



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PVC DE 160 A 250 MM DE LA EMPRESA TIGRE ECUADOR

#### TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

**NARVÁEZ YAGUANA JULIO ANDRÉS**  
julio.narvaez@epn.edu.ec

**DIRECTOR:**  
**ING. MONAR MONAR WILLAN LEOPOLDO, M. Sc.**  
william.monar@epn.edu.ec

**CODIRECTOR:**  
**ING. AGUINAGA BARRAGAN ÁLVARO GONZALO XAVIER, Ph. D.**  
alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

QUITO, Octubre 2022

## CERTIFICACIÓN

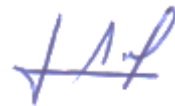
Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Narváez Yaguana Julio Andrés**, bajo mi supervisión.



---

Ing. Monar Willan, M. Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**



---

Ing. Aguinaga Álvaro, Ph. D.

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Narvárez Yaguana Julio Andrés**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Narvárez Yaguana Julio Andrés

## DEDICATORIA

A mis padres por su apoyo diario, por concederme la educación como parte importante de mi desarrollo personal y ser ejemplo de humildad, perseverancia, responsabilidad y trabajo.

A los mejores hermanos Danny y Gabriel por todos los momentos vividos junto a ellos, las risas, las lágrimas, los enojos y más que todo por siempre estar conmigo apoyándome a pesar de todo.

A María Fernanda Cassis Jefa de Manufactura de la empresa Tigre Ecuador por darme la oportunidad de ser parte de su equipo de trabajo, por enseñarme, por creer en mí y permitirme desarrollar mi proyecto de titulación.

A mis amigos Ángel, Juan Eduardo, Danny (Maní), Mafer, Jonathan, David, Dani, Pancho, Maro, Pedro, Ángel, Kelly que con su apoyo y sincera amistad hemos tenido experiencias únicas y han sido parte importante de este objetivo y espero sigan en cada paso de este largo trayecto llamado vida.

A mi novia Cristina Álvaro por siempre motivarme, guiarme, aconsejarme, apoyar mis decisiones y estar conmigo a pesar de los obstáculos que hemos tenido en el camino.

A mis compañeros de trabajo, supervisores, técnicos de mantenimiento y operadores por confiar en mí y diariamente enseñarme cosas nuevas.

A todas las personas que caminaron junto a mí y aportaron un granito de área hasta lograr este gran objetivo.

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento especial y con mucho cariño para mis padres Fanny Yaguana y César Narváez quienes siempre me han inculcado valores y principios, me han dado su apoyo incondicional y me han enseñado que lo difícil cuesta trabajo y que nada es imposible si te propones objetivos claros.

A mi hermano Danny Narváez, agradecerte por todo lo vivido juntos, los momentos de felicidad, tristeza, enojo, frustración, vergüenza y muchos más; por ser parte fundamental de la persona integra que soy ahora y siempre brindarme tus consejos y apoyo incondicional, gracias ñaño.

## INDICE

1. MARCO TEÓRICO .....	15
1.1. Historia de la empresa .....	15
1.2. Misión .....	16
1.3. Visión .....	16
1.4. Política de Calidad .....	16
1.5. Panorama de la situación actual de la empresa .....	17
1.5.1. Materia prima en mal estado .....	18
1.5.2. Zonas de temperatura en extrusora .....	19
1.5.3. Zona de desgasificación de extrusora .....	20
1.5.4. Flujo no uniforme en la extrusión de material .....	21
1.5.5. Quemaduras, rayas y/o manchas en el material .....	21
1.5.6. Presión y temperatura de agua de enfriamiento .....	22
1.5.7. Presión de vacío y calibrador .....	22
1.5.8. Deslizamiento del tubo en el jalador .....	23
1.5.9. Acople del encoder en mal estado .....	23
1.5.10. Desalineamiento de la línea .....	23
1.5.11. Regulación del cilindro de avance y retroceso del cortador .....	24
1.5.12. Brazo de corte .....	24
1.5.13. Temperatura de hornos de calentamiento .....	25
1.5.14. Sistema de transporte de tubería .....	25
1.5.15. Sistema de formación de campana de tubería .....	25
1.5.16. Estado de la maquinaria .....	26
1.6. Ingeniería de Mantenimiento .....	26
1.6.1. Historia evolutiva del mantenimiento .....	27
1.6.2. Objetivos del mantenimiento .....	29
1.6.3. Funciones del mantenimiento .....	29
1.6.4. Niveles estratégicos, táctico y operacional .....	30
1.6.5. Operaciones de mantenimiento .....	31

1.6.6.	TPM Mantenimiento Productivo Total.....	33
1.6.7.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad .....	34
1.6.7.1.	Confiabilidad Operacional .....	35
1.6.7.2.	Las preguntas básicas del RCM .....	36
1.6.7.3.	Pasos para implementación .....	36
1.6.8.	Análisis de modos de falla y efectos.....	36
1.6.8.1.	Procedimiento para implementación .....	37
1.6.8.2.	Número de prioridad de riesgo.....	37
1.6.9.	Eficiencia Global de Equipo (OEE).....	39
2.	Metodología.....	41
2.1.	Estudio y descripción general del proceso de extrusión de tubería .....	41
2.1.1.	Extrusora .....	42
2.1.1.1.	Sistema de transporte de material.....	44
2.1.1.2.	Sistema de dosificación de material.....	45
2.1.1.3.	Sistema motriz principal .....	45
2.1.1.4.	Sistema de control .....	46
2.1.1.5.	Sistema de calentamiento.....	47
2.1.1.6.	Sistema de desgasificación.....	48
2.1.1.7.	Sistema de enfriamiento .....	48
2.1.2.	Cabezal de extrusión .....	49
2.1.3.	Tina de vacío y enfriamiento .....	51
2.1.3.1.	Sistema de bombeo de agua de enfriamiento .....	52
2.1.3.2.	Sistema de calibración de vacío por aire.....	53
2.1.3.3.	Sistema de control de mandos.....	53
2.1.3.4.	Sistema de movimiento mecánico.....	53
2.1.4.	Jalador .....	54
2.1.4.1.	Sistema motriz .....	54
2.1.4.2.	Sistema neumático .....	55
2.1.4.3.	Sistema de transmisión mecánica.....	55

2.1.5.	Cortador.....	55
2.1.6.	Máquina de acabado.....	56
2.1.6.1.	Sistema de arrastre.....	59
2.1.6.2.	Sistema de calentamiento.....	60
2.1.6.3.	Sistema de formación .....	60
2.1.6.4.	Sistema de enfriamiento .....	60
2.1.6.5.	Sistema oleodinámico.....	60
2.1.6.6.	Sistema de control .....	60
2.2.	Desglose de sistemas, subsistemas y elementos mantenibles.....	61
2.3.	Análisis de modos y de efectos de falla.....	72
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	82
3.1.	Confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión.....	82
3.2.	Eficiencia Global de la línea de extrusión .....	83
3.3.	Actividades para mejorar la confiabilidad y disponibilidad .....	84
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
4.1.	Conclusiones .....	93
4.2.	Recomendaciones .....	93



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Sistema de transporte neumático OGA de materia prima .....	19
Figura 1.2. Sistema de mezcla vertical horizontal .....	19
Figura 1.3. Panel de control de zonas de temperatura de barril y cabezal .....	20
Figura 1.4. Zona de desgasificación del barril de extrusión.....	20
Figura 1.5. Compuesto pegado en el reductor de cabezal de extrusión por desgaste de cromo .....	21
Figura 1.6. Rayas de quemado en tubería de PVC .....	22
Figura 1.7. Sistema de bombeo de tina de vacío y enfriamiento .....	22
Figura 1.8. Vacuómetro y válvula esférica de regulación de vacío.....	23
Figura 1.9. Alineamiento adecuado de la línea de extrusión con una guía de 160 mm ....	24
Figura 1.10. Esquema mecánico del brazo de corte .....	24
Figura 1.11. Hornos de calentamiento de la abocardadora.....	25
Figura 1.12. Sistema de formación de la campana de tubería de PVC .....	26
Figura 1.13. Uso de equipos modernos para el mantenimiento predictivo .....	26
Figura 1.14. Pirámide de los niveles de mantenimiento .....	31
Figura 1.15. Clasificación del mantenimiento preventivo.....	32
Figura 1.16. Termografía infrarroja .....	33
Figura 1.17. Frentes de la Confiabilidad Operacional.....	35
Figura 1.18. Factores en el cálculo del OEE .....	40
Figura 2.1. Esquema de la línea de extrusión de tubería PVC .....	41
Figura 2.2. Extrusora de PVC .....	42
Figura 2.3. Zonas del barril de extrusión de PVC.....	43
Figura 2.4. Sistema de transporte mecánico por tornillo .....	45
Figura 2.5. Sistema de dosificación de material .....	45
Figura 2.6. Sistema motriz principal .....	46
Figura 2.7. Panel de control de funcionamiento de motores de la extrusora .....	47
Figura 2.8. Panel de control de temperaturas de barril y cabezal.....	47
Figura 2.9. Curva de temperatura para extrusora EC70-010.....	48
Figura 2.10. Termocuplas para las zonas de calentamiento .....	48
Figura 2.11. Zonas de refrigeración del barril de extrusora .....	49
Figura 2.12. Vista lateral del cabezal de PVC .....	50
Figura 2.13. Tina de vacío y enfriamiento de PVC 400 Vacuum Forming .....	51
Figura 2.14. Tablero de control de maniobras de tina de vacío y enfriamiento.....	53
Figura 2.15. Orugas de transporte del jalador .....	55

Figura 2.16. Abocardadora BA 400 RS 2F .....	58
Figura 2.17. Sistema de arrastre primario de tubería .....	59
Figura 2.18. Interfaz del panel de control .....	61
Figura 2.19. Desglose de sistemas y subsistemas principales .....	63
Figura 3.1. Indicadores de mantenimiento .....	82
Figura 3.2. Pérdidas de producción .....	82
Figura 3.3. Horas improductivas por máquina.....	83
Figura 3.4. Eficiencia global de la línea de extrusión .....	83

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Resumen de la evolución histórica del mantenimiento .....	29
Tabla 1.2. Clasificación de la frecuencia del modo de fallo. ....	38
Tabla 1.3. Clasificación de la gravedad del modo de fallo.....	38
Tabla 1.4. Clasificación de la detectabilidad del modo de fallo.....	39
Tabla 2.1. Ficha técnica de extrusora TITAN 80R – APC .....	43
Tabla 2.2. Tipos de cabezales de PVC .....	50
Tabla 2.3. Cabezales disponibles y diámetros de fabricación de la línea 8 de extrusión de PVC .....	51
Tabla 2.4. Ficha técnica de la tina de vacío y enfriamiento PVC 400 Vacuum Forming ...	52
Tabla 2.5. Ficha técnica del jalador Maquinplast de la línea 8 .....	54
Tabla 2.6. Especificaciones técnicas del cortador SICA TR 63 – 400 .....	56
Tabla 2.7. Tipos de abocardado .....	56
Tabla 2.8. Abocardado liso y sus piezas para su funcionamiento .....	57
Tabla 2.9. Abocardado perfilado y sus piezas para su funcionamiento .....	57
Tabla 2.10. Ficha técnica de máquina de acabado modelo BA 400 RS 2F .....	58
Tabla 2.11. Componentes críticos de los sistemas y subsistemas .....	64
Tabla 2.12. AMFE de la línea de extrusión de tubería de PVC de 160 a 250 mm .....	72
Tabla 3.1. Actividades para mejorar la disponibilidad y confiabilidad .....	84

## RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo analizar la confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión PVC de 160 a 250 mm de la empresa Tigre Ecuador mediante un análisis RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) aplicando un análisis de modos de falla y de efectos con el fin de obtener un plan de mantenimiento estructurado sistemático aplicable a la organización.

Las etapas para lograr este objetivo son la determinación de las máquinas que conforman el sistema productivo (línea de extrusión), el desglose de cada máquina en subsistemas primarios y secundarios de ser necesario, estudio previo del funcionamiento de las máquinas, realización del análisis de modos de falla y de efectos, elaboración del plan de mantenimiento y su frecuencia de ejecución de cada una de las actividades.

Finalmente se dan varias recomendaciones y conclusiones para mejorar la productividad de la organización, esto se alcanza con un listado de componentes de cada uno de los sistemas y subsistemas (máquinas), técnicas de mantenimiento predictivo que permitirán mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión de PVC de 160 a 250 mm.

**Palabras clave:** confiabilidad, disponibilidad, fallas, extrusión, mantenimiento.

## ABSTRACT

This project analyzed confiability and disponibility of Tigre Ecuador's PVC pipes extrusion line for Diameters from 160 to 250 mm, using RCM (Reliability Centered Maintenance) metodology and applying a machine failure analysis, with the aim to incorporate an Structured & Systematic Maintenance approach, applicable to the company.

The steps to reach this objective have been stablished as follows: First, the machines and equipment which conform the productive systems and the extrusion lines as a whole, have been identified,where, all the machinery has been divided in primary and secondary subsystems according with their function. Secondly, the equipment working principles have been studied and analyzed for make a complete machine failure analysis, and create a maintenance plan with the tasks frequency, schedule and guidance of all maintenance work activities

Finally, several recommendations and conclusions in order to improve the company's productivity and efficiency have been made, where we can find: an spare parts- list as guidance for all the machinery systems and sub-systems, predictive maintenance techniques for expecting a disponibility and confability rise on the 160 mm - 250 mm diameter extrusion line.

**Keywords:** reliability, disponibility, failure, extrusion, maintenance.

# **ANÁLISIS DE LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PVC DE 160 A 250 MM DE LA EMPRESA TIGRE ECUADOR.**

## **INTRODUCCIÓN**

Tigre Ecuador es una empresa multinacional que tiene como objetivo la fabricación de tubería y accesorios de PVC para los mercados predial, de infraestructura, de riego e industrial. Actualmente dispone de 12 líneas de extrusión y 6 de inyección, su capacidad de producción es de alrededor de 650 toneladas mensuales con el fin de satisfacer el mercado ecuatoriano. La empresa fabrica tubería en policloruro de vinilo PVC, polietileno de alta densidad PEAD, polipropileno PP y polipropileno random PPR desde los 20 mm hasta los 500 mm para varios canales cómo son: ventilación, drenaje, desagüe, presión, riego y electricidad.

La empresa cuenta únicamente con una línea de extrusión capaz de producir tubería en diámetros de 160 mm a 250 mm, por esta razón su disponibilidad es crítica. La continuidad de un proceso productivo ayuda a mejorar la competitividad y rentabilidad de una empresa (Romero, Agüero, & Rojas, 2022), sin embargo los paros no programados en las máquinas que intervienen en este proceso son un problema recurrente para la productividad de la unidad debido a la reducción de la vida útil de los equipos y la consecuente depreciación del activo, como consecuencias principales se tiene: disminución de productividad, baja disponibilidad de equipos, incumplimiento de entrega de producto terminado, altos costos de mantenimiento, ociosidad de la mano de obra operativa y paros no programados. (Tavares, 2000)

El análisis de la Confiabilidad y Disponibilidad tiene como objetivo realizar un estudio proactivo de diagnóstico de la disponibilidad. (Romero, Agüero, & Rojas, 2022) El Mantenimiento Centrado en base a la Confiabilidad/Fiabilidad es una herramienta para asegurar la máxima disponibilidad de los activos, para lograr su implementación es necesario realizar un diagnóstico de la situación actual del proceso productivo, sistema o equipos; determinación de fallos funcionales y técnicos; determinación de modos de falla y resultado de cada uno de ellos en el proceso de producción, selección de tareas de mantenibilidad correspondiente a cada sistema, determinación de frecuencia de cada tarea, agrupación de tareas y elaboración del plan de mantenimiento preliminar; inicio del

plan preliminar con sus respectivas correcciones y finalmente la redacción de procedimientos. (García, 2003)

Los beneficios asociados a una adecuada implementación de esta herramienta son: minimización de altos costos de mantenimiento, mitigación de fallas consecutivas en equipos y/o máquinas, elaboración de planes que permitan garantizar la máxima disponibilidad, anticipación y planificación de actividades de mantenibilidad, trabajo multidisciplinario para cumplimiento de capacidad de producción, levantamiento y determinación de elementos mecánicos, eléctricos y de control críticos, incremento de indicadores clave de rendimiento KPI y revisión continua para posibles mejoras y/o modificaciones del proceso productivo. (Mora, 2009)

## **Pregunta de Investigación**

¿Cómo se puede aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión de PVC de 160 a 250 mm?

## **Objetivo general**

- Analizar la confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión de PVC de 160 a 250 mm de la empresa Tigre Ecuador.

## **Objetivos específicos**

- Realizar un análisis de criticidad de las máquinas de la línea de extrusión de 160 a 250 mm.
- Realizar un análisis modal de fallo y efecto AMFE para focalizar las actividades de mantenibilidad en base a criticidad de fallas ocurridas.
- Determinar las actividades de mantenibilidad para mejorar indicadores clave de rendimiento KPI y mejorar productividad operacional.
- Determinar los elementos mecánicos, eléctricos y de control críticos de la línea de extrusión de 160 a 250 mm.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Historia de la empresa

La historia de la empresa radica en la ciudad de Joinville Brasil, donde un hombre inteligente, visionario e innovador nacido en 1915 llamado João Hansen Junior adquiere los derechos y realiza la compra de una pequeña fábrica de peines plásticos llamada Tigre a la edad de tan sólo 26 años. Su visión de emprendedor lo impulsó a utilizar el plástico como materia prima para la diversificación de los productos que se fabricaban en la empresa, obteniendo productos como: peines, pipas, abanicos, mangos de machete y horquillas, etc. El crecimiento progresivo de la empresa durante el pasar de los años permitió que pudiese adquirir sus primeras máquinas extrusoras y granuladoras en los años 1952 y 1953 para mejorar su proceso productivo. (Tigre, Quiénes somos, 2022)

Años después, João Hansen Jr. fue invitado a la Gran Feria del Plástico en Europa donde se dieron cita varios empresarios y pudo observar el potencial uso del PVC rígido, es así que volviendo a Joinville Brasil decide crear la primera línea de tubos roscables con este material con su equipo de Ingeniería y Producción. En ese entonces, para la mayoría de las personas era algo absurdo pensar en que un polímero pueda igualar las propiedades de materiales como el acero en algo crucial para la construcción como las tuberías; romper este paradigma se convirtió entonces la misión de Hansen y su equipo, el cual, llevo a obtener un total éxito en su proceso de fabricación en el mercado brasileño. Este sería el principio de la consolidación de la empresa como referente en la fabricación y distribución de tubería y accesorios de PVC para los mercados predial, de infraestructura, de riego e industrial a nivel nacional e internacional. (Vilema, 2010)

Actualmente el Grupo Tigre es líder en Brasil en la fabricación y distribución de materiales plásticos para la construcción y uno de los más grandes a nivel mundial, sus productos son utilizados en al menos 27 países, posee a la fecha 11 fábricas en Brasil y 13 a nivel internacional, en países como: Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Estados Unidos, Paraguay, Perú y Uruguay.

En Ecuador, llamada como Tigre Ecuador ECUATIGRE S.A. se constituye como empresa el 24 de octubre del 2006, inicia sus actividades de manufactura a partir del segundo semestre del 2007 en el parque Delta de la ciudad de Quito. Su principal distribuidor a nivel nacional era REMECO durante el fortalecimiento de la marca en el mercado ecuatoriano. (Vilema, 2010)



Para el año 2010 compra las instalaciones de la empresa ISRARIEGO ubicada en el sector de Carapungo, en las calles Geovani Calles y Jaime Roldós Aguilera en la ciudad de Quito, que a la fecha sigue siendo el área donde realiza sus actividades productivas de manufactura. Disponen de 11 líneas de extrusión y 6 de inyección, mismas que representan una capacidad instalada de alrededor de 1200 toneladas entre tubería y accesorios mensuales que satisfacen la demanda del mercado nacional. La empresa fábrica tubería en policloruro de vinilo PVC, polietileno de alta densidad PEAD, polipropileno PP y polipropileno random PPR desde los 20 mm hasta los 500 mm para varios segmentos de mercado y sus diferentes usos como tubería para ventilación, drenaje, desagüe, presión, riego y protección eléctrica.

## **1.2. Misión**

La misión de la empresa es: cuidar el agua para transformar la calidad de vida de las personas.

## **1.3. Visión**

La visión de la empresa es: estamos seguros de que el lugar donde las personas viven puede ser siempre mejor.

## **1.4. Política de Calidad**

Tigre Ecuador S.A. fabrica y comercializa tubos, conexiones y accesorios plásticos, cumpliendo con estándares de calidad para satisfacer los requisitos y expectativas de nuestros clientes cumpliendo con requisitos legales de ambiente, seguridad y salud en el trabajo, asumiendo los siguientes compromisos:

Adoptar una posición transparente y ética en todos los aspectos de la gestión, cumpliendo las normas de TIGRE, requisitos legales y otras obligaciones aplicables a los negocios.

Cumplir con estándares de calidad para satisfacer los requisitos y expectativas de nuestros clientes.

Tener un sistema ambiental enfocado en la reducción y mitigación de los posibles impactos ambientales significativos generados en nuestra actividad.

Proporcionar condiciones de trabajo seguras y saludables para la prevención de lesiones y enfermedades ocupacionales asociadas a nuestra actividad, a través de la reducción de los riesgos y eliminación de peligros en Seguridad y Salud.

Promover la consulta y participación de los colaboradores en temas relacionados a seguridad y salud en el trabajo.

Mejorar las competencias de los colaboradores a través de programas de capacitación y concientización.

## **1.5. Panorama de la situación actual de la empresa**

En la actualidad las industrias de manufactura deben generar buenos resultados, mejorar sus procesos productivos e incrementar la rentabilidad de la organización, disminuir costos de producción, mantener la calidad del producto y garantizar una productividad alta de los productos finales a obtener, con el objetivo de aprovechar al máximo sus recursos sin necesidad de reprocesarlos y/o desecharlos asegurando sostenibilidad.

Dentro de su proceso productivo, la organización enfoca el 95% de su producción a la tubería que contiene el policloruro de vinilo como materia prima principal, un elemento sustentable que puede ser reprocesado para ingresar nuevamente al proceso productivo. Siendo entonces el proceso de extrusión PVC el predominante, donde se muestran varias variables que afectan el performance del proceso encareciendo su productividad.

Una línea de extrusión se encuentra conformada por una extrusora, tina de vacío y enfriamiento, jalador, cortador, máquina de acabado o campanadora; estas máquinas deben trabajar en serie para poder obtener producto que cumplan las especificaciones de la normativa ecuatoriana NTE INEN 1374 (tubería desagüe) y NTE INEN 1373 (tubería presión soldable).

Toda industria no está exenta de tener problemas durante su proceso productivo, a continuación se van a mencionar los problemas más frecuentes que ocurren en la fabricación de tubería proveniente de la línea de extrusión de PVC para diámetros de 160 a 250 mm que son: materia prima en mal estado, zonas de temperatura en extrusora, zona de desgasificación en extrusora, flujo no uniforme en la extrusión de material, quemaduras, rayas, manchas en el material, presión y temperatura de agua de enfriamiento, presión de vacío y calibrador, deslizamiento del tubo en el jalador, acople del encoder en mal estado, desalineamiento de la línea de extrusión, regulación del cilindro de avance y retroceso del

cortador, problemas del brazo de corte, temperatura de hornos de calentamiento, sistema de transporte de tubería, sistema de formación de campana y el estado de la maquinaria. Posteriormente, se detallará cada uno de éstos para una mejor comprensión.

### **1.5.1. Materia prima en mal estado**

La empresa tiene un área de preparación de materia prima donde se realiza la mezcla en proporción en base a la resina para cada uno de los tipos de compuestos, los cuales son: compuesto silver, compuesto gris, compuesto naranja, compuesto eléctrico, compuesto riego móvil y compuesto de desagüe blanco.

El sistema de transporte neumático OGA de materia prima (ver Figura 1.1) que mediante celdas de carga pesa la resina de PVC, carbonato y los aditivos menores (estabilizante, dióxido de titanio, negro de humo, etc.); transporta todos estos elementos en proporciones dependiendo el tipo de compuesto a mezclar con la ayuda de un sistema de vacío hacia la tolva receptora. El sistema de mezcla vertical horizontal (ver Figura 1.2) entra en funcionamiento una vez estén todos los elementos en la tolva receptora, abriéndose y depositándose en la olla de cocción para homogeneizar la mezcla hasta llegar a una temperatura de 110 °C, al llegar a esta temperatura se abre una válvula que deposita la mezcla en un enfriador que tiene como función enfriar el material desde 110 °C hasta llegar a 60 °C, finalmente el material es depositado en un big bag (bolsa de almacenamiento para mercancías a granel, para el caso de resina tiene una capacidad de 1.3 toneladas) para ser llevado a reposar al menos 8 horas previo a su ingreso al proceso de extrusión.

El proceso adecuado de la preparación de la materia prima garantizará la plastificación durante el proceso de extrusión; sin embargo, se pueden generar problemas durante este proceso por varios factores como pueden ser: mal fraccionamiento de la receta de cada compuesto, mala homogenización del compuesto, impurezas presentes en el compuesto, baja temperatura de cocción del compuesto, alta temperatura de enfriamiento del compuesto, insuficiente tiempo de reposo del compuesto.



Figura 1.1. Sistema de transporte neumático OGA de materia prima

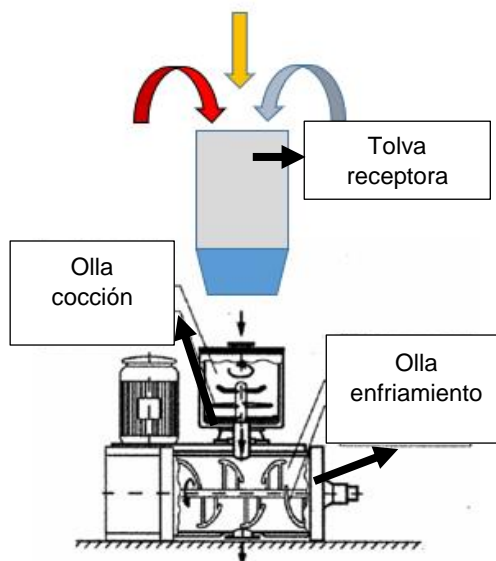


Figura 1.2. Sistema de mezcla vertical horizontal  
(Fuente: (Tigre, Manual de Operaciones))

### 1.5.2. Zonas de temperatura en extrusora

La extrusora presenta zonas de temperatura a lo largo del barril que ayudan a que el compuesto se plastifique durante el movimiento a través de los tornillos. Se tiene dos problemas importantes asociados que son que la temperatura supera la temperatura seteada o que la temperatura no llega a la temperatura seteada, que tiene un efecto

importante en la plastificación. La Figura 1.3 muestra el panel de control de zonas de temperatura de barril y cabezal.

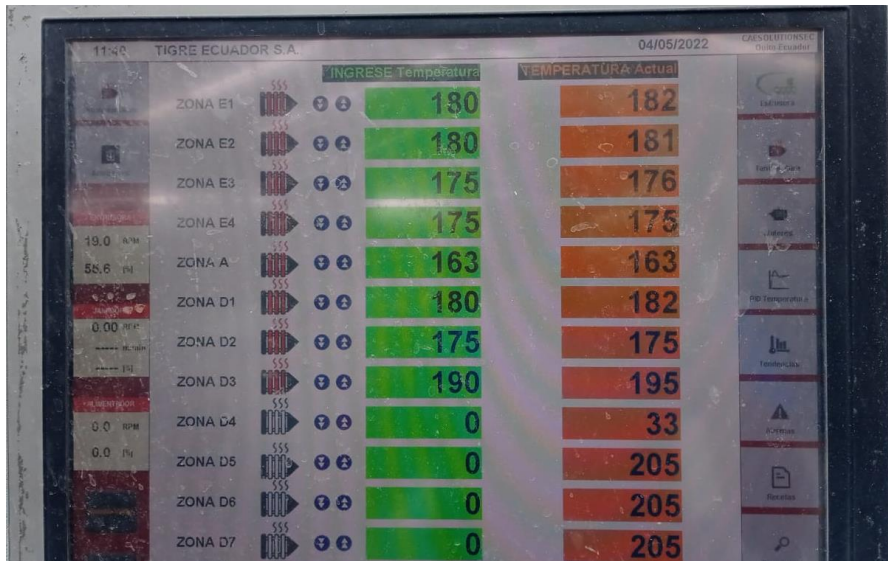


Figura 1.3. Panel de control de zonas de temperatura de barril y cabezal

### 1.5.3. Zona de desgasificación de extrusora

La extrusora a lo largo del barril presenta una zona de desgasificación que tiene como objetivo extraer los gases hacia fuera de la cámara o barril de extrusión para mejorar la compactación del material durante la plastificación. El no tener una presión de vacío adecuada puede afectar directamente en la plastificación del material y más específicamente en la prueba de resistencia al impacto de calidad norma NTE INEN 1374 (tubería desagüe) y NTE INEN 1373 (tubería presión soldable). La Figura 1.4 indica la zona de desgasificación del barril de extrusión.



Figura 1.4. Zona de desgasificación del barril de extrusión

#### **1.5.4. Flujo no uniforme en la extrusión de material**

Este problema ocurre principalmente cuando los tornillos del barril de extrusión no se encuentran calibrados de forma adecuada, es decir no tienen la tolerancia admisible en su juego axial y radial para garantizar el flujo adecuado. No obstante, puede ocurrir que se presente problemas en el cabezal de extrusión, dándose mal ajuste de los pernos de sujeción del cabezal o golpes en las partes que conforman el cabezal que pueden ocasionar problemas de flujo de material.

#### **1.5.5. Quemaduras, rayas y/o manchas en el material**

Este problema ocurre cuando en el cabezal de extrusión tiene desgaste de cromo en su superficie, también cuando las temperaturas del cabezal están demasiado elevadas, mala mezcla del compuesto lo que ocasiona quemaduras dentro del cabezal o rayas de quemado internas o externas en el material plastificado mientras fluye en la extrusora. Por lo general estos problemas se identifican por el área de producción y calidad, donde el departamento de calidad se encarga de la notificación de no conformidad de producto y los mismos son enviados a reprocesar. La Figura 1.5 muestra compuesto pegado en el reductor de cabezal de extrusión por desgaste de cromo duro, que posteriormente se quemará generando problemas de flujo de material y rayas de quemado en tubería de PVC (ver Figura 1.6)



Figura 1.5. Compuesto pegado en el reductor de cabezal de extrusión por desgaste de cromo



Figura 1.6. Rayas de quemado en tubería de PVC

### 1.5.6. Presión y temperatura de agua de enfriamiento

La tina de vacío y enfriamiento es la máquina responsable de la transferencia de calor entre tubería y el agua de enfriamiento; el sistema de bombeo de la tina de vacío y enfriamiento (ver Figura 1.7) funciona en un circuito cerrado de recirculación que envía el agua al sistema de aspersión, el cual se encarga de bañar a la tubería mientras se mueve a lo largo de la línea de extrusión. El tener una presión baja y una temperatura inadecuada en el sistema de aspersión tiene consecuencias directas en la calidad del producto que pueden ser: estabilidad dimensional (espesores y diámetro), pliegues en la tubería por falta de refrigeración, olas externas e internas.

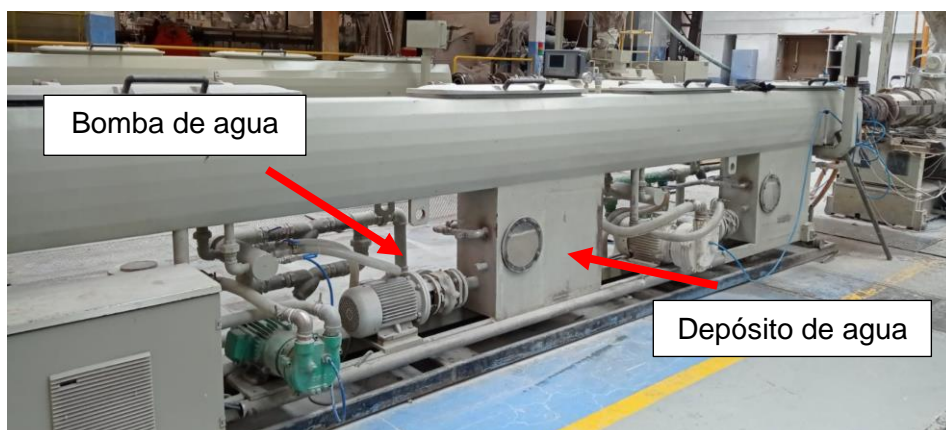


Figura 1.7. Sistema de bombeo de tina de vacío y enfriamiento

### 1.5.7. Presión de vacío y calibrador

La presión de vacío en la tina de vacío y enfriamiento representa un rol importante en la extrusión de tubería ya que permite la formación del tubo mediante diferencia de presiones en el material extruido y una matriz formadora del diámetro de la tubería llamado calibrador.

Los problemas que se tienen asociados son arrugas o pliegues en la superficie del tubo por falta de vacío y diámetros que no están acordes con las especificaciones del producto a fabricar que se puede dar por falta de vacío. La Figura 1.8 muestra el vacuómetro y válvula esférica de regulación de vacío que se lo puede manipular durante el proceso de extrusión.



Figura 1.8. Vacuómetro y válvula esférica de regulación de vacío

#### **1.5.8. Deslizamiento del tubo en el jalador**

Cuando no se tiene la suficiente presión neumática sobre las orugas superiores del jalador con el tubo lo que dificulta su movimiento a través de la línea de extrusión y comienza a patinar (deslizar) que ocasiona que se formen aros internos durante el paso por la tina de vacío y enfriamiento; o en su caso pliegues y el corte de la línea.

#### **1.5.9. Acople del encoder en mal estado**

El encoder es un elemento electromecánico que tiene como función contar a cantidad de pulsos a través del movimiento rotacional de su eje, es el responsable de regular la longitud de corte de la tubería para el corte. El mal ajuste del matrimonio del encoder puede repercutir en la mala lectura del contador debido a que no está deslizando la rueda de éste sobre la superficie de la tubería, que resulta en variación en la longitud de corte.

#### **1.5.10. Desalineamiento de la línea**

Un conveniente alineamiento de la línea de extrusión facilita la producción en serie de la tubería, un desalineamiento puede ocasionar el choque de la tubería en cualquiera de las máquinas (tina de vacío y enfriamiento, jalador, cortador o campanadora), razón por la cual es importante revisar las guías en cada máquina de la línea previo al arranque para evitar



este inconveniente. La guía es un tubo largo de 20 a 25 metros que se lo ubica a lo largo de la línea para verificar el alineamiento de las máquinas, la Figura 1.9 indica el alineamiento adecuado de la línea de extrusión con una guía de 160 mm.



Figura 1.9. Alineamiento adecuado de la línea de extrusión con una guía de 160 mm

#### 1.5.11. Regulación del cilindro de avance y retroceso del cortador

La regulación del cilindro de avance y retroceso es un problema recurrente en las líneas de extrusión debido a que este actuador neumático debe estar regulado con la velocidad de movimiento del jalador para no causar la ruptura de la línea o el freno durante el corte de la tubería.

#### 1.5.12. Brazo de corte

En el brazo de corte pueden ocurrir varios problemas debido a su funcionamiento al realizar el ciclo de corte, los más frecuentes son: mala calibración del sistema hidráulico para inicio de ciclo de corte, ruptura de las bandas del sistema de transmisión, desgaste de la herramienta de corte (fresas de corte), regulación del tiempo de corte inadecuada, regulación de velocidad de corte inadecuada. La Figura 1.10 indica el esquema mecánico del brazo de corte de la línea de extrusión.

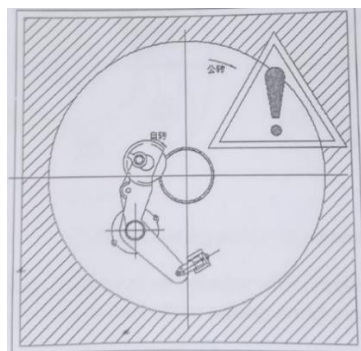


Figura 1.10. Esquema mecánico del brazo de corte  
(Fuente: (Liansu Machinery Manufacturing Co., 2008))

### **1.5.13. Temperatura de hornos de calentamiento**

Los hornos de calentamiento de la abocardadora (ver Figura 1.11) permiten calentar la parte donde se va a realizar la campana de la tubería, la temperatura adecuada mejorará el ciclo de la máquina, haciéndola más productiva. Los problemas más frecuentes son que las resistencias internas y externas del horno se encuentren quemadas lo que alarga el tiempo de ciclo afectando la productividad.



Figura 1.11. Hornos de calentamiento de la abocardadora

### **1.5.14. Sistema de transporte de tubería**

En el sistema de transporte de tubería en la máquina de abocardado, los sensores de posición deben estar correctamente ubicados y conectados para que den la señal de accionamiento para mover la tubería mediante los actuadores mecánicos y/o neumáticos. Los problemas más frecuentes que se dan son daño en los sensores de posición, daño en sistema mecánico de transporte, actuadores neumáticos con fugas de aire y condensados en su interior, daño en la programación secuencial de movimientos de la máquina.

### **1.5.15. Sistema de formación de campana de tubería**

El sistema de formación de la campana de tubería de PVC (ver Figura 1.12) presenta problemas asociados principalmente a la secuencia de señales para que se generen los movimientos para la formación de la campana y también la refrigeración por el sistema de aspersión para mantener la estabilidad dimensional y holgura necesaria entre espiga y la campana.



Figura 1.12. Sistema de formación de la campana de tubería de PVC

### **1.5.16. Estado de la maquinaria**

Las máquinas de la línea de extrusión de 160 a 250 mm tienen varios años de uso en la organización, cabe considerar que estas son intercompany; es decir que fueron enviadas de otras unidades de Tigre de Latinoamérica para Ecuador.

De esta forma la línea de extrusión es ensamblada con varias máquinas de diferentes modelos. Además, el inestable funcionamiento de las máquinas y de los procesos en la organización han deteriorado aún más la vida útil de la maquinaria.

## **1.6. Ingeniería de Mantenimiento**

La evolución y la necesidad del ser humano por aprovechar los recursos naturales han propiciado la construcción de máquinas y/o equipos para hacer más efectivo su trabajo, de igual forma surge la necesidad de técnicas para asegurar la operatividad de estas durante su funcionamiento como técnicas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. La Figura 1.13 indica el uso de equipos modernos para el mantenimiento predictivo.



Figura 1.13. Uso de equipos modernos para el mantenimiento predictivo  
(Fuente: (Altertecnia, 2018))

La Ingeniería de Mantenimiento toma un enfoque global en el contexto de las organizaciones y de la alta gerencia focalizando la orientación de los negocios y resultados asegurando competitividad mediante la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las maquinaria e instalaciones de la organización. Tiene como objetivo principal el aseguramiento operativo (disponibilidad) de los equipos y/o maquinaria a lo largo del tiempo de vida útil para que produzca bienes o servicios.

Varias organizaciones en el mundo generan millonarias pérdidas por una mala gestión del mantenimiento debido a que no se da la importancia correspondiente al mantenimiento, sino se lo utiliza como un recurso para cubrir emergencias convirtiéndose en una carga de producción. El implantar correctamente un plan de mantenimiento disminuye el deterioro de los activos de la organización; es un desafío sustancial el cambiarlo ya que varias industrias generalmente presentan el siguiente panorama donde la proporción en paradas emergenciales y paradas para mantenimiento planificado es 80/20, es decir de 80% emergenciales y 20% planificadas; lo que debería ser, al contrario. (Mora, 2009)

### **1.6.1. Historia evolutiva del mantenimiento**

La evolución del hombre en el tiempo va de la mano con la transición industrial lograda hasta la actualidad debido al desarrollo e innovación tecnológica para limitar el uso de la mano de obra en los procesos industriales. Inicialmente el hombre utilizaba técnicas de mantenimiento correctivo para solucionar los problemas cuando ocurría la falla o daño que terminaba ocasionando paros improductivos; con el pasar de los años, el desarrollo tecnológico industrial permitió la fabricación de maquinaria mucho más eficiente para la producción de bienes y/o servicios, lo que implica un desarrollo de igual manera de nuevas técnicas de control y mantenimiento de estos activos para garantizar la disponibilidad y duración de la vida útil de la maquinaria, es donde el mantenimiento preventivo, predictivo y calidad de mantenimiento toman protagonismo en la industria moderna para asegurar la confiabilidad productiva en las organizaciones.

El mantenimiento ha evolucionado históricamente a través de los tiempos, las etapas más importantes son la siguientes: mantenimiento de carácter correctivo, acciones de orden preventivo o predictivo de fallas, sistema organizado lógico de mantenimiento, medición de resultados, gestión estratégica del mantenimiento, gestión de activos.

La primera etapa toma lugar antes del año 1950 aproximadamente, donde el personal de mantenimiento es capacitado para realizar acciones de mantenimiento de carácter

correctivo procurando siempre corregir la falla o daño suscitado. En esta etapa simplemente se focalizan en fabricar productos o generar servicios a sus clientes finales. (Mora, 2009)

La segunda etapa toma lugar entre los años de 1950 a 1959, es consecuencia de la primera ya que su objetivo principal radica en eliminar estas paradas imprevistas de los equipos y/o maquinaria, pues imposibilita la producción continua, se comienza con la introducción a acciones de orden preventivo o predictivo de fallas. Se establecen los inicios de la gestión de mantenimiento para garantizar la producción de bienes y servicios. (Mora, 2009)

La tercera etapa se da desde 1960 hasta 1980, donde las organizaciones logran un conocimiento considerable que permite estructurar estratégicamente las acciones de mantenimiento, permitiendo gestionar y ejecutar el mantenimiento bajo un sistema organizado. Se implementan nuevos métodos para mejorar la productividad tales como: TPM (Manejo y mantenimiento productivo total), MCC (Mantenimiento centrado en la confiabilidad), PMO (Optimización del mantenimiento planificado), WCM (Mantenimiento de clase mundial), RCM ScoreCard (Mantenimiento centrado en la confiabilidad a partir de tableros de control de Kaplan y Norton). (Mora, 2009)

La cuarta etapa sucede desde 1981 hasta 1995 y tiene un enfoque integral de una estrategia de mantenimiento, las organizaciones que llegan a esta etapa tienen como objetivo la medición de resultados para verificar la eficacia y eficiencia de la gestión para la toma de decisiones considerando los distintos escenarios para la organización. En esta etapa los líderes de la organización se involucran con cada una de las áreas con el fin de obtener la mayor eficiencia productiva. (Mora, 2009)

La quinta etapa tiene lugar entre los años de 1996 a 2003, la alta dirección de la organización fomenta la gestión estratégica del mantenimiento integral basada en procesos promoviendo el desarrollo de las destrezas y aptitudes del personal, se consolidan técnicas y/o métodos de mantenimiento tales como FMECA (análisis de modos y efecto de fallos), RCFA (análisis de causa raíz), RPN (número de riesgo de falla) y técnicas de gestión de productividad como lean manufacturing, ABC de inventarios, sistemas de control, business forecasting (planificación de ventas en base a pronósticos de demanda), etc. (Mora, 2009)

La sexta etapa se orienta hacia la gestión de activos haciendo que las labores de mantenimiento y producción generen incremento en la capacidad productiva, de valor agregado y de demanda para impulsar la competitividad de la organización. La reducción

del tiempo medio para reparar MTTR y el aumento del tiempo medio entre fallas MTBF son actividades que ayudan a garantizar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad debido a que inciden en un costo menor de mantenimiento que implica una menor inversión de capital de trabajo. (Mora, 2009)

La Tabla 1.1 muestra un resumen de la evolución histórica del mantenimiento con sus etapas, su intervalo de tiempo y su rol en el mantenimiento.

Tabla 1.1. Resumen de la evolución histórica del mantenimiento

<b>Etapas</b>	<b>Años</b>	<b>Papel del mantenimiento</b>
I	Hasta 1950	Tareas correctivas orientadas a reparar daños.
II	1950 – 1959	Tareas preventivas y predictivas para suprimir las fallas imprevistas.
III	1960 – 1980	Se establece el sistema organizado lógico de mantenimiento aplicando métodos de mantenimiento.
IV	1981 – 1995	Alta gerencia se involucra en el mantenimiento. Se inicia con la medición de costos, comparación con otras empresas (competitividad) y se plantean metas.
V	1996 – 2003	Técnicas estratégicas de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, implementación de parámetros de medición para mantenimiento.
VI	A partir 2004	Gestión de activos

### **1.6.2. Objetivos del mantenimiento**

Según Newbrough (Newbrough, 1974) los objetivos más importantes son: aumentar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la maquinaria y equipos para la producción, mantener los activos de la organización en condiciones operacionales, evitar accidentes, incidentes y asegurar la seguridad de las personas, alcanzar las metas de manera económicamente sustentable a largo plazo (costos de mantenimiento), optimizar el desarrollo del talento humano y los recursos físicos disponibles.

### **1.6.3. Funciones del mantenimiento**

Las funciones del mantenimiento tienen que ver con las acciones a realizar para garantizar el cumplimiento de los objetivos antes mencionados, donde los más importantes son: planificar y programar de manera adecuada la ejecución del mantenimiento; controlar el estado de las instalaciones, maquinaria y equipos de la organización; mantener, revisar y

reparar la maquinaria y equipos del área productiva; seleccionar y capacitar al personal de mantenimiento; desarrollar programas de mantenimiento planificado y preventivo; elaborar documentación para la ejecución del mantenimiento; gestionar el inventario de la bodega de suministros y repuestos para mantenimiento; seleccionar proveedores para mejorar la calidad de mantenimiento; realizar solicitudes de pedido de maquinaria, equipos, herramientas y repuestos; promover el mantenimiento autónomo de la maquinaria y equipos.

#### **1.6.4. Niveles estratégicos, táctico y operacional**

El enfoque sistemático kantiano permite entender y realizar un análisis estructural del mantenimiento considerando tres elementos básicos: personas, artefactos y entorno; que se interrelacionan en las industrias manufactureras o de servicio.

Las personas permiten que el sistema exista y conociendo que el mantenimiento tiene un carácter intelectual hace que su relación sea estrecha. Los artefactos dentro del ámbito del mantenimiento vienen a ser las máquinas, componentes, sistemas productivos, registros, documentos, suministros, etc. Finalmente, el entorno corresponde a la naturaleza o ambiente donde se desarrollan los elementos; hace factible la obtención de bienes o de servicio.

En el nivel operacional se tienen acciones que pueden ejecutarse en mantenimiento tales como mantenimiento correctivo, mantenimiento modificativo, mantenimiento preventivo y predictivo. En el nivel táctico se refiere a la forma en que la organización gestiona, ejecuta y administra el mantenimiento a partir de una estructura lógica y sistémica de sus actividades; para lo cual hay una variedad de alternativas tales como TPM, RCM, TPM y RCM combinados, entre otros. En el nivel estratégico tiene como enfoque la medición de éxito de la gestión de mantenimiento alcanzada hasta el nivel táctico, para esto existen indicadores que ayudan a verificar la eficacia y eficiencia. (Newbrough, 1974)

La Figura 1.14 muestra la pirámide de los niveles de mantenimiento tomando en cuenta el enfoque kantiano.



Figura 1.14. Pirámide de los niveles de mantenimiento

### 1.6.5. Operaciones de mantenimiento

Dentro de las actividades del mantenimiento se tienen operaciones planeadas y no planeadas; en las operaciones no planeadas se encuentran acciones correctivas y modificativas y se ejecuta una vez se produzca una falla, mientras que las operaciones planeadas pueden ser acciones preventivas y predictivas.

El mantenimiento correctivo consiste en las actividades llevadas a cabo para la reparación de una falla imprevista que afecte la funcionalidad en los equipos, máquinas o instalaciones para obtener un bien o un servicio. Este tipo de falla exige una solución rápida, el personal debe examinar el tipo de falla y su causa para dar con la solución más eficaz y eficiente. (García Palencia, 2012)

Existen razones para tener un excesivo mantenimiento correctivo y pueden ser: mala calidad de los trabajos correctivos realizados, diagnóstico erróneo de la falla, mala planificación y programación de las acciones, disponibilidad alta (alta demanda) para producir bienes, tiempos cortos para solucionar fallas. Una actividad de mantenimiento correctivo consta de las siguientes acciones: detección de la falla, ubicación de la falla, revisión, recuperación, montaje, pruebas y verificación del funcionamiento del equipo, máquina o instalaciones. (García Palencia, 2012)

Cuando las actividades de mantenimiento son consecuencia de una serie de fallas que ocurren en el mismo sistema de forma continua; se encuentra la causa raíz con el objetivo de hacer una acción modificativa para mejorar el diseño funcional del equipo para



incrementar la productividad y confiabilidad, a esto se lo conoce como mantenimiento modificativo.

El mantenimiento preventivo surge con la finalidad de reducir la cantidad de mantenimiento correctivo; el propósito es garantizar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los sistemas de producción para que puedan trabajar sin problema dentro de un tiempo determinado. El compromiso de los todos los integrantes de la organización garantizará el éxito y una correcta implementación de un sistema de mantenimiento preventivo. (García Palencia, 2012)

Se tienen varias ventajas asociadas a la implementación del mantenimiento preventivo son: alta disponibilidad de los equipos y/o máquinas, disminución de fallas imprevistas, levantamiento de información de los activos a mantener, reducción de productos no conformes, disminución de los costos de mantenimiento, de materiales y mano de obra, altos niveles de seguridad para operadores y máquinas, aumento de la vida útil consecuencia de los mantenimientos periódicos sistémicos realizados.

La Figura 1.15 muestra la clasificación del mantenimiento preventivo, donde una se relaciona con el mantenimiento basado en condiciones y la segunda en el mantenimiento en base a la estadística y confiabilidad como se indica en el diagrama de bloques

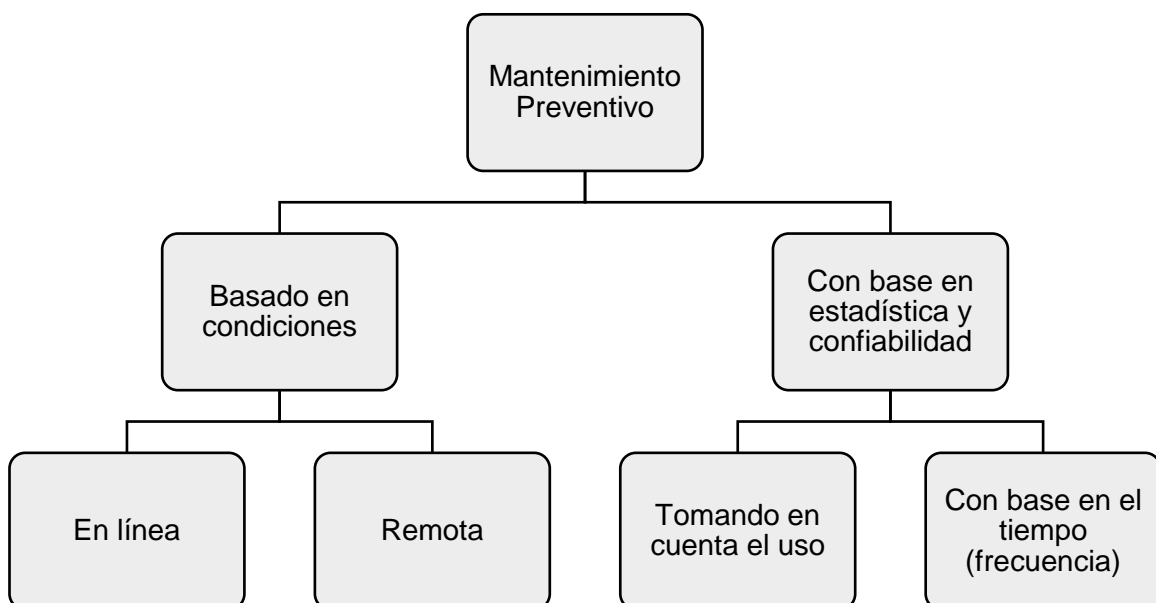


Figura 1.15. Clasificación del mantenimiento preventivo  
(Fuente: (García Palencia, 2012))

El mantenimiento predictivo se basa en el conocimiento del estado de condición y el funcionamiento operativo de los equipos mediante la cuantificación de variables que permita anticipar una prematura a la avería; el mantenimiento predictivo brinda mejores diagnósticos y brinda mayor disponibilidad al equipo; cuando se desea aplicar técnicas de mantenimiento predictivo es importante adquirir equipos tecnológicos de alta gama para poder medir estas variables y su inversión resulta elevada y es la principal desventaja. (Mora, 2009)

Los beneficios de implementar técnicas de mantenimiento predictivo son la disminución del tiempo de avería al poder diagnosticar de forma adecuada las características de la falla, mejorar la disposición del personal técnico de mantenimiento, verificar la condición de estado y monitorear en tiempo real la maquinaria, registrar la información histórica de la maquinaria (hoja de vida), validar el estado de la maquinaria y así gestionar la toma de decisiones en la organización, seguir la evolución de un defecto a lo largo de la vida útil del equipo o maquinaria, realizar análisis estadístico para pronóstico de averías.

Algunas técnicas de mantenimiento predictivo más comunes de uso en las industrias en la actualidad y pueden ser ultrasonido, radiografías Rx, análisis de lubricantes (tribología), termografía infrarroja (ver Figura 1.16), análisis de vibraciones, inspección visual remota, entre otras.



Figura 1.16. Termografía infrarroja  
(Fuente: (Educaplay, 2022))

#### **1.6.6. TPM Mantenimiento Productivo Total**

A finales de 1945, las empresas de manufactura japonesas establecen que la única manera de ser competitivos en el mercado internacional es mejorando la calidad de su sistema

productivo, donde se adoptan técnicas de gestión de manufactura de Estados Unidos y se adapta a sus sistemas industriales. El parque industrial japonés toma en cuenta todas estas técnicas e implementa nuevos conceptos con el objetivo de introducir el TPM Mantenimiento Productivo Total. (Mora, 2009)

Esta nueva estrategia de mantenimiento involucra desde los operadores hasta trabajadores de la alta gerencia, haciendo que todos sean responsables del mantenimiento productivo. El Instituto Japonés de Mantenimiento de Plantas (JIPM) define al TPM como un trabajo encaminado a mejorar la efectividad del equipo y su filosofía se enfoca en la calidad del producto fabricado o servicio prestado.

Las metas para poder adoptar esta estrategia industrial de mantenimiento son: mejora de la eficacia de los equipos, mantenimiento autónomo del personal operativo, planificación y programación del mantenimiento, gestión de talento humano para mejorar las competencias y destrezas del personal de mantenimiento, gestión temprana de maquinaria.

El TPM usa todos los tipos de mantenimiento (correctivos, modificativos, preventivos y predictivos) tiene como resultado la eliminación de fallos imprevistos y los problemas repetitivos para conseguir una alta disponibilidad y operatividad del sistema productivo.

Los pilares fundamentales del TPM son mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, planificación de los mantenimientos, calidad de mantenimiento, mantenimiento prematuro, capacitación continua del personal, seguridad, higiene y medio ambiente. Esta estrategia permite la introducción de indicadores como el OEE (Efectividad Global del Equipo). (García Palencia, 2012)

#### **1.6.7. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

La aviación militar estadounidense es la responsable del diseño de esta metodología de mantenimiento, es una filosofía de gestión de mantenimiento donde un equipo multidisciplinario busca mejorar la confiabilidad operacional de un sistema productivo implementando actividades en función de la criticidad de los activos a mantener tomando en cuenta los diferentes modos de fallas de los activos, en la seguridad, el ambiente y las funciones operacionales.

A continuación, se muestran algunos criterios para la implantación del RCM como es la confiabilidad operacional, las preguntas básicas del RCM y los pasos para su implementación.

### 1.6.7.1. Confiabilidad Operacional

La Confiabilidad Operacional define un conjunto de procesos de mejora continua a implementar que permiten mejorar la gestión, planificación, ejecución y control de la producción manufacturera. La mejora continua implica un cambio en la cultura de la organización generando un alto compromiso con los objetivos de la organización.

Japón como precursor de la implementación de estrategias de calidad de mantenimiento han generado tácticas de mejora continua como Kaizen, TPM, TQM y de programas de gestión de talento humano para potenciar la confiabilidad humana.

La confiabilidad considera la probabilidad de que un sistema trabaje sin averías durante un período de tiempo bajo condiciones específicas; sin embargo, implica una cultura a nivel industrial para asegurar la productividad y debe ser llevada a cabo por todos los niveles de la industria desde la gerencia hasta el empleado de más bajo nivel. (García Palencia, 2012)

La Figura 1.17 indica los frentes de la confiabilidad operacional y sus correspondientes enfoques.

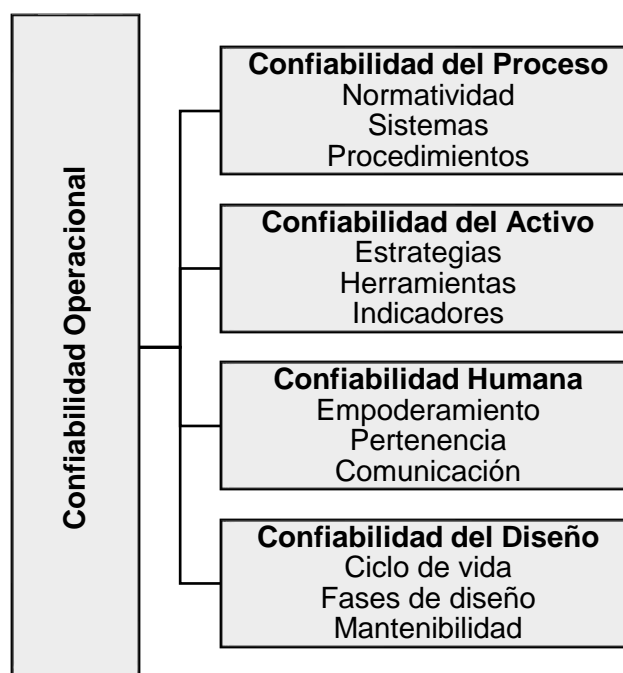


Figura 1.17. Frentes de la Confiabilidad Operacional  
(Fuente: (García Palencia, 2012))

### **1.6.7.2. Las preguntas básicas del RCM**

Para garantizar la correcta implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad se deben responder estas siete preguntas en secuencia: ¿qué parámetros o funciones se asocian al funcionamiento del equipo en su ambiente de trabajo actual?; ¿en qué formas puede fallar el equipo y dejar de cumplir sus funciones?; ¿cuáles es la causa raíz de estas fallas presentes?; ¿qué sucede y qué efectos genera cada falla funcional?; ¿cuál es la importancia de cada falla?; ¿cómo se puede predecir, prevenir o eliminar cada falla?; ¿qué actividades se pueden llevar a cabo para controlar la falla?.

### **1.6.7.3. Pasos para implementación**

Los pasos para una adecuada implementación del RCM son: selección del equipo de trabajo; delimitación de áreas y equipos donde se implementará RCM; determinar la criticidad y seleccionar los sistemas críticos considerando sus funciones primarias, secundarias, etc.; análisis de fallas funcionales para cada una de las funciones; ejecución del análisis de los modos y de los efectos de las fallas, utilizar el procedimiento AMFE; seleccionar las acciones, estrategias, métodos y procedimientos de mantenimiento, implementación y evaluación del CMD (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) en cada caso, generación del plan general de prioridad tomando en cuenta RPN (número de prioridad de riesgo) y los costos/beneficios de cada modo de fallo; verificación, revisión y monitoreo del esquema general y específico.

### **1.6.8. Análisis de modos de falla y efectos**

El costo asociado a la parada por una falla de un minuto supera en diez veces su tiempo operativo, de esto depende de la rentabilidad de la empresa. Actualmente existen varios métodos para generar ahorros potenciales en las organizaciones, esencialmente existen dos formas: la primera que implica ampliar los tiempos de intervención de mantenimiento planeados en máquinas controlando el CMD (Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) para que no se disparen las fallas conocidas y desconocidas; la segunda que brinda resultados mayores ya que permite prevenir, erradicar o controlar las fallas potenciales o reales que afecten directamente los objetivos de la organización, es el análisis de fallas.

Esta herramienta es aplicable tanto para el TPM y RCM considerando independiente el nivel de la organización.

Las fallas se pueden clasificar en esporádicas y crónicas, donde existe una clara diferencia entre ellas. Las fallas esporádicas corresponden a fallas desviadas de operatividad estándar que ocurren de forma ocasional en los sistemas productivos, causan paradas mínimas y después vuelven a la normalidad, que al medirlos en un intervalo considerable de tiempo generan un impacto mínimo en la organización. Por otro lado, las fallas crónicas corresponden a fallas frecuentes que una vez corregidas vuelven a su normalidad operativa, se diferencian a las esporádicas debido a que éstas son complicadas de controlar o eliminar, que de igual forma al cuantificar sus horas en un intervalo de tiempo tienen mayor impacto que las esporádicas. Parte del análisis de fallas tiene como objetivo eliminar en lo posible las fallas crónicas considerando su impacto a nivel productivo.

El AMFE puede ser aplicado tanto en el diseño preliminar del equipo o en el proceso que realizará dicho equipo en el sistema productivo

#### **1.6.8.1. Procedimiento para implementación**

El procedimiento para aplicar AMFE se puede aplicar independientemente, pero el RPN (índice de prioridad de riesgo) es parte primordial para el desarrollo del AMFE. Los pasos para su implementación son los siguientes: describir funciones primarias y secundarias de los equipos, además de componentes que componen cada uno de ellos; establecer los modos de falla; determinar las fallas funcionales reales y potenciales de cada modo de falla; determinar los efectos de cada modo de falla; evaluar la frecuencia, gravedad y detectabilidad de cada causa de modo de falla; medir el RPN (número de prioridad de riesgo); determinar acciones correctivas para cada causa de modo de falla; realizar las tareas; medir nuevamente el RPN y replantear las nuevas acciones correctivas, este paso se realizará una vez implementado el primer plan de actividades correctivas, preventivas o de mejora para cada causa de modo de falla.

#### **1.6.8.2. Número de prioridad de riesgo**

El número de prioridad de riesgo (RPN Risk Priority Number en inglés) es un número adimensional producto de la frecuencia, la gravedad y la detectabilidad de las causas de falla encontradas durante el desarrollo del análisis de modos de falla y de efectos AMFE como lo indica la Ecuación (1.1). (Bestratén, Orriols, & Mata, 2004). El RPN puede ser de entre 1 a 1000, lo que indica la prioridad que se debe dar a cada falla para mitigarla o eliminarla por completo; cuando el RPN es mayor a 100 es necesario tomar acciones correctivas, preventivas o de mejora para evitarlas.

$$RPN = Frecuencia \times Gravedad \times Detectabilidad \quad (1.1)$$

La frecuencia mide la probabilidad de que una falla ocurra, es decir se encarga de medir la repetitividad de una falla potencial dentro del sistema productivo. La Tabla 1.2 indica la clasificación de la frecuencia del modo de fallo considerando su criterio y ponderación.

Tabla 1.2. Clasificación de la frecuencia del modo de fallo.

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy baja improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos, es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

(Fuente: (Bestratén, Orriols, & Mata, 2004))

La gravedad determina la severidad de la causa de modo de fallo y su consecuente impacto en el cliente final; cuando se refiere de cliente final del producto se tiene que tomar en cuenta la calidad del producto y como las varias causas de modos de fallo afectan su calidad. De igual forma la Tabla 1.3 muestra la clasificación de la gravedad del modo de fallo con sus criterios definidos y su ponderación.

Tabla 1.3. Clasificación de la gravedad del modo de fallo

Gravedad	Criterio	Valor
Muy baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce un cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8

Muy alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponden un 10.	9-10
----------	--	------

(Fuente: (Bestratén, Orriols, & Mata, 2004))

Finalmente, la detectabilidad es la probabilidad de que la causa del modo de fallo sea detectada con anticipación para evitar daños potenciales y/o pérdida de recursos de la organización mediante la implementación de controles operacionales; es decir detectar el fallo antes de que el producto llegue al cliente final; mientras menor sea la facultad de la detección de estos modos de fallo, mayor será la ponderación del índice de detectabilidad.

La Tabla 1.4 indica la clasificación de la detectabilidad del modo de fallo con sus respectivos criterios y ponderación del 1 al 10 según corresponda.

Tabla 1.4. Clasificación de la detectabilidad del modo de fallo

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción.	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9-10

(Fuente: (Bestratén, Orriols, & Mata, 2004))

### 1.6.9. Eficiencia Global de Equipo (OEE)

La eficiencia global del equipo hace una comparación entre la capacidad de producir de una máquina y la cantidad que efectivamente entrega; permite evaluar la efectividad real de un proceso o equipo durante el tiempo que fue programado para realizar una determinada producción considerando la proporción de los productos buenos fabricados y la capacidad de producción normal, de esta forma se puede cuantificar la pérdida de producción. Es un indicador que tiene como finalidad aumentar la disponibilidad y productividad de bienes buscando inhibir el avance de la competencia a nivel industrial a través del modelo de gestión. (Tigre E. O., 2021)



El OEE matemáticamente es el producto entre el índice de rendimiento, el índice de calidad y el índice de disponibilidad del sistema productivo como la indica la Ecuación (1.2). (Tigre E. O., 2021)

$$OEE = Disponibilidad(\%) \times Calidad(\%) \times Desempeño(\%) \quad (1.2)$$

La Figura 1.18 indica los factores en el cálculo del OEE, es decir la cascada de pérdidas asociadas en un determinado sistema productivo de bienes.

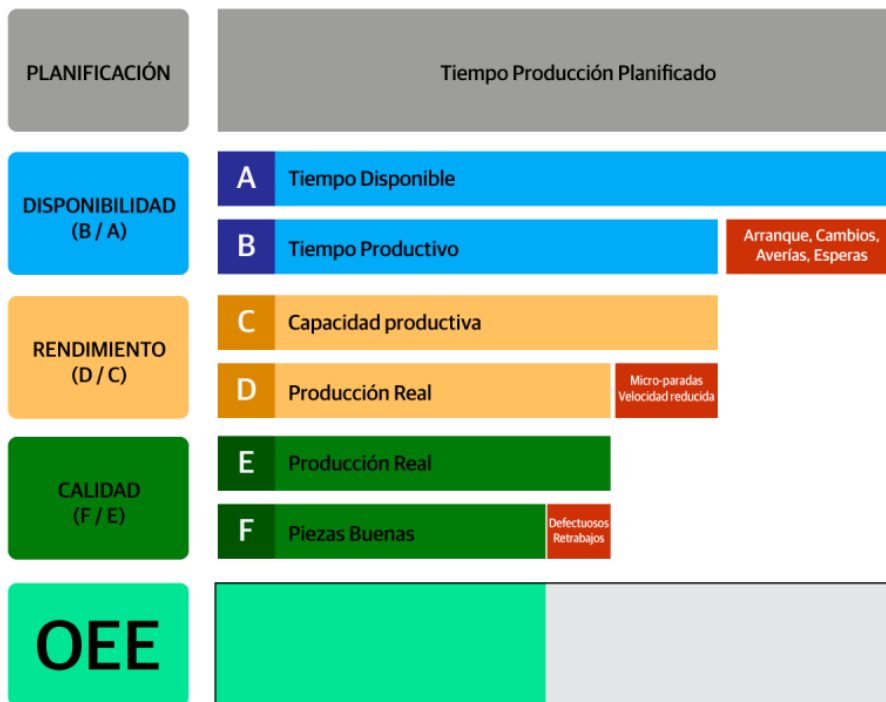


Figura 1.18. Factores en el cálculo del OEE  
(Fuente: (OEE, 2016))

## 2. Metodología

A continuación, se realiza un estudio y descripción general del proceso de extrusión de tubería tomando en cuenta las máquinas que conforman la línea de extrusión con el objetivo de realizar el desglose de sistemas, subsistemas y elementos mantenibles; permitiendo elaborar el AMFE para evaluar las tareas de mantenimiento a realizar para cada modo de fallo.

### 2.1. Estudio y descripción general del proceso de extrusión de tubería

Se describirá las máquinas que componen la línea de extrusión de tubería de 160 a 200 mm en la empresa Tigre Ecuador S.A. Ecuatigre; además se especificarán algunos aspectos técnicos del funcionamiento de cada máquina.

El esquema de la línea de extrusión de tubería de PVC (ver Figura 2.1) cuenta con las siguientes máquinas: extrusora, tina de vacío y enfriamiento, jalador, cortador, campanadora, roscadora y bobinadora; estas últimas tres dependerán de la necesidad del producto final a fabricar. Sin embargo, es importante mencionar que operacionalmente el no tener operativa alguna de las máquinas de la línea en serie de extrusión imposibilitará la obtención del producto final terminado y si en caso ser de la máquina final (campanadora, roscadora y bobinadora) causará reprocesos que afectarán la productividad de la mano de obra.

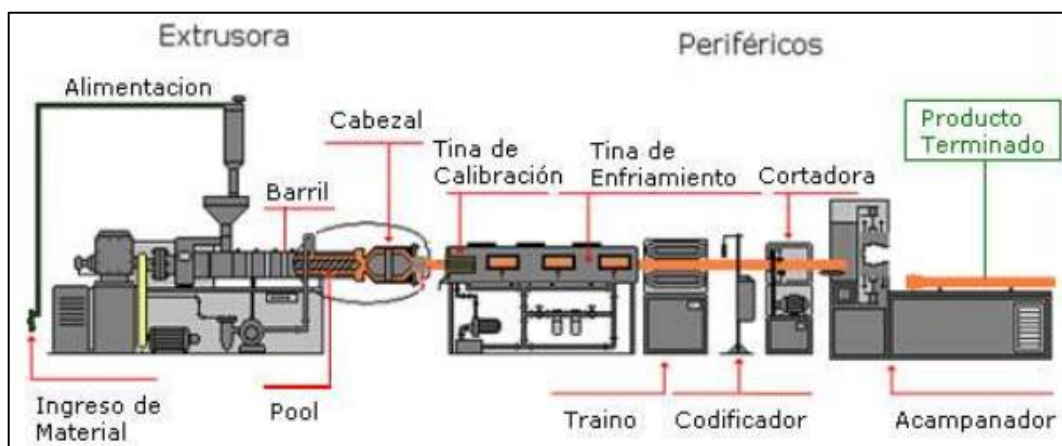


Figura 2.1. Esquema de la línea de extrusión de tubería PVC  
(Fuente: (Tigre, Manual de Operaciones))

A continuación, se darán detalles de la función de cada una de las máquinas que conforman la línea de extrusión, además de mencionar los sistemas que lo conforman y una breve descripción del funcionamiento de cada uno de ellos.

### 2.1.1. Extrusora

La extrusora de PVC (ver Figura 2.2) constituye el corazón de la línea de producción, tiene como función la extrusión de compuesto PVC mediante el movimiento o flujo de este en la cámara y tornillo permitiendo su plastificación. El material en polvo o molido recuperado ingresan a la extrusora a través de un dosificador, el mismo que introduce material en el barril donde los tornillos le proporcionan la compresión y empuje necesarios mientras la pared interior del barril le otorga temperatura para lograr su plastificación. (Tigre, Manual de Operaciones)

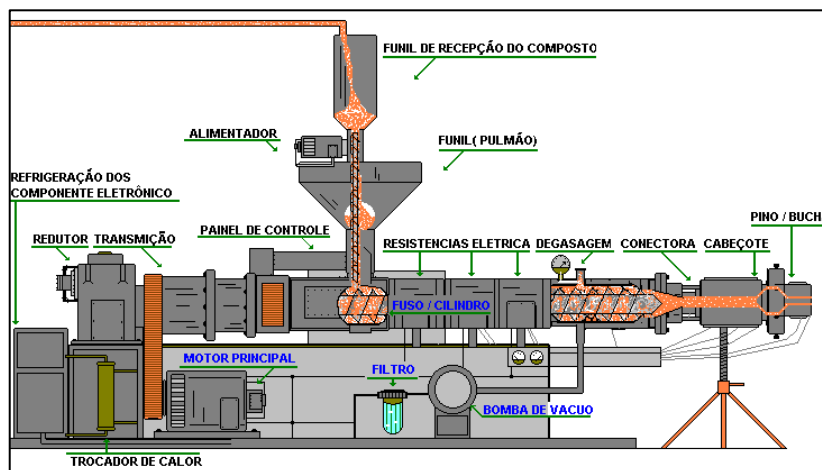


Figura 2.2. Extrusora de PVC  
(Fuente: (Tigre, Manual de Operaciones))

Es importante considerar que las extrusoras de polietileno presentan sólo un tornillo en su barril mientras que las extrusoras de PVC presentan dos tornillos en su barril que pueden ser cónicos o paralelos dependiendo del modelo de extrusora; se puede fabricar los diferentes diámetros de tubería existentes en el mercado debido a la restricción de su cámara y tornillo por capacidad de transporte de material.

Las zonas del barril de extrusión de PVC (ver Figura 2.3) garantizan la plastificación del compuesto de PVC durante su flujo, las cuales son zona carga, zona compresión, zona degasificación y zona dosificación.

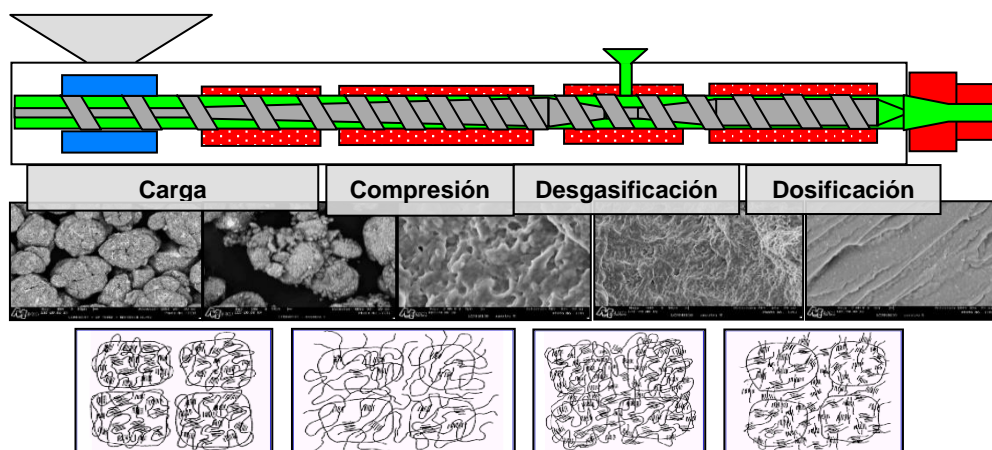


Figura 2.3. Zonas del barril de extrusión de PVC  
(Fuente: (Tigre, Manual de Operaciones))

La extrusora TITAN 80R – APC posee un par de tornillos cónicos revestidos de molibdeno con el fin de mejorar la resistencia a la abrasión y las características de deslizamiento del compuesto de PVC y así resistir los esfuerzos generados durante la extrusión. Las características de su fabricación aseguran la fundición y plastificación más eficiente, además el sistema de succión por vacío permite obtener material de alta calidad a su salida.

La Tabla 2.1 muestra la ficha técnica de la extrusora TITAN 80R – APC.

Tabla 2.1. Ficha técnica de extrusora TITAN 80R – APC

MODELO	TITAN 80R – APC	
DRIVE DMP 180		
Potencia	[kW]	77.50
Velocidad	[RPM]	2000
Velocidad externa del motor	[kW]	0.75
Velocidad de reducción y distribución		
Reducción total	[1]	52
Tornillos (tipo cónico)		
Diámetro mínimo y máximo	[mm]	80.00 / 172.60
Longitud efectiva del tornillo	[mm]	1655.00
Velocidad máxima del tornillo	[RPM]	38.20
Torque	[kNm]	19.40
Barril		
Número de zonas del barril		4
Potencia calentamiento de zonas (1 – 4)	[kW]	16.00 / 6.35 / 8.00 / 5.93

Número de sopladores		2
Potencia de sopladores	[kW]	0.7
Zonas de calentamiento		
Número de zonas		4
Potencia de calentamiento zona D1 – D7	[kW]	10.50
Potencia de calentamiento zona D8 – D17	[kW]	10.50
Potencia de calentamiento zona A	[kW]	5.50
Unidad de vacío V95 – GRD – 14		
Potencia succión de bomba de anillo de agua a un vacío de 0.15 bar	[m³/h]	75.00
Potencia de accionamiento motor de bomba	[kW]	2.20 / 3.00
Velocidad	[RPM]	1400.00 / 1750.00
Cantidad de agua requerida	[l/h]	550.00
Conexiones de agua		
Suministro para extrusora		R 3/4 “
Desagüe		R 5/4 “
Desagüe bomba de vacío		R 5/4 “
Cantidad de agua requerida aproximada	[m³/h]	1.6
Presión mínima del agua	[bar]	1.5

(Fuente: (Extrusion, 2002))

La extrusora consta con los siguientes sistemas principales: sistema de transporte de material, sistema de dosificación de material, sistema motriz principal, sistema de control, sistema de calentamiento, sistema de desgasificación y sistema de enfriamiento.

#### **2.1.1.1. Sistema de transporte de material**

Las líneas de extrusión de tubería de PVC pueden trabajar con un sistema de dosificación por vacío o un sistema de transporte mecánico por tornillo como se indica en la Figura 2.4. Actualmente la línea EC55-008 de la empresa cuenta con el mecánico, que transporte el material que se deposita de los big bag de compuesto a un contenedor y finalmente hacia la tolva de material de la extrusora. La desventaja del sistema mecánico actual es que no es robusto, su costo de mantenimiento es alto y tiene paradas frecuentes. Su sistema de funcionamiento consiste en un motor que tiene acoplado en su eje un tornillo cargador que transporta el material cuando se acciona el motor.



Figura 2.4. Sistema de transporte mecánico por tornillo

### 2.1.1.2. Sistema de dosificación de material

El sistema de dosificación de material (ver Figura 2.5) funciona mediante el accionamiento desde el panel principal de un motor reductor que tiene acoplado un tornillo sin fin, que alimenta de material a la zona de carga de la extrusora.

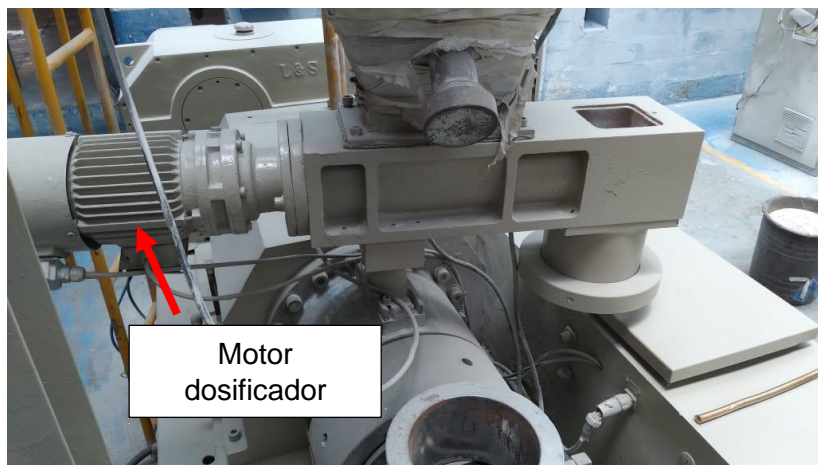


Figura 2.5. Sistema de dosificación de material

### 2.1.1.3. Sistema motriz principal

El sistema motriz principal (ver Figura 2.6) transmite su movimiento hacia la caja reductora y distribuidora, lo que permite el movimiento de los tornillos cónicos donde el compuesto de PVC fluye a lo largo del barril y cabezal de extrusión.

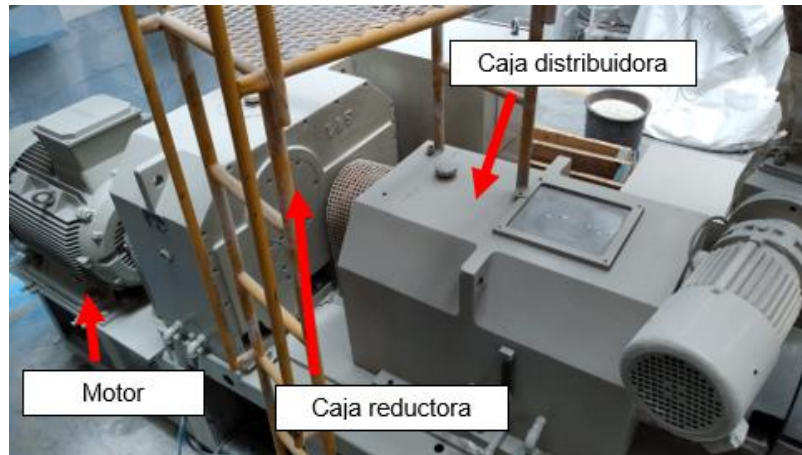


Figura 2.6. Sistema motriz principal

Es conveniente mencionar que existen tolerancias para la calibración de la cámara y tornillo dependiendo el modelo de extrusora, estas tolerancias (radial, axial y recesión) garantizarán un flujo continuo del material.

La tolerancia radial admisible que debe existir entre el diámetro del barril y el diámetro del tornillo es de 0.20 mm. Los problemas asociados a una mala calibración del juego radial influyen en el flujo del material a lo largo del barril, quemaduras del material y mala plastificación del compuesto de PVC. La tolerancia axial admisible que debe existir entre cada filete de los tornillos cónicos es de 1.4 a 1.6 mm. Y la diferencia entre la holgura de los filetes no deberá superar una longitud de 0.125 mm. La recesión es la distancia que existe entre la parte final del barril o cámara hasta el primer filete de cualquiera de los dos tornillos que sobresalgan más hacia el cabezal, esta distancia puede ser hasta de máximo 6 mm.

La calibración de los tornillos juega un papel importante durante la extrusión ya que generalmente se genera desgaste en la superficie del barril, tornillos y la propagación de limallas cuando la tolerancia axial no es la adecuada ya que puede ocasionar la colisión entre filetes de cada tornillo que contaminarán el material mientras fluye a lo largo del barril durante su funcionamiento.

#### **2.1.1.4. Sistema de control**

El sistema de control de la extrusora consta de un PLC programado tanto sus señales analógicas como digitales que permiten controlar todas las variables que influyen directamente en el proceso de extrusión tales como: control ON/OFF y regulación de velocidad del motor principal y visualización del torque, control ON/OFF y regulación de

velocidad del dosificador de material y visualización del torque, control ON/OFF y colocación de temperaturas de proceso, control ON/OFF y regulación de velocidad del jalador de la línea, accionamiento de bomba de vacío donde su regulación es manual mediante la manipulación de una válvula esférica. La Figura 2.7 indica el panel de control de funcionamiento de motores de la extrusora y la Figura 2.8 indica el panel de control de temperaturas de barril y cabezal.

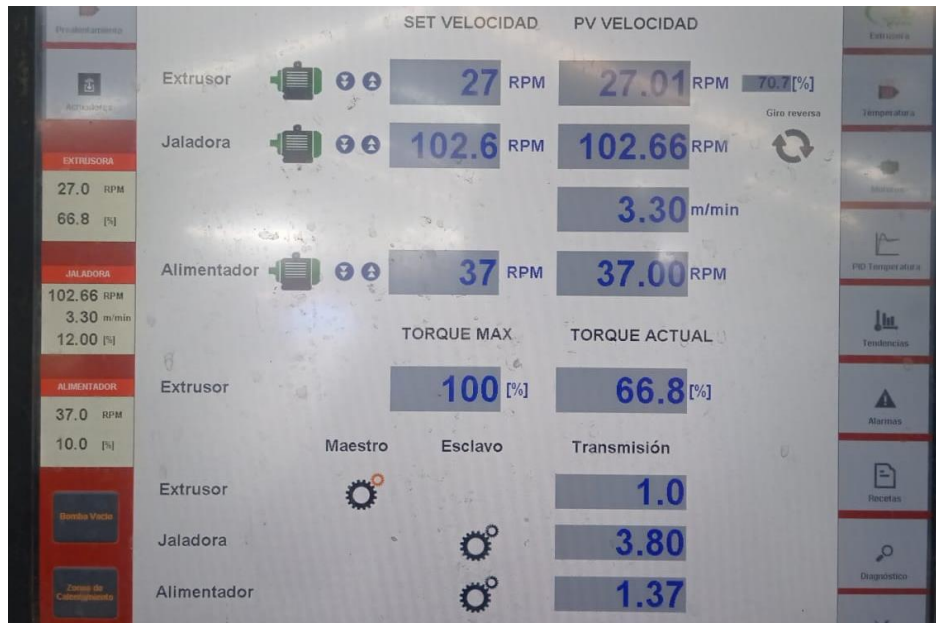


Figura 2.7. Panel de control de funcionamiento de motores de la extrusora



Figura 2.8. Panel de control de temperaturas de barril y cabezal

### 2.1.1.5. Sistema de calentamiento

Este sistema consta de una serie de resistencias eléctricas que se encuentran a lo largo del barril y cabezal de extrusión cuya finalidad es ayudar con el proceso de plastificación del compuesto de PVC. Para cada tipo de extrusora se tiene una curva de temperaturas dependiendo el tipo de producto a fabricar, la Figura 2.9 indica la curva de temperatura de extrusora EC70-010 para la fabricación de tubería de 110 mm ventilación.



EXTRUSORA				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PATRÓN	MÍNIMO	MÁXIMO
Temperatura zona 1	°C	180	175	180
Temperatura zona 2	°C	180	175	180
Temperatura zona 3	°C	180	175	180
Temperatura zona 4	°C	170	165	170
Temperatura zona 5	°C	150	145	150
Temperatura zona 6	°C	150	150	150
Temperatura zona 7	°C	160	160	160
Temperatura zona 8	°C	160	160	160
Temperatura zona 9	°C	162	160	162
Temperatura zona 10	°C	170	165	170

Figura 2.9. Curva de temperatura para extrusora EC70-010

El control PID ON/OFF implementado para su control me permite llegar a la temperatura seteada en el tablero de control. En caso de que la temperatura llegue a superar la temperatura indicada se activa los ventiladores para refrigerar la zona o en su caso dejan de calentar reduciendo su consumo. Cuentan con termocuplas para las zonas de calentamiento como se indica en la Figura 2.10; pueden ser tipo K o J dependiendo el tipo de extrusora y facilitan el sensado de la temperatura en cada zona de la extrusora.



Figura 2.10. Termocuplas para las zonas de calentamiento

#### 2.1.1.6. Sistema de desgasificación

El sistema de desgasificación permite la extracción de materiales no fundidos, gases y la humedad hacia afuera de la cámara de extrusión mientras se transporta el material hacia la zona de dosificación con la ayuda de una bomba de vacío de anillo de agua.

#### 2.1.1.7. Sistema de enfriamiento

Dentro del sistema de enfriamiento se tiene el que se usa para la refrigeración del aceite de transmisión para el sistema motriz y el de refrigeración por ventilación para las zonas de calentamiento del barril de extrusión. El primero permite el intercambio de calor del

aceite de transmisión de las cajas reductora y distribuidora mediante un serpentín de cobre por donde circula agua fría para así garantizar la viscosidad del aceite lubricante permitiendo que el desgaste por la transmisión mecánica sea menor y asegurar la eficiencia operativa de los componentes y la vida útil de los mismos. El segundo consiste con las zonas de refrigeración del barril de la extrusora (ver Figura 2.11) que presenta en sus zonas de calentamiento ventilación con el objetivo de mejorar el control y refrigerar las zonas con ventilación forzada debido a que el material cuando se desplaza a lo largo de la cámara del barril genera fricción y eleva la temperatura de las zonas.



Figura 2.11. Zonas de refrigeración del barril de extrusora

### **2.1.2. Cabezal de extrusión**

El cabezal de extrusión constituye la matriz o dado para fabricar una variedad de espesores y diámetros de tubería por la cual fluye el material plastificado, cada modelo de extrusora tiene ciertas restricciones en el acople del cabezal por la cámara y tornillo; no obstante, el flujo de material que se da a lo largo del barril influye también en la dimensión del cabezal.

En el área de extrusión cuando se habla de flujo de material se refiere al kilogramo hora (kgh), que indica cuantos kilogramos de tubería se produce por hora tomando en cuenta las restricciones de la extrusora y los demás periféricos que la componen la línea de extrusión. Sin embargo, el cabezal juega un rol importante a la hora de medir este indicador ya que un mismo barril puede trabajar con varios cabezales de extrusión que generen mayor o menor kgh dependiendo del producto a fabricar; la Tabla 2.2 indica los tipos de cabezales para líneas de extrusión que trabajan con PVC y sus características principales.

Tabla 2.2. Tipos de cabezales de PVC

Tipo	Bosquejo	Características
Normal		<p>Común para extrusión de PVC, además utiliza resistencias axiales completas y de medialuna.</p>
Tecnomatic		<p>Permite mejor control de temperatura, el largo de las zonas es igual al del diámetro, generalmente se utilizan para diámetros mayores a 350 mm.</p>
Dual o doble		<p>Se utiliza para tubería de diámetro hasta de 2 pulgadas, se extruye dos tubos a la vez con este cabezal.</p>

(Fuente: (Tigre, Manual de Operaciones))

Las partes principales de un cabezal de PVC son la hembra del torpedo, torpedo, tope del torpedo, macho o porta macho, hembra, brida de ajuste de hembra y los pernos de centrado del cabezal como se indica en la Figura 2.12 la vista lateral del cabezal de PVC.

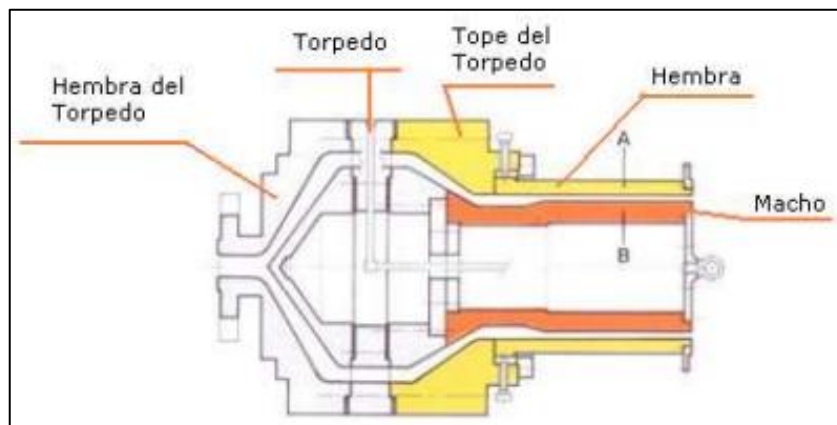


Figura 2.12. Vista lateral del cabezal de PVC  
(Fuente: (Tigre, Manual de Operaciones))

La Tabla 2.3 indica los cabezales disponibles y diámetros de fabricación de la línea 8 de extrusión de PVC.

Tabla 2.3. Cabezales disponibles y diámetros de fabricación de la línea 8 de extrusión de PVC

Nombre de cabezal	Diámetros (mm)
BEX 23	160 – 200
RK 23	250 – 350

### 2.1.3. Tina de vacío y enfriamiento

Se constituye como una máquina de refrigeración donde se podrán obtener la estabilidad dimensional de la tubería de PVC tales como diámetro y espesores, ya que permite que el material que desemboca del cabezal de extrusión se enfríe. Consta de una serie de componentes para su funcionamiento como calibrador o formador, bombas de vacío, bombas de agua, sistema de aspersion y el depósito. Cuando la línea de extrusión hace tubería mayor a 110 mm de diámetro y dependiendo de la velocidad y espesor, por lo general se utiliza de 1 hasta 2 tinas de enfriamiento adicionales a la tina de vacío y enfriamiento para brindar el tiempo necesario para enfriar la superficie de la tubería y llegar a una temperatura adecuada alcanzando la estabilidad dimensional según especificaciones. El vacío generado puede ser regulado y permite eliminar arrugas y le brinda uniformidad al tubo. Es recomendable verificar el funcionamiento de bombas de agua y de vacío, la temperatura de enfriamiento, obstrucción en aspersores y alineamiento de guías de la tina.

La tina de vacío y enfriamiento de PVC 400 Vacuum Forming (ver Figura 2.13) posee las siguientes ventajas: mecanismo de enfriamiento forzado, aspersion uniforme de rociadores, estabilidad dimensional, control mecánico del nivel de agua y temperatura de agua en el tanque de agua, aseguramiento de la calidad de la superficie del producto.



Figura 2.13. Tina de vacío y enfriamiento de PVC 400 Vacuum Forming

La ficha técnica de la tina de vacío y enfriamiento PVC 400 Vacuum Forming se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Ficha técnica de la tina de vacío y enfriamiento PVC 400 Vacuum Forming

Modelo	400 PVC	
Rango de tuberías	[mm]	110.00 – 400.00
Potencia bomba de vacío	[kW]	5.50 y 4.00
Rango de grado de vacío	[MPa]	0.00 – 0.06
Potencia bomba de agua	[kW]	5.50 y 4.00
Potencia del motor de movimiento	[kW]	2.20
Rango de movimiento en la dirección axial	[mm]	1000.00
Altura de ajuste hacia arriba y abajo	[mm]	± 50.00
Rango de ajuste izquierdo y derecho	[mm]	± 30.00
Longitud efectiva de operación	[mm]	6000.00
Cantidad de suministro de agua	[m³/h]	30.00 (< 20°C)
Altura central	[mm]	1100.00
Magnitud	[mm]	6000 X 1000 X 1500

(Fuente: (Liansu Machinery Manufacturing Co., 2008))

A continuación, se detallan los sistemas más importantes que son: sistema de bombeo de agua de enfriamiento, sistema de calibración por vacío de aire, sistema de control de mandos y sistema de movimiento mecánico

### 2.1.3.1. Sistema de bombeo de agua de enfriamiento

Este sistema se encuentra conformado por un circuito cerrado de recirculación de agua, donde la tina se convierte en el depósito, la bomba de agua a través de un sistema de tuberías hace circular el agua de enfriamiento hacia los aspersores que enfrían la tubería durante su movimiento a través de la línea de extrusión.

También consta de una zona de desagüe del agua que circula continuamente por el circuito con esto se garantiza siempre la entrada de agua fría en el sistema cerrado por medio de una boya que regula el ingreso de agua fría al depósito de la tina. Las tinas de enfriamiento trabajan con regulación manual de válvulas esféricas logrando el ingreso de agua fría para mantener la temperatura adecuada del agua para garantizar un proceso más eficiente; sin agua fría no se puede realizar la fabricación de tubería.

### 2.1.3.2. Sistema de calibración de vacío por aire

Este sistema ayuda a obtener el diámetro de la tubería y la forma necesaria (circular) por presión de vacío; utiliza un sistema de calibración por vacío el cual trabaja con una diferencia de presiones entre la parte externa del material extruido y la tina con el ambiente circundante, donde el producto plastificado se contiene en un formador metálico llamado calibrador; esta presión se puede regular el vacío mediante una válvula esférica ubicada en la parte superior de la tina.

### 2.1.3.3. Sistema de control de mandos

El sistema cuenta con un tablero de control de maniobras de la tina de vacío y enfriamiento (ver Figura 2.14) que permiten garantizar el funcionamiento de los sistemas individual y colectivo. Las funciones de control que realiza son: accionamiento de bomba de vacío, accionamiento de bomba de agua, accionamiento del jalador del tubo, control de temperatura de agua de enfriamiento, movimiento de la tina de vacío hacia adelante o atrás, visualización y regulación de velocidad del jalador a través de la línea de extrusión mediante un potenciómetro multi vueltas escalado, sentido de giro de jalador de tubería, control automático de nivel de agua de depósito (en algunos casos), accionamiento neumático de orugas superiores de jalador (en algunos casos).



Figura 2.14. Tablero de control de maniobras de tina de vacío y enfriamiento

### 2.1.3.4. Sistema de movimiento mecánico

Consiste en un sistema de transmisión motor reductor y tornillo sin fin que permite el desplazamiento horizontal de la tina de vacío y enfriamiento; ayuda en el proceso al poder

trabajar cerca del cabezal de extrusión permitiendo garantizar de mejor manera la estabilidad dimensional; sin embargo, al momento de cambiar de dados y/o herramientas del cabezal se puede desplazar hacia atrás para trabajar de manera cómoda y segura para el operador de la línea de extrusión.

#### 2.1.4. Jalador

El jalador es la máquina que ejerce tensión o un jalón constante a lo largo de la línea de extrusión para que constantemente se encuentre trabajando. Las orugas de transporte son las responsables de movimiento, dependiendo del diámetro de la tubería se regula la posición de los cilindros neumáticos. El control de velocidad del jalador se lo realiza desde el panel de control de la tina de vacío y enfriamiento o incluso muchas veces desde el panel de control de la extrusora, dependiendo el tipo de control programado.

La máquina de transporte Maquinplast de cuatro orugas tiene un diseño simple en estructura, su fuerza de arrastre puede ser ajustada dependiendo del diámetro de la tubería, trabaja uniformemente y la seguridad puede ser garantizada durante la operación en la línea de extrusión. A continuación, en la Tabla 2.5 se indica la ficha técnica del jalador Maquinplast de la línea 8 donde se detallan especificaciones de la máquina.

Tabla 2.5. Ficha técnica del jalador Maquinplast de la línea 8

Jalador Maquinplast		
Diámetros (capacidad)	[mm]	75.00 – 400.00
Potencia	[kW]	7.50
Voltaje	[V]	380.00
Velocidad máxima	[RPM]	29.68
Presión de orugas superiores	[bar]	0.00 – 8.00 bar

Los sistemas principales del jalador son el sistema motriz, el sistema neumático y sistema de transmisión mecánica.

##### 2.1.4.1. Sistema motriz

Este sistema está constituido básicamente de un motor y un reductor acoplado que distribuye su movimiento al sistema de transmisión.

#### **2.1.4.2. Sistema neumático**

El sistema neumático a través de su circuito permite la regulación de presión de aire en los brazos neumáticos superiores de las orugas de transporte para que no deslice la tubería durante su movimiento sin aplastar el tubo y garantizar su desplazamiento a lo largo de la línea de extrusión, la presión proporcionada se puede regular y verificar el ovalamiento de la tubería.

#### **2.1.4.3. Sistema de transmisión mecánica**

Este sistema es el responsable de permitir el movimiento de la tubería a lo largo de la línea de extrusión, se logra a partir de la transmisión del movimiento del sistema motriz (motor principal) hacia una serie de componentes mecánicos conducidos que tienen como fin realizar el movimiento continuo de las orugas de transporte del jalador como lo indica la Figura 2.15.



Figura 2.15. Orugas de transporte del jalador

#### **2.1.5. Cortador**

Esta máquina permite realizar el corte de la tubería de diferente espesor de pared y diámetro tomando en cuenta el rango en diámetro del modelo de máquina; puede realizar cortes en longitudes diferentes considerando la longitud que se ingrese en el controlador (contador) del encoder rotativo. El principio operacional del planetario de corte empieza cuando el tubo alcanza la longitud seteada en el controlador a través del encoder rotativo, el cilindro de sujeción se pone en marcha, las mordazas delantera y trasera se accionan y sujetan el tubo, los carros de corte avanzan con la tubería, el motor de corte se activa, gira la sierra de corte junto con el planetario finalizando el corte alrededor del diámetro de la tubería. La Tabla 2.6 muestra las especificaciones técnicas del cortador SICA TR 63 – 400.



Tabla 2.6. Especificaciones técnicas del cortador SICA TR 63 – 400

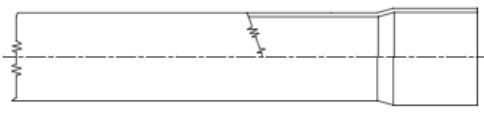
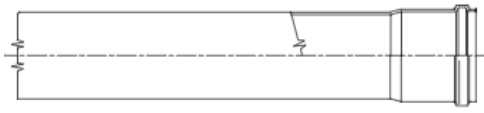
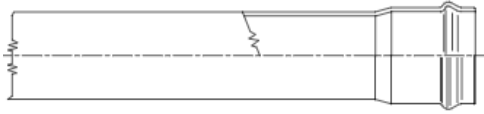
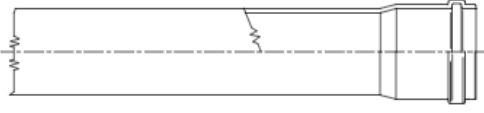
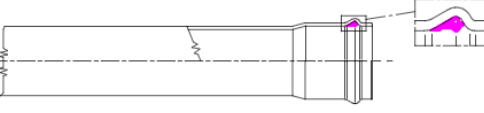
Cortador SICA TR 63 -400		
Capacidad	[mm]	63.00 – 400.00
Potencia	[kW]	9.25
Voltaje	[V]	380.00
Frecuencia	[Hz]	60.00
Peso	[kg]	2100.00
Presión	[bar]	6.00

Los sistemas principales del cortador son el sistema de corte, el sistema de succión y el sistema neumático.

### 2.1.6. Máquina de acabado

Esta máquina se encuentra ubicada al final de la línea de extrusión, se utiliza para efectuar un ensanche de diámetro en las extremidades del tubo mediante calentamiento para permitir la deformación plástica (abocardado) y así permitir la juntura de este tubo con otro tubo (unión espiga campana). Los tipos de abocardado que se pueden realizar se muestran en la Tabla 2.7.

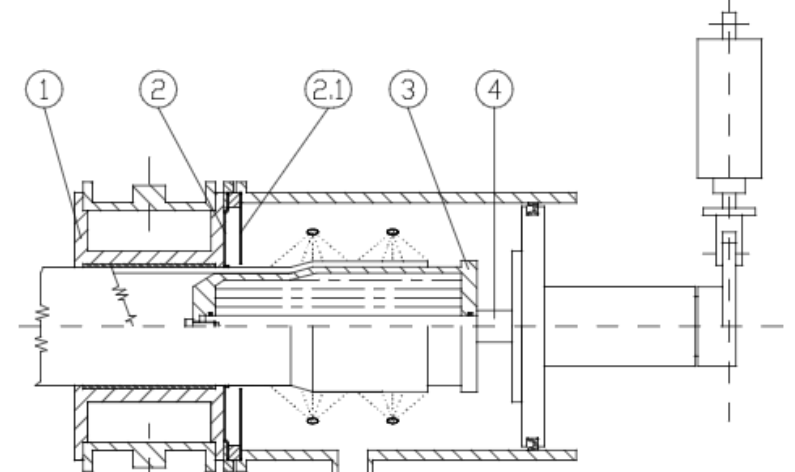
Tabla 2.7. Tipos de abocardado

Esquema	Designación
	Abocardado liso
	Abocardado perfilado (mediante tampón a soplado)
	Abocardado perfilado mediante mandril a sectores expansibles (unión Rieber)
	Abocardado perfilado para "O" ring (mediante mandril a sectores expansibles)
	Abocardado obtenido mediante formación directa de junta

(Fuente: (S.r.l., 2011))

La empresa Tigre Ecuador cuenta con dos procesos de generación de campana, la Tabla 2.8 indica el abocardado liso y sus piezas para su funcionamiento y la Tabla 2.9 el abocardado perfilado y sus piezas para su funcionamiento.

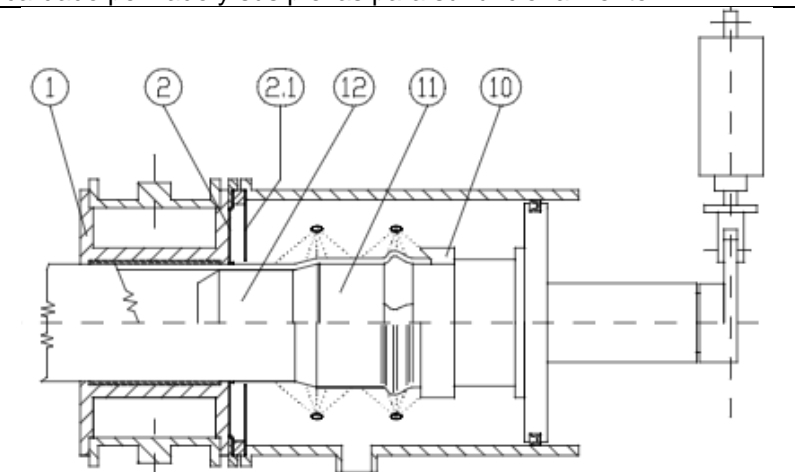
Tabla 2.8. Abocardado liso y sus piezas para su funcionamiento



Descripción	N° Parte
Eje porta tampón	4
Tampón interno	3
Reducción prensa de bloqueo tubo	1
Guarnición de goma	2
Guarnición de goma	2.1

(Fuente: (S.r.l., 2011))

Tabla 2.9. Abocardado perfilado y sus piezas para su funcionamiento



Descripción	N° Parte
Tampón a sectores expansibles	11
Brida de extracción	10

Reducción prensa de bloqueo	1
Brida de goma	2
Brida de goma	2.1
Puntal tampón	12

(Fuente: (S.r.l., 2011))

La abocardadora BA 400 RS 2F (ver Figura 2.16) basa su ciclo productivo en la deformación termoplástica de los tubos de PVC. El tubo se calienta mediante un difundidor de rayos infrarrojos, en la parte interior y exterior para poder garantizar el calentamiento completo del tubo en la zona para la campana. La segunda fase consiste en la formación del abocardado; bloqueando el tubo con unas mordazas que lo sujetan, se introduce en el interior un mandril de acero, el cual deforma plásticamente al tubo. La tercera fase es el proceso de enfriamiento que sucede mediante el rociado de agua de enfriamiento sobre el tubo para garantizar la estabilidad dimensional y la holgura de la junta. Finalmente se encuentra la operación de descarga del tubo lateralmente mediante el desplazamiento de unos cilindros neumáticos.



Figura 2.16. Abocardadora BA 400 RS 2F

La ficha técnica de la máquina de acabado modelo BA 400 RS 2F se indican en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Ficha técnica de máquina de acabado modelo BA 400 RS 2F

Modelo	BA 400 / RS / 2F	
Características técnicas		
Diámetro mínimo	[mm]	63.00
Diámetro máximo	[mm]	400.00

Número de hornos calentadores	[]	2.00
Potencia térmica total	[kW]	25.00
Sistema neumático		
Presión de alimentación	[bar]	6.00 – 7.00
Consumo de aire	[NI/ciclo]	435.00
Instalación eléctrica		
Tipo	[1]	Trifásico + Neutro
Tensión de alimentación	[V]	380.00
Frecuencia de tensión de alimentación	[Hz]	60.00
Tensión de circuitos de comando	[V]	24 VDC
Potencia instalada	[kW]	36.30
Ruido	[dB (A)]	77.00
Vibraciones	[]	NA

(Fuente: (S.r.l., 2011))

Los sistemas principales en la máquina de acabado (abocardador o campanadora) son: sistema de arrastre, sistema de calentamiento, sistema de formación, sistema de enfriamiento, sistema oleodinámico, sistema de control.

#### 2.1.6.1. Sistema de arrastre

El grupo de arrastre es el responsable de suministrar alimentación de tubería a la máquina y su movimiento hacia las zonas de calentamiento y abocardado. Esto se logra a través del sistema de arrastre primario de tubería (ver Figura 2.17), posteriormente una vez ubicado en el plano móvil, se desplaza lateralmente a través del sistema de calentamiento de hornos y el abocardado, cumpliendo con el ciclo establecido en cada operación.



Figura 2.17. Sistema de arrastre primario de tubería

#### **2.1.6.2. Sistema de calentamiento**

Este sistema está constituido por dos estaciones de calentamiento. Cada horno está compuesto por una cámara cerrada con un orificio circular en su estructura interior, por donde el tubo ingresa; interiormente posee una corona circular de irradiadores a rayos infrarrojos los cuales calientan radialmente el tubo en la parte externa; centralmente existe un eje formado por resistencias acorazadas las cuales calientan al tubo internamente. Cuando el diámetro de la tubería es menor a 110 mm es necesario retirar estas últimas.

#### **2.1.6.3. Sistema de formación**

Este sistema es el responsable de abocardar la extremidad del tubo que previamente fue calentada. Está constituido por un par de mordazas para bloquear al tubo, una herramienta de abocardado que se cambia según el diámetro y espesor del tubo y según el tipo de abocardado a realizar, una cámara de compresión que en el abocardador con mandril expansible garantiza una perfecta adherencia del tubo sobre el tapón. (S.r.l., 2011)

#### **2.1.6.4. Sistema de enfriamiento**

El sistema de enfriamiento está compuesto por un tanque que contiene agua de enfriamiento, una bomba de agua que al ser accionada pasa por el filtro de agua y al sistema de aspersión para enfriar la campana del tubo.

#### **2.1.6.5. Sistema oleodinámico**

La máquina abocardadora contiene una centralita hidráulica que abastece de energía hidráulica para el movimiento de los actuadores de los hornos de calentamiento y del conjunto del sistema de formado. Se compone de un tanque depósito de aceite, una bomba hidráulica que se acciona por un motor eléctrico y un bloque de electroválvulas que permiten el movimiento de los actuadores.

#### **2.1.6.6. Sistema de control**

Constituye uno de los más importantes para el control del ciclo de acampanado y la secuencia de movimientos del tubo durante el acampanado, pues desde este se pueden manipular los diferentes parámetros para garantizar un abocardado adecuado, como pueden ser: tiempo retraso para salida de arrastre de tubo, tiempo de soplado, tiempo y temperatura de calentamiento de horno 1 y 2, tiempo de formación de tubo, tiempo de

enfriamiento de tubo. La Figura 2.18 indica la interfaz del panel de control de la máquina de acabado.

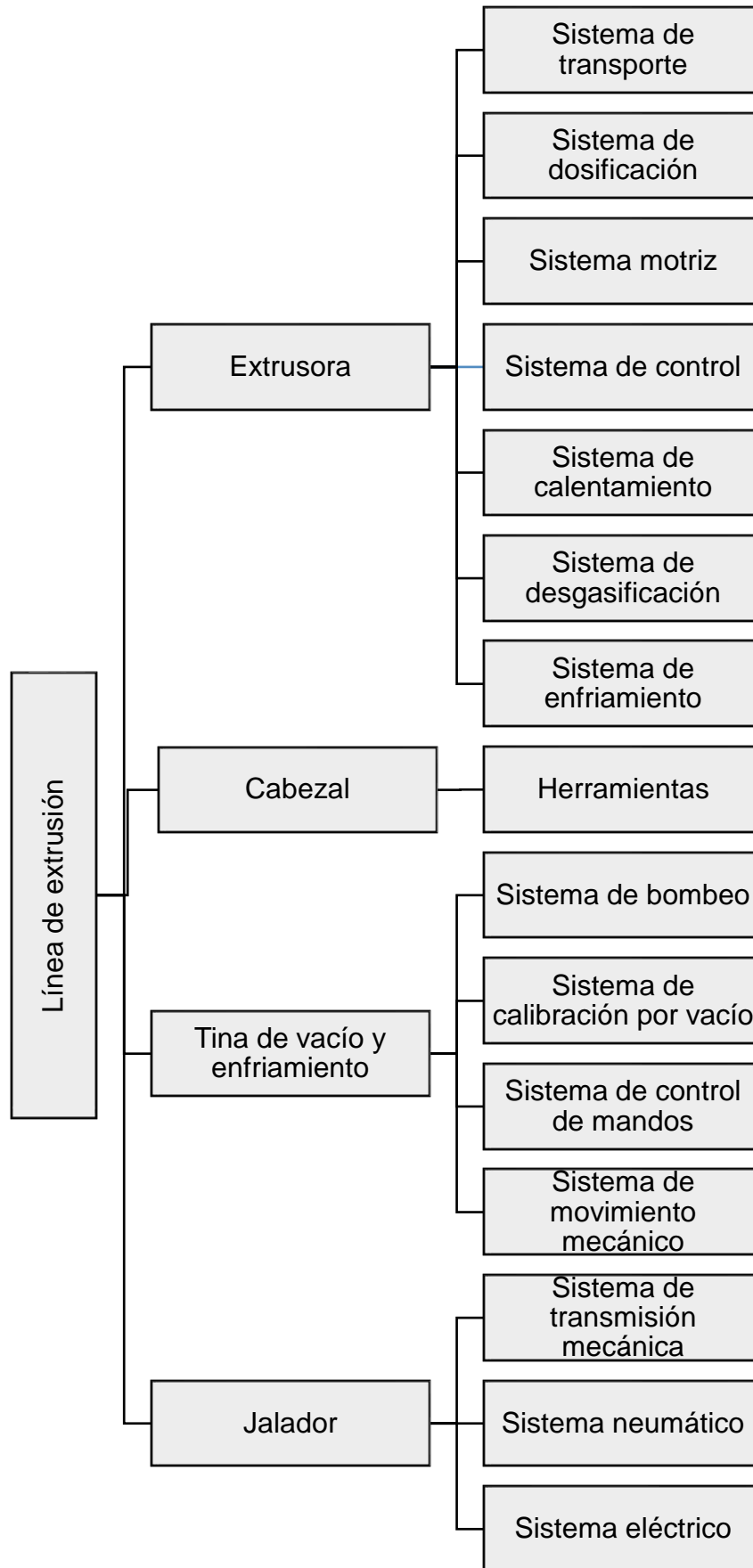


Figura 2.18. Interfaz del panel de control  
(Fuente: (S.r.l., 2011))

También se puede operar manualmente cada una de las operaciones antes mencionadas para verificar en el caso de que se produzca alguna falla durante el funcionamiento.

## 2.2. Desglose de sistemas, subsistemas y elementos mantenibles

A continuación, la Figura 2.19 indica el desglose de los sistemas y subsistemas principales de línea de extrusión de 160 a 250 mm; esto permitirá posteriormente determinar los elementos críticos mantenibles.



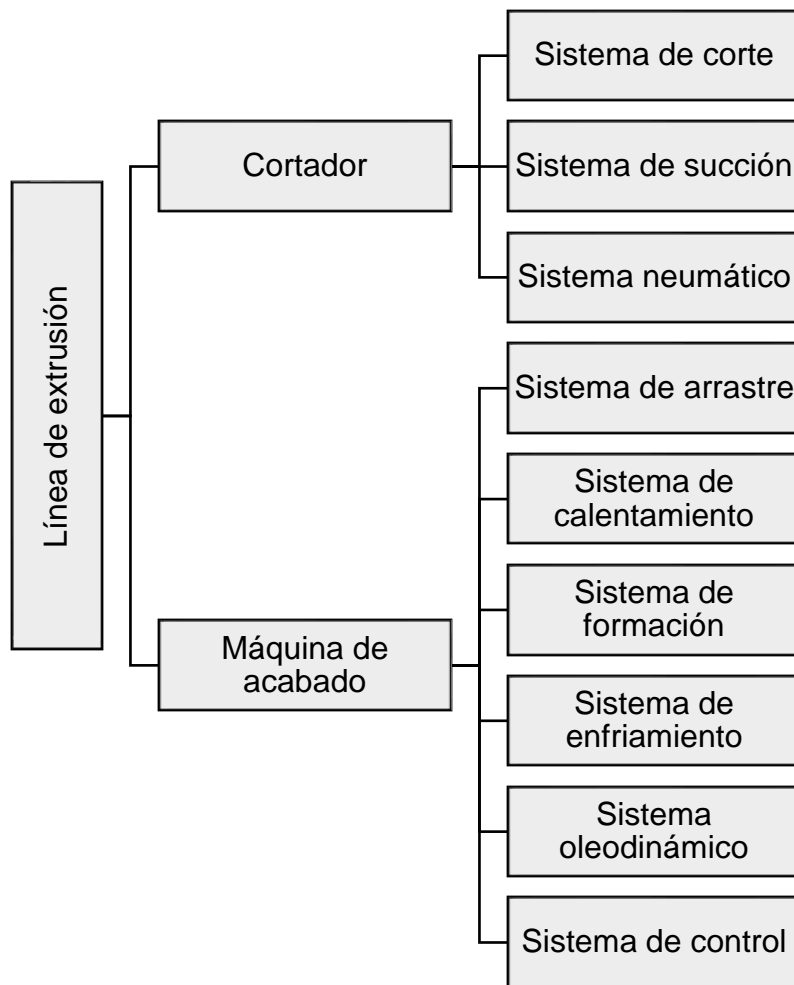


Figura 2.19. Desglose de sistemas y subsistemas principales



A continuación, en la Tabla 2.11 se indican los componentes críticos de los sistemas y subsistemas de la línea de extrusión de tubería de PVC de 160 a 250 mm.

Tabla 2.11. Componentes críticos de los sistemas y subsistemas

COMPONENTES CRÍTICOS DE LÍNEA DE EXTRUSIÓN					
Sistemas, subsistemas y partes mantenibles			Responsable 1:	Fecha de Revisión 1:	
			Responsable 2:	Fecha de Revisión 2:	
Máquina	Sistema		Subsistema 1	Subsistema 2	
	N°	Descripción	Elemento / componente	Elemento / componente	
Extrusora	1	Sistema de transporte de material	Sistema eléctrico de motor cargador	Motor 2.2 kW 1750 RPM 60Hz Trifásico WEG (1)	
				Sensor de nivel de paletas 220 VAC (1)	
				Relé de interfaz 230 V 5 pines (1)	
				Contactador 7.5 kW 220VAC (1)	
				Guardamotor 3F 4.5 – 6.3 Amp (1)	
				Selector de 3 posiciones 24VDC (1)	
				Timer 24VDC (1)	
			Tolva de depósito de material		
			Tolva receptora		
			Tornillo cargador		
	Sistema mecánico motor cargador	Rodamiento 6206 (2)			
	Base sujeción motor	Pernos M12 (4)			
		Tuercas M12 (4)			
		Arandelas de presión M12 (4)			
		2	Sistema de dosificación	Sistema eléctrico de motor dosificador	Motor Lenze 1.1 kW 1740 RPM (1)
					Guardamotor 3F 2.2 a 3.2 (1)
Variador velocidad 4kW (1)					
Tornillo cargador					
Sistema mecánico motor dosificador	Rodamiento 6206 (1)				
		Rodamiento 6207 (1)			
Sistema mecánico reductor velocidad	Retenedor 35x47x7 (2)				

Extrusora	3	Sistema motriz	Sistema eléctrico de motor principal	Motor DC 125 HP 1780 RPM
				Fusibles ultrarápidos 200HP (3)
				Variador de velocidad 125 HP (1)
				Fusilera (1)
			Sistema eléctrico motor de ventilador	Ventilador
				Guardamotor 3F 0.7 a 1 A (1)
				Contactador 5,5 kW 220 VAC (1)
			Tornillos cónicos (2)	
			Caja reductora	Retenedor A 45x60x8 DIN 6885 (1)
				Retenedor VA-0045 Nitrilo (1)
				Oring PRP 261 COMP. NR. 830-7 (1)
			Aceite ISO 320 (80 gal)	
	Caja distribuidora	Retenedor 90x100x12 DIN 3760 FP-G (2)		
		Anillo V Va-0090 Viton (2)		
		Oring PRP 258 COMP-NR. 840-7 (2)		
	Sistema mecánico motor principal	Rodamiento 6215 RSR (1)		
		Rodamiento 6211 RSR (1)		
		Acople Dodge PX 110 (1)		
	4	Sistema de control	Pantalla principal (1)	
			HMI (1)	
			PLC (1)	
Módulo de señales analógicas (3)				
Módulo de señales digitales (4)				
5	Sistema de calentamiento	Porta fusibles con luz led 10x38 (13)		
		Fusibles ultrarápidos 10x38 (13)		
		Relés de estado sólido monofásico 230VAC bobina 24VDC 45 A (13)		
		Porta termocuplas (9)		
		Termocuplas tipo J (9)		
		Cable de temperatura #12 (15 metros)		

Extrusora	5	Sistema de calentamiento	Tomas empotrables 3P 1T 1N 32 A (9)		
			Tomas empotrables 3P 1T 32 A (3)		
			Resistencia barril zona 1		
			Resistencia barril zona 2		
			Resistencia barril zona 3		
			Resistencia barril zona 4		
			Resistencia reductor		
			Resistencia cabezal zona 1		
			Resistencia cabezal zona 2		
			Resistencia cabezal zona 3		
			Resistencia cabezal zona 4		
	6	Sistema de desgasificación	Sistema mecánico de bomba de vacío	Sello mecánico cónico de 38 mm	
				Rodamiento 6204 (1)	
				Rodamiento 6205 (1)	
				Retenedor 25x42x8 (1)	
			Regulador de vacío	Válvula esférica de ½ (1)	
			Vacuómetro		
			Sistema eléctrico bomba de vacío	Bomba de vacío 5.5 kW 1750 RPM	
	7	Sistema de enfriamiento	Sistema eléctrico de ventilador	Guardamotor 3F 9 – 12 Amp (1)	
Contactador 7.5 kW 220 VAC (1)					
Ventilador 1750 RPM (3)					
Sistema de refrigeración de aceite			Guardamotor de 1.1 – 1.6 Amp (3)		
			Contactador 5.5 kW 220 VAC (3)		
			Filtro 25L 32 G60 RMV 11P (1)		
		Elemento filtrante 2.32 G60.P (1)			
Cabezal	1	Herramientas	Brida y pines para 160		
			Brida y pines para 200		
			Brida y pines para 250		
Tina de vacío y enfriamiento	1	Sistema de bombeo de agua de enfriamiento	Sistema de tuberías	Filtros Y de agua (2)	

Tina de vacío y enfriamiento	1	Sistema de bombeo de agua de enfriamiento	Sistema eléctrico bomba de agua 1	Aspersores (100)
				Bomba de agua 7.5 kW 440 VAC 3480 RPM (1)
				Contactador 15 kW 220 VAC (1)
			Sistema eléctrico bomba de agua 2	Guardamotor 3F 10 – 16 Amp (1)
				Bomba de agua 7.5 kW 440 VAC 3480 RPM (1)
				Contactador 15 kW 220 VAC (1)
			Sistema eléctrico bomba de agua 3	Guardamotor 3F 10 – 16 Amp (1)
				Bomba de agua 5.5 kW 440 VAC 3480 RPM (1)
				Contactador 7.5 kW 220 VAC (1)
			Sistema mecánico bomba de agua 1	Guardamotor 3F 9 – 12 Amp (1)
				Sello mecánico tipo G4 38 mm (1)
				Rodamiento 6309 (1)
	Rodamiento 6208 (1)			
	Sistema mecánico bomba de agua 2	Impeller 1 (1)		
		Sello mecánico tipo G4 38 mm (1)		
		Rodamiento 6309 (1)		
		Rodamiento 6208 (1)		
	Sistema mecánico bomba de agua 3	Impeller 2 (1)		
		Sello mecánico tipo G4 38 mm (1)		
		Rodamiento 6309 (1)		
Rodamiento 6208 (1)				
2	Sistema de calibración por vacío	Sistema eléctrico de bomba de vacío 1	Impeller 3 (1)	
			Bomba de vacío 5.5 kW 440 VAC 1728 RPM (1)	
			Contactador 7.5 kW 220 VAC (1)	
		Sistema eléctrico de bomba de vacío 2	Guardamotor 3F 9 – 12 Amp (1)	
			Bomba de vacío 4 kW 440 VAC 3480 RPM (1)	
			Contactador 7.5 kW 220 VAC (1)	
		Sistema mecánico bomba de vacío 1	Guardamotor 3F 7 – 10 Amp (1)	
			Sello mecánico tipo G4 43 mm silicio viton (1)	
			Rodamiento 6206 (1)	

Tina de vacío y enfriamiento	2	Sistema de calibración por vacío		Rodamiento 6027 (1)
			Calibrador 160 mm	
			Calibrador 200 mm	
			Calibrador 250 mm	
			Sistema mecánico bomba de vacío 2	Sello mecánico tipo G4 38 mm silicio viton (1)
				Rodamiento 6204 (1)
	Rodamiento 6205 (1)			
	3	Sistema de control de mandos	Pulsador stop NC Bomba de agua 1 (1)	
			Pulsador star NO Bomba de agua 1 (1)	
			Pulsador stop NC Bomba de agua 2 (1)	
			Pulsador star NO Bomba de agua 2 (1)	
			Pulsador stop NC Bomba de agua 3 (1)	
			Pulsador star NO Bomba de agua 3 (1)	
			Pulsador stop NC Bomba de vacío 1 (1)	
			Pulsador star NO Bomba de vacío 1 (1)	
			Pulsador stop NC Bomba de vacío 2 (1)	
			Pulsador star NO Bomba de vacío 2 (1)	
			Pulsador NO/NC Motor transporte (2)	
	4	Sistema de movimiento mecánico	Sistema eléctrico de motor	Motor 1.5 kW 440 VAC 1690 RPM (1)
				Contactador 5.5 kW 220VAC (2)
Guardamotor 3F 3.5 – 5 Amp (1)				
Sistema mecánico de motor			Rodamiento 6205 (2)	
Reductor de velocidad $i = 40$			Aceite 150 (0.25 litros)	
			Retenedor 25 x 30 x 5 (2)	
Jalador	1	Sistema motriz	Sistema eléctrico de motor principal	Motor 7.5 kW 440 VAC 1730 RPM (1)
				Guardamotor 3F 9 – 12 Amp(1)
				Variador 4 kW (1)
				Contactador 11 kW 220 VAC (1)
		Sistema mecánico de motor principal	Rodamiento 6308 (1)	
			Rodamiento 6305 (1)	

Jalador	1	Sistema motriz	Reductor de velocidad $i = 12.4$	Retenedor 38 x 52 x 8 (1)
				Aceite 220 (1.5)
	2	Sistema neumático	Cilindro neumático DNC 100 250 PPV (4)	Kit de mantenimiento (4)
			Manómetro 0 – 10 bar (2)	
			Unidad de mantenimiento de 0 – 10 bar (1)	
			Válvulas neumáticas con accionamiento manual 5/2 3/4" (2)	
	3	Sistema de transmisión mecánica	Piñón 11B doble sin manzana (4)	
			Piñón 16B doble con manzana (8)	
			Piñón 23B doble sin manzana (4)	
			Piñón 11B doble con manzana (1)	
Piñón 19B doble con manzana (2)				
Piñón 22B doble sin manzana (8)				
Cadena 12B doble (9 mt)				
Cadena 12B doble con aditamentos internos (16 mt)				
Cortador	1	Sistema eléctrico motor planetario		Motor 2.2 kW 380 VAC 1720 RPM (1)
				Guardamotor 3F 7 – 10 Amp (1)
				Variador de velocidad 440 VAC In 7.5 Out 4.5 (1)
				Relé interfaz 8 pines 220 VAC (1)
		Sistema eléctrico motor corte		Motor 4 kW 380 VAC 1720 RPM (1)
				Guardamotor 3F 5.5 – 8 Amp (1)
				Contactador 7.5 kW 220 VAC (1)
				Selector de encendido manual (1)
		Sistema mecánico de motor planetario		Rodamiento 6208 (1)
				Rodamiento 6210 (1)
		Sistema mecánico de motor de corte		Rodamiento 6205 (2)
		Aceite hidráulico 68 (3.5 lt)		
		Banda 1960J 10 canales		
		Carbones 15 x 30 x 10 (8)		
Electroválvula hidráulica DM10 – TA/55 (1)		Kit de reparación (1)		

Cortador	2	Sistema succión	Sistema eléctrico motor succión	Motor 4 kW 380 VAC 3480 RPM (1)
				Guardamotor 3F 7 – 10 Amp (1)
				Contactador 7.5 kW 220 VAC (1)
			Selector 2 NO auto/manual (1)	
			Sistema mecánico de motor succión	Rodamiento 6205 (1)
				Rodamiento 6206 (1)
			Mangas filtro de almacenamiento de viruta (1)	
3	Sistema neumático	Cilindro neumático DNC 100 50 (4)	Kit de mantenimiento (4)	
		Cilindro neumático DNC 80 1400 (1)	Kit de mantenimiento (1)	
		Electroválvula 5/2 BOSCH 220 VAC 3/8 "		
		Sensor magnético (2)		
		Unidad de mantenimiento 1/2 " 0 – 150 PSI (1)		
Campanadora	1	Sistema arrastre	Cilindro neumático BPM.063.0225 (1)	Kit de mantenimiento (1)
			Piñón 14B doble (2)	
			Cadena 12B doble con aditamentos internos (3 mts)	
				Motor 0.37 kW 380 VAC 1720 RPM i=40
				Guardamotor 1.1 – 1.6 Amp (1)
				Contactador 4 kW 24 VDC (1)
			Sistema eléctrico motor reductor arrastre	
			Sistema mecánico motor reductor arrastre	Rodamientos 6204 (2)
				Motor 0.75 kW 380 V 1720 RPM
				Guardamotor 0.7 – 1.1 Amp (1)
		Contactador 4 kW 24 VDC (1)		
		Sistema mecánico motor plano móvil	Rodamientos 6205 (2)	
		Placa intermedia electroválvula ISO 11825503144 (16)		
	Electroválvula ISO 1 5/2 1S SB 0820024996 (11)			
	Electroválvula ISO 1 5/2 2S SB 0820024998 (4)			
	Sensor fotoeléctrico 3H 24 VDC (4)			
2	Sistema calentamiento	Resistencia tubular 2000 W 260 VAC (2)		
		Resistencia cerámica 500 W 260 VAC (8)		

Campanadora	2	Sistema calentamiento	Resistencia cerámica 1000 W 260 VAC (8)	
			Relé de estado sólido monofásico 40 A 220 VAC (8)	
	3	Sistema de formación	Relé de interfaz 1NC – 1NO 24 VDC 5 A (1)	
			Sensor foto reflectivo 3h 24 VDC (1)	
	4	Sistema de enfriamiento	Sistema eléctrico bomba de agua	Motor eléctrico 0.75 kW 380V 1720 RPM
				Guardamotor 1.8 – 2.5 Amp (1)
				Contactador 5.5 kW 24 VDC (1)
			Sistema mecánico bomba de agua	Rodamiento 6204 (1)
				Rodamiento 6205 (1)
	5	Sistema oleodinámico	Sistema eléctrico bomba hidráulica	Motor eléctrico 7.5 kW 380 V 1750 RPM (1)
				Guardamotor 11 – 16 Amp (1)
				Contactador 15 kW 24 VDC (1)
			Sistema mecánico motor eléctrico bomba hidráulica	Rodamiento 6308 (1)
				Rodamiento 6309 (1)
			Regulador de presión RD083C30 (1)	
			Regulador de presión RDH103T50 (1)	
			Regulador de caudal QC32164005 (1)	
			Válvula de bloqueo pilotada FPS 3/4 (1)	
			Válvula de bloqueo doble pilotada amsupab1005 (1)	
			Electroválvula NG06 D1VW20BNJP (1)	
			Electroválvula NG06 D1VW20DNJP (1)	
			Electroválvula NG10 D3V20DNJP (1)	
			Termostato TC2 MM 200 ½ (1)	
Intercambiador de calor MS 84 P1 (1)				
Válvula antirretorno RHV20SREDA3C (1)				
6	Sistema control	Módulo digital IN/OUT XS7-300 (1)		
		Módulo analógico IN/OUT XS7-300 (1)		
		Módulo entradas XS7-300 (1)		



### 2.3. Análisis de modos y de efectos de falla

En esta sección se identificarán y evaluarán los modos de falla funcionales, sus efectos y consecuentes causas que los producen, además se obtendrá el número de prioridad de riesgo en base a su frecuencia, gravedad y detectabilidad (RPN) para posteriormente tomar acciones correctivas, preventivas o de mejora considerando el valor de este índice y una persona responsable, para esto se utilizará el formulario AMFE publicado por la Nota Técnica de Prevención NTP 679 (Bestratén, Orriols, & Mata, 2004), la Tabla 2.12 indica el AMFE de la línea de extrusión de tubería de PVC de 160 a 250 mm.

Tabla 2.12. AMFE de la línea de extrusión de tubería de PVC de 160 a 250 mm

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y DE EFECTOS																
AMFE DE PROCESO				DENOMINACIÓN DEL COMPONENTE / PARTE DEL PROCESO:				CODIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE:				FECHA DE INICIO:				
NOMBRES DE RESPONSABLES Y DPTO DE CADA UNO:				COORDINADOR:				MODELO:				FECHA DE REVISIÓN:				
Función	Falla	Fallos potenciales			Estado actual					Acción correctiva	Persona responsable	Resultado de las acciones				
		Modos de fallo	Efecto	Causas del modo de fallo	Medida de control predefinida	F	G	D	IPR			Acción tomada	F	G	D	IPR
Extrusión de PVC	1.1	Falta de alimentación de material	- Paro en la producción	Motor cargador defectuoso	Verificación mantenimiento	4	10	3	120	Mantenimiento correctivo	Técnico eléctrico o mecánico					
	1.2		- Generación de scrap	Protecciones, actuador y maniobra defectuoso de motor cargador	Verificación de mantenimiento	4	10	3	120	Medición de consumo de elementos	Técnico eléctrico					
			- Pérdidas económicas													
			- Tiempo improductivo													

Extrusión de PVC	1.3	Falta de alimentación de material	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Paro en la producción</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Pérdidas económicas</li> <li>- Tiempo improductivo</li> </ul>	Rotura del tornillo cargador	Verificación in situ	7	10	3	210	Cambio de tornillo cargador	Técnico mecánico						
	1.4			Motor dosificador defectuoso	Inspección de mantenimiento	4	10	3	120	Revisar ruidos o medir consumo	Técnico mecánico o eléctrico						
	1.5			Protecciones y variador de velocidad defectuosos	Verificación de mantenimiento	4	10	3	120	Medición de consumo de elementos	Técnico eléctrico						
	1.6			Rotura del tornillo dosificador	Verificación in situ	7	10	3	210	Cambio de tornillo cargador	Técnico mecánico						
	1.7			Falta de control operativa	Capacitación	3	10	2	60								
	1.8			Defecto de sensor de nivel	Inspección de mantenimiento	4	10	3	120	Verificar señal de sensor	Técnico eléctrico						
	1.9			Resistencia abierta	Inspección de mantenimiento	6	10	3	180	Inspección operativa	Operador						
	1.10	Daño físico en resistencia	Revisión en arranques y cambios	3	8	3	72										
	1.11	Termocupla defectuosa	Verificación de mantenimiento	6	10	2	120	Verificar estado físico de la termocupla	Técnico eléctrico								
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura disparada o menor a la seteada</li> <li>- Pérdida de material</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Pérdidas económicas</li> </ul>														

Extrusión de PVC	1.12	Temperatura disparada o menor a la seteada		Elementos de protección o maniobra defectuosos	Verificación de mantenimiento	6	10	2	120	Medir consumo en elementos de protección	Técnico eléctrico					
	1.13			Conexión inadecuada	Inspección operativa	1	10	1	10							
	1.14	Compuesto PVC en mal estado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo improductivo</li> <li>- Reprocesos de materia prima</li> <li>- Generación de scrap</li> </ul>	Material mal mezclado	Ninguno	4	10	9	360	Estandarización de proceso de mezcla	Técnico de procesos					
	1.15			Material reprocesado con impurezas (molido)	Verificación en proceso	3	10	6	180	Instalar mallas para el material a extruir	Programador de mantenimiento					
	1.16	Flujo variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tubería con defectos superficiales de calidad</li> <li>- Pérdidas económicas</li> </ul>	Calibración inadecuada de tornillos cónicos	Verificación mantenimiento	1	10	10	100	Verificación en calibración periódica de tornillos	Técnico mecánico					
	1.17			Sistema motriz principal en mal estado	Verificación in situ	1	10	10	100	Inspección mecánica de ruidos anormales y medición de consumo	Técnico eléctrico y mecánico					

Extrusión de PVC	1.18	Flujo variable	- Tubería con defectos superficiales de calidad	Problemas de acople entre partes del cabezal	Verificación operativa	4	10	2	80								
	1.19		- Pérdidas económicas	Temperatura disparada o menor a la seteada	Verificación in situ	8	9	2	144	Verificación de conexión y medición de consumo de resistencia	Técnico eléctrico						
	1.20		- Generación de scrap	Brida y pin en mal estado (ovalada o golpeada)	Revisión in situ y medición pre y post arranque	5	8	3	120	Verificación de estado de herramientas	Operador o preparador de moldes						
			- Tiempos improductivos														
			- Paro de producción														
	1.21	Desgasificación deficiente		Motor bomba de vacío defectuoso	Revisión de mantenimiento	2	9	2	36								
	1.22		- Pérdida de material y económicas	Protecciones y actuadores defectuosos	Verificación de mantenimiento	4	9	2	72								
	1.23		- Tiempos improductivos	Impeller contaminado de PVC	Verificación operativa	5	9	3	135	Verificación de vacuómetro	Operador						
	1.24		- Generación de scrap	Falta de suministro de agua	Verificación operativa	5	9	1	45								
			- Paro de producción														

Tina de vacío y refrigeración	2.1	Maniobra y refrigeración inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reprocesos de material</li> <li>- Pérdidas económicas</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Tiempos improductivos</li> <li>- Producto no conforme</li> </ul>	Suciedad en sistema de aspersión	Verificación operativa	6	8	3	144	Limpieza de aspersores	Operador								
	2.2			Filtro de agua sucios	Verificación operativa	5	8	3	120	Limpieza de filtros de by pass	Operador								
	2.3			Filtro de ingreso de bomba sucio o tapado	Verificación operativa	3	8	3	72										
	2.4			Motor de bomba quemado	Verificación mantenimiento	3	10	4	120	Medición de consumo de motor de bomba	Técnico eléctrico								
	2.5			Desgaste del impeller	Verificación mantenimiento	4	10	4	160	Verificación de presión de agua	Técnico mecánico								
	2.6			Protecciones, maniobra o actuador defectuoso de bomba de agua	Verificación mantenimiento	3	8	3	72										
	2.7	Maniobra y calibración de vacío inadecuada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pérdidas económicas</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Tiempos improductivos</li> <li>- Producto no conforme</li> </ul>	Motor de bomba quemado	Inspección mantenimiento	4	8	3	120	Medición de consumo de motor de bomba	Técnico eléctrico								
	2.8			Calibrador defectuoso	Verificación operativa en proceso	4	10	3	120	Revisión física y dimensional de calibrador	Preparador de herramientas								
	2.9			Protecciones, maniobra o actuador defectuoso de bomba de agua	Inspección mantenimiento	3	8	3	72										

Jalador	3.1	Tubería deslizando	- Tiempo improductivo - Generación de scrap - Pérdidas económicas	Falta y fugas en suministro de aire comprimido	Verificación operativa	4	10	1	40											
	3.2			Cilindros neumáticos con fugas	Verificación operativa in situ	2	10	3	60											
	3.3			Sistema neumático con condensados	Verificación mantenimiento	6	10	2	120	Purga de unidad de mantenimiento	Operador o técnico mecánico									
	3.4			Regulación de presión inadecuada	Verificación operativa	2	10	3	60											
	3.5	Transmisión defectuosa	- Tiempo improductivo - Generación de scrap - Paro de producción - Pérdidas económicas y materiales	Piñones en mal estado	Verificación mantenimiento	2	10	5	100	Mantenimiento preventivo	Programador de mantenimiento									
	3.6			Motor defectuoso	Verificación mantenimiento	2	10	2	40											
	3.7			Variador alarmado	Verificación mantenimiento	1	10	1	10											
	3.8			Guardamotor defectuoso	Verificación mantenimiento	2	10	3	60											
	3.9			Cadenas con aditamentos defectuosas	Verificación mantenimiento	4	10	3	120	Revisión frecuente de desgaste	Operador o técnico mecánico									
	3.10			Reductor en mal estado	Verificación mantenimiento	2	10	5	100	Mantenimiento en base a horas de trabajo	Programador de mantenimiento									

Cortador de tubería	4.1	Corte defectuoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo improductivo</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Pérdidas económicas y materiales</li> <li>- Reprocesos operativos</li> </ul>	Disco de corte defectuoso	Verificación en arranque o en proceso	4	10	3	120	Revisión de disco de corte	Operador										
	4.2			Rotura de bandas de brazo de corte	Verificación mantenimiento	6	10	2	120	Cambio de bandas de transmisión	Técnico mecánico										
	4.3			Templado de bandas incorrecto	Verificación mantenimiento	2	10	2	40												
	4.4			Fugas de aceite hidráulico	Verificación mantenimiento	6	10	2	120	Cambio de mangueras y accesorios con fuga	Técnico de mantenimiento										
	4.5			Bomba hidráulica defectuosa	Verificación operativa	3	10	5	150	Revisión de ingreso de brazo en ciclo de corte	Operador y técnico mecánico										
	4.6			Falta de aceite hidráulico	Verificación mantenimiento	6	10	5	300	Revisar y completar aceite hidráulico	Técnico mecánico										
	4.7			Motor eléctrico de corte defectuoso	Verificación operativa y mantenimiento	3	10	3	90												
	4.8			Protecciones y actuadores defectuosos de motor eléctrico de corte	Verificación mantenimiento	3	10	3	90												
	4.9			Motor eléctrico de planetario defectuoso	Verificación operativa y mantenimiento	3	10	3	90												

Cortador de tubería	4.10	Corte defectuoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo improductivo</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Pérdidas económicas y materiales</li> <li>- Reprocesos operativos</li> </ul>	Protecciones y actuadores defectuosos de motor eléctrico de planetario	Verificación mantenimiento	3	10	3	90											
	4.11			Regulación inadecuada	Verificación operativa en arranque	7	10	2	140	Calibración del ciclo de corte	Operador y técnicos de mantenimiento									
	4.12			Sensores de cilindros neumáticos defectuosos	Revisión mantenimiento	3	10	3	90											
	4.13			Cilindro principal de avance y retroceso defectuoso	Revisión mantenimiento	2	10	5	100	Revisión mecánica de cilindro neumático	Técnico mecánico									
	4.14			Condensados en sistema neumático	Inspección operativa	5	10	2	100	Purga de unidad de mantenimiento	Operador									
	4.15			Cilindros neumáticos de mordazas de sujeción defectuosos	Revisión mantenimiento	3	10	2	60											
	4.16			Señal de ciclo de corte defectuosa	Revisión mantenimiento	5	10	5	250	Revisión de señal de relé de interfaz para inicio de ciclo	Técnico eléctrico									
	4.17			Electroválvulas neumáticas en mal estado	Verificación mantenimiento	2	10	5	100	Mantenimiento preventivo	Técnico eléctrico y mecánico									



Cortador de tubería	4.18	Corte defectuoso		Rodamientos de brazo de corte en mal estado	Revisión de ciclo de brazo de corte	3	10	4	120	Mantenimiento preventivo	Técnico mecánico									
Campanadora de tubería	5.1	Transporte inadecuado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo improductivo</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Pérdidas económicas y materiales</li> <li>- Reprocesos operativos</li> </ul>	Motor de arrastre defectuoso	Verificación operativa y mantenimiento	3	10	3	90											
	5.2			Sistema de transmisión defectuoso	Revisión de cadenas y piñones	3	10	3	90											
	5.3			Protecciones y actuadores defectuosos de motor de arrastre	Verificación mantenimiento	4	10	3	120	Medición de amperaje de los elementos	Técnico eléctrico									
	5.4			Sensores de posición defectuosos	Verificación mantenimiento	4	10	3	120	Revisión de sensor fotoeléctrico	Técnico eléctrico									
	5.5			Fugas de aire comprimido	Inspección operativa	3	10	2	60											
	5.6			Electroválvulas neumáticas defectuosas	Verificación mantenimiento	4	10	4	160	Revisión de señal	Técnico eléctrico									
	5.7			Campana no conforme	Tiempo de calentamiento inadecuado	Revisión de la campana	7	10	2	140	Verificación visual de campana	Operador								
	5.8	Resistencias del horno abiertas	Verificación mantenimiento		4	10	3	120	Revisión de consumo	Técnico eléctrico										

Campana- dora de tubería	5.9	Campana no conforme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo improductivo</li> <li>- Generación de scrap</li> <li>- Paro de producción</li> <li>- Pérdidas económicas y materiales</li> <li>- Reprocesos operativos</li> </ul>	Pin de acampanado inadecuado	Verificación operativa	2	8	3	48									
	5.10			Refrigeración inadecuada	Verificación operativa	4	8	3	96									
	5.11			Bomba hidráulica defectuosa	Verificación mantenimiento	2	10	3	60									
	5.12			Protecciones y actuadores defectuosos de motor hidráulico	Verificación mantenimiento	2	10	4	80									
	5.13			Motor hidráulico defectuoso	Verificación mantenimiento	3	10	3	90									
	5.14			Sensores de posición defectuosos	Verificación operativa y mantenimiento	2	8	3	48									

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestra un esquema que indica la disponibilidad de la línea de extrusión de tubería de PVC de 160 a 200 mm, además del tiempo medio entre fallas y el tiempo medio de reparación. En base al IPR (índice de prioridad de riesgo) que se encuentra en la Tabla 2.12 se mencionan ciertas actividades que se deben realizar en los diferentes sistemas de la línea de extrusión para mejorar la confiabilidad y disponibilidad con el objetivo de incrementar la eficiencia global de la línea OEE.

#### 3.1. Confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión

Considerando que la línea de extrusión tiene un proceso de manufactura en serie, se pudieron obtener los indicadores de mantenimiento que se encuentran en la Figura 3.1.

AÑO	DISPONIBILIDAD	MTTR (HORAS)	MTBF (HORAS)
2019	88.48%	2.58	19.81
2020	90.75%	2.12	20.86
2021	87.86%	2.71	19.61
<b>TOTAL</b>	<b>88.95%</b>	<b>2.49</b>	<b>20.04</b>

Figura 3.1. Indicadores de mantenimiento

Estos indicadores indican la disponibilidad de la línea durante el proceso productivo, el MTTR (tiempo medio para reparar) y el MTBF (tiempo medio entre falla) de la línea de extrusión; donde cabe recalcar que la línea no llega a trabajar 1 día entero sin que se produzca alguna falla (MTBF) y el tiempo medio de reparación es de 2.49 horas, estos indicadores de confiabilidad son críticos para la operación continua, igualmente coincide con la baja disponibilidad por mantenimiento que presenta la línea de extrusión.

Además, la cuantificación de estos valores permitirá evidenciar las pérdidas de producción que se han tenido durante cada período como indica la Figura 3.2.

AÑO	HORAS MANTENIMIENTO	KGH	TONELAJE PERDIDA
2019	835.38	382.81	319.79
2020	378.24	398.78	150.84
2021	449.93	385.35	173.38
			<b>644.01</b>

Figura 3.2. Pérdidas de producción

Finalmente, se indican las horas improductivas por cada una de las máquinas para verificar cuál es la que presenta mayor cantidad en horas de falla durante cada período, debido a que al ser una línea de producción en serie todas las máquinas de la línea son importantes, no hay una máquina crítica en sí. La Figura 3.3 indica las horas improductivas por máquina, donde se puede evidenciar que la máquina con mayor cantidad de horas improductivas es la extrusora.

AÑO	2019	2020	2021	TOTAL
EXTRUSORA	552.07	283.16	316.29	1151.52
TINA DE VACÍO Y ENFRIAMIENTO	136.05	35.27	32.12	203.44
CORTADOR	52.68	31.91	34.96	119.55
CAMPANADORA	79.08	12.16	14.9	106.14
CABEZAL	15.5	2.83	43.08	61.41
JALADOR		12.91	8.58	21.49
<b>TOTAL</b>	<b>835.38</b>	<b>378.24</b>	<b>449.93</b>	<b>1663.55</b>

Figura 3.3. Horas improductivas por máquina

### 3.2. Eficiencia Global de la línea de extrusión

La eficiencia global del equipo OEE permite evaluar la efectividad real de la línea de extrusión de PVC de 160 a 200 mm, es decir pérdidas por disponibilidad de mantenimiento e inherentes del proceso (calentamiento, arranques, limpieza, entre otros), pérdidas por productos no conformes (calidad) y pérdidas por desempeño (productividad). La Figura 3.4 indica la eficiencia global de la línea de extrusión en cada año, también indicada el total acumulado que es de 70.88%. Los datos mostrados en la Figura 3.4 te indican que la limitada intervención del departamento de mantenimiento afecta directamente este indicador, ya que los calentamientos son más prolongados previo a los arranques, las fallas ocurren frecuentemente, no hay repuestos para la reparación y no permiten una producción continua; lo que incluso compromete a la planificación de pedidos, la logística de entrega de producto terminado y genera grandes pérdidas anualmente.

AÑO	HORAS DISPONIBLES	HORAS PRODUCTIVAS	OEE EFICIENCIA GLOBAL DEL EQUIPO
2019	7254.42	5000.16	68.93%
2020	4091.02	3073.36	75.12%
2021	3704.84	2593.39	70.00%
<b>TOTAL</b>	<b>15050.28</b>	<b>10666.91</b>	<b>70.88%</b>

Figura 3.4. Eficiencia global de la línea de extrusión

### 3.3. Actividades para mejorar la confiabilidad y disponibilidad

El panorama mostrado anteriormente indica que se deben tomar acciones para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión; se mostrarán ciertas actividades de mantenimiento autónomo (operativo) y mantenimiento técnico. En esta sección se muestra la Tabla 3.1 donde se detallan actividades para mejorar la confiabilidad y disponibilidad del sistema de producción de la línea de extrusión de 160 a 250 mm; tomando en cuenta el número de prioridad de riesgo RPN del análisis de modos y de efectos de falla que se encuentra en la Tabla 2.12, cuando es mayor a 100 se deben realizar acciones correctivas, preventivas o de mejora considerando el equipo correspondiente del sistema productivo, el número de actividad de cada equipo (columna 2 de la Tabla 3.1), sistema y componente obtenidos de la Tabla 2.11, responsable, tarea/actividad y la frecuencia de ejecución.

Tabla 3.1. Actividades para mejorar la disponibilidad y confiabilidad

Equipo	N°	Sistema	Componente / parte	Responsable	Tarea / actividad	Frecuencia
Extrusora	1	Transporte de material	Motor cargador 2.2 kW 1750 RPM 60Hz Trifásico WEG	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de motor cargador	Diario en producción
Extrusora	2	Transporte de material	Contactador 7.5 kW 220 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Mensual
Extrusora	3	Transporte de material	Guardamotor 3F 4.5 – 6.3 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Mensual
Extrusora	4	Transporte de material	Tornillo cargador D55 6 metros	Operador	Verificación de estado y funcionamiento	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	5	Transporte de material	Rodamiento 6206	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de rodamientos	Cada 3000 horas
Extrusora	6	Dosificación de material	Motor dosificador Lenze 1.1 kW 1740 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de motor cargador	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	7	Dosificación de material	Guardamotor 3F 2.2 a 3.2	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Mensual

Extrusora	8	Dosificación de material	Variador velocidad 4Kw	Operador	Revisión de alarmas de variador de velocidad	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	9	Dosificación de material	Variador velocidad 4Kw	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Extrusora	10	Dosificación de material	Tornillo cargador	Operador	Verificación de estado y funcionamiento	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	11	Dosificación de material	Rodamiento 6206	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de rodamientos	Cada 3000 horas
Extrusora	12	Dosificación de material	Rodamiento 6207	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de rodamientos	Cada 3000 horas
Extrusora	13	Dosificación de material	Reductor de velocidad	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de aceite	Cada 3000 horas
Extrusora	14	Dosificación de material	Retenedor 35x47x7	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de retenedores	Cada 3000 horas
Extrusora	15	Motriz	Motor DC 125 HP 1780 RPM	Técnico mantenimiento	Análisis de vibraciones	Cada 6000 horas
Extrusora	16	Motriz	Variador de velocidad 125 HP	Operador	Verificar alarmas del variador	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	17	Motriz	Variador de velocidad 125 HP	Programador de mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 6000 horas
Extrusora	18	Motriz	Aceite ISO 320	Programador de mantenimiento	Análisis de aceite	Cada 6000 horas
Extrusora	19	Calentamiento	Termocuplas tipo J	Operador	Revisión de conexión y estado físico de cable	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	20	Calentamiento	Cable de temperatura #12	Operador	Revisión de conexión y estado físico de cable	Cada arranque o cambio de producto
Extrusora	21	Calentamiento	Relés de estado sólido monofásico 230VAC bobina 24VDC 45 A	Técnico de mantenimiento	Revisión de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Extrusora	22	Calentamiento	Fusibles ultrarápidos 10x38 32 A	Técnico de mantenimiento	Revisión de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas

Extrusora	23	Calentamiento	Resistencia barril zona 1	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	24	Calentamiento	Resistencia barril zona 2	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	25	Calentamiento	Resistencia barril zona 3	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	26	Calentamiento	Resistencia barril zona 4	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	27	Calentamiento	Resistencia reductor	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	28	Calentamiento	Resistencia cabezal zona 1	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	29	Calentamiento	Resistencia cabezal zona 2	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	30	Calentamiento	Resistencia cabezal zona 3	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	31	Calentamiento	Resistencia cabezal zona 4	Operador	Revisión de funcionamiento en panel de control	Diario en producción
Extrusora	32	Enfriamiento	Ventilador	Operador	Revisión de funcionamiento	Diario en proceso
Extrusora	33	Enfriamiento	Guardamotor de 1.1 – 1.6 Amp	Técnico de mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Extrusora	34	Enfriamiento	Contactador 5.5 kW 220 VAC	Técnico de mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Cabezal	1	Herramientas	Brida y pines para 160	Preparador de moldes	Verificación de cromado y estado físico	Cada pre-arranque
Cabezal	2	Herramientas	Brida y pines para 200	Preparador de moldes	Verificación interna de cromado y estado físico	Cada pre-arranque
Cabezal	3	Herramientas	Brida y pines para 250	Preparador de moldes	Verificación interna de cromado y estado físico	Cada pre-arranque
Tina de vacío y enfriamiento	1	Bombeo de agua	Aspersores	Operador	Revisión de sistema aspersión y limpieza deaspersores	Cada arranque o cambio de producto

Tina de vacío y enfriamiento	2	Bombeo de agua	Filtro Y 2" de agua	Operador	Limpieza de filtros de bypass	Cada arranque o cambio de producto
Tina de vacío y enfriamiento	3	Bombeo de agua	Bomba de agua 7.5 kW 440 VAC 3480 RPM	Técnico mantenimiento	Análisis de vibraciones bomba 1 y 2	Cada 6000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	4	Bombeo de agua	Bomba de agua 5.5 kW 440 VAC 3480 RPM	Técnico mantenimiento	Análisis de vibraciones bomba 3	Cada 6000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	5	Bombeo de agua	Bomba de agua 7.5 kW 440 VAC 3480 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de bomba de agua 1 y 2	Cada arranque o cambio de producto
Tina de vacío y enfriamiento	6	Bombeo de agua	Contactador 15 kW 220 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 1 y 2	Mensual
Tina de vacío y enfriamiento	7	Bombeo de agua	Guardamotor 3F 10 – 16 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 1 y 2	Mensual
Tina de vacío y enfriamiento	8	Bombeo de agua	Bomba de agua 5.5 kW 440 VAC 3480 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de bomba de agua 3	Cada arranque o cambio de producto
Tina de vacío y enfriamiento	9	Bombeo de agua	Contactador 7.5 kW 220 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 3	Mensual
Tina de vacío y enfriamiento	10	Bombeo de agua	Guardamotor 3F 9 – 12 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 3	Mensual
Tina de vacío y enfriamiento	11	Bombeo de agua	Sello mecánico tipo G4 38 mm	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	12	Bombeo de agua	Rodamiento 6309	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	13	Bombeo de agua	Rodamiento 6208	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	14	Bombeo de agua	Impeller	Técnico mantenimiento	Revisión de estado físico (desgaste por resina PVC)	Mensual
Tina de vacío y enfriamiento	15	Calibración por vacío	Bomba de vacío 5.5 kW 440 VAC 1728 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de bomba de vacío 1	Cada arranque o cambio de producto



Tina de vacío y enfriamiento	16	Calibración por vacío	Bomba de vacío 4 kW 440 VAC 3480 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de bomba de vacío 2	Cada arranque o cambio de producto
Tina de vacío y enfriamiento	17	Calibración por vacío	Bomba de vacío 5.5 kW 440 VAC 1728 RPM	Técnico mantenimiento	Análisis de vibraciones	Cada 6000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	18	Calibración por vacío	Bomba de vacío 4 kW 440 VAC 3480 RPM	Técnico mantenimiento	Análisis de vibraciones	Cada 6000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	19	Calibración por vacío	Contactora 7.5 kW 220 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 1 y 2	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	20	Calibración por vacío	Guardamotor 3F 9 – 12 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 1	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	21	Calibración por vacío	Guardamotor 3F 7 – 10 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 2	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	22	Calibración por vacío	Calibrador 160 mm	Preparador de moldes	Revisión física y dimensional de calibrador	Cada pre-arranque
Tina de vacío y enfriamiento	23	Calibración por vacío	Calibrador 200 mm	Preparador de moldes	Revisión física y dimensional de calibrador	Cada pre-arranque
Tina de vacío y enfriamiento	24	Calibración por vacío	Calibrador 250 mm	Preparador de moldes	Revisión física y dimensional de calibrador	Cada pre-arranque
Tina de vacío y enfriamiento	25	Calibración por vacío	Rodamiento 6206	Técnico mantenimiento	Cambio de rodamiento mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	26	Calibración por vacío	Rodamiento 6207	Técnico mantenimiento	Cambio de rodamiento mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	27	Calibración por vacío	Sello mecánico tipo G4 43 mm silicio viton	Técnico mantenimiento	Cambio de sello mecánico mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	28	Calibración por vacío	Rodamiento 6204	Técnico mantenimiento	Cambio de rodamiento mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	29	Calibración por vacío	Rodamiento 6205	Técnico mantenimiento	Cambio de rodamiento mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Tina de vacío y enfriamiento	30	Calibración por vacío	Sello mecánico tipo G4 38 mm silicio viton	Técnico mantenimiento	Cambio de sello mecánico mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas

Jalador	1	Sistema neumático	Unidad de mantenimiento 0 – 10 bar	Operador	Purga de condensados	Diario en producción
Jalador	2	Sistema neumático	Manómetro 0 – 10 bar	Operador	Revisión de presión de orugas superiores	Diario en producción
Jalador	3	Sistema motriz	Motor 7.5 kW 440 VAC 1730 RPM	Técnico mantenimiento	Análisis de vibraciones	Cada 6000 horas
Jalador	4	Sistema motriz	Rodamiento 6308	Técnico mantenimiento	Cambio de rodamientos	Cada 6000 horas
Jalador	5	Sistema motriz	Rodamiento 6305	Técnico mantenimiento	Cambio de rodamientos	Cada 6000 horas
Jalador	6	Sistema motriz	Aceite 220	Técnico mantenimiento	Análisis de aceite	Cada 6000 horas
Jalador	7	Sistema motriz	Guardamotor 3F 9 – 12 Amp(1)	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 1	Cada 3000 horas
Jalador	8	Sistema motriz	Variador 4 kW (1)	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje) 2	Cada 3000 horas
Jalador	9	Sistema motriz	Contactador 11 kW 220 VAC (1)	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Jalador	10	Transmisión mecánica	Piñón 11B doble sin manzana	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual
Jalador	11	Transmisión mecánica	Piñón 16B doble con manzana	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual
Jalador	12	Transmisión mecánica	Piñón 23B doble sin manzana	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual
Jalador	13	Transmisión mecánica	Piñón 11B doble con manzana	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual
Jalador	14	Transmisión mecánica	Piñón 19B doble con manzana	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual
Jalador	15	Transmisión mecánica	Piñón 22B doble sin manzana	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual

Jalador	16	Transmisión mecánica	Cadena 12B doble	Técnico mantenimiento	Verificación de estado y lubricación con X433	Mensual
Jalador	17	Transmisión mecánica	Cadena 12B doble con aditamentos internos	Técnico mantenimiento	Verificación de estado físico	Mensual
Cortador	1	Corte	Guardamotor 3F 7 – 10 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Cortador	2	Corte	Variador de velocidad 440 VAC In 7.5 Out 4.5	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas
Cortador	3	Corte	Relé interfaz 8 pines 220 VAC	Técnico mantenimiento	Revisión de señal de accionamiento	Cada 3000 horas
Cortador	4	Corte	Motor 4 kW 380 VAC 1720 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de motor	Diario en producción
Cortador	5	Corte	Motor 2.2 kW 380 VAC 1720 RPM	Operador	Inspección de anomalías en funcionamiento de motor	Diario en producción
Cortador	6	Corte	Guardamotor 3F 5.5 – 8 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Cortador	7	Corte	Contactador 7.5 kW 220 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Cortador	8	Corte	Rodamiento 6208	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de rodamientos	Cada 3000 horas
Cortador	9	Corte	Rodamiento 6210	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de rodamientos	Cada 3000 horas
Cortador	10	Corte	Rodamiento 6205	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo cambio de rodamientos	Cada 3000 horas
Cortador	11	Corte	Aceite hidráulico 68	Operador	Revisión de nivel de aceite	Mensual
Cortador	12	Corte	Banda 1960J 10 canales	Operador	Revisión de estado físico de banda	Mensual
Cortador	13	Corte	Carbones 15 x 30 x 10	Técnico mantenimiento	Revisión de desgaste de superficie de carbones	Mensual
Cortador	14	Corte	Electroválvula hidráulica DM10 – TA/55	Técnico mantenimiento	Mantenimiento preventivo	Cada 3000 horas

Cortador	15	Neumático	Cilindro neumático DNC 100 50	Operador	Revisión de funcionamiento en proceso	Diario en producción
Cortador	16	Neumático	Cilindro neumático DNC 80 1400	Operador	Revisión de funcionamiento en proceso	Diario en producción
Cortador	17	Neumático	Cilindro neumático DNC 100 50	Técnico mantenimiento	Cambio de kit de reparo de cilindro neumático	Cada 3000 horas
Cortador	18	Neumático	Cilindro neumático DNC 80 1400	Técnico mantenimiento	Cambio de kit de reparo de cilindro neumático	Cada 3000 horas
Cortador	19	Neumático	Electroválvula 5/2 BOSCH 220 VAC 3/8 "	Técnico mantenimiento	Revisión de bobina y funcionamiento	Cada 3000 horas
Cortador	20	Neumático	Sensor magnético	Operador	Revisión de sensado en ciclo de corte	Diario en producción
Cortador	21	Neumático	Unidad de mantenimiento 1/2 " 0 – 150 PSI	Operador	Purga de condensados	Diario en producción
Campanadora	1	Arrastre	Sensor fotoeléctrico 3H 24 VDC	Operador	Revisión del sensado previo al arranque	Cada pre-arranque
Campanadora	2	Arrastre	Electroválvula ISO 1 5/2 1S SB 0820024996	Técnico mantenimiento	Revisión de bobina y funcionamiento	Cada 3000 horas
Campanadora	3	Arrastre	Electroválvula ISO 1 5/2 2S SB 0820024998	Técnico mantenimiento	Revisión de bobina y funcionamiento	Cada 3000 horas
Campanadora	4	Arrastre	Guardamotor 1.1 – 1.6 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Campanadora	5	Arrastre	Contactador 4 kW 24 VDC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Campanadora	6	Arrastre	Guardamotor 0.7 – 1.1 Amp	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Campanadora	7	Arrastre	Contactador 4 kW 24 VDC	Técnico mantenimiento	Medición y verificación de consumo (amperaje)	Cada 3000 horas
Campanadora	8	Calentamiento	Resistencia tubular 2000 W 260 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y revisión de consumo (amperaje), revisar conexiones eléctricas	Mensual

Campanadora	9	Calentamiento	Resistencia cerámica 500 W 260 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y revisión de consumo (amperaje), revisar conexiones eléctricas	Mensual
Campanadora	10	Calentamiento	Resistencia cerámica 1000 W 260 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y revisión de consumo (amperaje), revisar conexiones eléctricas	Mensual
Campanadora	11	Calentamiento	Relé de estado sólido monofásico 40 A 220 VAC	Técnico mantenimiento	Medición y revisión de consumo (amperaje)	Mensual

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

Se alcanzó el objetivo de este trabajo, en conclusión, se logró analizar la confiabilidad y disponibilidad de la línea de extrusión de PVC de 160 a 250 mm de la empresa Tigre Ecuador; se logró identificar, estructurar y sistematizar toda la información recopilada con el objetivo del mejoramiento continuo de los procesos productivos, disminución de tiempos muertos, reducción de costos de fabricación y mantenimiento.

Se identificaron los principales modos de falla funcionales de cada uno de los sistemas de esta línea de extrusión de PVC mediante un desglose de todos los sistemas y subsistemas que conforman la línea, lo que permitirá la implementación sistematizada de gestión de inventario de repuestos y el mantenimiento.

El análisis RCM permitió determinar la intervención del personal técnico de mantenimiento al ocurrir una falla o avería; separando actividades de mantenimiento autónomo designadas para el personal operativo, empoderándose de ellas en la operación continua.

La implementación del análisis RCM en conjunto con las actividades de mejora de la confiabilidad y disponibilidad permitirán incrementar el indicador OEE de esta línea de extrusión (Eficiencia Total del Equipo).

### **4.2. Recomendaciones**

Se recomienda la utilización de las estrategias modernas de mantenimiento como termografía, análisis de lubricantes y análisis de vibraciones apropiadas y convenientes para mejorar el desempeño del sistema, reducir costos de mantenimiento y de mano de obra de personal técnico.

Se recomienda realizar una constante modificación de las actividades de mantenimiento correctivo, preventivo o de mejora, asegurando de esta manera la mejora continua dentro del proceso productivo, para esto se incluyen los documentos de Excel de los componentes críticos de los sistemas y subsistemas, el AMFE de la línea de extrusión de 160 a 200 mm y las actividades para mejorar la confiabilidad y disponibilidad.

Se recomienda realizar un análisis similar para las demás líneas de extrusión para mejorar la disponibilidad y confiabilidad de la empresa Tigre Ecuador, se puede realizar mediante

pasantías preprofesionales para estudiantes de la FIM de la Escuela Politécnica Nacional ya que la empresa tiene apertura para la realización de este tipo de trabajos.

## Referencias Bibliográficas

- Álava, P. G. (2022). *Mantenimiento Predictivo*. Fonte: Mantenimiento Predictivo: <http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/analisis-de-lubricantes/>
- Altertecnica. (2018). *Mantenimiento correctivo vs. mantenimiento preventivo ¿Cuál es la diferencia?* Fonte: Mantenimiento correctivo vs. mantenimiento preventivo ¿Cuál es la diferencia?: <https://altertecnica.com/mantenimiento-correctivo-vs-preventivo/>
- Bestratén, M., Orriols, R., & Mata, C. (2004). NTP 679: Análisis modal de fallas y efectos. AMFE. *NTP 679: Análisis modal de fallas y efectos. AMFE*. España: SEAT S.A.
- Educaplay. (2022). *Mantenimiento predictivo*. Fonte: Mantenimiento predictivo: [https://es.educaplay.com/juegoimprimible/4880319-mantenimiento\\_predictivo.html](https://es.educaplay.com/juegoimprimible/4880319-mantenimiento_predictivo.html)
- Enova, G. (Febrero de 2022). *Ingeniería de Mantenimiento*. Fonte: Ingeniería de Mantenimiento: <https://enovalevante.es/ingenieria-de-mantenimiento-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-rcm-parte-3/>
- Extrusion, C. (2002). Twin screw extruder type TITAN 80R-APC. *Twin screw extruder type TITAN 80R-APC*. Wien, Austria: Cincinnati Extrusion.
- García Palencia, O. (2012). *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*. Bogotá: Ediciones de la U.
- García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- González, J., Loyo, J., Pérez, P., & López, M. (2018). Mantenimiento Industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE. *Mantenimiento Industrial en máquinas herramientas por medio de AMFE*. Concepción, Chile: Revista Ingeniería Industrial-Año 17 N°3: 209-225.
- Industria, C. d. (2020). *Qué es y cómo funciona el análisis de vibraciones*. Fonte: Qué es y cómo funciona el análisis de vibraciones: <https://www.cursosaula21.com/que-es-el-analisis-de-vibraciones/>
- Industrial, I. (1 de Noviembre de 2019). *Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF)*. Fonte: Análisis del modo y efecto de fallas (AMEF): [https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20prioridad%20de%20riesgo%2C%](https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/#:~:text=El%20n%C3%BAmero%20de%20prioridad%20de%20riesgo%2C%20)



20tambi%C3%A9n%20conocido%20como%20RPN,a%20cada%20falla%20para  
%20eliminarla.

*Industrias de Manufactura Productividad en la Ingeniería de Mantenimiento.* (s.d.). Fonte:  
[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/60/TESISocsdiz.pdf?sequence=1  
&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/60/TESISocsdiz.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Inspeccion, S. C. (s.d.). *Termografía eficiencia energética.* Fonte: Termografía eficiencia  
energética: <https://scisa.es/termografia/>

Liansu Machinery Manufacturing Co., L. (2008). *LSP 400 PVC PIPE. LSP 400 PVC PIPE.*  
China: Liansu Machinery Manufacturing Co., Ltd.

Martínez Niera, D. A. (2020). Análisis RCM de la línea de empaque de papa para una  
empresa multinacional de alimentos en Quito. *Análisis RCM de la línea de empaque  
de papa para una empresa multinacional de alimentos en Quito.* Quito, Pichincha,  
Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Mora, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control.* México D.F.: Alfaomega  
Group Editor.

Newbrough, E. (1974). *Administración del Mantenimiento Industrial.* México: Editorial  
Diana.

OEE, S. (23 de Marzo de 2016). *Calcular OEE.* Fonte: Calcular OEE:  
<https://www.sistemasoe.com/calcular-oe/>

Robayo Segovia, N. A. (2020). Diseño y programación de un plan de mantenimiento  
preventivo para los equipos e instalaciones de una institución de educación superior  
de la ciudad de Quito. *Diseño y programación de un plan de mantenimiento  
preventivo para los equipos e instalaciones de una institución de educación superior  
de la ciudad de Quito.* Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

Romero, M., Agüero, M., & Rojas, E. (2022). *Experiencias en el desarrollo de Análisis de  
Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad.* Fonte: Experiencias en el desarrollo  
de Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad:  
[https://predictiva21.com/analisis-confiabilidad-disponibilidad-  
mantenibilidad/#:~:text=El%20An%C3%A1lisis%20de%20Confiabilidad%2C%20D  
isponibilidad%20y%20Mantenibilidad%20conocido%20tambi%C3%A9n%20como,  
el%20estado%20actual%20de%20un](https://predictiva21.com/analisis-confiabilidad-disponibilidad-mantenibilidad/#:~:text=El%20An%C3%A1lisis%20de%20Confiabilidad%2C%20Disponibilidad%20y%20Mantenibilidad%20conocido%20tambi%C3%A9n%20como,el%20estado%20actual%20de%20un)

S.r.l., I. (2011). Instrucciones de uso y mantenimiento BA 400/RS/2F. Italia: IPM S.r.l.

Tavares, L. (2000). *"Administración Moderna de Mantenimiento"*. Brasil: Novo Polo Publicacoes.

Tigre. (2022). *Quiénes somos*. Fonte: Quiénes somos: <https://www.tigre.com.ec/quienes-somos>

Tigre. (s.d.). *Manual de Operaciones*. Tigre.

Tigre, E. O. (2021). *MCC do OEE. MCC do OEE*. Tigre.

Vilema, C. (Marzo de 2010). Auditoría de Gestión de Calidad del Proceso de Recursos Humanos de la empresa multinacional Tigre Ecuador S.A. *Auditoría de Gestión de Calidad del Proceso de Recursos Humanos de la empresa multinacional Tigre Ecuador S.A.* Quito, Pichincha, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.