpiar del sensor AVT-D-R

Fuente: (HK Instruments, 2023)

Donde:

A. Sonda

B. Sensores

8. Coloque de nuevo el sensor en el soporte negro y ajuste de nuevo las tuercas con la llave tipo Allen.
9. Verifique que la dirección del sensor concuerde con el flujo de aire de acuerdo con la figura 13.

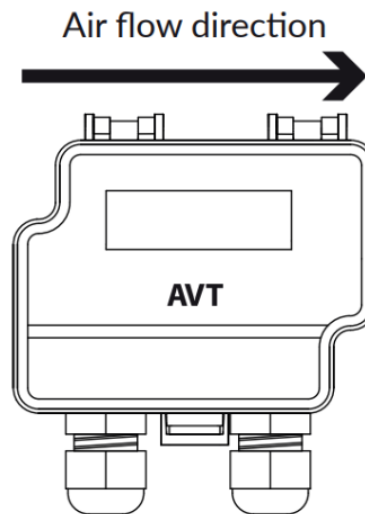


Figura 14 Dirección del flujo de aire del sensor AVT-D-R

Fuente: (HK Instruments, 2023)

10. Conecte de nuevo las fuentes de voltaje del sensor marcadas en el paso 5.
11. Encienda la máquina y espere que el sensor se encienda.
12. Verifique que la pantalla muestre los valores de velocidad de flujo y temperatura.
13. Finaliza el procedimiento de mantenimiento preventivo para la inspección del sensor de temperatura.

4.4.2.2. Implementar para la frecuencia de revisión de mangueras

En caso de la frecuencia de revisión de las mangueras, por medio de los cálculos de la etapa de analizar para este problema se obtiene una frecuencia de 9.90 días relacionadas a esta causa. De acuerdo con el plan de mantenimientos preventivos de la máquina del proceso de *ribbonizer*, se tiene una frecuencia trimestral. Adicionalmente, se tiene establecido un tiempo de 0.25 horas para realizar este mantenimiento preventivo.

De acuerdo con la empresa, se establecen solamente mantenimientos de frecuencia semanal, quincenal, mensual, trimestral, semestral y anual, por lo que lo correcto es establecer una frecuencia semanal para este mantenimiento preventivo.

En la etapa de implementar se detalla a mayor profundidad el procedimiento de inspección de las mangueras del sistema de bombeo propuesto con más detalle que el procedimiento actual, a como se muestra a continuación.

Método de inspección de las mangueras del sistema de bombeo:

1. Ubique la bomba del sistema de alimentación que se muestra en la figura 14.



Figura 15 Bomba de dispensado de químico

Fuente: (Pulsatron, 2025)

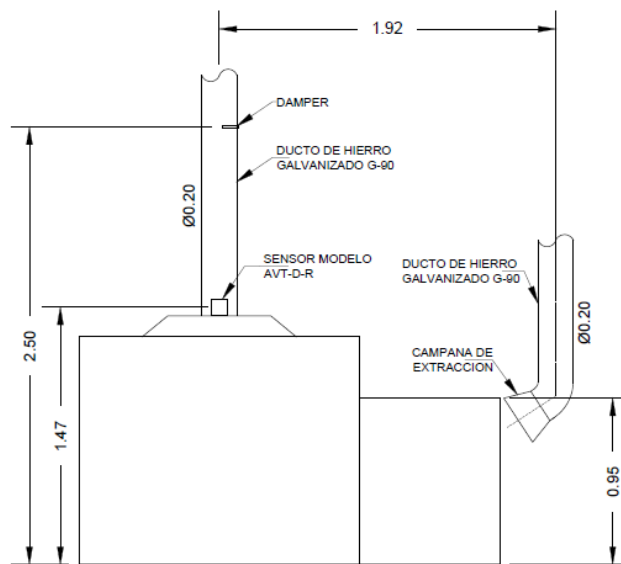
2. Utilice guantes de látex en todo momento que manipule las mangueras o superficies en contacto con el químico. Los guantes se pueden encontrar en el área técnica
3. Verifique que la bomba esté funcionando correctamente (la luz verde debe estar encendida) y que no esté corriendo producto por la máquina.
4. Inspeccione la manguera que sale de la bomba y todas las ramificaciones. Verificando que no existan fugas, aperturas, manchas o fisuras en las mangueras.
5. En caso de encontrar alguna de las condiciones del paso 4 siga los pasos del “a” al “f” en caso contrario pase al paso 6.
 - a. Proceda a apagar la bomba y retirar cualquier residuo de químico del sistema de bombeo.

- b. Retire la sección dañada de la manguera, para esto ubique las dos próximas uniones o conexiones y despréndalas.
 - c. Ubique las mangueras en el área técnica en la sección de insumos.
 - d. Corte con tijeras la longitud de manguera que necesita reemplazar de acuerdo con el largo de la manguera retirada.
 - e. Coloque la manguera nueva en las intersecciones correspondientes.
 - f. Encienda la bomba de acuerdo con el procedimiento establecido en las instrucciones de operación de la máquina del proceso de *ribbonizer* y compruebe que no existan fugas en el sistema.
6. Finaliza el procedimiento de mantenimiento preventivo para la inspección del sistema de bombeo.

4.4.2.3. Implementar para la altura de la manilla del damper

Como se demuestra en la etapa de analizar, la dificultad de alcanzar la altura del damper para regular el flujo de gases en el sistema de extracción está relacionado con la ubicación a 2.50 m de altura, dificultando el alcance de la manilla por parte del personal operativo en caso de tener una disminución en el flujo medido por el sensor y requerir hacer un ajuste del damper.

Como se muestra en la figura 15, se tiene una distribución del sistema de extracción, incluyendo las alturas de la máquina, del sensor de temperatura y del damper.

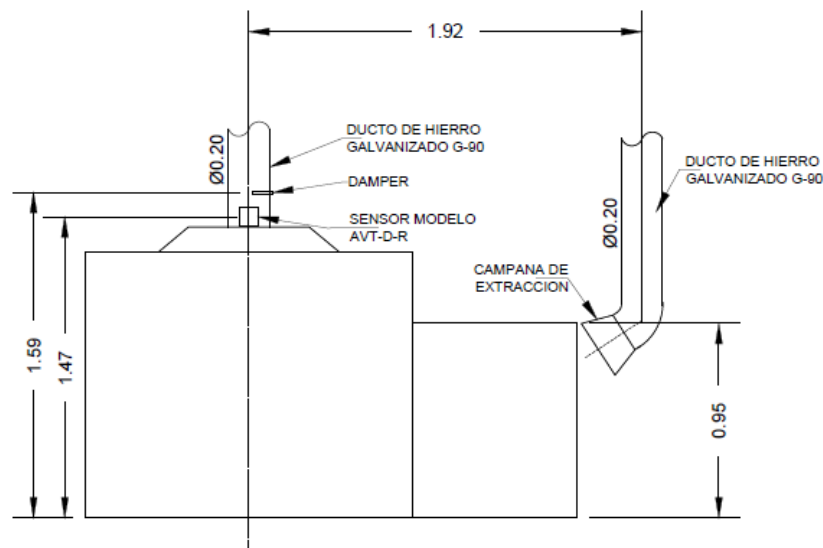


SISTEMA DE EXTRACCION ACTUAL

Figura 16 Sistema de extracción de gases para una máquina de *ribbonizer* actual

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para contrarrestar este problema se propone reubicar el damper a una altura de 1.59 metros, lo cual lo hace más accesible para las personas que los 2.50 metros a los que se ubica actualmente. Para determinar la altura se considera que el sensor está ubicado a una altura de 1.47 metros del suelo. Para ubicar la altura a la que se puede colocar el damper, se toma como referencia un radio de 10 cm (de acuerdo con el diámetro de 20 cm de los ductos de extracción), por lo que el damper podría estar ubicado a 1.57 cm del suelo, sin embargo, para evitar cualquier daño o contacto con el sensor, se agregan 2 cm más a la altura, por lo que la altura final a la que se debe ubicar el damper es de 1.59 m de altura a partir del suelo. Este posible cambio se representa en la figura 16.



PROPUESTA DE SOLUCION PARA EL SISTEMA DE EXTRACCION

Figura 17 Propuesta de actualización de la altura a la cual se ubica el damper del sistema de extracción de gases

Fuente: Elaboración propia (2025)

Para este método se realiza una comprobación teórica, en la etapa de controlar de este proyecto.

4.5. Controlar

La etapa de controlar es la última etapa de la metodología DMAIC. En esta etapa se busca proponer un plan que brinde sostenibilidad y mantenga en pie las propuestas que se realizan en la etapa de implementar a lo largo del tiempo.

Esta etapa es importante porque permite que no se pierdan las medidas que se deben realizar para mantener los beneficios que se demuestran en las etapas previas, para esto se colocan indicadores, procedimientos, instrucciones, ayudas visuales o cualquier otro recurso que sea relevante en el proceso para evitar cualquier tipo de error humano, malas prácticas, desviación o regresión en el proceso.

Otro punto importante de esta etapa es proponer los recursos y determinar el personal involucrado para realizar un entrenamiento adecuado para las personas que van a ejecutar las tareas o se vean impactadas por los cambios propuestos.

Al igual que en las etapas anteriores se procede a separar la información en los procesos de *jacket* y *ribbonizer* para mantener el orden adecuado de la información.

4.5.1. Controlar para el proceso de *jacket*

En la etapa de analizar se justifica la razón por la que las temperaturas y velocidades de la extrusora impactan en la cantidad de tiempos de paro no planeados y en la etapa de implementar se demuestra que el uso correcto de las temperaturas puede reducir hasta 367.78 horas de paro no planeadas por atascos del tornillo sin fin y en la entrada del material. Para controlar el correcto uso de las temperaturas, se cuenta con auditorias periódicas para garantizar el cumplimiento de los requerimientos del proceso. Adicionalmente, se cuentan con todos los registros necesarios de temperatura utilizada para cada orden de producción, por lo que en caso de ser necesario se puede ceder a los registros para analizar o investigar lo que sea necesario.

Finalmente, el entrenamiento es un paso necesario luego de cualquier cambio en el procedimiento o labores, por lo que la instrucción de trabajo se debe asignar para ser leída por los operarios, técnicos, supervisores y cualquier otro rol que deba tener acceso a esta información para realizar sus labores diarias. Y se recomienda, realizar acompañamiento al personal operativo y técnico al momento de realizar el nuevo proceso por primera vez.

Con respecto a los tiempos de paro no planeados, como se muestra en el gráfico 1, hay 590.8 horas de paro no planeadas, 4269 horas de producción y 515 paradas no planeadas para el proceso de *jacket*. También se debe que de acuerdo con los cálculos realizados en la sección 4.2.1, se tiene un MTTR de 1.15 horas, un MTBF de 8.29 horas y una disponibilidad en el equipo de 87.81%.

Con la propuesta planteada en la etapa de implementar y los cálculos realizados, se planea que se reduzcan de 515 a 358 tiquetes o cantidad de paros no planeados, por ende, se reduzcan de 590.8 horas a 223.02 horas de paro no planeados y se incrementan de 4269 a 4636.78 horas de producción.

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{\text{Total de tiempos de paro reducidos}}{\text{Horas de paro previas}} * 100$$

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{223.02}{590.8} * 100 = 37.75\%$$

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

$$MTTR = \frac{223.02}{358} = 0.62 \text{ horas}$$

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$

$$MTBF = \frac{4636.78}{358} = 12.95 \text{ horas}$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{12.95}{12.95 + 0.62} * 100 = 95.43\%$$

% de mejora en la disponibilidad

$$= \text{Disponibilidad propuesta} - \text{Disponibilidad previa} * 100$$

$$\% \text{ de mejora en la disponibilidad} = 95.43\% - 87.81\% = 7.62\%$$

Con este cálculo, se evidencia una mejora en la disponibilidad de la máquina del proceso de *jacket* de 7.62%, pasando de tener una disponibilidad de 87.71% a una disponibilidad de 95.43% con la propuesta realizada.

4.5.2. Controlar para el proceso de *ribbonizer*

4.5.2.1. Controlar para la frecuencia de la limpieza del sensor

Actualmente, el plan de mantenimiento preventivo no cuenta con ningún mantenimiento de tipo semanal, por lo que el documento corporativo debe ser modificado de forma que se incluya el procedimiento detallado de forma semanal. Este mantenimiento tiene una duración de 0.5 horas de acuerdo con el tiempo estimado para completar la tarea actual.

El procedimiento que se debe utilizar para realizar el mantenimiento preventivo para la limpieza del sensor del sistema de extracción es el mismo que se determina en la etapa

de implementar para esta misma causa, sección 4.4.2.1 por lo que se puede utilizar esa misma información para actualizar las instrucciones del procedimiento de mantenimientos preventivos para las máquinas de *ribbonizer*.

Además, se debe continuar registrando los mantenimientos preventivos de la misma forma que se registran actualmente por medio del sistema de tiquetes técnicos y colocando la duración y notas correspondientes al mantenimiento realizado.

Con respecto al tiempo medio entre fallos, por los cálculos en la etapa de analizar se saben que son 216.98 horas o 9.04 días, si se realiza el cambio de la propuesta se espera que no ocurran fallos. Como se cambia el tiempo de paro no planeado a un mantenimiento preventivo, se debe considerar que

Horas en mantenimiento preventivo

*= meses de análisis * 4 semanas por mes*

** horas en realizar el mantenimiento preventivo*

*Horas en mantenimiento preventivo = 7 meses * 4 semanas * 0.5 horas = 14 horas*

Debido a esto, se puede decir, que se podría pasar a reducir 18.63 horas de paro no planeado por causa de la limpieza del sensor a 14 horas de paro en mantenimiento preventivo, obteniendo una disminución 4.63 horas o un del 24.85% de horas.

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{\text{Total de tiempos de paro reducidos}}{\text{Horas de paro previas}} * 100$$

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{4.63}{18.63} * 100 = 24.85\%$$

Finalmente, para los entrenamientos del personal, luego de actualizar la instrucción de trabajo actualizada se debe asignar de nuevo el entrenamiento a todos los asociados que previamente tenían registrado realizarlo con el objetivo de amoldarse a la metodología de entrenamiento de la empresa y asegurar que los técnicos, supervisores y personal requerido comprendan las instrucciones y frecuencia establecidas. Al estar el supervisor del área técnica enterado de los cambios, debe proceder con la programación correcta de los mantenimientos preventivos a partir del momento que se libere el documento corporativo.

4.5.2.2. Controlar para la frecuencia de revisión de mangueras

En el caso de la etapa de controlar para la frecuencia de revisión de las mangueras, se cuenta con un tiempo estimado de 0.25 horas para realizar el mantenimiento preventivo de acuerdo con el procedimiento actual.

Para este caso el plan de mantenimiento preventivo del proceso de *ribbonizer* se debe actualizar con las instrucciones presentadas en la sección 4.4.2.2. donde se explica paso a paso cuál es el procedimiento adecuado para realizarlo y se debe realizar la actualización tanto del procedimiento como de la frecuencia a ser semanal.

El tiempo medio entre fallos por esta causa es de 237.61 horas o 9.90 días, por lo que si se realiza el cambio de frecuencia se espera que no ocurran paros no planeados por este motivo, por lo que se debe calcular cuál sería la cantidad de horas de paro por mantenimientos preventivos

Horas en mantenimiento preventivo

*= meses de análisis * 4 semanas por mes*

** horas en realizar el mantenimiento preventivo*

*Horas en mantenimiento preventivo = 7 meses * 4 semanas * 0.25 horas = 7 horas*

Con esto se puede establecer que se puede pasar de 8.03 horas de paro no planeadas a solo 7 horas de mantenimiento preventivo en el periodo de 7 meses estudiado. Reduciendo un total de 1.03 horas o un 12.83% del tiempo de paro por esta causa.

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{\text{Total de tiempos de paro reducidos}}{\text{Horas de paro previas}} * 100$$

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{1.03}{8.03} * 100 = 12.83\%$$

Adicionalmente, la empresa cuenta con un sistema de entrenamientos, por lo que el nuevo procedimiento se le debe asignar a los técnicos, supervisores de técnicos y cualquier otra persona que previamente haya recibido esta capacitación y aun se encuentre realizando las mismas labores, esto asegura que se dé un entendimiento del procedimiento

actualizado y la frecuencia de mantenimiento. Por último, el supervisor de los técnicos debe realizar la programación adecuada para realizar el mantenimiento correctivo adecuado.

4.5.2.3. Controlar para la altura de la manilla del damper

En el caso de controlar para la manilla del damper, la forma correcta es procediendo con el cambio de ubicación del damper por medio del contratista. Para esto también se debe realizar la actualización de los planos de distribución del sistema de extracción y agregar la vista de la figura 17 al plano para evitar cualquier malentendido en la función.

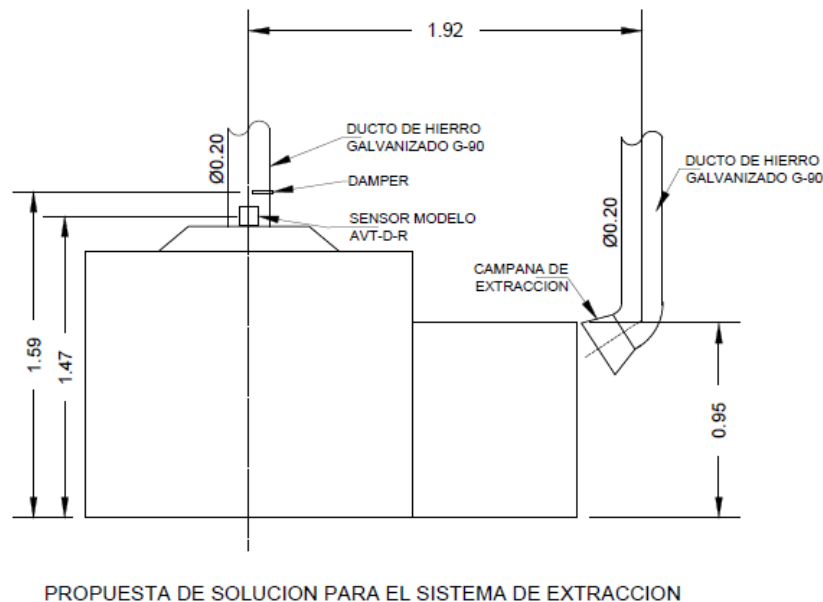


Figura 18 Vista propuesta para añadir al plano del sistema de extracción de gases.

Fuente: Elaboración propia (2025)

En el periodo de estudio realizado, se tuvieron un total de 18 paros debido al ajuste del damper relacionados con inconvenientes en el ajuste del damper, obteniendo un tiempo medio entre fallas de 277.25 horas o 11.55 días de acuerdo con los cálculos realizados en la etapa de analizar.

Con esta propuesta, se debe mitigar por completo los tiempos de paro no planeados por ajuste del damper, debido a que los operarios no deben esperar a que el técnico realice el ajuste y ellos mismos podrían realizarlo antes de que se alarme la máquina, sabiendo que no se tendrían paros no planeados por este modo de fallo, se pasa de tener 26.92 horas no planeadas a 0 horas de paro no planeadas, obteniendo una mejora del 100%

Adicionalmente, se debe solicitar a los supervisores de mantenimiento que continúen monitoreando los tiquetes que reportan los técnicos para controlar si esta es la única causa de los tiempos de paro no planeados o si se debe atacar alguna otra causa en otros proyectos.

Finalmente, para todo el proceso de *ribbonizer*, en los 7 meses de estudio de los paros no planeados, se tuvieron un total de 169.32 horas de paro no planeado, con las tres mejoras propuestas se podría obtener un total de 32.58 horas paro menos en un periodo de 7 meses.

$$\text{Total de tiempos de paro reducidos} = 1.03 + 4.63 + 26.92 = 32.58 \text{ horas}$$

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{\text{Total de tiempos de paro reducidos}}{\text{Horas de paro previas}} * 100$$

$$\% \text{ de mejora en tiempos de paro} = \frac{32.58}{169.32} * 100 = 19.24\%$$

Y considerando la disminución de los 18 tiquetes por ajuste del damper, los 23 tiquetes por limpieza del sensor y los 21 tiquetes por cambio de manguera, se pasa de tener 148 tiquetes a 86 tiquetes, obteniendo un tiempo medio entre fallas de 1.40 días a 2.42 días. Y de acuerdo con la sección 4.2.2. el MTBF previo era de 33.72 horas o 1.40 días.

$$MTBF = \frac{\text{tiempo total de producción}}{\text{número de paradas}}$$

$$MTBF \text{ propuesta} = \frac{4990.48 \text{ horas}}{86} = 58.02 \text{ horas} = 2.42 \text{ días}$$

Para el cálculo del MTTR, se procese a utilizar un tiempo total de mantenimiento de 123.05 horas al restar las 169.32 horas actuales de paro con las 32.58 horas de paro que se prevé reducir.

$$MTTR = \frac{\text{tiempo total de mantenimiento}}{\text{número de reparaciones}}$$

$$MTTR = \frac{123.05 \text{ horas}}{86} = 1.43 \text{ horas}$$

Luego se procede a realizar los cálculos para la disponibilidad propuesta, obteniendo un resultado de 97.59% y una mejora de 7.07% con respecto al 90.52 actual calculado en la sección 4.2.2.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

$$\text{Disponibilidad propuesta} = \frac{58.02 \text{ horas}}{58.02 \text{ horas} + 1.43 \text{ horas}} * 100 = 97.59\%$$

% de mejora en la disponibilidad

$$= \text{Disponibilidad propuesta} - \text{Disponibilidad previa} * 100$$

$$\text{\% de mejora en la disponibilidad} = 97.59\% - 90.52\% = 7.07\%$$

4.6. Análisis económico

La sección de análisis económico se complementa con la metodología DMAIC para justificar y analizar el impacto económico que puedan tener las posibles soluciones que se puedan implementar. En este análisis se evalúa la viabilidad y rentabilidad de los proyectos que se den implementar, relacionando la inversión que se debe realizar y los beneficios económicos que se pueden obtener. Para esto se procede a hacer uso de los indicadores VAN y TIR para cada una de las propuestas que se plantean de forma independiente para cada solución propuesta. Para ambos análisis se procede a realizar los cálculos necesarios por medio del programa Excel, utilizando las fórmulas de VAN y TIR para calcular los valores necesarios en cada caso. Además, la empresa considera el estudio de estos indicadores para un periodo de 6 meses para aprobar o rechazar financieramente un proyecto y una tasa de descuento del 7%. Finalmente, el costo de la hora de operario es de aproximadamente ₡3700 y la hora de un técnico de mantenimiento es de ₡4800 y cabe destacar que no se considera el monto del material desechado durante los periodos detenidos debido a que no se cuenta con registro específico para cada caso.

4.6.1. Análisis económico para el proceso de *jacket*

En el caso de la propuesta de mejoras en el proceso de ajuste inicial de la extrusora, no se considera una inversión para el proyecto, ya que con la investigación realizada a lo

largo de este proyecto solo se requiere actualizar la documentación con los mismos recursos de personal de la empresa, por lo que el costo de la inversión es de ₡0. Con respecto a los valores de ganancia para cada periodo, se sabe que el proyecto reduce en un 37.75% la cantidad de horas de paro, es decir, se reducen 223.02 en un periodo de 7 meses. Al detener una máquina, se pierde en tiempo de producción del operario y se debe considerar el tiempo de un técnico de mantenimiento para que atienda el tiquete.

Valor económico de la mejora

$$= \text{horas de mejora} * (\text{costo de hora de operario} + \text{costo de hora de técnico})$$

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{\text{valor económico de la mejora}}{\text{meses de estudio}}$$

$$\text{Valor económico de la mejora} = 223.02 * (\₡3700 + \₡4800) = \₡1895670$$

Conociendo este valor, se puede dividir entre los 7 meses en los que se debe cumplir el monto y con estos valores calcular el VAN y TIR.

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{\₡1895670}{7} = \₡270810$$

Inversión	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	VAN
₡ -	₡ 270,810	₡ 270,810	₡ 270,810	₡ 270,810	₡ 270,810	₡ 270,810	₡1,290,827

Tabla 17 Valor de VAN para la propuesta de mejora en la extrusora

Fuente: Elaboración propia (2025)

De acuerdo con el valor obtenido de VAN de ₡1,290,827, al ser un valor positivo, quiere decir que el proyecto es rentable, ya que genera más valor de lo que se debe invertir. En el caso del TIR no puede ser calculado, ya que la fórmula requiere un valor de inversión para poder calcular la tasa de retorno y no se cuenta con una inversión inicial para esta propuesta. Del VAN también se puede decir que, esta propuesta deja ₡1,290,827 de ganancia neta en términos presentes.

4.6.2. Análisis económico para el proceso de *ribbonizer*

Para el proceso de *ribbonizer*, se consideran tres propuestas diferentes que son la corrección de la altura de la manilla del damper, la frecuencia de limpieza del sensor y la revisión de las mangueras. Al igual que en el análisis del proceso de *jacket*, se procede a calcular el valor económico de la mejora con base en las horas que se disminuyen de mantenimiento y el costo de mano de obra del operario y el técnico para cada uno de los casos y con este valor determinar el valor económico de la mejora por mes.

Para la propuesta de la corrección de la altura de la manilla del damper, se tiene una mejora de 26.92 horas y una mejora de un 8.08% y de acuerdo con la cotización del proveedor para realizar el cambio de ubicación se debe realizar una inversión de ₡205600 por motivo de materiales y mano de obra.

Valor económico de la mejora

$$= \text{horas de mejora} * (\text{costo de hora de operario} \\ + \text{costo de hora de técnico})$$

$$\text{Valor económico de la mejora} = 26.92 * (\₡3700 + \₡4800) = \₡228820$$

Conociendo este valor, se puede dividir entre los 7 meses en los que se debe cumplir el monto y con estos valores calcular el VAN y TIR.

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{\text{valor económico de la mejora}}{\text{meses de estudio}}$$

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{\₡228820}{7} = \₡32689$$

Para la propuesta de la frecuencia de limpieza del sensor, se consideran 4.63 horas de mejora y un porcentaje de mejora de 24.85%.

Valor económico de la mejora

$$= \text{horas de mejora} * (\text{costo de hora de operario} \\ + \text{costo de hora de técnico})$$

$$\text{Valor económico de la mejora} = 4.63 * (\₡3700 + \₡4800) = \₡39355$$

Conociendo este valor, se puede dividir entre los 7 meses en los que se debe cumplir el monto y con estos valores calcular el VAN y TIR.

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{\text{valor económico de la mejora}}{\text{meses de estudio}}$$

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{¢39355}{7} = ¢5622$$

Para la propuesta de la frecuencia de revisión de las mangueras, se tienen 1.03 horas de mejora con un 12.83% menos de tiempo de paro no planeado por esta causa.

Valor económico de la mejora

$$= \text{horas de mejora} * (\text{costo de hora de operario} + \text{costo de hora de técnico})$$

$$\text{Valor económico de la mejora} = 1.03 * (¢3700 + ¢4800) = ¢8755$$

Conociendo este valor, se puede dividir entre los 7 meses en los que se debe cumplir el monto y con estos valores calcular el VAN y TIR.

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{\text{valor económico de la mejora}}{\text{meses de estudio}}$$

$$\text{Valor económico de la mejora por mes} = \frac{¢8755}{7} = ¢1251$$

Al conocer estos valores, se puede generar una tabla en Excel que calcule los valores de VAN y TIR para cada una de las propuestas. Como se observa en la tabla 18, solo la propuesta de ajustar la altura de la manilla del damper cuenta con una inversión, calculando un VAN y TIR negativos, dejando en evidencia que el proyecto no es rentable y deja pérdidas para la empresa, a diferencia de la propuesta de la frecuencia de la limpieza del sensor y la revisión de las mangueras, que permiten un VAN positivo en ambos casos, indicando que ambas propuestas son rentables y al igual que en el caso del proceso de *jacket*, no se puede calcular el TIR al no tener un valor de inversión, por lo cual no se debe realizar ninguna inversión.

Propuesta	Inversión	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	VAN	TIR
Propuesta altura de la manilla del damper	-C\$ 205,600	C\$ 32,689	C\$ 32,689	C\$ 32,689	C\$ 32,689	C\$ 32,689	C\$ 32,689	-C\$ 49,789	-1.3%
Propuesta frecuencia de la limpieza del sensor	C\$ 0	C\$ 5,622	C\$ 5,622	C\$ 5,622	C\$ 5,622	C\$ 5,622	C\$ 5,622	C\$ 26,798	-
Propuesta frecuencia de revisión de mangueras	C\$ 0	C\$ 1,251	C\$ 1,251	C\$ 1,251	C\$ 1,251	C\$ 1,251	C\$ 1,251	C\$ 5,962	-

Tabla 18 Valor de VAN para las propuestas de mejora en las máquinas del proceso de *ribbonizer*

Fuente: Elaboración propia (2025)

Capítulo V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La mayor cantidad de tiempos de paro para el proceso de *jacket* y el proceso de *ribbonizer* se debe al mantenimiento correctivo que se debe realizar en los equipos del proceso, representando 590.8 horas de paro no planeadas en el proceso de *jacket* y para el proceso de *ribbonizer* se obtiene un total de 83.33 horas de paro no planeado por mantenimientos correctivos.
- Por medio del principio de Pareto al analizar la información en los tiquetes de los técnicos, se concluye que las principales causas de tiempos de paro no planeados en el proceso de *jacket* corresponde al atasco de tornillo sin fin con un 59.51% del tiempo de paro no planeado y un 18.23% del tiempo en problemas a la entrada del material, completando un 77.74% del tiempo de paro no planeado para la máquina de este proceso.
- En el proceso de *ribbonizer*, se obtiene que al ajuste del damper del sistema de extracción de aire representa un 38.17% del tiempo de paro no planeado, la limpieza del sensor representa un 26.41% de los tiempos de paro no planeados y los cambios de mangueras en el sistema de bombeo de químico representan un 11.38% de los tiempos de paro no planeados, siendo en total un total de 75.96% de los tiempos de paro no planeados.
- El diagrama de Ishikawa permite concluir que la causa raíz para el atasco del tornillo sin fin y los problemas a la entrada del material son debido a la incorrecta caracterización de los ajustes iniciales de la extrusora. En el proceso de *ribbonizer* se concluye que para el ajuste del damper del sistema de extracción se debe a la altura a la que se ubica la manilla de ajuste, para la limpieza del sensor se determina que se debe a una frecuencia más extensa entre mantenimientos preventivos en relación con la limpieza de este y con el cambio de mangueras de identifica que se

debe a la frecuencia de cambio de las mangueras más prolongada que lo requerido en los tiquetes de los técnicos de mantenimiento.

- Se proponen estrategias electromecánicas de solución por medio de la determinación de los parámetros necesarios, reubicación de accesorios de sistemas de extracción de aire y gases y reajuste de la frecuencia de las tareas de los planes de mantenimiento de acuerdo con los tiempos de paro determinados para los principales problemas identificados a lo largo de la etapa de analizar, que permiten un estimado de 223.02 cantidad menos de horas de paro no planeado en el proceso de *jacket* y 32.58 cantidad de horas menos de paro no planeado en el proceso de *ribbonizer* para el periodo estudiado.
- La propuesta de mejoras en la extrusora para el proceso de *jacket*, según el análisis económico realizado, se concluye que es rentable implementar los ajustes necesarios ya que el valor de VAN obtenido es positivo y no se requiere una inversión para ejecutarla.
- En el proceso de *ribbonizer*, para la propuesta de cambio de la frecuencia de la limpieza del sensor y la frecuencia de la revisión de mangueras, se obtiene un VAN positivo, lo que indica que es una propuesta rentable de implementar y se determina que no se requiere hacer una inversión, para la propuesta de ajuste de la altura del damper del sistema de extracción se obtienen valores de VAN y TIR negativos y se concluye que esta propuesta no es rentable.

5.2. Recomendaciones

- De acuerdo con la información de los gráficos 21 y 22, para ambos procesos un 19% del tiempo de paro no planeado se debe al tiempo de atención de los tiquetes, por lo que con esto se recomienda analizar cuáles son las causas de este porcentaje de tiempos de espera para que los técnicos de mantenimiento comiencen a trabajar en el mantenimiento correctivo y buscar mejorar el tiempo de espera.
- Se recomienda revisar periódicamente las causas de los tiempos de paro no planeados y generar investigaciones o proyectos de mejora en los cuales se analice por medio de la metodología DMAIC posibles soluciones que puedan impactar de manera positiva o negativa los tiempos de paro y por ende los costos de estos.
- Es recomendable verificar en siete meses la duración del mantenimiento preventivo para inspeccionar las mangueras del sistema de bombeo de las máquinas de *ribbonizer* con el fin de confirmar si la duración previamente establecida en el plan de mantenimiento se mantiene o si se debe hacer algún ajuste en la duración de este.
- Se recomienda realizar un análisis DMAIC para los equipos y líneas de producción de toda la empresa para determinar cuáles son los equipos que requieren una atención más expedita y definir a partir de esta información el orden de atención para aplicar proyectos bajo la misma metodología de DMAIC, utilizando como línea base el desarrollo de este proyecto.
- Es recomendable estandarizar la información que ingresan los técnicos de mantenimiento en los tiquetes de paro no planeado para todos los procesos y equipo por medio de la plataforma actual o programas como SAP-ERP para facilitar el análisis de la información recopilada.

Referencias bibliográficas

- Bautista-Valhondo, J. (2022). *Planificación de proyectos en ingeniería* (Dextra Editorial, Ed.). Dextra Editorial.
https://elibro.utn.elogim.com/en/lc/biblioutn/titulos/228503?as_all=Planificaci%C3%B3n_de_proyectos_en_ingenier%C3%ADa&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- Bisante, N. R., & Negro, E. O. (2022). *Reestructuración de los sistemas productivos de empresa metalúrgica*. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/7038>
- Boero, Carlos. (2020). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.
https://elibro.utn.elogim.com/en/lc/biblioutn/titulos/172523/?as_all=mantenimiento&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- Bonilla, L. (2023, julio 27). *Estos son los retos de los centros de datos en 2023*.
<https://www.datacentermarket.es/dcm-xl/estos-son-los-principales-retos-de-los-centros-de-datos-en-2023/>
- Colás Fraile, A. (2021). *Automatización de un proceso de fabricación flexible utilizando un robot colaborativo*. <https://zaguan.unizar.es/record/107512/files/TAZ-TFG-2021-3770.pdf>
- CommScope. (2017). *Manual de construcción y aplicaciones de banda anchal*.
<https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/2423-drop-const-manual-co-107145-es-mx.pdf>
- Fernández Camacho, E. J. (2020). *Estudio del llenado de la matriz en procesos de extrusión por elementos finitos*. <https://hdl.handle.net/11441/105006>
- Fernández, Y. (2024, diciembre 13). *Servidores NAS: qué son, cómo funcionan y qué puedes hacer con uno*. <https://www.xataka.com/basics/servidores-nas-que-como-funcionan-que-puedes-hacer-uno>
- Flores Molina, F. J. (2023). *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.

<https://hdl.handle.net/20.500.13077/828>

Gallar, I., & Pontelli, D. (2020). *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas.

https://elibro.utn.elogim.com/en/lc/biblioutn/titulos/172527/?as_all=mantenimiento&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as

Gómez Torres, H. L. (2023). *Desarrollo De Indicadores De Mantenimiento Que Garantice El Funcionamiento De Los Activos Críticos De Los Edificios Corporativos En Oficinas De Ventas De Bogotá*.

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/8140f0bb-62bb-4fb2-b43b-a966e4978b20/content>

González Sierra, Carlos. (2021). *Montaje de instalaciones de climatización y ventilación-extracción*.

https://elibro.utn.elogim.com/en/lc/biblioutn/titulos/225347/?as_all=Montaje__de__instalaciones__de__climatizaci%C3%B3n&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as

Google. (2024). *Centros de datos - Google*. <https://www.google.com/intl/es-419/about/datacenters/>

Grajalas Navarrete, I. (2018, junio 5). *Costa Rica tira al mar 15 camiones de plástico por día*. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2018/06/05/costa-rica-tira-mar-15-camiones-plastico-dia>

Herrera Acosta, R. J. (2006). *Seis Sigma un modelo de gestión*. <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108008.pdf>

HK Instruments. (2018). *AIR FLOW AND VELOCITY TRANSMITTERS AVT SERIES*. HK Instruments. www.hkinstruments.fi

HK Instruments. (2023, diciembre 14). *HK INSTRUMENTS AVT Air Velocity Transmitter User Guide*. <https://manuals.plus/hk-instruments/avt-air-velocity-transmitter-manual>

Kinenergy International. (2022, noviembre 11). *Sistemas de extracción de humos. Un caso práctico en la industria* | KINENERGY. <https://www.kin.energy/blogs/post/sistemas-de-extracci%C3%B3n-de-humos.-un-caso-pr%C3%A1ctico-en-la-industria>

MacNeil, C. (2025, febrero 23). *¿Qué es un diagrama SIPOC? 7 pasos para trazar los procesos de negocios.* Asana. <https://asana.com/es/resources/sipoc-diagram>

Mancuzo, G. (2020, septiembre 15). *Fallas en el Mantenimiento, Definición y Análisis.* ComparaSoftware. <https://blog.comparasoftware.com/fallas-en-el-mantenimiento/>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (2024, marzo). *Tasa de desempleo mantiene tendencia a la baja según Encuesta Continua de Empleo.* https://www.mtss.go.cr/prensa/comunicados/2024/marzo/cp_014_2024.html

Minitab. (2024). *Interpret the key results for Scatterplot.* Minitab. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/graphs/scatterplot/interpret-the-results/key-results/?SID=140000>

Minitab Support. (2024). *Interpret all statistics and graphs for Paired t.* Minitab. <https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/paired-t/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>

Morales Hernández, J. P. (2023). *Estudio técnico financiero de los resultados de integrar generación distribuida a la red eléctrica de JASEC mediante modelado y simulación en ETAP.* <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14959>

Moscoso, J. P. (2020). *Virtualización de servicios, respaldo y monitorización. Del CPD clásico a la infraestructura componible y la hibridación de servicios.*

Nomadia Smart Mobility Solutions. (2023, diciembre 12). *Orden de mantenimiento: todo lo que necesitas saber.* <https://www.nomadia-group.com/es/recursos/blog/orden-de-mantenimiento-todo-lo-que-necesitas-saber/>

Pérez, A. (2021, abril 24). *VAN y TIR, dos herramientas para la viabilidad y rentabilidad de una inversión.* <https://www.obsbusiness.school/blog/van-y-tir-formulas-para-mejorar-la-rentabilidad-de-la-inversion>

- Pérez, G. (2023). *¿Qué es la velocidad de carga web o Page Speed?*
<https://resources.esmartia.com/blog/que-es-la-velocidad-de-carga-web-o-page-speed>
- Pérez Rondón, F. A. (2021). *Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial* (Vol. 1). Ediciones Usta.
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/f516cd17-2f00-48d9-b7aa-b49a3e72016a/content>
- Plásticos Cj. (2023). *Mangueras PVC*. <https://plasticoscj.com/wp-content/uploads/2023/11/PVC-FLEXIBLE-CJ-.V2-CJ-FICHA-TECNICA-2023-1.pdf>
- Pulsatron. (2025). *LPB2MA-ATSG-XXX*. <https://www.pumpcatalog.com/pulsatron/plus/lpb2ma-atsg-xxx/>
- Ríos, R. C. G., Sánchez, C. N. G., González, E. L. R., & Asco, C. M. H. (2016). Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 22, 19–35. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=233148815002>
- Safety Culture. (2024, noviembre 26). *5S Lean: ¿Qué son las 5 s en una empresa?* Safety Culture Content Team. <https://safetyculture.com/es/temas/5s-lean/>
- Sosa Gómez, R. E. (2023). *Manual de ingeniería económica*. Universidad Sergio Arboleda. https://elibro.utn.elogim.com/en/lc/biblioutn/titulos/232913/?as_all=ingenieria__economica&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as
- Supelco. (2023, agosto 26). *Tetrahidrofurano MSDS - 107025 - Merck*. https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/msds/MDA_CHEM-107025?Origin=PDP
- Villegas Soto, B. V. (2021). *Implementación de un modelo de detección de fallas en sistemas fotovoltaicos para el Laboratorio de investigación de Sistemas Electrónicos para la Sostenibilidad*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13988>

- Villegas Vega, J. (2023). *Propuesta para reducir el desperdicio de materia prima en el proceso de extrusión de la empresa Resinplast Costa Rica durante el periodo 2021-2022*. Alajuela, Costa Rica. <https://hdl.handle.net/20.500.13077/841>
- Vlachopoulos, J., & Polychronopoulos, N. (2019). *UNDERSTANDING RHEOLOGY AND TECHNOLOGY OF POLYMER EXTRUSION* (Polydynamics Inc, Ed.; 1a ed.). <https://dokumen.pub/understanding-rheology-and-technology-of-polymer-extrusion-corrected-9780995240728-9780995240735.html>
- Winder, D. (2024, enero 23). *Filtración masiva de 26 mil millones de registros: Dropbox, LinkedIn y Twitter/X, todos afectados - Forbes Ecuador*. <https://www.forbes.com.ec/innovacion/filtracion-masiva-26-mil-millones-registros-dropbox-linkedin-twitterx-todos-afectados-n47066>
- Yuseff M., N. D., Alvarado Q., E. J., García O., H. A., Cardona M., J. J., López A., A., & Garzón O., J. C. (2020). Gestión de inventarios, gestión del conocimiento, gestión de mantenimiento. En H. A. García Ovalle & J. C. Garzón Osorio (Eds.), *Bitácora de la maestría. Gestión de inventarios - Gestión del conocimiento - Gestión de mantenimiento* (Vol. 6). Editorial Universidad Icesi. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/86477

Anexos

Anexo 1

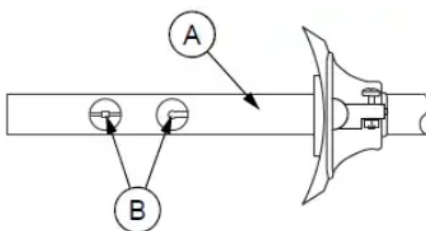
A1. Sección de limpieza del sensor AVT-D-R

CLEANING THE PROBE AND THE SENSOR ELEMENT

Dut senses dete ditoe and me stes themen retry The eired deins the dependent acincy cleanliness.

Do not clean the sensor element with detergents or other chemicals.

1. Disconnect the device supply voltage. For the -R models, disconnect the device supply voltage and the relay mains supply voltage.
2. Clean the probe with a soft cloth.



A. Probe

B. Sensor element

3. Clean the sensor element with compressed air.

Apply compressed air lightly to the sensor element to prevent damage.

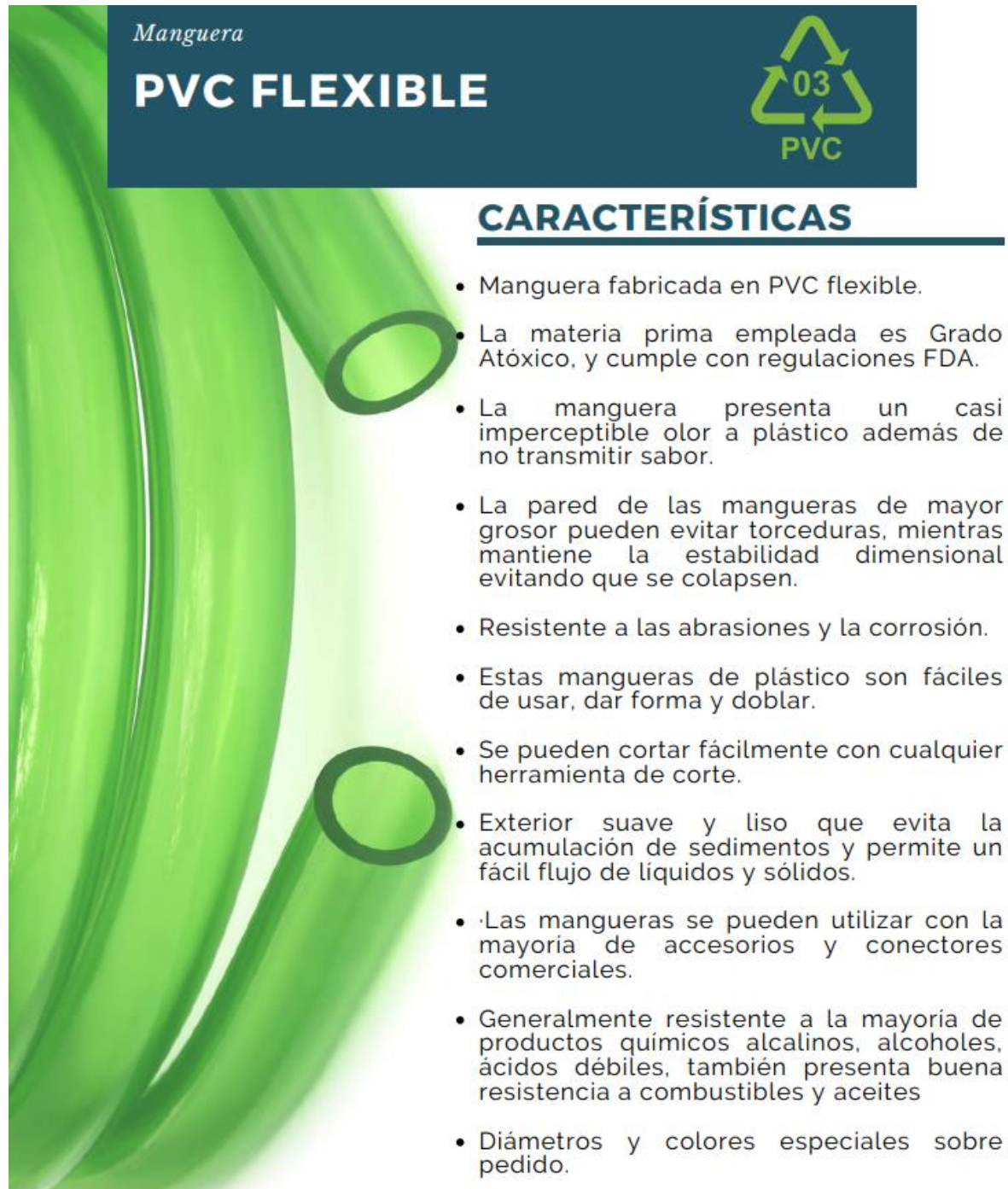
Important: Do not use too high pressure, touch the sensor element or use other cleaning cause mechanical stress. Mechanical stress damages the sensor element and changes the accuracy of the sensors.

Figura 19 Sección de limpieza del manual del sensor AVT-D-R

Fuente: (HK Instruments, 2023)

Anexo 2

A2. Características de las mangueras PVC



Manguera
PVC FLEXIBLE

03
PVC

CARACTERÍSTICAS

- Manguera fabricada en PVC flexible.
- La materia prima empleada es Grado Atóxico, y cumple con regulaciones FDA.
- La manguera presenta un casi imperceptible olor a plástico además de no transmitir sabor.
- La pared de las mangueras de mayor grosor pueden evitar torceduras, mientras mantiene la estabilidad dimensional evitando que se colapsen.
- Resistente a las abrasiones y la corrosión.
- Estas mangueras de plástico son fáciles de usar, dar forma y doblar.
- Se pueden cortar fácilmente con cualquier herramienta de corte.
- Exterior suave y liso que evita la acumulación de sedimentos y permite un fácil flujo de líquidos y sólidos.
- Las mangueras se pueden utilizar con la mayoría de accesorios y conectores comerciales.
- Generalmente resistente a la mayoría de productos químicos alcalinos, alcoholes, ácidos débiles, también presenta buena resistencia a combustibles y aceites
- Diámetros y colores especiales sobre pedido.

Figura 20 Aceptación de mangueras PVC para uso con químicos

Fuente: (Plásticos Cj, 2023)

Anexo 3

A3. “Manual del proceso de extrusión” sección previa a la propuesta.

5.9. Identifique los valores nominales de temperatura y velocidad para cada una de las zonas de acuerdo con la hoja de características de proceso.

5.10. Coloque los valores en el cuadro de dialogo del monitor “HMI principal”

5.11. Espere hasta que la pantalla indique que se ha alcanzado las temperaturas deseadas.

5.12. Revise que el material saliente de la boquilla cumpla con los requisitos dimensionales y visuales para cada configuración.

5.13. En caso contrario, ajuste los parámetros dentro del rango de tolerancias del proceso establecido en la hoja de características del proceso.

Fuente: Empresa fabricante de dispositivos de interconexión electrónica (2025).