



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**PMEI PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO E
INSTRUMENTISTA OVERMADE MÁQUINA 7, DE LA
EMPRESA CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.**

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PRESENTA:
VICTOR LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**NOMBRE DEL ASESOR:
M.I.A JORGE AGUILAR VÁZQUEZ**



APIZACO, TLAX., AGOSTO 2025



Tzompantepec, Tlaxcala, 07/agosto/2025

Oficio No. MM-436/2025

Asunto: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

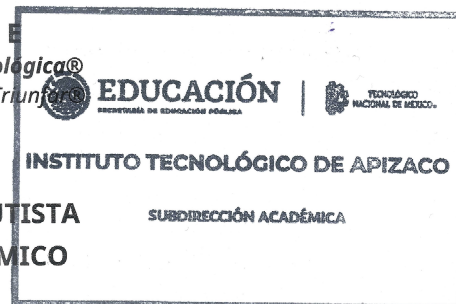
Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	VÍCTOR LÓPEZ HERNÁNDEZ
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	20370780
Nombre del Proyecto:	"PMEI PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO E INSTRUMENTISTA OVERMADE MÁQUINA 7, DE LA EMPRESA CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

ENRIQUE AGOLTZI BAUTISTA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO



JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
ASESOR

c.p.- Archivo.
JAV*petry.



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext. 124, e-mail: mecanica@apizaco.tecnm.mx
tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 24/Noviembre/2025

VICTOR LÓPEZ HERNÁNDEZ
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CON NÚMERO DE CONTROL 20370780.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"PMEI PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO E INSTRUMENTISTA OVERMADE MÁQUINA 7, DE LA EMPRESA CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V."**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
**DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES**

ccp. Archivo
CYAL/Gsc*



2025
Año de
**La Mujer
Indígena**

Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec,
Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel. (241) 4172010
Ext. 304, e-mail: dep_titulacion@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Agradecimientos

A mis familiares.

A mis padres, Victorino López Vázquez y María Tomasa Hernández Fernández, quienes me apoyan en todo, en cada esfuerzo para cumplir mis metas, en cada decisión, en cada momento bueno y malo, por todas sus enseñanzas y por su amor que me han permitido llegar al final de una etapa importante de mi vida profesional.

A toda mi familia, mis hermanos Humberto, Luis Gustavo, Fernando, Brenda y José de Jesús, quienes siempre me han admirado, por no dejar de creer en mí, por su cariño y palabras de aliento que me acompañaron durante toda mi etapa universitaria.

A mis amigos, Geovanni, César Alfredo, Alberto, Fernanda, Karina, Manuel y Raúl, quienes siempre nos apoyamos en la carrera a seguir en todo momento y nunca nos dimos por vencidos, cada uno de ustedes influyo en mí para seguir con mi vida profesional.

A mis maestros.

A mis maestros que me compartieron sus conocimientos, y me ayudaron en asesorías y dudas a lo largo de mi camino universitario.

A mi asesor, Jorge Aguilar Vázquez, quien me oriento en esta etapa de mi vida profesional.

ÍNDICE

GLOSARIO	10
Capítulo I. Generalidades del Proyecto	14
1.1 Introducción	14
1.2 Descripción de la Empresa	15
1.3 Planteamiento del Problema	19
1.4 Justificación	20
1.5 Objetivos	21
1.6 Delimitaciones	22
1.7 Alcance	22
Capítulo II. Metodología	23
2.1 Diagrama de Flujo	23
2.2 Cronograma de actividades	24
2.3 Descripción de Actividades	24
Capítulo III. Marco Teórico	27
3.1 Sistema Eléctrico	27
3.2 Subestación Eléctrica	29
3.3 Alta, Media y Baja Tensión	32
3.4 Frecuencia	32
3.5 Instalación Trifásica	33
3.6 Tableros Eléctricos	34
3.6.1 Tablero Eléctrico de Distribución	37
3.6.2 Tablero de Control Eléctrico	37
3.7 Normas para Tableros Eléctricos Industriales	43
3.8 Control de Motores	44
3.9 Paro y Arranque de Motores Eléctricos	45
3.9.1 Arrancador Suave	45
3.9.2 Variadores de Frecuencia	47
3.9.3 Arranque a Tensión Plena	47
3.9.4 Arranque a Tensión Reducida	47
Capítulo IV. Desarrollo del PMEI	48

Procedimiento.....	48
4.1 Recorrido por la Planta para identificar áreas y equipos.....	48
4.2 Análisis del estado actual de la máquina 7 Overmade	50
4.2.1 Proceso de Fabricación de Papel TISSUE MAQ7	51
4.2.2 Análisis de Fallas y Tiempos Perdidos (TP)	70
4.3 Desarrollo de Estrategias de PM y CM.....	73
4.4 Desarrollo de Documentación de los equipos	75
4.5 Definición de requerimientos del Software.....	77
4.6 Diseño e Implementación del Software	77
4.7 Integración del Software con la Base de Datos	80
4.8 Pruebas y validación del Software	82
4.9 Capacitación y uso del Software.....	85
4.10 Implementación del PMEI con Software	86
4.11 Evaluación del Desempeño PMEI	87
4.12 Optimización del Plan de Mantenimiento	87
Capítulo V. Resultados	88
5.1 Descripción de la Interfaz del Software PMEI	88
5.2 Evaluación del Cumplimiento de Actividades del Mtto Eléctrico	91
5.3 Evaluación del Tiempo de Inactividad durante Paros Programados	94
Referencias	96
Anexos	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zona de carga principal de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.....	15
Figura 2 Marcas producidas en CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.	16
Figura 3 Ubicación de Convertipap carretera Apizaco – Tlaxco	17
Figura 4 Sistema eléctrico para la generación, transporte, distribución y consumo de energía	27
Figura 5 Generación, transporte, distribución y consumo de energía	28
Figura 6 Subestación para controlar, distribuir y suministrar energía a una industria	29
Figura 7 Subestación 6 de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.	30
Figura 8 Diferencia de instalaciones trifásicas con instalaciones monofásicas.....	33
Figura 9 Componentes de un Tablero de Control	34
Figura 10 Componentes de un tablero eléctrico para un sistema seguro	35
Figura 11 Tipos de Instalación en Tableros eléctricos	36
Figura 12 Tipos de tableros según su función	37
Figura 13 Interruptor Termomagnético.....	38
Figura 14 Interruptor Diferencial.....	39
Figura 15 Borneras.....	39
Figura 16 Cablecanal ranurado.....	40
Figura 17 Fusibles y Portafusibles NH.....	40
Figura 18 Contactor Magnético Eléctrico LC1D32M7 AC 32A 220V	41
Figura 19 Dispositivos de Mando y Control	42
Figura 20 Dispositivos de Protección	43
Figura 21 Arrancador suave SMC-3 (Izquierda), SMC-Flex (Central) y SMC-50 (derecha).....	45
Figura 22 Diagrama de conexión de Arrancadores suaves	46
Figura 23 Diagrama de Flujo del Proceso de Fabricación de Papel TISSUE MAQ7.....	51
Figura 24 DIP3 (Pulpa Destintada 3)	52
Figura 25 Tanque MAQ7 80,000L	52
Figura 26 Refinador de Fibra Larga.....	53
Figura 27 Refinador de Fibra Corta.....	54
Figura 28 Tanque de Maquina 25,000L	54
Figura 29 Silo de 60,000L. conectado a Bomba Fan Pump	55
Figura 30 Estructura de la bomba Fan Pump	56
Figura 31 Depurador Vertical principal para el Cribado primario	57
Figura 32 Depurador vertical para el Cribado secundario	58
Figura 33 Tela donde se distribuye uniformemente la pulpa	58
Figura 34 Caja de Entrada donde inicia el proceso de formación	59
Figura 35 Rodillo formador de la Pulpa en hoja	59
Figura 36 Parte lateral de la caja de entrada, rodillo formador y rodillos guía.....	60
Figura 37 Vista frontal y lateral de la Sección del Filtro	61
Figura 38 Sección del Filtro de la MAQ7	61
Figura 39 Depósito de drenado de agua debajo del Filtro	62
Figura 40 Prensa de Succión para extracción de agua.....	62

Figura 41	Bombas de vacío de la MAQ7	63
Figura 42	Cabezal que conecta las tres bombas de vacío donde se genera el vórtice	63
Figura 43	Equipo Separador de vacío	64
Figura 44	Nip entre la Prensa de Succión y el Yankee	64
Figura 45	Yankee MAQ7.....	65
Figura 46	Bombas de succión de aire para transportarlo a los Quemadores	66
Figura 47	Escáner Valmet para analizar los parámetros establecidos.....	68
Figura 48	Enrollado de la hoja con el POPE para hacer la bobina de papel.....	68
Figura 49	Estaciones del POPE para sacar 3 bobinas de papel	69
Figura 50	Emplayadora de MAQ7.....	69
Figura 51	Tiempo Perdido Mensual con paro y sin paro del 2024 MAQ7	70
Figura 52	Importación de librerías y declaración de variables de colores de interfaz	78
Figura 53	Inicialización de ventana principal, carga de datos iniciales.....	79
Figura 54	Lista de equipos principales con datos técnicos	81
Figura 55	Lista de equipos secundarios con datos técnicos.....	82
Figura 56	Interfaz gráfica de usuario del PMEI.....	84
Figura 57	Capacitación al personal técnico del área Mantenimiento eléctrico	85
Figura 58	Registro de actividades detectadas en el monitoreo de rutinas.....	86
Figura 59	Interfaz del PMEI	88
Figura 60	Sección del tipo de motor, BUS, equipo, datos y actividad a realizar	89
Figura 61	Programación y registro de actividad	89
Figura 62	Resumen de actividades programadas.....	90
Figura 63	Opciones para eliminar, completar y guardar actividades del PMEI.....	90
Figura 64	Estadísticas de actividades pendientes y completadas	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 el 12/09/24	19
Tabla 2 Tiempo Perdido Operacional Sin Paro Enero 2025	71
Tabla 3 Tiempo Perdido Operacional Con Paro Enero 2025	71
Tabla 4 Tiempo Perdido No Operacional Con Paro Enero 2025	72
Tabla 5 Porcentaje de Participación por Área de Enero 2025	72
Tabla 6 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 04/03/25	91
Tabla 7 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 18/03/25	92
Tabla 8 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 09/04/25	92
Tabla 9 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 29/04/25	93
Tabla 10 Cumplimiento de Actividades de Paros Programados MAQ7 Mensual	93
Tabla 11 Tiempo perdido No Operacional abril con Paro	94
Tabla 12 Porcentaje de Participación por Área de Abril 2025	95

GLOSARIO

CM: Mantenimiento Correctivo.

PM: Mantenimiento Preventivo.

CCM: Cuarto de Control de Motores.

DIP3: Significa Deinked Pulp, en español Pulpa Destintada. Es el área No. 3 encargada del proceso de destintado (eliminar tinta) de papel impreso usado. Esta pulpa o pasta es la materia prima para fabricar papel higiénico, servilletas o toallas.

Pasta: Es la mezcla de fibras con agua y otros aditivos utilizados en la fabricación de papel. Dependiendo del proceso, puede contener fibras vírgenes, recicladas o una combinación de ambas.

Fibra: Es el componente básico de la pasta, proveniente de materiales como la celulosa (madera, bagazo de caña, etc.). La calidad, longitud y tratamiento de las fibras influyen en las propiedades del papel final.

Fibra larga: Es un tipo de fibra caracterizada por su mayor longitud (entre 2 a 5 mm), lo que mejora la resistencia del papel.

Fibra corta: Es un tipo de fibra caracterizada por su menor longitud (entre 0.5 a 1.5 mm). Reduce la resistencia del papel, pero mejora la suavidad de este.

Fibra reciclada: Proviene de papel usado que ha sido recolectado y reprocesado, pero con una menor resistencia debido a la degradación de las fibras en cada ciclo, se emplea para producir papel higiénico estándar, servilletas y cartón corrugado.

Fibra virgen: Se obtiene directamente de fuentes naturales como la madera o el bagazo de caña, ofreciendo mayor resistencia y mejor capacidad de enlace entre fibras, lo que la hace ideal para productos de alta calidad como papel higiénico premium, cartón resistente y papeles especiales.

TC: Transformadores de Corriente, y sirven para cambiar el valor de la corriente.

TP: Transformadores de Potencial, para transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente.

Cortocircuito: Se produce debido a fallos en el aislamiento de los conductores, ya sea sumergidos en medios conductivos o por contacto accidental entre conductores activos. Se debe interrumpir en fracciones de segundo,

Sobrecarga: Tiene lugar cuando fluye en el circuito eléctrico una corriente cercana o por encima de su valor nominal. Esto da lugar a que se calienten los conductores y se derritan o se quemen los aislantes.

IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor, Transistor Bipolar de Puerta Aislada. Son semiconductores que combinan los transistores bipolares y los transistores FET. Son utilizados principalmente en aplicaciones de conmutación de alta potencia, como en los variadores de frecuencia, inversores, y sistemas de energía renovable.

SCR: Silicon Controlled Rectifiers, Rectificadores Controlados por Silicio. Son dispositivos semiconductores con aplicaciones de conmutación de alta potencia (arranques suaves). Funcionan como interruptores controlados electrónicamente, permitiendo regular el flujo de corriente en función de la señal de control.

Resumen

El presente proyecto PMEI tiene como objetivo principal desarrollar un Plan de Mantenimiento Eléctrico para la Máquina 7 Overmade en la empresa CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V., con el propósito de mejorar la eficiencia operativa del departamento eléctrico, optimizar el cumplimiento de actividades durante paros programados y reducir los tiempos de inactividad ocasionados por fallas eléctricas.

Para ello, se llevó a cabo un diagnóstico del estado actual de la máquina, acompañado de un diagrama de flujo del proceso de fabricación del papel TISSUE, para identificar los equipos principales y secundarios involucrados en la operación. A partir de este análisis, se desarrollaron e implementaron estrategias específicas de mantenimiento preventivo y correctivo.

En el caso del mantenimiento preventivo, se actualizaron y desarrollaron rutinas enfocadas en la detección temprana de anomalías, que se integran como actividades en los paros programados para evitar interrupciones en la producción. Para el correctivo, se actualizaron los instructivos de atención a fallas, incorporando medidas de seguridad mediante procedimientos LOTO (Lockout-Tagout).

El aporte más destacado en este proyecto es el desarrollo de un software de escritorio denominado PMEI. Es una herramienta digital que permite la programación, seguimiento, asignación de responsables y documentación de las actividades de mantenimiento eléctrico.

Esta aplicación está integrada con una base de datos completa de los equipos que conforman la Máquina 7 y permite organizar las tareas técnicas en función de las rutinas establecidas, facilitando su ejecución durante los paros programados.

Durante la fase de implementación, se capacitó al personal técnico y se realizaron pruebas funcionales del software para llevar a cabo ajustes para su integración con la infraestructura existente. Asimismo, se elaboró un LayOut de la distribución de motores de la Máquina 7, lo cual facilita la identificación visual de los equipos, especialmente útil para el personal en capacitación.

Los resultados obtenidos evidencian una mejora significativa en el control y cumplimiento de las actividades de mantenimiento eléctrico durante los paros programados, una reducción en los tiempos de atención ante fallas, dando una mayor eficiencia en el departamento eléctrico. Este proyecto no solo fortalece el control del mantenimiento eléctrico dentro de la empresa, sino que también sienta las bases para su digitalización y posible expansión a otras máquinas y áreas productivas.

Capítulo I. Generalidades del Proyecto

1.1 Introducción

La confiabilidad y eficiencia de los equipos industriales son fundamentales para garantizar la continuidad operativa de los procesos productivos. En este contexto, el mantenimiento juega un papel clave, ya que permite prevenir fallas, optimizar recursos y asegurar la calidad del producto final. En la empresa CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V., dedicada a la fabricación de papel TISSUE, la máquina formadora de papel no. 7 (Overmade) representa un elemento crítico dentro de la línea de producción, por lo que mantener su funcionamiento en óptimas condiciones es una prioridad.

Sin embargo, se ha identificado que durante los paros programados no siempre se logra cumplir con todas las actividades de mantenimiento eléctrico planeadas, lo que genera tiempos muertos no previstos y afecta la productividad de la empresa. Esta problemática evidencia la necesidad de implementar estrategias más estructuradas y herramientas tecnológicas que permitan planificar, ejecutar y supervisar eficientemente las tareas del área eléctrica.

En este proyecto se desarrolla un Plan de Mantenimiento Eléctrico PMEI especializado para la Máquina 7 Overmade, acompañado por el diseño e implementación de un software que permite programar y dar seguimiento a las actividades del departamento eléctrico. Esta herramienta busca mejorar el control del mantenimiento, reducir los tiempos de inactividad y aumentar la confiabilidad operativa de los equipos eléctricos, contribuyendo así a la mejora continua del sistema productivo de la empresa.

1.2 Descripción de la Empresa

En CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. conocida como Convertipap, es una empresa 100% mexicana, experta en la fabricación de papel TISSUE. Están comprometidos en llevar al mercado nacional una amplia gama de productos elaborados con la más alta calidad a un precio competitivo, sin comprometer la integridad del medio ambiente y fomentando el desarrollo sustentable de nuestra comunidad. En la Figura 1 se puede ver la zona de carga principal de Convertipap.



Figura 1 Zona de carga principal de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.

Nota. Tomado de <https://convertipap.com.mx/> por Convertipap - Fábrica de papel TISSUE.

MISIÓN

Proveer a nuestros clientes y consumidores una alternativa en productos de papel TISSUE fabricados por una empresa 100% mexicana con la más alta calidad y a un precio competitivo.

VISIÓN

Consolidarnos como una empresa líder en el país, siendo reconocida por su calidad y servicio; fomentando a su vez el consumo de nuestros productos a nivel nacional.

POLÍTICA DE CALIDAD

En CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. tenemos el firme compromiso de satisfacer los requerimientos y expectativas de las partes interesadas; elaborando, almacenando, distribuyendo y comercializando productos de calidad de papel Tissue para el hogar; garantizando una mejora continua en cada uno de nuestros procesos rigiéndonos bajo los lineamientos de normatividades nacionales e internacionales; así como de la ISO 9001:2015.

Esta empresa cuenta con una amplia variedad de marcas para papel higiénico, servilletas y servitoallas, entre las cuales se destacan servilletas La Prueba, Familiar, Las Bara Bara y Sunny; en higiénico La Prueba, Familiar Confort, Sunny, Kari Elegance, higiénico institucional; y en servitoalla Familiar Maxi y Sunny. En la Figura 2 se pueden ver las marcas reconocidas de Convertipap.



Figura 2 Marcas producidas en CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.

Nota. Tomado de <https://convertipap.com.mx/> por Convertipap - Fábrica de papel TISSUE.

UBICACIÓN

Convertipap está ubicada en Calle Oaxaca No. 111, colonia Villa de las Flores, Atlangatepec, C.P. 90410, carretera Apizaco – Tlaxco. Con teléfono 241-412-7264 (Figura 3).



Figura 3 Ubicación de Convertipap carretera Apizaco – Tlaxco

Nota. Tomado de Google Maps,

(<https://www.google.com/maps/place/Convertipap/@19.5078814,-98.1169109,932m/>).

Puesto del Residente

El puesto que tengo en mi Residencia Profesional es como Eléctrico Categoría 3, área de mantenimiento. En este puesto estoy desempeñando actividades como:

1. Mantenimiento, Megueo, montaje y conexión de motores trifásicos.
2. Reparación de aparatos electrónicos.
3. Apoyo en fallas correctivas en máquinas formadoras de papel.
4. Apoyo en paros programados para mantenimiento, reapriete y limpieza de tableros en los CCM's.
5. Mantenimiento y conexión de bancos de capacitores para mejorar el factor de potencia.
6. Monitoreo y lecturas de consumo de energía en transformadores de subestaciones.
7. Rutinas de baja tensión como instalación de canalizaciones, toma corrientes, luminaria o cambio de estos.
8. Apoyo en el área administrativa para requisiciones, consumos, e implementación y modificación de planes de mantenimiento de las diferentes maquinas (3 máquinas formadoras de papel).

1.3 Planteamiento del Problema

La máquina 7 Overmade, formadora de papel, es un equipo crítico en el proceso productivo de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V., por lo que debe mantenerse operando al 100% para no afectar la continuidad de la producción.

Aunque se cuenta con paros programados para realizar mantenimiento preventivos y/o correctivos, se ha observado que en algunas ocasiones no se logran completar todas las actividades planeadas. En la Tabla 1 nuestra la comparativa del cumplimiento de actividades entre áreas del paro programado del 12/09/24. Los tiempos de paro se extiende más de lo programado e impactan en la productividad.

Tabla 1 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 el 12/09/24

CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL PARO PROGRAMADO				
Críticas				
Paro de Maquina 7 12/09/2024				
Departamento	Actividades Comprometidas	Actividades Realizadas	Cumplimiento	Confiabilidad
Mecánico	29	26	90%	
Instrumentación	13	13	100%	
Eléctrico	4	2	50%	
Lubricación	14	14	100%	
Total	60	55	85%	
NOTA: No se ejecutaron 3 actividades mecánicas, 2 actividades eléctricas				
Se estará monitoreando la efectividad de mantenimiento				

Nota. Información proporcionada por O. Barruecos, planeador de mantenimiento de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V., comunicación personal, febrero de 2025.

Si bien existe un control sobre las actividades de mantenimiento, se propone fortalecer dicho control mediante el desarrollo de rutinas específicas y el seguimiento detallado de su cumplimiento.

Esto permitiría aprovechar de forma más eficiente los paros programados y garantizar que las intervenciones eléctricas se realicen dentro del tiempo estimado y con el alcance previsto.

Esta situación plantea la necesidad de implementar una herramienta digital que permita programar, dar seguimiento y documentar las actividades de mantenimiento eléctrico, contribuyendo así a una mayor confiabilidad del equipo y a la optimización de los recursos disponibles.

1.4 Justificación

La implementación de este Plan de Mantenimiento especializado para la máquina 7 Overmade, formadora de papel, junto con el desarrollo de un software para la programación y seguimiento del mantenimiento eléctrico, responde a la necesidad de aumentar la confiabilidad, eficiencia y seguridad en la operación de este equipo crítico dentro de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.

Dada la importancia de este equipo en la producción, es imprescindible contar con una estrategia de mantenimiento eléctrico estructurada que minimice los tiempos de inactividad, reduzca costos por fallas imprevistas y garantice un funcionamiento óptimo de los sistemas eléctricos. En este sentido, se vuelve necesario fortalecer el control del mantenimiento eléctrico mediante la estructuración de rutinas específicas, que permitan asegurar la ejecución efectiva de cada actividad dentro del tiempo estimado.

Para lograrlo, se propone el desarrollo de una herramienta digital que facilite la programación, seguimiento y documentación de las actividades de mantenimiento eléctrico, optimizando el aprovechamiento de los paros programados y asegurando así la confiabilidad operativa del equipo.

1.5 Objetivos

General

Desarrollar un plan de mantenimiento especializado para la máquina formadora de papel No. 7, propiedad de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V., enfocado en el departamento eléctrico, con el propósito de garantizar el óptimo funcionamiento de la máquina, mantener la calidad del producto y reforzar la seguridad operativa.

Específicos

- Conocer el proceso de fabricación del papel TISSUE para identificar los puntos críticos que puedan afectar la eficiencia de la máquina 7 Overmade y asegurar la correcta integración de los sistemas eléctricos.
- Establecer rutinas de mantenimiento para la máquina 7 Overmade que minimicen fallas y tiempos muertos, optimizando los sistemas eléctricos para asegurar su funcionamiento continuo, mediante revisiones periódicas de los componentes para prolongar su vida útil.
- Desarrollar un software para la programación y seguimiento de actividades de mantenimiento eléctrico, integrado con una base de datos que almacene los datos de los equipos para controlar las actividades de PM y CM de la máquina 7 Overmade.
- Evaluar la viabilidad y resultados de las rutinas de mantenimiento implementadas, con el fin de verificar su efectividad en la reducción de fallas, tiempos de inactividad y aumento en el porcentaje de cumplimiento de actividades, realizando ajustes si es necesario.

1.6 Delimitaciones

El presente proyecto está enfocado solo en la Máquina 7 Overmade, el cual se desarrollará dentro del área de mantenimiento eléctrico de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. ubicado en la localidad de Atlangatepec, Tlaxcala, durante un periodo de 4 meses, el cual abarca desde el 17 de enero de 2025 al 17 de mayo de 2025.

Limitaciones

- Posibles restricciones en el acceso a documentación técnica o falta de información detallada sobre la maquinaria.
- Tiempo limitado para el desarrollo y validación del plan de mantenimiento, lo cual puede dificultar la evaluación completa de su eficiencia antes de su implementación a gran escala.
- Restricciones operativas que impiden realizar intervenciones prolongadas sin afectar la producción.

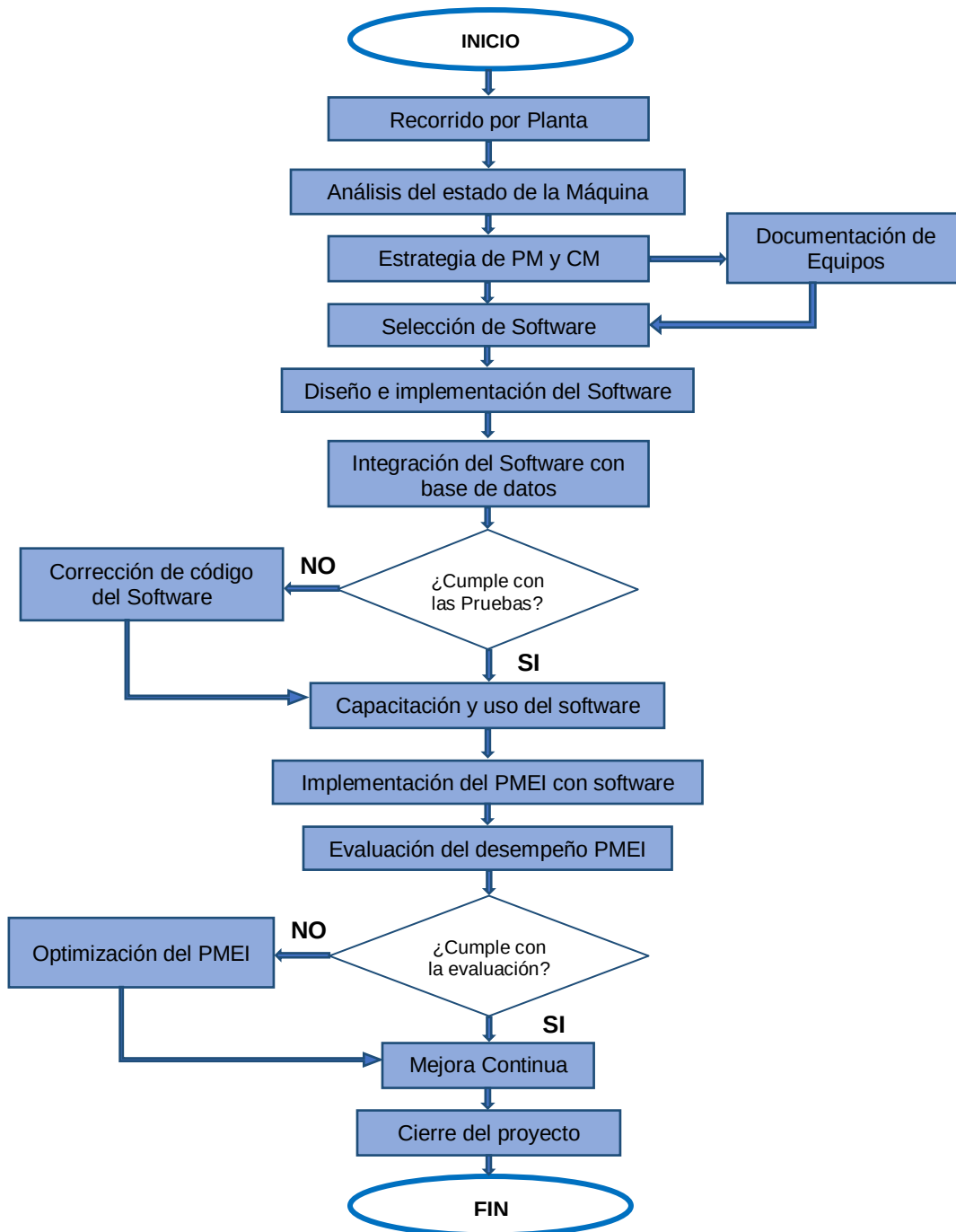
1.7 Alcance

El alcance de este proyecto contempla el análisis, diseño, implementación y validación de rutinas de mantenimiento eléctrico orientadas a mejorar la confiabilidad operativa de la máquina 7, así como el desarrollo de una aplicación de escritorio en Python que permita gestionar dichas actividades mediante un cronograma visual y una base de datos de registros, con el objetivo de implementar un plan de mantenimiento especializado y el desarrollo de una herramienta digital que facilite su programación, control y seguimiento.

Capítulo II. Metodología

2.1 Diagrama de Flujo

La metodología que se utilizó se representa en el siguiente diagrama de flujo:



2.2 Cronograma de actividades

Conforme a Formato para Seguimiento de Proyecto de Residencias Profesionales- Cronograma (TecNM-APIZACO-LI-PO-05-04).

Cronograma de Actividades_PMEI																			
No.	ACTIVIDAD	MES	ENERO		FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO		
		SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Recorrido por la Planta para identificar áreas y equipos.	P																	
		R																	
2	Análisis del estado actual de la máquina 7 Overmade.	P																	
		R																	
3	Desarrollo de Estrategias de PM y CM.	P																	
		R																	
4	Desarrollo de Documentación de los equipos.	P																	
		R																	
5	Definición de requerimientos del Software.	P																	
		R																	
6	Diseño e Implementación del Software.	P																	
		R																	
7	Integración del software con la Base de Datos.	P																	
		R																	
8	Pruebas y validación del software.	P																	
		R																	
9	Capacitación y uso del software.	P																	
		R																	
10	Implementación del PMEI con software.	P																	
		R																	
11	Evaluación del Desempeño PMEI.	P																	
		R																	
12	Optimización del Plan de Mantenimiento.	P																	
		R																	
13	Cierre del Proyecto.	P																	
		R																	
OBSERVACIONES																			

2.3 Descripción de Actividades

Etapas I. Planificación

- 1. Recorrido por la Planta para identificar áreas y equipos.** Debido al gran tamaño de la planta, es fundamental realizar un recorrido detallado para identificar todas las áreas, equipos y sistemas involucrados en cada área.
- 2. Análisis del estado actual de la máquina 7 Overmade.** El propósito de este análisis es la comprensión del funcionamiento de la máquina para identificar los equipos y sistemas eléctricos para evaluar el historial de fallas y tiempos de inactividad.

3. **Desarrollo de Estrategias de PM y CM.** Se busca que los mantenimientos correctivos tengan procedimientos más eficientes para atender fallas en el menor tiempo posible, y para los preventivos se realicen inspección, limpieza y calibración periódica de equipos.
4. **Desarrollo de Documentación de los equipos.** En esta parte se desarrollan rutinas de inspección preventiva, registro de intervenciones, asignación de TAGs en equipos, registros de especificaciones de motores, creación de planos de la distribución real de los equipos y de seguridad para áreas restringidas.

Etapas II. Desarrollo del Software para la Programación y Seguimiento de Actividades de Mantenimiento

5. **Definición de requerimientos del Software.** En esta parte se debe identificar que software se usara para el programa de mantenimiento eléctrico.
6. **Diseño e Implementación del Software.** Desarrollo del software que permita programar actividades con cronograma visual, ya sea mensual, trimestral o anual, y asignar tareas a los técnicos con interfaz intuitiva con notificaciones automáticas para recordar mantenimientos pendientes.
7. **Integración del software con la Base de Datos.** Se debe de integrar el software con la Base de Datos para registrar PM y CM implementar reportes automáticos o alertas en caso de fallas críticas.
8. **Pruebas y validación del software.** Una vez concluido el software se deben de hacer pruebas del funcionamiento, corregir errores en caso de ser necesario y la implementación final del software.

- 9. Capacitación y uso del software.** Para garantizar el uso correcto se debe de capacitar al personal de mantenimiento para la manipulación del software, considerando una mejora continua del software según las necesidades.

Etapas III. Ejecución y Monitoreo del PMEI

- 10. Implementación del PMEI con Software.** En esta parte se debe de ejecutar el PMEI, realizando tanto PM y CM según el cronograma. Se debe de asignar responsables, cumplir con las normas de seguridad industrial (NOM, IEC, NFPA 70E) y procedimientos LOTO (Lockout/Tagout). Además, el uso del software para registrar intervenciones, tiempos de falla, monitorear equipos en tiempo real y generar informes periódicos sobre su estado.

Etapas IV. Evaluación y Mejora Continua

- 11. Evaluación del Desempeño PMEI.** Se evaluará el desempeño comparando el cumplimiento de actividades en paros programados con el tiempo perdido, tomando como referencia enero y realizándose en abril. Esta evaluación permitirá detectar desviaciones y proponer mejoras.
- 12. Optimización del Plan de Mantenimiento.** Para una mejora continua se debe de ajustar el cronograma según el desempeño real de los equipos.

Capítulo III. Marco Teórico

3.1 Sistema Eléctrico

Un sistema eléctrico es un conjunto de elementos interconectados que permiten generar, transportar, distribuir y utilizar la energía eléctrica. La Figura 4 es un ejemplo de un sistema eléctrico, el cual está compuesto por diferentes componentes como generadores, transformadores, líneas de transmisión, subestaciones, dispositivos de protección y cargas eléctricas como motores, luces, equipos, etc. [1]

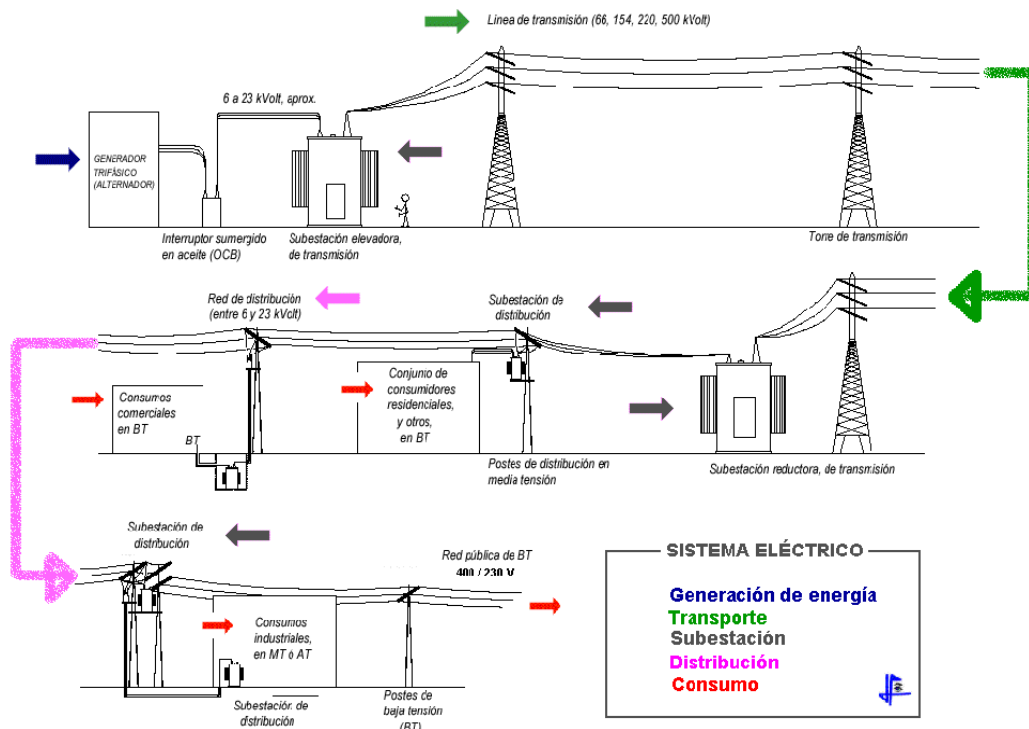


Figura 4 Sistema eléctrico para la generación, transporte, distribución y consumo de energía

Nota. Tomado de Red de distribución eléctrica, 2021.

<https://aprendafaciles.com/wp-content/uploads/2021/07/img31-2.jpg>

Componentes principales de un sistema eléctrico

Para que un sistema eléctrico funcione correctamente debe de tener los siguiente componentes:

- **Fuente de energía:** Externa (red eléctrica) o interna (generadores o paneles).
- **Transformadores:** Para elevar o reducir el voltaje, dependiendo del sistema.
- **Tableros eléctricos de distribución:** Distribuyen la energía a diferentes zonas o máquinas dentro de la planta.
- **Protecciones eléctricas:** Incluyen fusibles, breakers, relés, y otros dispositivos que protegen el sistema de fallas, sobrecargas o cortocircuitos.
- **Sistema de puesta a tierra:** Protege personas y equipos ante fallas eléctricas.
- **Cableado industrial:** Conectan todos los dispositivos eléctricos. Puede ser subterráneo, aéreo o en canalizaciones especiales.
- **Sistemas de automatización y control:** Como PLCs, sensores, actuadores, HMI, que ayudan a monitorear y controlar procesos automáticamente.
- **Motores eléctricos:** Utilizados para mover maquinaria, bombas, bandas transportadoras, etc. [2].



Figura 5 Generación, transporte, distribución y consumo de energía

Nota. Adaptado de Sistema eléctrico, por TotalEnergies, 2020,

(https://www.totalenergies.es/sites/default/files/inline-images/sistema-electrico_0.jpg).

La compañía de multienergías TotalEnergies menciona en el artículo “Conoce mejor el Sistema Eléctrico al que te conectas”, que las redes de transporte de energía

eléctrica conectan las centrales generadoras de electricidad con las zonas de consumo, y su configuración mallada contribuye a garantizar el suministro fiable de la energía como se puede ver en la Figura 5.

Todo esto para reducir pérdidas eléctricas en el transporte, la energía producida por los alternadores (a 6-30 kV) se eleva mediante transformadores a tensiones más altas (220-400 kV). Esta elevación de tensión permite disminuir la corriente y, por tanto, las pérdidas durante el traslado de la electricidad. Además, la configuración mallada de la red garantiza un suministro más confiable [3].

3.2 Subestación Eléctrica

Es una instalación destinada a transformar los niveles de tensión de una infraestructura eléctrica para facilitar el transporte y distribución de la energía [4].

Una subestación eléctrica es una instalación que está formada por varios equipos como transformadores, interruptores, seccionadores, protecciones y sistemas de medición para recibir, transformar, controlar, proteger y distribuir la energía eléctrica dentro del sistema eléctrico de una industria (Figura 6).



Figura 6 Subestación para controlar, distribuir y suministrar energía a una industria

Nota. Tomado de Subestaciones eléctricas, por Neoenergia, 2024,
(<https://www.neoenergia.com/documents/d/quest/subestacao-mundau->).

Nos explica la empresa multienergética Repsol que las subestaciones eléctricas sirven para la producción, conversión, transformación, regulación y distribución de la energía. Por lo general, se localizan en la periferia de las zonas de consumo, ya sea dentro o fuera de edificaciones, con el objetivo de optimizar el aprovechamiento del espacio disponible.

También nos menciona que la diferencia entre una estación transformadora y una subestación eléctrica radica en la escala y función de sus infraestructuras [5]. Las estaciones transformadoras están destinadas a la transmisión de energía en niveles de alta o media tensión, mientras que las subestaciones eléctricas se emplean principalmente para la distribución, operando con tensiones más bajas y adaptadas al consumo final como hace la empresa Convertipap, como se puede ver en la Figura 7 un ejemplo de una subestación.



Figura 7 Subestación 6 de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V.
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

Partes de una subestación eléctrica

- a) **Transformador:** Modifica los niveles de tensión en corriente alterna, manteniendo la frecuencia y potencia.
- b) **Interruptor de potencia:** Permite abrir o cerrar un circuito, incluso bajo carga o cortocircuito.

- c) **Restaurador:** Dispositivo electromecánico que interrumpe la corriente en caso de fallas; opera con ciclos definidos de apertura y cierre.
- d) **Cuchillas fusibles:** Combinan funciones de desconexión y protección ante sobrecorrientes.
- e) **Cuchillas desconectadoras y de prueba:** Aislantes mecánicos que desconectan circuitos sin carga de forma manual.
- f) **Apartarrayos:** Protegen equipos desviando sobretensiones hacia tierra durante descargas atmosféricas.
- g) **Transformadores de instrumento:** Miden corriente (TC) y voltaje (TP) para sistemas de control, protección y medición.
- h) **Cajas derivadas:** Puntos de conexión por fase para distribuir la energía a distintas zonas.
- i) **Condensadores:** Almacenan temporalmente energía eléctrica en campos eléctricos.
- j) **Dispositivos de medida:** Instrumentos que registran los flujos de energía, como contadores y medidores.

Tipos de subestaciones eléctricas

1. Subestación de transformación: Tienen uno o varios transformadores que elevan o reducen la tensión, y se subclasifican en elevadoras y reductoras.

- **Subestaciones transformadoras elevadoras:** Se eleva la tensión generada a unos niveles mucho más altos para poder transportarla. Normalmente, esta instalación se sitúa al aire libre, muy cerca de las centrales generadoras de electricidad.
- **Subestaciones transformadoras reductoras:** A diferencia de las elevadoras, estas subestaciones eléctricas disminuyen las tensiones altas a niveles medios para la distribución.

2. Subestación de maniobra: En este tipo de subestación eléctrica se conectan dos o más circuitos. No se sube ni se baja la tensión, sino que sirve como nodo en el sistema eléctrico.

3. Subestación de rectificación: La subestación eléctrica de rectificación o de tracción sirve para alimentar una red de corriente eléctrica continua.

3.3 Alta, Media y Baja Tensión

En México, la clasificación oficial de las tensiones eléctricas en baja, media y alta está definida en la Especificación CFE L0000-02, emitida por la CFE Comisión Federal de Electricidad [6]. Esta norma establece los rangos de tensión de la siguiente forma:

- **Baja tensión.** Tensiones no mayores de 1,000 V (1kV).
- **Media tensión.** Tensiones mayores de 1,000 V. hasta 35,000 V (35kV).
- **Alta tensión.** Tensiones mayores de 35,000 V. hasta 230,000 V (230kV).

3.4 Frecuencia

Los sistemas eléctricos operan principalmente con corriente alterna y utilizan dos frecuencias según la región: 50 Hz en Europa y 60 Hz en Estados Unidos y países relacionados. Esta diferencia complica el intercambio de electricidad entre países con frecuencias distintas, como ocurre en América del Sur. Además, puede generar problemas con aparatos eléctricos diseñados para una frecuencia específica.

La frecuencia de la corriente alterna en México está regulada por la Comisión Reguladora de Energía (CRE). En su documento "Normas oficiales mexicanas y normas mexicanas en materia de electricidad", la CRE establece que:

“Las instalaciones deben diseñarse para la frecuencia nominal de 60 Hz, se permite una tolerancia de ± 0.2 Hz; para los Sistemas Eléctricamente Aislados, se permite una tolerancia de ± 0.3 Hz” [7].

En particular, la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012 establece los requisitos para la instalación de sistemas eléctricos en edificios, y dentro de esa norma se establece que la frecuencia de la red eléctrica en México es de 60 Hz.

3.5 Instalación Trifásica

Las instalaciones trifásicas utilizan cuatro conductores: tres de fase y uno de neutro. Su principal frente a las monofásicas es que permiten transmitir más potencia ventaja con menores pérdidas y con menos cobre en los conductores como se puede ver en la Figura 8. Además, la generación eléctrica es más sencilla con alternadores trifásicos, y muchos motores eléctricos funcionan de forma más eficiente y simple en sistemas trifásicos.

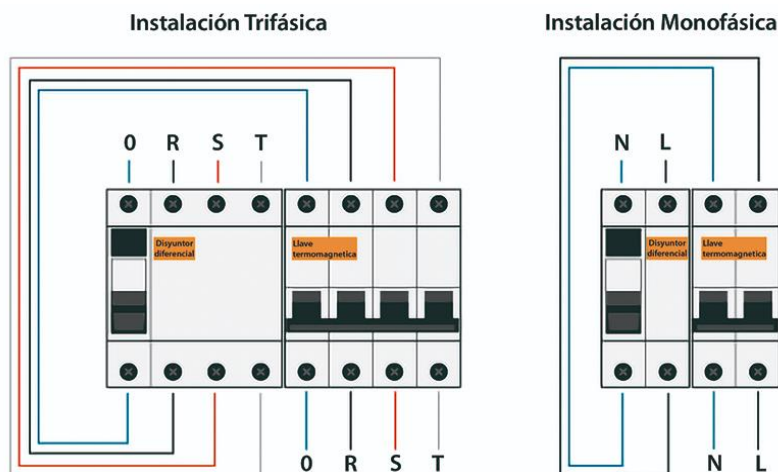


Figura 8 Diferencia de instalaciones trifásicas con instalaciones monofásicas

Nota. Tomado de *Instalación monofásica o trifásica*, por Editores, 2021, p. 374, *Revista Ingeniería Eléctrica*, (https://www.editores.com.ar/sites/default/files/dafa_20211220_figura_1.jpg).

Las instalaciones trifásicas constan de tres corrientes alternas que dividen la potencia en tres fases diferentes. Su tensión está normalizada en 380 V.

Es el tipo de instalación que se encuentra en empresas e industrias, ya que el consumo suele superar los 15 kW [8].

3.6 Tableros Eléctricos

De acuerdo con un artículo de Elektron Materiales Eléctricos explica que un tablero eléctrico general es un gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico [9].



Figura 9 Componentes de un Tablero de Control

Nota. Tomado de Importancia de un Tablero de Control, por Kinenergy.internacional, 2024, (<https://www.kin.energy/blogs/post/importancia-de-un-tablero-de-control.-consideraciones-generales>).

En la Figura 9 se puede ver que los tableros eléctricos son los encargados de distribuir la energía eléctrica desde la fuente de suministro a las diferentes cargas. Además de que ayudan a proteger los circuitos eléctricos contra sobrecargas, cortocircuitos y otros fallos eléctricos.

En la Figura 10 se puede ver detalladamente los componentes de un tablero eléctrico como interruptores, fusibles, disyuntores, protección, variadores de frecuencia, relés, guardamotores, etc.

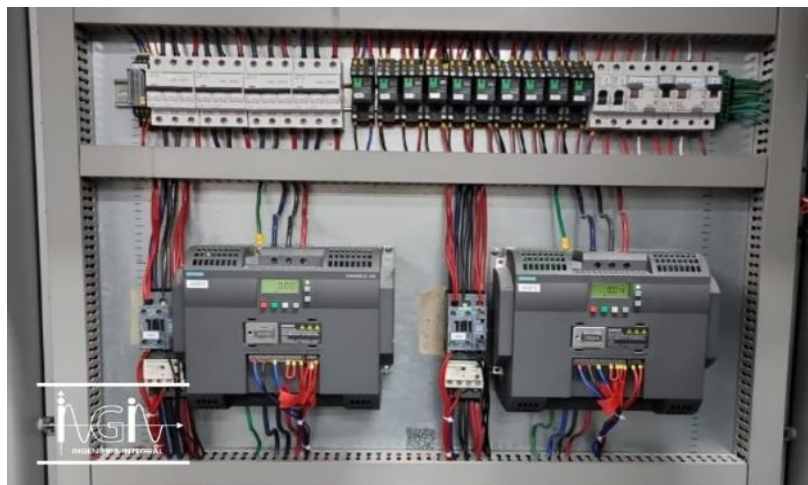


Figura 10 Componentes de un tablero eléctrico para un sistema seguro

Nota. Tomado de Los tableros eléctricos: la clave para un sistema eléctrico seguro y eficiente,

Por Ingeniería Integral, (<https://ingint.cl/los-tableros-electricos-la-clave-para-un-sistema-electrico-seguro-y-eficiente/>).

Componentes de un Tablero Eléctrico

Los tableros eléctricos pueden estar formados por una serie de componentes que incluyen los que a continuación se mencionan:

- **Fuente de alimentación.** Es el dispositivo que suministra la energía eléctrica al tablero eléctrico. Puede ser mediante línea de distribución, generador o batería.
- **Interruptor automático.** Es un dispositivo de protección general, que corta el suministro de energía en caso de sobrecarga o cortocircuito.
- **Relé de protección.** Es un dispositivo que detecta sobrecargas o cortocircuitos y activa el interruptor automático.
- **Contador de energía.** Es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica que viaja a través del tablero eléctrico.

- **Dispositivos de maniobra.** Son dispositivos que permiten controlar el flujo de energía eléctrica en los circuitos que se encuentran dentro del tablero.
- **Bornes de conexión.** Permiten conectar los cables a los dispositivos del tablero.

Aplicaciones de Tableros

Dependiendo de la aplicación de un tablero eléctrico, se pueden instalar de diferentes formas. En la Figura 11 se puede ver los tipos de instalaciones para tableros eléctricos.



Figura 11 Tipos de Instalación en Tableros eléctricos

Nota. Tomado de Tableros Eléctricos: Componentes y Clasificación, por Electro Enchufe, 2023, (<https://electroenchufe.com/blog/tableros-electricos-componentes-y-clasificacion/>).

Clasificación de Tableros Eléctricos

Los tableros eléctricos son fundamentales para la seguridad y eficiencia de cualquier sistema eléctrico. Hoy en día, existen diferentes tipos de tableros, cada uno de ellos se ha creado para cumplir con requerimientos específicos.

En la Figura 12 se puede ver los tipos de tableros más comunes según la función que se requiera.



Figura 12 Tipos de tableros según su función

Nota. Tomado de Tableros Eléctricos: Componentes y Clasificación, por Electro Enchufe, 2023, (<https://electroenchufe.com/blog/tableros-electricos-componentes-y-clasificacion/>).

3.6.1 Tablero Eléctrico de Distribución

Citando a la empresa Promelsa nos dice: “Un tablero de distribución eléctrica es una unidad centralizada diseñada para recibir energía eléctrica y distribuirla a varios circuitos dentro de un edificio. Podemos pensar en estos gabinetes como controladores del flujo de electricidad, que garantizan un suministro seguro y organizado en todo el sistema eléctrico” [10].

Los tableros empotrables generalmente contienen disyuntores o fusibles en cada circuito, lo que permite el control y la protección individual de circuitos eléctricos específicos. En este sentido, también desempeñan un papel crucial en la prevención de sobrecargas y cortocircuitos, interrumpiendo el flujo de electricidad en caso de fallas.

3.6.2 Tablero de Control Eléctrico

Los gabinetes eléctricos almacenan componentes de protección y/o control para cumplir funciones específicas dentro de un sistema eléctrico. Deben cumplir con requisitos técnicos y normativos para asegurar su correcto funcionamiento, y

pueden estar hechos de metal, termoplástico u otros materiales según las necesidades del usuario.

Un tablero de control eléctrico es un tipo de tablero eléctrico que se utiliza para controlar los equipos eléctricos, estos suelen contener dispositivos de control, como contactores, temporizadores y relés.

Componentes de un Tablero de Control Eléctrico

Electro Enchufe es una empresa especializada en la venta de materiales eléctricos de calidad. En un artículo de Electro Enchufe sobre “¿Cuáles son las partes de un tablero eléctrico?” menciona que componentes debe de tener un tablero de control eléctrico para un proyecto [11]. Estos elementos se presentan a continuación:

- a) **Interruptor termomagnético.** Protege el sistema eléctrico, tanto el tablero como el circuito en sí, puesto que, si se llega a dar una sobrecarga, el interruptor lo detectará y cortará la corriente eléctrica en el acto debido a que su apertura es automática. En la Figura 13 se puede ver un interruptor ABB ST204MTR-K13, tipo K, 13 A, 4 polos.



Figura 13 Interruptor Termomagnético

Nota. Tomado de ABB, 2025,

(<https://new.abb.com/products/2CDS274566R0447/st204mtr-k13-dc>).

- b) **Interruptor diferencial.** También se le conoce como “interruptor de falla a tierra”. Es un dispositivo de seguridad que protege la vida de las personas, ya que desconecta automáticamente el suministro eléctrico de la instalación al detectar una fuga de corriente. En la Figura 14, se puede ver un ejemplo de un interruptor diferencial OPR216010AC 16 amp, 1 polo + 1 neutro.



Figura 14 Interruptor Diferencial

Nota. Tomado de Omnimium Electric, 2024,

(<https://www.omnimiumelectric.com/shop/interruptor-diferencial-843#attr=126,124,132,136,3332>).

- c) **Borneras.** Se trata de partes de un tablero eléctrico donde se unen y distribuyen los cables eléctricos. Gracias a ellos podemos tener una conexión más segura y ordenada en los tableros de distribución; lo que agiliza tanto la instalación como el mantenimiento de las cajas (Fig. 15).



Figura 15 Borneras

Nota. Tomado de Gonzaga & Rodríguez Cía. Ltda., 2025,

(<https://electricoindustrial.com.ec/producto/borneras-para-riel-din-legrand/>).

- d) **Cablecanal.** Como el anterior, también facilita la organización de los cables. En la Figura 16 se observa un Cablecanal ranurado, pero también existen Cablecanal no ranurados; cuya elección va a depender de la cantidad de cables que pasen por ellos.



Figura 16 Cablecanal ranurado

Nota. Tomado de Schneider Electric, S/F

(<https://www.se.com/ar/es/product/DXN10122/cablecanal-ranurado-80x80-x-2mts-gris/>).

- e) **Seccionador de portafusible.** Este componente se utiliza para aislar y desconectar circuitos específicos en el tablero eléctrico. Además, proporciona un lugar para colocar fusibles, que son dispositivos de protección contra sobrecargas eléctricas. En la Figura 17 se puede ver un portafusible Mersen.



Figura 17 Fusibles y Portafusibles NH

Nota. Tomado de MERSEN, S/F (<https://www.mersen.es/es/productos/proteccion-y-control-electricos/fusibles-y-portafusibles-iec-de-uso-general-de-baja>).

- f) **Fusibles.** Se instalan en los seccionadores de portafusibles, actuando como interruptores que aíslan circuitos y previenen daños. Hay tipos como acción rápida para electrónica y de cartucho para aplicaciones industriales. Uno de los fusibles más destacados son los fusibles Mersen, en la Figura 17 se puede ver algunos modelos de fusibles para protección de sistemas DIN.
- g) **Contactor.** Un contactor es un dispositivo electromagnético esencial en los tableros eléctricos que actúa como un interruptor controlado por corriente para manejar circuitos de alta potencia. Su función principal es encender y apagar motores u otras cargas eléctricas grandes de forma segura y eficiente. En la Figura 18 se puede ver un contactor magnético LC1D32M7 de la marca Schneider Electric.



Figura 18 Contactor Magnético Eléctrico LC1D32M7 AC 32A 220V

Nota. Tomado de Schneider Electric, S/F

(<https://www.se.com/mx/es/product/LC1D32M7/contactor-tesysd-de-32a-440v-3-polos-3-fases-bobina-de-220v/>).

- h) **Pilotos luminoso.** Son luces indicadoras que muestran el estado de un circuito o dispositivo. Por ejemplo, pueden indicar si un interruptor está activado, si hay corriente eléctrica fluyendo en un circuito, o el estado de un sistema en particular.

- i) **Pulsadores.** Como se puede ver en la Figura 19 inciso A, un botón pulsador de 22 mm de plástico, los cuales son interruptores que se activan al ser presionados. Se utilizan para controlar funciones específicas en el tablero eléctrico, como encender o apagar un sistema, activar alarmas, o iniciar procesos específicos.
- j) **Paradas de emergencia.** Estos dispositivos son esenciales en situaciones críticas. Al presionarlos, se interrumpe inmediatamente la corriente eléctrica en todo el tablero, deteniendo cualquier operación para garantizar la seguridad de las personas y los equipos. En la Figura 19 inciso B, se observa un botón de parada de emergencia.
- k) **Llave selectora.** Permite seleccionar entre diferentes modos de operación o configuraciones en el tablero eléctrico. En la Figura 19 inciso C, se observa una llave selectora de 3 posiciones, estos pueden controlar la alimentación de ciertos circuitos, cambiar modos de funcionamiento, o seleccionar fuentes de energía específicas.

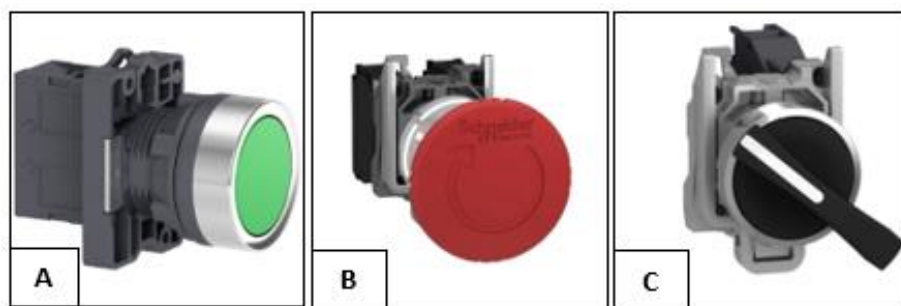


Figura 19 Dispositivos de Mando y Control

A) Botón Pulsador 22 mm plástico

B) Botón de parada de Emergencia

C) Llave Selectora 22 mm 3 posiciones

Nota. Adaptado de Schneider Electric, (<https://www.se.com/mx/es/>).

- l) **Guardamotor.** El guardamotor es crucial en los tableros eléctricos para proteger motores. Detecta sobrecargas y cortocircuitos, desconectando el motor para prevenir daños. En la Figura 20 inciso A), se puede ver un modelo de guardamotor 3RV2021-1GA15, los cuales mejoran la seguridad al evitar accidentes y puede tener indicadores visuales para alertar sobre problemas.
- m) **Relé térmico.** El relé térmico protege motores al monitorear su temperatura. Al detectar sobrecalentamientos, desconecta automáticamente el motor para prevenir daños, se puede ver un ejemplo de un relé térmico modelo 3RU2126-1JB0 en la Figura 20 inciso B).

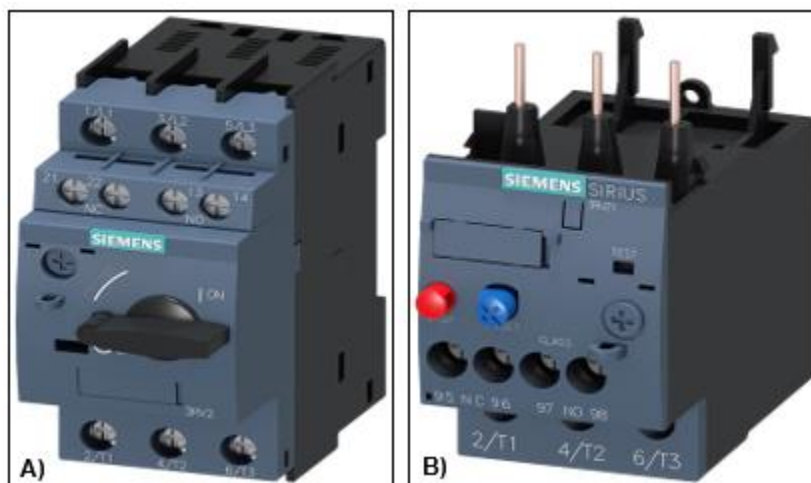


Figura 20 Dispositivos de Protección
A) Guardamotor 3RV2021-1GA15. B) Relé térmico 3RU2126-1JB0
Nota. Adaptado de GSL Industrias, (<https://industriasgsl.com/>).

3.7 Normas para Tableros Eléctricos Industriales

Existen normativas internacionales que regulan los gabinetes eléctricos industriales, aunque algunos países y empresas siguen regulaciones internas, estas 3 son las más usadas y reconocidas a nivel internacional:

Norma 60529 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)

Establece códigos numéricos para identificar los niveles de protección de los gabinetes eléctricos contra el ingreso de humedad, polvo y suciedad, garantizando la seguridad y protección de los equipos eléctricos, conocida como Protección IP.

Norma 250 de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA)

Esta se enfoca en los gabinetes para equipos eléctricos y se encarga no solo de la protección contra el ingreso, sino también de especificaciones detalladas sobre construcción, pruebas de rendimiento y resistencia a la corrosión.

Normas Underwriters Laboratories (UL) 50, 50E

UL es una organización independiente de certificación de seguridad que evalúa y prueba una amplia variedad de productos. La certificación UL garantiza que los gabinetes cumplen con los estándares de construcción y rendimiento exigidos, brindando confianza en su calidad y seguridad [12].

3.8 Control de Motores

Los centros de control de motores son dispositivos fundamentales en la industria ya que estos supervisan, protegen y controlan el funcionamiento de los motores eléctricos, asegurando su operación segura y eficiente, reduciendo riesgos y fallas. Un Centro de Control de Motores está compuesto por varios elementos clave:

- **Arrancadores:** Inician y detuvieron el motor de forma segura, pudiendo ser directos, estrella-triángulo o de arranque suave según la aplicación.
- **Interruptores de Protección:** Protegen al motor contra sobrecargas, cortocircuitos y fallas, desconectándolo automáticamente si es necesario.
- **PLC (Controladores Lógicos Programables):** Permiten automatizar y controlar las operaciones del motor mediante programación, aportando flexibilidad y eficiencia [13].

3.9 Paro y Arranque de Motores Eléctricos

El arranque y paro de un motor eléctrico es un sistema que permite controlar el flujo de energía de un circuito de potencia, es decir, el encendido y apagado de un motor.

Tipos de arranque de motores trifásicos

Existe 4 tipos de arranque de motores eléctricos, los cuales son:

3.9.1 Arrancador Suave

El arrancador suave controla gradualmente la tensión suministrada al motor durante el arranque, proporcionando un inicio suave. Los arranques suaves pueden alcanzar una alta eficiencia de hasta 99.5% a 99.9%, con una caída de tensión menor a 1V en los SCR. La eficiencia depende del tamaño del equipo y de la tensión trifásica.

En la Figura 21 se puede ver modelos como el SMC-3, SMC-Flex y SMC-50 de Allen Bradley los cuales usan contactores de bypass, lo que mejora aún más la eficiencia al dejar de usar los SCR. En operación a velocidad nominal y con carga adecuada, son más eficientes que los variadores de frecuencia.



Figura 21 Arrancador suave SMC-3 (Izquierda), SMC-Flex (Central) y SMC-50 (derecha)

Nota. Tomado de Elvatron, por David Vindas, 2021, (<https://blog.elvatron.com/componentes-de-control-industrial/cuando-usar-un-arrancador-suave-o-un-variador-de-frecuencia>).

En un arrancador suave con bypass integrado, una vez que el motor alcanza su velocidad nominal, la corriente pasa a través del contactor, eliminando los elementos activos de estado sólido y reduciendo la generación de calor.

Se puede ver en la Figura 22 inciso A) la estructura de un arrancador suave con sus contactores de bypass internos clasificados como AC-1 (nunca trasiegan la corriente de arranque). Cuando son externos al arrancador se recomiendan AC-3.

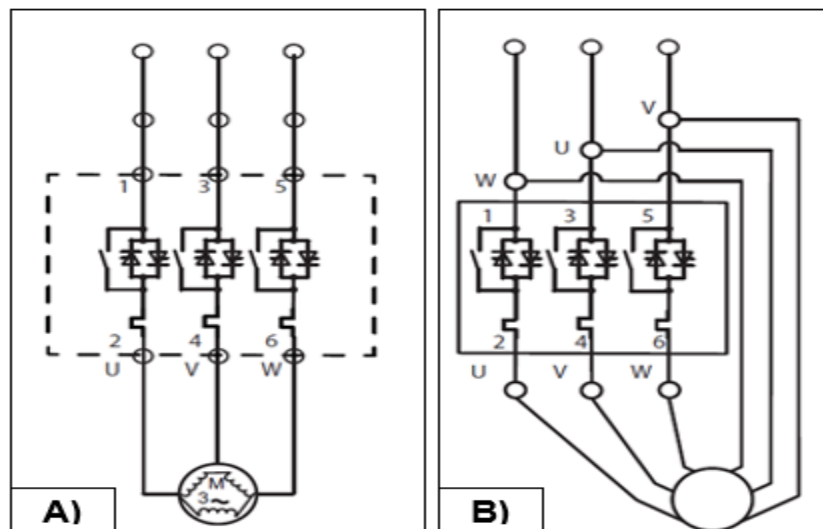


Figura 22 Diagrama de conexión de Arrancadores suaves

A) Estructura de un arrancador suave con contactores de bypass incluidos

B) Configuración de conexión estrella-delta en un arrancador suave con motor de 6 terminales

Nota. Adaptado de Elvatron, por David Vindas, 2021, (<https://blog.elvatron.com/componentes-de-control-industrial/cuando-usar-un-arrancador-suave-o-un-variador-de-frecuencia>).

Arranque suave en motores estrella-delta

Los arrancadores suaves pueden tener conexión en línea o estrella-triángulo. En la configuración estrella-triángulo, los SCR del arrancador se conectan en serie con los devanados del motor, lo que reduce la corriente en un 58% en comparación con la corriente de línea, como se puede ver en la Figura 22 inciso B). Esto permite usar un arrancador más pequeño, lo que se traduce en una reducción de costos y tamaño del equipo. Por ejemplo, un motor de 200 HP en conexión en línea consumiría 251 A, mientras que en conexión estrella-triángulo consumiría 201 A.

3.9.2 Variadores de Frecuencia

Los variadores de frecuencia o inversores son de los arranques más eficientes, ya que ajustan la frecuencia (Hz) de la red eléctrica para reducir el consumo energético del motor durante toda su operación, no solo al inicio. Estos dispositivos reciben señales de sensores externos, como transductores de presión, para controlar la frecuencia y velocidad del motor, logrando un ahorro energético significativo en comparación con otros tipos de arrancadores.

Los variadores de frecuencia tienen una eficiencia típica del 95% al 98%. Durante el arranque, funcionamiento y paro, los IGBT permanecen activos. Algunos modelos pueden optimizar el consumo de energía en marcha. Su selección debe basarse en la carga y aplicación para maximizar el ahorro energético. Además, la eficiencia mejora con el número de pulsos del rectificador: un variador de 6 pulsos alcanza entre 96,5% y 97,5%, mientras que uno de 18 pulsos puede llegar al 98% [14].

3.9.3 Arranque a Tensión Plena

El arranque a tensión plena inyecta el 100% del voltaje al motor eléctrico, lo que provoca un consumo de corriente de 5 a 10 veces la nominal durante unos segundos. Aunque este tipo de arranque es económico, puede afectar la red eléctrica y se recomienda para motores pequeños y medianos (15-20 HP) [15].

3.9.4 Arranque a Tensión Reducida

El arranque a tensión reducida se realiza en dos pasos: primero se inyecta el 60% del voltaje y luego de unos segundos, el 100%. Esto reduce la corriente consumida al inicio, lo que minimiza el impacto en la red eléctrica y el sistema mecánico en comparación con tensión plena. Los arrancadores a tensión reducida son más caros y se recomiendan para motores medianos y grandes (7.5 HP en adelante).

Capítulo IV. Desarrollo del PMEI

Procedimiento

4.1 Recorrido por la Planta para identificar áreas y equipos

CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. es una empresa mexicana dedicada a la fabricación de papel TISSUE. Tiene un catálogo de papel higiénico, toalla para manos, toalla para cocina, entre otros productos. Esta empresa se especializa en la fabricación de sus productos a partir de papel reciclado, contribuyendo a la sostenibilidad al evitar la extracción de fibras directamente de la madera.

Durante las primeras semana se realizó un recorrido de toda las instalaciones de la planta para identificar las áreas, conocer los equipos, cual es la función de estos e identificar y conocer como es el proceso de fabricación de papel TISSUE.

En este recorrido se identificó que Convertipap se divide en dos zonas principales, la zona sur y la zona norte. Estas a su vez, se subdividen en distintas secciones según su función y operación, las cuales se presentan a continuación.

Zona sur. En la zona sur de la planta se encuentran las siguientes áreas.

Máquina 4: Máquina formadora de papel, actualmente en estado de innovación.

Máquina 5 Recard: Máquina formadora de papel, encargada de transformar la pasta en bobinas de papel de 3 toneladas aproximadamente.

Rebobinadora Recard: Máquina rebobinadora que transforma las bobinas de 3 toneladas en bobinas reducidas para su posterior conversión en higiénicos, servilletas o servitoallas.

Pulper 1, 2 y 3: Máquinas trituradoras para el papel reciclado que reducen el tamaño del papel para pasar a las siguientes etapas de preparación de pasta.

Refinadores de pasta: Máquinas trituradoras para papel, reducen el papel en mezcla más fina combinada con agua para formar la pasta.

Tanque de pasta 1: Depósito donde se prepara y almacena la pasta para la MAQ5.

Pastas: Cuarto de control dedicado al control de la elaboración de la pasta 1.

Rebobinadora Acelli: Máquina rebobinadora que transforma las bobinas de 3 toneladas en bobinas reducidas para su posterior conversión en higiénicos, servilletas o servitoallas.

PTAR: Área dedicada al tratamiento de aguas para su recuperación y aprovechamiento.

Compresores: Área dedicada a compresores para suministrar presión neumática a la zona sur de la planta, cuenta con 7 compresores.

Talleres de mantenimiento: Cada área de mantenimiento como mecánico, eléctrico e instrumentista cuenta con su propio taller.

Zona norte. En la zona norte de la planta se encuentran las siguientes áreas.

Máquina 6 Sofia: Máquina formadora de papel, encargada de transformar la pasta en bobinas de papel.

Máquina 7 Overmade: Máquina formadora de papel, encargada de transformar la pasta en bobinas de papel.

Emplayadora: Máquina encargada de emplayar de forma semiautomática las bobinas salientes de las máquinas 6 y 7.

DIP 3: Área encargada de la preparación de pasta para las máquinas 6 y 7, en ella se encuentran un Pulper, refinadores, limpiadores de pasta, etc.

Compresores: área dedicada a los compresores de la zona norte, cuenta con los compresores 8 y 9, secadores de aire y separadores de agua-aceite.

4.2 Análisis del estado actual de la máquina 7 Overmade

Para este análisis del funcionamiento de la MAQ7 Overmade se consultó con Ingenieros del Cuarto de Control, con el jefe de Máquina, compañeros eléctricos en turno y con el jefe de instrumentación.

Haciendo un recorrido por el área, se entrevistó a estas personas con la finalidad de comprender como funciona la MAQ7 Overmade, se identificaron los equipos críticos, separando equipos principales y secundarios, la ubicación de estos tanto físicamente como su alimentación en el CCM.

Para facilitar como es el proceso de producción de papel TISUUE se elaboró un diagrama de flujo, el cual se puede ver en el Anexo 1. En este diagrama “DF-MTO-MQ7-01_Diagrama de Flujo_Proceso de Fabricación de Papel TISSUE MAQ7”, se puede ver en la Figura 23, la cual nos muestra por etapa el proceso.

MAQ6 y otra a MAQ7. Si DIP3 no cuenta con la capacidad necesaria para satisfacer la demanda de producción, se dispone de un Pulper como sistema auxiliar para la preparación de pasta.



Figura 24 DIP3 (Pulpa Destintada 3)

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025

2. Almacenamiento de Fibra Larga en Tanque MAQ7

Una vez que DIP3 o el Pulper han preparado la pasta requerida, esta se envía a través de la línea de la máquina 7 hacia su Tanque de Fibra Larga para su almacenamiento, como se puede ver en la Figura 25.



Figura 25 Tanque MAQ7 80,000L

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

3. Refinado de Fibra Larga (Refinador No.1)

Después del almacenamiento en el Tanque de Fibra Larga MAQ7, la pasta es enviada al refinador No. 1. En la Figura 26 se puede ver el refinador 1, con una capacidad de 2,100 l/min, este desempeña la función de mejorar las propiedades de la fibra, aumentando su flexibilidad y capacidad de enlace para tener un producto de calidad.



Figura 26 Refinador de Fibra Larga

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

4. Almacenamiento en Tanque de Mezcla

Posteriormente del proceso de refinado de Fibra larga, la pasta es transferida al Tanque de Mezcla para su almacenamiento temporal. En esta etapa, la pasta se homogeniza con un agitador ya que el tanque permite una distribución uniforme de la fibra, asegurando una consistencia adecuada y evitando variaciones en la calidad del material.

5. Refinado de Fibra Corta (Refinador No.2)

Luego del almacenamiento en el Tanque de Mezcla, la pasta se envía al Refinador No. 2 para el refinado de fibra corta, con capacidad de 2,100 l/min. En la Figura 27 se puede ver el refinador 2, el cual, trabaja sobre la estructura de la fibra, reduciendo su longitud y aumentando su superficie de contacto, lo que mejora las propiedades

finales del papel, como suavidad y formación homogénea. Este proceso es crucial para optimizar la distribución de las fibras en la hoja de papel, asegurando una mejor calidad en el producto final.



Figura 27 Refinador de Fibra Corta

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

6. Almacenamiento en Tanque de Maquina

Seguidamente del proceso de refinado de fibra corta, la pasta refinada pasa al Almacenamiento en el Tanque de Máquina. Se puede ver en la Figura 28 el Tanque de Maquina. Este tanque asegura un suministro constante de pasta, la cual se mantiene en suspensión con un agitador para asegurar una mezcla homogénea y para evitar sedimentación de fibras en el tanque.



Figura 28 Tanque de Maquina 25,000L

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

7. Silo (Circuito Cerrado)

Después de pasar por el Tanque de Máquina, la pasta se transporta al silo de 60,000L. mediante una bomba que asegura un flujo constante y controlado de la pasta.

En la Figura 29 se puede ver el Silo, el cual recolecta el agua que es succionada por las bombas de vacío situadas en la parte de recuperación de agua. Esta agua se envía al silo, lo que optimiza el consumo de agua al tener una reutilización del agua dentro del ciclo de producción y favoreciendo la consistencia de la pasta, la cual ya es pulpa en este punto del proceso.



Figura 29 Silo de 60,000L. conectado a Bomba Fan Pump

Esta bomba tiene dos motores para doble aspiración

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

8. Bombeo de Pulpa con Fan Pump

Desde el silo, la pulpa es bombeada con una bomba especial llamada Fan Pump. Esta bomba está diseñada específicamente para manipular y suministrar la pulpa de alta consistencia, transportándola de manera eficiente desde el silo hasta la máquina de fabricación de papel, como se puede ver en la Figura 29.

La bomba toma la pulpa del silo a través del sistema de doble aspiración permitiendo un flujo equilibrado y eficiente, esta reduce pulsaciones de presión y mejorando el

rendimiento del proceso. Los motores incorporados para la doble aspiración son muy importantes debido a que si fallan se para la máquina provocando paros de producción.



Figura 30 Estructura de la bomba Fan Pump

Nota. Tomado de Made-in-China, por Greatland Machinery,

(https://es.made-in-china.com/co_glmachinery/product_16t-D-Stock-Pump-Fan-Pump-for-Paper-Making-Machine-Line_euogshnoy.html).

Gracias a su diseño de doble rotor con álabes bien distribuidos, la bomba genera una presión controlada que transporta la pulpa a lo largo del sistema, alcanzando una capacidad y altura de elevación adecuada para el proceso. En la Figura 30 se puede ver la forma simétrica estructural y sistema de sellado de la bomba Fan Pump. Esta bomba reduce pérdidas de presión proporcionando un transporte eficiente y confiable de la pulpa, garantizando una operación estable y de bajo mantenimiento [16].

9. Depuración y Eliminación de Impurezas (Cribado Primario)

Una vez que la pulpa es transportada al silo y luego bombeada con la Fan Pump, ingresa con agua recolectada de las bombas de vacío, al depurador vertical por la parte superior lateral para eliminar partículas no deseadas, como trozos de madera, plásticos o fibras demasiado largas que podrían afectar la calidad del papel final.

La criba primaria es un filtro prácticamente de 50 milésimas el cual utiliza la fuerza centrífuga de un motor para separar las partículas ya mencionadas. Como se puede ver en la Figura 31, el depurador está instalado verticalmente para que las impureza se acumulen en el fondo del cono inferior, y estas sean eliminadas periódicamente.



Figura 31 Depurador Vertical principal para el Cribado primario
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

Seguido de esto, la pulpa depurada y libre de impurezas continúa su camino por la línea de pulpa aceptada del cribado primario a la caja de entrada, asegurando que el papel resultante tenga una textura homogénea y sin defectos causados por materiales extraños.

10. Depuración y Eliminación de Impurezas (Cribado Secundario)

En caso de que la pulpa no cumpla con los estándares establecidos de la primera depuración, se realiza una depuración y eliminación de impurezas adicional, conocida como cribado secundario. Como se puede ver en la Figura 32, el depurador secundario está diseñado para tratar la pulpa que aún contiene impurezas o fibras no deseadas que no fueron eliminadas en el primer cribado. Actúa como un filtro adicional para asegurar que la pulpa pase a la siguiente etapa libre de impurezas.



Figura 32 Depurador vertical para el Cribado secundario
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

Actúa como el segundo filtro del proceso para las fibras gruesas e impurezas remanentes que se pasaron en la etapa anterior, para que sean separadas de la pulpa. De esta manera, el cribado secundario asegura que la pulpa llegue a la siguiente etapa “Formación de la Hoja”, libre de contaminantes, lo que contribuye a la calidad del producto final.

11. Formación de la Hoja (Caja de Entrada-Tela)

En esta etapa, se encuentra un elemento llamado Labio, por donde entra la pulpa en la caja de entrada. Si el labio tiene una apertura mayor entonces la velocidad es menor, y viceversa, si el labio tiene una apertura menor la velocidad es mayor.



Figura 33 Tela donde se distribuye uniformemente la pulpa
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

En esta sección se le esprea agua presurizada para diluir la pulpa para que esta se distribuya uniformemente sobre la tela al hacer contacto con el rodillo formador, como se puede ver en la Figura 33. A este proceso se le llama “Nip o Transferencia”, el cual es clave para la formación de la hoja y cuenta con los siguientes elementos:

- **Caja de Entrada:** Controla el flujo de la pulpa mediante la apertura del labio asegurando una distribución homogénea con agua presurizada de las espreas. En la Figura 34 se puede ver en el inciso A) la caja de entrada y en el inciso B) el sistema de espreas para una distribución uniforme.



Figura 34 Caja de Entrada donde inicia el proceso de formación
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

- **Rodillo Formador (Motor):** Facilita la compactación inicial de las fibras de la pulpa, este rodillo se puede ver en la Figura 35. Para formar la hoja debe de hacer la transferencia con la tela.



Figura 35 Rodillo formador de la Pulpa en hoja
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

- **Rodillos Guía de la Tela (4 rodillos):** Mantienen la tensión y alineación de la tela, asegurando una formación uniforme de la hoja como se puede ver en la Figura 36.



*Figura 36 Parte lateral de la caja de entrada, rodillo formador y rodillos guía
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia
Profesional, febrero de 2025.*

- **Extracción Inicial de Agua:** A medida que la tela avanza, el exceso de agua comienza a separarse por gravedad y succión a través de las bombas de vacío.

Si la maquina 7 corre a cierta velocidad podemos controlar las características de un papel, los cuales se presentan a continuación:

- a) **Mayor velocidad (>1600 rpm).** Es para el Papel Higiénico, el cual es papel más suave y se logra esa textura con fibra corta.
- b) **Media velocidad (1600 rpm).** Es para servilletas, papel semi suave, se ocupan ambas fibras.
- c) **Menor velocidad (<1600rpm).** Es para servitoallas, el cual es papel más grueso y se logra esa textura con fibra larga.

12. Secado de la Hoja (Fieltro)

En esta etapa tenemos la extracción Intermedia de Agua, la cual separa el agua atrapada en las fibra de la hoja de papel con bombas de vacío. Con esta extracción nos sirve, de igual forma, para la limpieza y secado del fieltro. En la Figura 37, se puede ver el Fieltro en vista frontal y lateral.



Figura 37 Vista frontal y lateral de la Sección del Fieltro

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

Se puede ver en la Figura 38 la sección completa del fieltro. Un motor de transmisión impulsa un rodillo que mueve la hoja a través de todo el fieltro hasta la prensa de succión. Para garantizar la tensión y alineación del fieltro, se emplean cinco rodillos guía, los cuales aseguran un transporte eficiente de la hoja.



Figura 38 Sección del Fieltro de la MAQ7

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

Durante este proceso, el agua es drenada con las cajas acondicionadoras, lo que contribuye a aumentar la consistencia del material. Este depósito de drenado de agua esta debajo del fieltro, como se puede ver en la Figura 39.



Figura 39 Depósito de drenado de agua debajo del Filtro
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

13. Extracción de Agua por vacío (Prensa de Succión)

Una vez finalizado el proceso de formación del papel en la tela y secado intermedio del fieltro, la hoja aún permanece húmeda. Para reducir su contenido de humedad, debe de pasar por la prensa de succión, donde el agua es eliminada mediante vacío, como se puede ver en la Figura 40. Este proceso disminuye la humedad antes del secado profundo, al mismo tiempo mejora la compactación de la hoja de papel.



Figura 40 Prensa de Succión para extracción de agua
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

El sistema de bombas de vacío opera de manera estructurada a través de los siguientes componentes:

- **Cabezal de Bombas de Vacío:** Conecta tres bombas, de las cuales dos operan de forma continua y la tercera actúa como un variador de RPM. En la Figura 41 se puede ver las bombas de vacío de Maquina 7.



Figura 41 Bombas de vacío de la MAQ7

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

- **Vórtice:** En el cabezal que conecta las bombas de vacío, utiliza agua del tanque de agua clarificada para generar un remolino mediante un motor adicional, lo que permite el correcto funcionamiento de las bombas, como se puede ver en la Figura 42. Tras succionar el agua en la Caja de Entrada-Tela, el Filtro y la Prensa, se envía al separador de vacío.



Figura 42 Cabezal que conecta las tres bombas de vacío donde se genera el vórtice

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

- **Separador de Vacío:** Separa el agua del vórtice, permitiendo la expulsión de aire limpio dentro del sistema. En la Figura 43 se puede ver este equipo separador de vacío.



Figura 43 Equipo Separador de vacío

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

14. Secado Profundo y Uniforme (Yankee)

Después de que la hoja de papel pasa por el Filtro a la Prensa de Succión, esta hace contacto con el Yankee para hacer la transferencia de la hoja (Nip) de la prensa de succión al Yankee. En la Figura 44 se puede ver esta transferencia de la hoja del papel de la Prensa al Yankee.



Figura 44 Nip entre la Prensa de Succión y el Yankee

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

En esta etapa, la hoja de papel ingresa al Yankee, el cual es un rodillo de gran tamaño, como se puede ver en la Figura 45. El Yankee es calentado internamente con vapor para secar por debajo de la hoja y externamente, el proceso se refuerza con dos capotas que suministran aire caliente por encima de la hoja, logrando un secado profundo y uniforme.

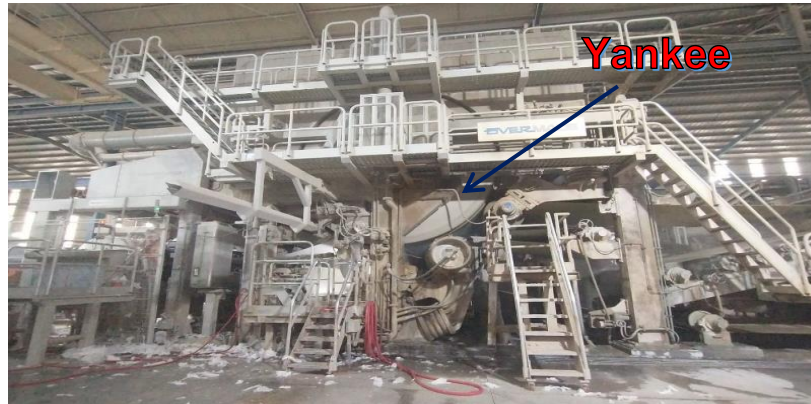


Figura 45 Yankee MAQ7

Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

De igual forma, se utiliza un esparcidor para aplicar resina en la prensa de succión, permitiendo que la hoja de papel recién formada se adhiera al Yankee. Posteriormente del secado profundo y uniforme, se aplica aceite en la superficie del Yankee para facilitar el desprendimiento de la hoja sin daños, asegurando un proceso de secado y transferencia eficiente.

Los sistemas de secado interno y externo del Yankee opera de manera estructurada a través de los siguientes componentes:

A) Sistema de Secado Interno (Tubin o Popotes)

Dentro del Yankee tiene un sistema de tuberías internas llamado sistema Tubin o Popotes que permite la distribución eficiente del vapor para el secado del papel.

El proceso comienza en la caldera con capacidad de 16 bar, donde el agua se calienta hasta convertirse en vapor. Antes de ingresar al Yankee, el vapor es regulado mediante válvulas reductoras de presión, ajustándolo a 10 bar, la presión óptima para su funcionamiento.

El vapor ingresa al Yankee a través de tuberías conectadas en su centro lado derecho y circula por su sistema interno de tuberías generando el calor necesario para secar por debajo de la hoja de papel que entra en contacto con su superficie. Este mecanismo permite un secado uniforme y eficiente, aprovechando la energía térmica suministrada por la caldera.

B) Sistema de Secado Externo (Capotas)

Después del secado interno entra el sistema de secado externo, el cual consiste en un sistema de recirculación que optimiza el proceso. Mediante bombas, se succiona aire fresco, el cual es conducido a través de ductos hacia los calentadores, como se puede ver en la Figura 46. Posteriormente, este aire caliente es dirigido a las entradas de las capotas (en los extremos) y, tras cumplir su función de secado, recircula y es expulsado a través de los ductos de salida.

Las capotas son estructuras de gran tamaño diseñadas para secar completamente por encima de la hoja de papel, mediante la inyección de aire caliente.



Figura 46 Bombas de succión de aire para transportarlo a los Quemadores
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

C) Crepado, Corte y Limpieza con Cuchillas (Doctors)

Este sistema separa la hoja de papel sin dañarla, garantizando un corte limpio y continuo mientras el Yankee sigue operando. La aplicación de aceite reduce la fricción y facilita el desprendimiento sin generar roturas.

En esta etapa sobre línea de proceso, también se aplica resina en la prensa de succión para mejorar la adherencia de la hoja al Yankee y se utiliza aceite para facilitar su desprendimiento.

Los Doctors son la base donde se instalan las cuchillas, las cuales se mueven mediante mangueras conformáticas, lo que permite un ajuste preciso y seguro de las cuchillas. Tenemos tres tipos de cuchillas:

- **Cuchillas de Crepado.** Son las responsables de desprender la hoja de papel del Yankee usando aceite para reducir la fricción y facilitar el proceso sin dañarla.
- **Cuchillas de Corte.** Se activan cuando la bobina de papel alcanza el tamaño deseado, realizando el corte final de la hoja para completar el rollo y permitir el cambio al siguiente.
- **Cuchillas de Limpieza.** Mantienen la superficie del Yankee libre de residuos y acumulaciones de fibra, lo que mejora la eficiencia térmica y evita imperfecciones en la hoja de papel.

15. Escaneo de Parámetros de Papel (Escáner Valmet)

Después de salir completamente seca la hoja de papel del Yankee, pasa por un sistema de escaneo que mide en tiempo real diversas propiedades para garantizar su calidad. Estos resultados se logran con el escáner Valmet, el cual se puede ver en la Figura 47.



Figura 47 Escáner Valmet para analizar los parámetros establecidos
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

Entre estas propiedades se encuentra la humedad para asegurar el nivel adecuado; el peso seco y el peso húmedo, que permiten verificar su consistencia; y el grosor que controla la uniformidad del papel. Este análisis continuo permite monitorear y mantener la calidad del papel durante el proceso de producción.

16. Enrollado y Transferencia de Bobinas de Papel (POPE)

Posteriormente del escaneo, el papel es separado con cuchillas y dirigido hacia el enrollador de bobinas (Rodillo POPE), como se puede ver en la Figura 48.



Figura 48 Enrollado de la hoja con el POPE para hacer la bobina de papel
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

La hoja de papel se enrolla en bobinas de hasta 3 toneladas mediante el rodillo POPE. Este sistema cuenta con un motor de transmisión sincronizado con el Yankee, asegurando una tensión constante en el papel.

Además, dispone de tres estaciones que permiten el manejo simultáneo de tres rollos y un acelerador de mandriles que facilita el cambio automático de la bobina al alcanzar el diámetro requerido, y una vez alcanzado el diámetro entran en proceso las cuchillas de corte final del papel, como se puede ver en la Figura 49.



Figura 49 Estaciones del POPE para sacar 3 bobinas de papel
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

17. Empleado de Bobinas

Finalmente, las Bobinas de Papel formadas en el rodillo POPE, son trasladadas a la empleadora. En la Figura 50 se puede ver el proceso de envoltura con poliestrech, el cual protege las bobinas contra la humedad, el polvo y daño físico, además de facilitar su almacenamiento y transporte.

Todo este proceso asegura la calidad del papel para su posterior conversión en productos finales o distribución.



Figura 50 Empleadora de MAQ7
Nota. Fotografía tomada por el autor durante el periodo de Residencia Profesional, febrero de 2025.

4.2.2 Análisis de Fallas y Tiempos Perdidos (TP)

Para evaluar el historial de fallas y tiempos de inactividad se solicitó al personal administrativo de producción el registro de sus Indicadores 2024 MAQ7 e Indicadores 2025 MAQ7 hasta la fecha. En dichos documentos se lleva un registro de fallas operacionales y no operacionales (mecánico, eléctrico, instrumentista y otros), considerando tiempo perdido sin paro y con paro (Paro Programado).

En la Figura 51 se puede ver el tiempo perdido en minutos por mes con y sin paro programado. Como se observa los meses con mayor tiempo perdido fue en agosto con 9109 min equivalente a 151.8 horas, lo que es 6 días; y en diciembre fue de 7799 min perdidos equivalente a 129.9 horas lo que es casi 5 días y medio.

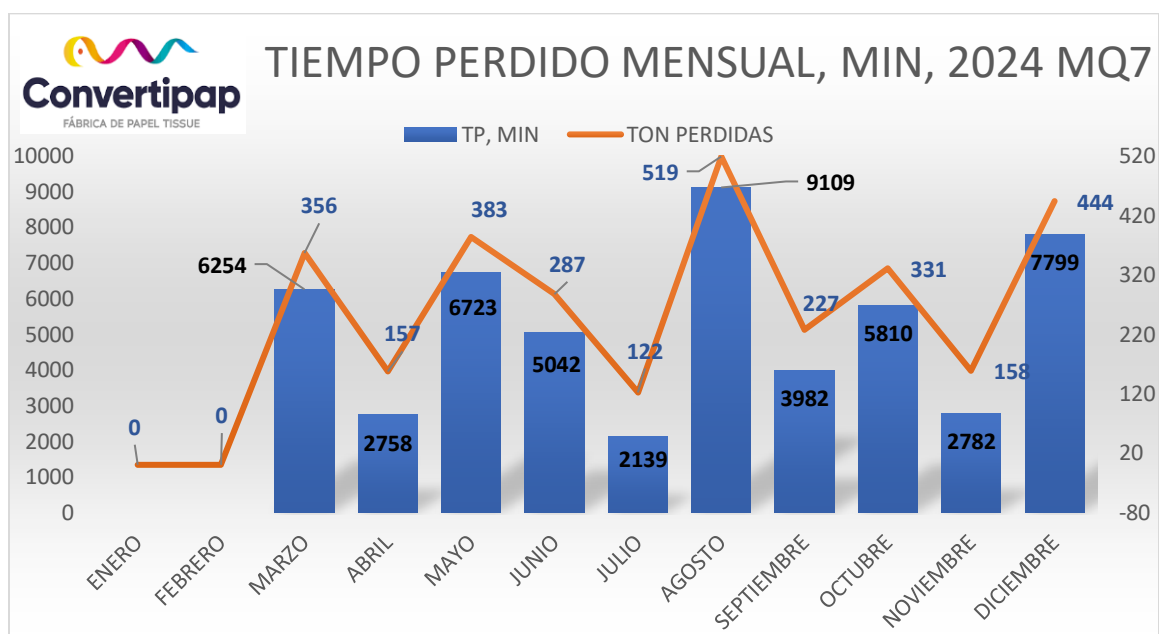


Figura 51 Tiempo Perdido Mensual con paro y sin paro del 2024 MAQ7
Nota. Información proporcionada por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), marzo de 2025.

El historial de Fallas operacionales del mes de enero se muestra en la Tabla 2, el cual, solo observamos errores operacionales acumulando un total de 2780 minutos tiempo perdido durante enero sin paros programados.

Tabla 2 Tiempo Perdido Operacional Sin Paro Enero 2025

TIEMPO PERDIDO OPERACIONAL ENERO SIN PARO				
DESCRIPCION	TP (Min)	%	Acumulado	%
LIMPIEZA DE MAQUINA	991	35.6%	991	35.6%
CAMBIO DE ROLLO	777	27.9%	1768	63.6%
REVENTONES	478	17.2%	2246	80.8%
MAL ENROLLADO	162	5.8%	2408	86.6%
LIMPIEZA VESTIDURAS	70	2.5%	2478	89.1%
ATASCAMIENTO UTM	66	2.4%	2544	91.5%
PROBLEMAS CON FLUJO DE PASTA	41	1.5%	2585	93.0%
INESTABILIDAD DE OPERACIÓN	35	1.3%	2620	94.2%
INCREMENTO DE VELOCIDAD	30	1.1%	2650	95.3%
TAPONAMIENTO EN EL CHORRITO CORTADOR	29	1.0%	2679	96.4%
DESGAJAMIENTO DE CENTRO	25	0.9%	2704	97.3%
CAMBIO DE FABRICACION	22	0.8%	2726	98.1%
ARRANQUE DE MAQUINA	20	0.7%	2746	98.8%
PROBLEMAS ORILLAS L.O.	19	0.7%	2765	99.5%
PROBLEMAS CON RPM'S DE FAN PUMP	15	0.5%	2780	100.0%
TOTAL	2780	100%	36690	1319.8%

Nota. Información proporcionada por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), marzo de 2025.

Analizando ahora el Tiempo Perdido Operacional con paro del mismo mes de enero, observamos en la Tabla 3, se acumuló un total de 1117 minutos de tiempo perdido.

Tabla 3 Tiempo Perdido Operacional Con Paro Enero 2025

TIEMPO PERDIDO OPERACIONAL ENERO CON PARO				
DESCRIPCION	TP (Min)	%	Acumulado	%
CAMBIO DE FIELTRO	470	42%	470	42%
LIMPIEZA QUIMICA	210	19%	680	61%
FALLA EN BOMBAS DE VACIO	170	15%	850	76%
ATASCAMIENTO DE UTM	145	13%	995	89%
TAPONAMIENTO DE BOMBA FIBRA CORTA	62	6%	1057	95%
ATASCAMIENTO DE CAJAS DE VACÍO	60	5%	1117	100%
TOTAL	1117	100%	5169	463%

Nota. Información proporcionada por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), marzo de 2025.

En el caso del Tiempo Perdido No Operacional del mismo mes con paro, se observa en la Tabla 4 que se acumuló un total de 905 minutos perdidos durante el mantenimiento programado de la MAQ7.

Tabla 4 Tiempo Perdido No Operacional Con Paro Enero 2025

TIEMPO PERDIDO NO OPERACIONAL ENERO CON PARO					
TIPO	DESCRIPCION	TP (Min)	%	Acumulado	%
MECANICO	PARO POR MANTENIMIENTO DEL YANKEE	355	39%	355	39%
MECANICO	TAPONAMIENTO DE BOMBAS Y REFINADORES	150	17%	505	56%
MECANICO	DAÑO EN MIRILLA DE CONDENSADO	130	14%	635	70%
ELECTRICO	PROBLEMAS CON DEPURADOR PRIMARIO Y SECUNDARIO	90	10%	725	80%
INSTRUMENTACIÓN	FALLA EN CABLE SENSOR DESVÍO DE FIELTRO L.T.	80	9%	805	89%
ELECTRICO	DISPARO DE INTERRUPTOR 240V EN PLACA INTERNA	60	7%	865	96%
INSTRUMENTACIÓN	AGUA DE SELLOS EN CRIBA PRIMARIA	40	4%	905	100%
TOTAL		905	100%	4795	530%

Nota. Información proporcionada por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), marzo de 2025.

Sumando el Tiempo Perdido Operacional y No Operacional nos da un tiempo de 2022 minutos perdidos durante enero. En la Tabla 5 nos da un resumen de los tiempos perdidos por área. Observamos que las área en donde se pierde mayor tiempo durante los paros programados son Operacionales y mecánicos.

Tabla 5 Porcentaje de Participación por Área de Enero 2025

PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN POR AREA MENSUAL		
DESCRIPCIÓN	MIN.	%
OPERACIONAL	1117	55%
MECANICO	635	31%
ELECTRICO	150	7%
INSTRUMENTACION	120	6%
OTROS	0%	0%
TOTAL	2022	100%

Nota. Tabla elaborada por el autor con base en datos proporcionados por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), marzo de 2025.

4.3 Desarrollo de Estrategias de PM y CM

Para garantizar la operación continua y eficiente de la máquina 7 Overmade, se diseñaron estrategias específicas tanto de mantenimiento preventivo (PM) como correctivo (CM) en función del análisis del estado actual del equipo, el historial de fallas, y las condiciones reales de operación.

Mantenimiento Correctivo (CM)

Estas estrategias del CM tienen como finalidad una mejora continua del sistema de mantenimiento, las cuales se consideraron las siguientes:

- Estandarización de Procedimientos e Instructivos de atención a fallas eléctricas.
- Asignación de responsables para reducir tiempo de diagnóstico y atención. En esta parte, ya estaban asignados los responsables, pero se consideró para una mayor eficiencia.
- Inventario en STOCK de refacciones críticas, como contactores, ventiladores, drives, fusibles e incluso motores de repuesto.

En esta etapa del proyecto se llevaron a cabo modificaciones a los procedimientos e instructivos existentes con el objetivo de mejorar su estructura y facilitar su aplicación en el entorno operativo. Como parte de este proceso, se trabajó en conjunto con el personal encargado del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) para estandarizar dichos documentos bajo un solo formato oficial. Esta estandarización incluyó elementos como el encabezado, referencias normativas, codificación interna y diseño general del documento.

Se revisaron y redactaron nuevamente algunas secciones de los procedimientos e instructivos, con el fin de incrementar la claridad y comprensión en la ejecución de las actividades por parte del personal operativo. También se reforzaron aspectos

críticos como las medidas de seguridad aplicables, los permisos requeridos y los registros necesarios del cumplimiento.

A partir del análisis de tiempo perdido (TP) por área, se identificaron los equipos y fallas más recurrentes. Dentro de las fallas del departamento eléctrico, destacan las fallas eléctricas en febrero y marzo.

Se modificó el procedimiento PRO-9.1 PROCEDIMIENTO DE REPORTE DE FALLA, que responde las medidas de que hacer en caso de falla eléctrica.

Mantenimiento Preventivo (PM)

Para el PM de MAQ7, se consideraron como base las rutinas preventivas existentes. Abarca actividades de inspección, limpieza, calibración y verificación de parámetros como amperaje y vibración, tanto en los equipos principales como secundarios.

Estas rutinas buscan asegurar el buen funcionamiento de los componentes eléctricos mediante la detección oportuna de desviaciones o fallas. Dentro de las estrategias implementadas se incluyeron las siguientes acciones:

- Actualización de formatos de recolección de datos de los motores principales y secundarios, los cuales se estandarizaron con el formato propuesto por el personal del SGC.
- Actualización de la ubicación específica de los motores dentro de los tableros del CCM, y su localización física en la máquina. En el Layout de Distribución de Motores Principales y Secundarios se anexa la simbología que se consideró para la ubicación de motores físicamente en máquina, la cual se dividió por secciones.
- Actualización de los valores nominales de amperaje de los motores.
- Creación de un Layout de distribución de los motores principales y secundarios para facilitar su identificación y análisis (Anexo 7).

4.4 Desarrollo de Documentación de los equipos

Mantenimiento Correctivo

Para el CM los Instructivos que se modificaron fueron los siguientes:

- INSMTO-02 INSTRUCTIVO PARA LA INTERVENCIÓN A SUBESTACIONES (PUESTA A TIERRA TEMPORAL)
- INSMTO-03 INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACIÓN DE CAMBIO DE MOTOR A 440 VAC
- INSMTO-04 INSTRUCTIVO PARA LA REALIZACIÓN DE CAMBIO DE INTERRUPTOR
- INSMTO-05 INSTRUCTIVO PARA EL AJUSTE DE MICROS DE SUBIDA Y BAJADA DE GANCHO
- INSMTO-06 INSTRUCTIVO PARA REVISIÓN Y CAMBIO EN SILLETA EN CCM
- INSMTO-07 INSTRUCTIVO PARA MONITOREO DE CORRIENTE A MOTORES

Nota: Algunos instructivos siguen en proceso de mejora por parte del SGC.

Mantenimiento Preventivo

Para el PM los documentos que se actualizaron fueron los siguientes:

- [INS-MTO-MQ7-01 Cargas Instaladas de Maquina 7](#). Solo se actualizaron datos y se les agrego los datos faltantes de las cargas instaladas (Anexo 2).
- [INS-MTO-MQ7-02 Rutina de Inspección de Temperatura de Drives Maquina 7](#). Se actualizo la lista de motores y el formato para estandarizarlo, el cual se menciona en el punto “4.3 Desarrollo de estrategias de PM y CM” (Anexo 3).

- **INS-MTO-MQ7-03 Lectura de Masterpack Maquina 7.** Se modifico al formato estandarizado, el cual se menciona en el punto “4.3 Desarrollo de estrategias de PM y CM”. Este formato se puede visualizar en el Anexo 4.
- **INS-MTO-MQ7-04 Rutina de Inspección de Motores Principales-Secundarios Maquina 7.** En este formato se estandarizo a un solo formato, se actualizaron datos faltantes de datos de motores, se actualizo la ubicación de algunos motores en los tableros que alimentan a estos, y se ubicaron físicamente en la maquina por secciones de todos (Anexo 5).
- **INS-MTO-SUB7-01 Rutina de Inspección de Transformadores Subestación 7.** Se modifico al formato estandarizado, el cual se menciona en el punto “4.3 Desarrollo de estrategias de PM y CM”. Este formato se puede visualizar en el Anexo 6.
- **LayOut de distribución de los motores principales y secundarios.** Se elaboro este LayOut de distribución de motores para que sea más fácil y practico la ubicación de estos mismos, en especial para mayor identificación de personal en capacitación. Esta ubicación en máquina, como ya se mencionó, se dividió por secciones, el cual se observa en el Anexo 7.
- **DF-MTO-MQ7-01_Diagrama de Flujo_Proceso de Fabricación de Papel TISSUE MAQ7.** Se elaboro este diagrama como punto clave en la comprensión del proceso de elaboración de Papel TISSUE (Anexo 1).

4.5 Definición de requerimientos del Software

Buscando varios programas se decidió usar Python para el Software, debido a que es uno de los lenguajes de programación que combina facilidad de uso con una gran potencia. Las ventajas de usar Python son:

- Sintaxis sencilla y clara: Usa una estructura muy parecida al lenguaje humano.
- Aprendizaje rápido: Es intuitivo y poder usarlo sin saber mucho de programación.
- Multiplataforma: Se puede usar en Windows, macOS, Linux, etc.
- Gran comunidad y recursos: Hay tutoriales, videos, foros, libros y cursos gratuitos. Además, hay sitios como Stack Overflow para aclarar dudas.
- Bibliotecas y módulos potentes: Python tiene librerías para todo como, ciencia de datos (pandas, numpy, matplotlib), inteligencia artificial (tensorflow), desarrollo web, automatización, juegos o electrónica y sensores.
- Ideal para automatizar tareas: Se pueden usar scripts que automaticen procesos, generen reportes o monitoreen equipos.
- Compatible con desarrollo web, aplicaciones y hardware.
- Código abierto y gratuito.

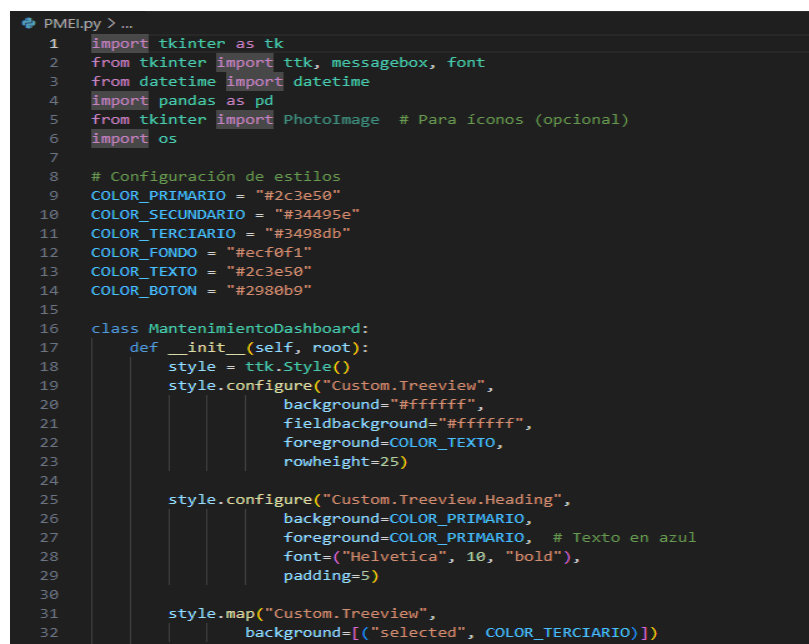
4.6 Diseño e Implementación del Software

Una vez que se decidió usar Python, se prosiguió con el diseño del código del Software. En la Figura 52 se puede ver el código de la aplicación gráfica, utilizando librerías como Tkinter, declaración de variables como COLOR_PRIMARIO y se define la clase MantenimientoDashboard para la interfaz del sistema de mantenimiento.

Se importaron librerías como:

- tkinter: Librería base para crear interfaces gráficas en Python.
- ttk: Submódulo de tkinter que proporciona widgets con mejor estilo.

- messagebox: Para mostrar cuadros de diálogo (alertas, confirmaciones, etc.).
- font: Para trabajar con fuentes personalizadas.
- datetime: Para trabajar con fechas y horas.
- pandas: Para manipular datos en forma de tabla (útil para guardar y cargar registros).
- PhotoImage: Permite cargar imágenes (íconos).
- os: Acceder al sistema de archivos y otros recursos del sistema operativo.



```

1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk, messagebox, font
3 from datetime import datetime
4 import pandas as pd
5 from tkinter import PhotoImage # Para íconos (opcional)
6 import os
7
8 # Configuración de estilos
9 COLOR_PRIMARIO = "#2c3e50"
10 COLOR_SECUNDARIO = "#34495e"
11 COLOR_Terciario = "#3498db"
12 COLOR_FONDO = "#ecf0f1"
13 COLOR_TEXTO = "#2c3e50"
14 COLOR_BOTON = "#2980b9"
15
16 class MantenimientoDashboard:
17     def __init__(self, root):
18         style = ttk.Style()
19         style.configure("Custom.Treeview",
20             background="#ffffff",
21             fieldbackground="#ffffff",
22             foreground=COLOR_TEXTO,
23             rowheight=25)
24
25         style.configure("Custom.Treeview.Heading",
26             background=COLOR_PRIMARIO,
27             foreground=COLOR_PRIMARIO, # Texto en azul
28             font=("Helvetica", 10, "bold"),
29             padding=5)
30
31         style.map("Custom.Treeview",
32             background=[("selected", COLOR_Terciario)])

```

Figura 52 Importación de librerías y declaración de variables de colores de interfaz

Nota. Imagen elaborada por el autor a partir de código desarrollado durante la residencia profesional, marzo de 2025.

Se definieron variables para guardar los colores utilizados en la interfaz. Esto permite modificar fácilmente toda la paleta de colores si es necesario. Se usa el formato hexadecimal (#RRGGBB).

En la Figura 53 se puede ver un fragmento de código donde se inicializa la ventana principal definiendo su título, tamaño y color de fondo. Posteriormente, se llama a la función “self.cargar_datos_directos()” para cargar datos iniciales y se crea un DataFrame vacío con columnas específicas para almacenar las actividades del

mantenimiento (como tipo de equipo, ubicación, características eléctricas, actividad a realizar, fecha, responsable y estado).

```
33
34     self.root = root
35     self.root.title("PMEI PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO. OVERMADE MÁQUINA 7")
36     self.root.geometry("1300x750")
37     self.root.configure(bg=COLOR_FONDO)
38
39     # Configurar evento de cierre de ventana
40     self.root.protocol("WM_DELETE_WINDOW", self.cerrar_aplicacion)
41
42     # Configurar fuente personalizada
43     self.fuente_titulo = font.Font(family="Helvetica", size=12, weight="bold")
44     self.fuente_normal = font.Font(family="Helvetica", size=10)
45     self.fuente_boton = font.Font(family="Helvetica", size=10, weight="bold")
46
47     # Cargar datos
48     self.cargar_datos_directos()
49     self.df_actividades = pd.DataFrame(columns=[
50         "Tipo", "Bus", "Equipo", "Tag", "Ubicacion",
51         "KW", "Amperaje", "Voltaje", "RPM",
52         "Actividad", "Fecha", "Responsable", "Estado"
53     ])
54
55     # Intentar cargar datos guardados
56
57
58     # Crear elementos de la interfaz
59     self.crear_header()
60     self.crear_panel_seleccion()
61     self.crear_panel_datos()
```

Figura 53 Inicialización de ventana principal, carga de datos iniciales
Nota. Imagen elaborada por el autor a partir de código desarrollado durante la residencia profesional, marzo de 2025.

Finalmente, se construyen los elementos gráficos principales de la interfaz mediante las funciones:

```
self.crear_header()
    self.crear_panel_seleccion()
    self.crear_panel_datos()
    self.crear_panel_actividades()
    self.crear_panel_estadisticas()
```

Estas crean el encabezado, el panel de selección y el panel de visualización o ingreso de datos, actividades y estadísticas.

4.7 Integración del Software con la Base de Datos

Para esta actividad del proyecto fue la más prolongada, repetitiva y detallada pero no se presente mayor complejidad. Simplemente fue desafiante por la carga de datos de la base de datos, tanto de motores principales y secundarios. Se cuenta con 30 equipos principales y 65 equipos secundarios, por lo cual se consideraron 95 equipos anexarlos al código con sus respectivas opciones de mantenimiento.

A continuación, se presenta un fragmento del código, donde se define la función cargar_datos_directos para cargar información técnica y de mantenimiento de equipos eléctricos para motores principales.

```
def cargar_datos_directos(self):
    # Datos de motores principales
    datos_principales =
    # DRIVE 1-2
    {
        "TAG": "MD20C02_1", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Fan Pump A",
        "UBICACION_MAQ": "SO1", "UBICACION_CCM": "B",
        "KW": 500, "AMPERAJE": 730, "VOLTAJE": 480, "RPM": 1742,
        "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos,
        Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
        "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
        "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
        "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
        "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores.",
        "OPCION_6": "Cambio de Fusibles y Portafusibles en Tableros de Fuerza.",
        "OPCION_7": "Otra",
        "BUS": "Drive 1-2"}
    }
```

Esto se repitió para los 30 equipos eléctricos principales como se ve en la Figura 54, considerando sus datos técnicos para cada uno.

```
{
  "TAG": "MD20C02_2", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Fan Pump B",
  "UBICACION_MAQ": "SO1", "UBICACION_CCM": "D",
  "KW": 500, "AMPERAJE": 730, "VOLTAJE": 480, "RPM": 742,
  "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
  "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
  "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
  "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
  "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores.",
  "OPCION_6": "Cambio de Fusibles y Portafusibles en Tableros de Fuerza.",
  "OPCION_7": "Otra",
  "BUS": "Drive 1-2"
},
{
  "TAG": "MD62A01", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Ventilador de Recirculación LH",
  "UBICACION_MAQ": "HL", "UBICACION_CCM": "G",
  "KW": 250, "AMPERAJE": 370, "VOLTAJE": 480, "RPM": 1791,
  "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
  "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
  "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
  "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
  "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores.",
  "OPCION_6": "Cambio de Fusibles y Portafusibles en Tableros de Fuerza.",
  "OPCION_7": "Otra",
  "BUS": "Drive 1-2"
},
{
  "TAG": "MD62A04", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Ventilador de Combustión LH",
  "UBICACION_MAQ": "HL", "UBICACION_CCM": "L",
  "KW": 51, "AMPERAJE": 80, "VOLTAJE": 440, "RPM": 3560,
  "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
  "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
  "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
  "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
  "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores."
}
```

Figura 54 Lista de equipos principales con datos técnicos y actividades, dentro de la función carga_datos_directos

Nota. Imagen elaborada por el autor a partir de código desarrollado durante la residencia profesional, abril de 2025.

Lo mismo ocurrió para los 65 equipos eléctricos secundarios, a continuación, se presenta fragmento del código y en la Figura 55 se observa parte de la lista de los equipos secundarios.

Datos de motores secundarios

```
datos_secundarios = [
  # DRIVE 1-2
  {
    "TAG": "MD20C02_1/251M2", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Ventilador de Fan Pump A",
    "UBICACION_MAQ": "SO1", "UBICACION_CCM": "F (250Q)",
    "KW": 1.27, "AMPERAJE": 2.25, "VOLTAJE": 460, "RPM": 3480,
    "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
```


"OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
 "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
 "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
 "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores.",
 "OPCION_6": "Cambio de Fusibles y Portafusibles en Tableros de Fuerza",
 "OPCION_7": "Otra",
 "BUS": "Drive 1-2"

```
# Datos de motores secundarios
datos_secundarios = [
  # DRIVE 1-2
  {
    "TAG": "MD20C02_1/251M2", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Ventilador de Fan Pump A",
    "UBICACION_MAQ": "S01", "UBICACION_CCM": "F (250Q)",
    "KW": 1.27, "AMPERAJE": 2.25, "VOLTAJE": 460, "RPM": 3480,
    "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
    "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
    "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
    "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
    "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores.",
    "OPCION_6": "Cambio de Fusibles y Portafusibles en Tableros de Fuerza",
    "OPCION_7": "Otra",
    "BUS": "Drive 1-2"
  },
  {
    "TAG": "MD20C02_2/261M2", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Ventilador de Fan Pump B",
    "UBICACION_MAQ": "S01", "UBICACION_CCM": "F (260Q)",
    "KW": 1.27, "AMPERAJE": 2.25, "VOLTAJE": 460, "RPM": 3480,
    "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
    "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
    "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
    "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
    "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores.",
    "OPCION_6": "Cambio de Fusibles y Portafusibles en Tableros de Fuerza",
    "OPCION_7": "Otra",
    "BUS": "Drive 1-2"
  },
  {
    "TAG": "MD62A01/271M2", "NOMBRE_DEL_EQUIPO": "Ventilador del Motor Recirculación LH",
    "UBICACION_MAQ": "HL", "UBICACION_CCM": "F (270Q)",
    "KW": 0.52, "AMPERAJE": 1.13, "VOLTAJE": 460, "RPM": 3400,
    "OPCION_1": "Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rodamientos, Limpieza, Lubricación y Ajuste de Conexión",
    "OPCION_2": "Mantenimiento de Tableros y Sistema de Compensación.",
    "OPCION_3": "Habilitar Drive y hacer pruebas de funcionamiento.",
    "OPCION_4": "Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.",
    "OPCION_5": "Mantenimiento a Banco de Capacitores."
  }
]
```

Figura 55 Lista de equipos secundarios con datos técnicos y actividades, dentro de la función carga_datos_directos

Nota. Imagen elaborada por el autor a partir de código desarrollado durante la residencia profesional, abril de 2025.

4.8 Pruebas y validación del Software

Durante el desarrollo del código, uno de los principales desafíos fue la implementación de la interfaz gráfica de usuario, utilizando la librería Tkinter. Esta herramienta requiere una estructuración cuidadosa para lograr un diseño visual funcional, intuitivo y estéticamente adecuado. Se consultó con compañeros de carrera y se investigó a fondo debido a errores en el código.

Organizar correctamente los elementos de la interfaz (botones, campos de entrada, paneles, etc.) resultó complejo debido a la falta de un editor visual, lo que implicó instalar Visual Studio Code, el cual es un editor visual que tiene herramientas gráficas y visuales que facilitan mucho programar.

Se tuvo complicaciones con algunas librerías como “pandas”. Se ejecuta el programa y marcaba error con la leyenda: `ModuleNotFoundError: No module named 'pandas'`, lo que significa que el módulo pandas no estaba instalado en Python.

Para solucionarlo, se instaló pandas con PowerShell y se ejecutó el comando: `C:/Users/vic/AppData/Local/Programs/Python/Python313/python.exe -m pip install pandas`.

El uso de esta librería fue necesario, ya que permite un manejo eficiente de los datos. Sin embargo, su integración con la interfaz gráfica representó un reto considerable. Fue necesario implementar una lógica precisa para lograr que los datos se actualizarán, visualizaran y almacenaran correctamente en tiempo real, evitando errores, duplicaciones o pérdidas de información. Esto permitió mantener la integridad de los registros durante las operaciones de carga, edición y eliminación dentro del sistema.

Otro aspecto retador fue el diseño de la arquitectura del programa. Para lograr un funcionamiento eficiente y modular, fue necesario dividir claramente las responsabilidades del sistema, asegurando que cada método cumpliera una función específica y se integrara correctamente con el resto del programa.

Los mayores retos técnicos del proyecto han sido: el diseño inicial de la interfaz gráfica con Tkinter, la planificación de una arquitectura de métodos eficiente y el manejo dinámico de datos estructurados con pandas. Sin embargo, se logró llegar a la ejecución del programa sin errores.

En la Figura 56 se puede ver el resultado de la interfaz gráfica de usuario desarrollada para el Plan de Mantenimiento Eléctrico “PMEI”. Esta interfaz permite registrar únicamente las actividades programadas que se llevarán a cabo durante paros previamente planificados.

Las actividades se integran al plan de mantenimiento a partir de las rutinas establecidas en el departamento eléctrico. Por esta razón, fue necesario realizar modificaciones en los formatos de dichas rutinas, con el objetivo de facilitar la identificación, el seguimiento y la incorporación de nuevas actividades al sistema. Esta estrategia permite mejorar el control y la gestión del mantenimiento eléctrico de manera organizada y eficiente.

Figura 56 Interfaz gráfica de usuario del PMEI

Nota. Imagen elaborada por el autor a partir de código desarrollado durante la residencia profesional, abril de 2025.

4.9 Capacitación y uso del Software

Con el objetivo de asegurar el uso adecuado del software, se brindó capacitación al personal técnico. Esta formación les permite registrar correctamente las actividades correspondientes, de acuerdo con los hallazgos obtenidos durante la ejecución de sus rutinas de mantenimiento y procesos de monitoreo. En la Figura 57 se observa las capacitaciones de algunos técnicos en turno.



Figura 57 Capacitación al personal técnico del área Mantenimiento eléctrico
Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

Esta preparación fue esencial para asegurar que el sistema funcionara de manera eficiente desde su puesta en marcha.

4.10 Implementación del PMEI con Software

Con la implementación completa del PMEI, se ha consolidado un sistema integral y más eficiente, para la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento durante los paros programados. Como parte de esta implementación, se actualizaron los formatos de rutinas del departamento eléctrico, lo cual permitió identificar con mayor claridad los equipos principales y secundarios, y programar las tareas directamente en el sistema.

Posteriormente, se capacitó al personal técnico para garantizar el uso adecuado del software y la correcta ejecución de las rutinas. Con esta formación, los técnicos pudieron registrar en tiempo y forma las actividades detectadas durante sus recorridos y procesos de monitoreo, como se puede ver en la Figura 58.

PMEI PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO. OVERMADE MÁQUINA 7

Fecha: 17/05/2025

Tipo de Motor: ☐ Principales ☒ Secundarios BUS: MCC1 Equipo: M20A02 - Agitador del Tanque de M. Actividad: Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rod Fecha programada: 2025-05-21 Responsable: Ivan [Agregar Actividad]

DATOS DEL EQUIPO SELECCIONADO

TAG: M20A02 Potencia (KW): 30.0 Voltaje: 415.0
 Ubicación: TQ (CCM: E2) Amperaje: 54.0 RPM: 982.0

ACTIVIDADES PROGRAMADAS

Actividad	Equipo	TAG	Ubicación	Fecha	Responsable	Estado	
Mantenimiento del Equipo como Cambio de l	Motor Central Hidraulica 3	M60M40_3	SO2 (CCM: C6)	2025-05-20	Ivan	Completado	[Eliminar] [Completar] [Guardar]
Mantenimiento del Equipo como Cambio de l	Bomba del Tanque de Maq	M20B01	TQ (CCM: G2)	2025-05-21	Ivan	Completado	
Otra: Sopleteo	Motor Central Hidraulica 2	M60M40_2	SO2 (CCM: C7)	2025-05-21	Ivan	Completado	
Mantenimiento del Equipo como Cambio de l	Agitador del Tanque de Me	M20A02	TQ (CCM: E2)	2025-05-21	Ivan	Completado	

Estadísticas:
 Total actividades: 4 Pendientes: 0 Completadas: 4

Figura 58 Registro de actividades detectadas en el monitoreo de rutinas
 Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

Una vez establecido el cronograma de mantenimiento, se logró ejecutar tanto el mantenimiento en paros programados, asignando responsables específicos para cada actividad. Todo el proceso se llevó a cabo cumpliendo con las normas de seguridad industrial vigentes, además de aplicar rigurosamente los procedimientos LOTO (Lockout/Tagout) durante las intervenciones.

El software desarrollado desempeñó un papel clave en esta implementación, ya que permitió registrar sistemáticamente cada intervención. Esta integración de herramientas digitales, procedimientos técnicos y personal capacitado facilitó el seguimiento y la organización de las labores de mantenimiento eléctrico. Como resultado, se logró una mayor eficiencia operativa, una reducción significativa de los tiempos muertos por fallas no previstas y una operación más segura y controlada en el área de mantenimiento eléctrico.

4.11 Evaluación del Desempeño PMEI

Para evaluar el desempeño del PMEI se evaluó el tiempo perdido en las actividades durante paros programados para saber si dio resultados la planificación de actividades durante las rutinas y la eficiencia del software en esa planificación. Esta evaluación se analiza a detalle en la Capítulo V Resultados.

4.12 Optimización del Plan de Mantenimiento

Para una mejora continua, se llevaron a cabo ajustes al cronograma de mantenimiento basados en el desempeño de los equipos y las fechas en los paros programados. El paro más reciente fue del 29 de abril, razón por la que se programó para esa fecha las actividades encontradas.

Gracias a esta adaptación, se mejoró la eficiencia del plan de mantenimiento y se fortaleció la confiabilidad operativa. A futuro, se continuará evaluando y actualizando datos para ajustar el cronograma dependiendo de las fechas establecidas en los paro programado, de esta manera nos aseguramos de que el sistema estará alineado con las condiciones reales paros programados y responda eficazmente a los cambios en el entorno industrial.

Capítulo V. Resultados

5.1 Descripción de la Interfaz del Software PMEI

El Software PMEI para planificar y organizar de manera eficiente las actividades de mantenimiento eléctrico se muestra a continuación, la interfaz de usuario del software PMEI. En la Figura 59 se puede ver la interfaz completa del PMEI.

PMEI PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO. OVERMADE MÁQUINA 7

Fecha: 23/05/2025

Tipo de Motor: ☐ Principales ☐ Secundarios

BUS: Equipo: Actividad: Fecha programada: Responsable: Agregar Actividad

DATOS DEL EQUIPO SELECCIONADO

TAG: Potencia (KW): Voltaje:
Ubicación: Amperaje: RPM:

ACTIVIDADES PROGRAMADAS

Actividad	Equipo	TAG	Ubicación	Fecha	Responsable	Estado
-----------	--------	-----	-----------	-------	-------------	--------

Eliminar Completar Guardar

Estadísticas:
Total actividades: 0 Pendientes: 0 Completadas: 0

Figura 59 Interfaz del PMEI

Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

En la Figura 60 se puede ver la sección de la pantalla con la clasificación de los equipos, los cuales pueden ser principales o secundarios. Al seleccionar cualquiera de estas categorías, se despliega el BUS del cual se alimenta el equipo, así como el nombre correspondiente y sus datos de la placa de cada equipo.

Por ejemplo, al seleccionar un equipo del BUS “Drive 3”, se visualizan todos los equipos asociados a dicho BUS. Posteriormente, se elige la actividad a realizar, contando con siete opciones previamente definidas en el código: mantenimiento del

equipo (como cambio de rodamientos, limpieza, lubricación y ajuste de conexión); mantenimiento de tableros y sistema de compensación; habilitación del drive y pruebas de funcionamiento; reapriete de conexiones en tableros del CCM; mantenimiento al banco de capacitores; cambio de fusibles y portafusibles en tableros de fuerza; y una opción adicional para otro tipo de actividad, la cual puede ser descrita en un apartado específico.

Tipo de Motor: ☒ Principales ☐ Secundarios

BUS: Drive 3

Equipo: MD60A00 - Rodillo Formador

Actividad: Mantenimiento del Equipo como Cambio de Rod

DATOS DEL EQUIPO SELECCIONADO

TAG:	MD60A00	Potencia (KW):	230.0	Voltaje:	480.0
Ubicación:	T-F (CCM: P)	Amperaje:	330.0	RPM:	1788.0

Figura 60 Sección del tipo de motor, BUS, equipo, datos y actividad a realizar
 Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

Para la Figura 61 se puede ver la sección de la pantalla donde se programa la fecha de realización de la actividad, considerando las fechas de los paros programados. También se asigna al responsable correspondiente y se dispone de un botón para agregar la actividad seleccionada al plan de mantenimiento.

Fecha programada: 2025-05-23

Responsable:

Agregar Actividad

Figura 61 Programación y registro de actividad
 Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

Como se puede ver en la Figura 62, se observa la sección de pantalla con una actividad agregada al plan de mantenimiento. Esta sección de la pantalla muestra el resumen de la programación realizada, incluyendo la fecha, el responsable y la actividad registrada.

ACTIVIDADES PROGRAMADAS						
Actividad	Equipo	TAG	Ubicación	Fecha	Responsable	Estado
Reapriete de Conexiones en Tableros en CCM.	Rodillo Formador	MD60A00	T-F (CCM: P)	2025-05-23	Alejandro Muñoz	Pendiente

Figura 62 Resumen de actividades programadas
Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

Como se puede ver en la Figura 63, en el extremo opuesto de la pantalla se encuentran tres opciones: eliminar actividades, marcar actividades como completadas y guardar todo el proceso realizado.

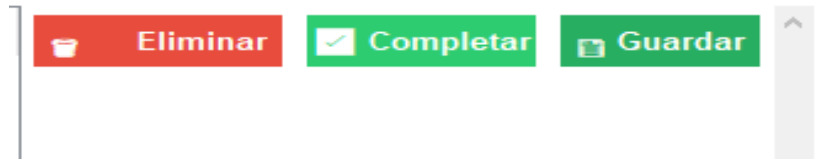


Figura 63 Opciones para eliminar, completar y guardar actividades del PMEI
Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

En la Figura 64 se puede ver la estadística sobre el total de actividades, incluyendo cuántas están pendientes y cuántas se han completado.

Estadísticas:		
Total actividades:	1	Pendientes: 1 Completadas: 0

Figura 64 Estadísticas de actividades pendientes y completadas
Nota. Imagen elaborada por el autor durante la residencia profesional, abril de 2025.

5.2 Evaluación del Cumplimiento de Actividades del Mto Eléctrico

Se evaluó el cumplimiento de actividades en el departamento eléctrico en paros programados para los meses de marzo y abril.

La Tabla 6 muestra el nivel de cumplimiento de las actividades correspondientes al primer paro programado del mes de marzo, evidenciando que se logró ejecutar el 100% de las actividades planificadas.

Tabla 6 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 04/03/25

CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL PARO PROGRAMADO				
Críticas				
Paro de Maquina 7 04/03/2025				
Departamento	Actividades Comprometidas	Actividades Realizadas	Cumplimiento	Confiabilidad
Mecánico	12	13	108%	
Instrumentación	8	8	100%	
Eléctrico	3	3	100%	
Lubricación	6	4	67%	
Total	29	28	94%	
NOTA: Se ejecutaron 2 actividades mecánicas no planeadas, 1 actividad eléctrica no planeada y 2 actividades de lubricación no planeada.				
Se estará monitoreando la efectividad de mantenimiento				

Nota. Información proporcionada por O. Barruecos, planeador de mantenimiento de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Abril de 2025.

La Tabla 7 muestra el nivel de cumplimiento de las actividades correspondientes al segundo paro programado del mes de marzo, evidenciando que no solo se logró ejecutar todas las actividades planificadas, sino que se ejecutó una actividad de más, dándonos un 150% de cumplimiento.

Tabla 7 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 18/03/25

CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL PARO PROGRAMADO				
Críticas				
Paro de Maquina 7 18/03/2025				
Departamento	Actividades Comprometidas	Actividades Realizadas	Cumplimiento	Confiabilidad
Mecánico	17	19	112%	
Instrumentación	1	1	100%	
Eléctrico	2	3	150%	
Lubricación	15	15	100%	
Total	35	38	115%	
NOTA: Se ejecutaron 2 actividades mecánicas no planeadas y 1 actividad eléctrica no planeada. Se estará monitoreando la efectividad de mantenimiento				

Nota. Información proporcionada por O. Barruecos, planeador de mantenimiento de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Abril de 2025.

La Tabla 8 refleja un cumplimiento del 100% en las actividades del primer paro programado de abril. Se logró ejecutar todas las actividades planificadas.

Tabla 8 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 09/04/25

CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL PARO PROGRAMADO				
Críticas				
Paro de Maquina 7 09/04/2025				
Departamento	Actividades Comprometidas	Actividades Realizadas	Cumplimiento	Confiabilidad
Mecánico	35	35	100%	
Instrumentación	16	16	100%	
Eléctrico	4	4	100%	
Lubricación	8	8	100%	
Total	63	63	100%	
NOTA: Se ejecutaron todas las actividades. Se estará monitoreando la efectividad de mantenimiento				

Nota. Información proporcionada por O. Barruecos, planeador de mantenimiento de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Abril de 2025.

Como se puede ver en la Tabla 9 muestra un cumplimiento del 80% de las actividades correspondientes al segundo paro programado de abril. Esto ocurrió a recorte de tiempos por parte de producción, sin embargo, se logró cumplir más del 50% comparado con otros paros, como se describe en la problemática.

Tabla 9 Cumplimiento de actividades del paro programado de MAQ7 del 29/04/25

CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DEL PARO PROGRAMADO				
Críticas				
Paro de Maquina 7 29/04/2025				
Departamento	Actividades Comprometidas	Actividades Realizadas	Cumplimiento	Confiabilidad
Mecánico	23	19	83%	
Instrumentación	7	7	100%	
Eléctrico	5	4	80%	
Lubricación	13	10	77%	
Total	48	40	85%	
NOTA: No se ejecutaron 4 actividades mecánicas, 1 actividad eléctrica y 3 actividades de lubricación. Se estará monitoreando la efectividad de mantenimiento				

Nota. Información proporcionada por O. Barruecos, planeador de mantenimiento de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Mayo de 2025.

La Tabla 10 presenta un resumen comparativo de los meses de marzo y abril, evidenciando una mejora en el cumplimiento de las actividades durante los paros programados, atribuible a la implementación del PMEI.

Tabla 10 Cumplimiento de Actividades de Paros Programados MAQ7 Mensual

CUMPLIMIENTO DE ACTIVIDADES DE PAROS PROGRAMADOS MAQ7 MENSUAL					
Departamento	MES	MARZO		ABRIL	
	FECHA	04/03/2025	18/03/2025	09/04/2025	29/04/2025
Eléctrico		100%	150%	100%	80%

Nota. Tabla elaborada por el autor con base en datos proporcionados por O. Barruecos, planeador de mantenimiento de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Mayo de 2025.

5.3 Evaluación del Tiempo de Inactividad durante Paros Programados

La Tabla 11 muestra el tiempo perdido durante el mes de abril, registrándose un total de 352 minutos debido a apagones eléctricos. Cabe señalar que dichas interrupciones fueron ocasionadas por eventos transitorios externos atribuibles a CFE, y no por fallas internas de la empresa. No obstante, se actuó con prontitud para restablecer el sistema regenerativo en el menor tiempo posible.

Tabla 11 Tiempo perdido No Operacional abril con Paro

TIEMPO PERDIDO NO OPERACIONAL ABRIL CON PARO					
TIPO	DESCRIPCION	TP (Min)	%	Acumulado	%
ELECTRICO	APAGÓN ELÉCTRICO	352	22%	352	22%
INSTRUMENT	BAJAR PRENSA DE SUCCIÓN EN MODO TRABAJO, POR FALLA EN AGUA DE SELLOS	330	21%	682	42%
INSTRUMENT	FALLA EN CABLE SENSOR DESVÍO DE FIELTRO L.T.	208	13%	890	55%
MECANICO	CALIBRACIÓN DE DOCTORS	130	8%	1020	64%
INSTRUMENT	DIFERENCIA DE VELOCIDAD YANKEE	130	8%	1150	72%
INSTRUMENT	BAJA PRESIÓN DE AIRE	90	6%	1240	77%
INSTRUMENT	DESVIO DE TELA Y FIELTRO	90	6%	1330	83%
MECANICO	PROBLEMAS CON BOMBA DE VACÍO	66	4%	1396	87%
INSTRUMENT	FALLA EN SENSORES, AGUA DE SELLOS	62	4%	1458	91%
OTROS	FALLA EN PRESIÓN DE GAS	62	4%	1520	95%
INSTRUMENT	DIFERENCIA DE PRESIONES, PRENSA DE SUCCIÓN	50	3%	1570	98%
INSTRUMENT	FALLA EN DOCTOR DE CORTE	35	2%	1605	100%
TOTAL		1605	100%	14213	886%

Nota. Información proporcionada por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Mayo de 2025.

La Tabla 12 muestra que, a pesar del tiempo perdido, el departamento eléctrico únicamente represento el 4% en comparación con el resto de las áreas, siendo inferior al registrado en enero (7%). Estos resultados evidencian que la implementación del PMEI ha contribuido a una mejor planificación y organización de las actividades, incrementando la eficiencia operativa y alcanzando los resultados esperados

Tabla 12 Porcentaje de Participación por Área de Abril 2025

PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN POR AREA MENSUAL		
DESCRIPCIÓN	MIN.	%
OPERACIONAL	6700	81%
MECANICO	196	2%
ELECTRICO	352	4%
INSTRUMENTACION	995	12%
OTROS	62	1%
TOTAL	8305	100%

Nota. Tabla elaborada por el autor con base en datos proporcionados por personal administrativo del área de producción de CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. (comunicación personal), Mayo de 2025.

En los resultados esperados se logró:

- Conocer el proceso de fabricación del papel TISSUE.
- Establecer y actualizar rutinas de mantenimiento para la máquina 7 Overmade.
- Desarrollo del software PMEI para la programación y seguimiento de actividades de mantenimiento eléctrico.
- Evaluar la efectividad del Software PMEI con las rutinas de mantenimiento.

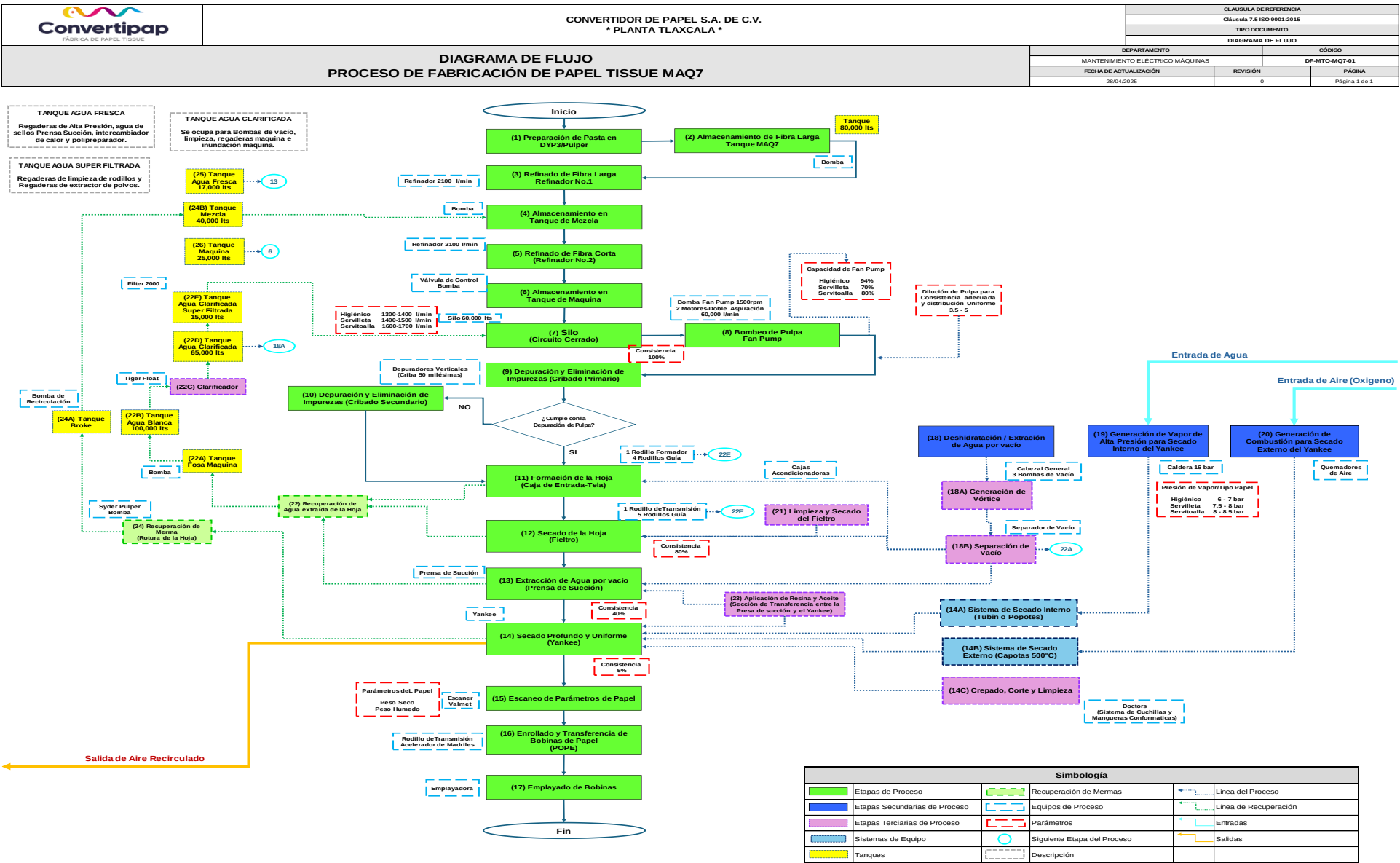
Referencias

- [1] STM volta, «¿Cómo funcionan las Instalaciones Eléctricas Industriales?,» 19 Abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.stmsa.com/como-funcionan-las-instalaciones-electricas-industriales/>. [Último acceso: 31 Marzo 2025].
- [2] CIMELSA, «Instalaciones Eléctricas Industriales: ¿Cómo funcionan?,» 15 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.cimelsa.com/es/instalaciones-electricas-industriales-como-funcionan/>. [Último acceso: 31 Marzo 2025].
- [3] TotalEnergies, «CONOCE MEJOR EL SISTEMA ELÉCTRICO AL QUE TE CONECTAS,» 17 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/conoce-el-sistema-electrico-al-que-te-conectas>. [Último acceso: 31 Marzo 2025].
- [4] CFE Comisión Federal de Electricidad, «Manual Diseño de Subestación Eléctrica de Distribución,» Febrero 2014. [En línea]. Available: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/construccion/pdfs/e/dcdsebpe.pdf>. [Último acceso: 31 Marzo 2025].
- [5] REPSOL, «Transformación, transmisión y distribución de la electricidad,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/subestacion-electrica/index.cshtml>. [Último acceso: 31 Marzo 2025].
- [6] CFE Comisión Federal de Electricidad, «Tensiones de Sistemas de Distribución, Subtransmisión y Transmisión,» Junio 1985. [En línea]. Available: <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/d/L0000-02.pdf>. [Último acceso: 02 Abril 2025].
- [7] Diario Oficial de la Federación, «Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-018-CRE-2019,» 2019. [En línea]. Available: https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/8096/cre11_C/cre11_C.html. [Último acceso: 02 Abril 2025].
- [8] Motores Dafa, «Instalación monofásica o trifásica, ¿cuál conviene?,» Revista Ingeniería Eléctrica, Diciembre 2021. [En línea]. Available: https://www.editores.com.ar/empresa/dafa/20211220_instalacion_monofasica_o_trifasica_cual_conviene. [Último acceso: 03 Abril 2025].
- [9] BB Elektron Materiales Electricos, «TABLEROS ELÉCTRICOS: TODO LO QUE NECESITAS SABER SOBRE ELLOS,» 19 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://www.elektron.com.mx/blog/post/tableros-electricos-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-ellos>. [Último acceso: 03 Abril 2025].

- [10] Promelsa Artículos Técnicos, «¿Cuáles son los tipos de tableros de distribución?,» 19 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.promelsa.com.pe/blog/post/tipos-tableros-distribucion.html>. [Último acceso: 04 Abril 2025].
- [11] Electro Enchufe, «¿Cuáles son las partes de un tablero eléctrico?,» 09 Agosto 2024. [En línea]. Available: <https://electroenchufe.com/blog/conoce-partes-de-un-tablero-electrico/>. [Último acceso: 04 Abril 2025].
- [12] NVENT, «Qué es un Tablero Eléctrico y cuáles son sus características,» 25 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.nvent.com/en-bo/hoffman/que-es-un-tablero-electrico-y-cuales-son-sus-caracteristicas>. [Último acceso: 04 Abril 2025].
- [13] T. S. Salazar, «Control de Motores: Todo lo que Necesitas Saber,» Schneider Electric, 10 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://blogespanol.se.com/gestion-de-la-energia/2023/07/10/control-de-motores-todo-lo-que-necesitas-saber/>. [Último acceso: 04 Abril 2025].
- [14] D. Vindas, «Componentes de Control Industrial. Cuando usar un arrancador suave o un variador de frecuencia,» 22 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://blog.elvatron.com/componentes-de-control-industrial/cuando-usar-un-arrancador-suave-o-un-variador-de-frecuencia>. [Último acceso: 07 Abril 2025].
- [15] VDE Villarreal División Equipos, «Todo lo que necesita saber sobre los Arrancadores Eléctricos para Motores y Motobombas,» 03 Abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.vde.com.mx/blog/post/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-arrancadores-electricos-para-motores-y-motobombas>. [Último acceso: 07 Abril 2025].
- [16] Greatland Machinery, «16t/d Bomba de Stock, Bomba de Ventilador para Línea de Máquina de Fabricación de Papel,» Made-in-China Connecting Buyers with Chinese Suppliers, [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_glmachinery/product_16t-D-Stock-Pump-Fan-Pump-for-Paper-Making-Machine-Line_euogshnoy.html. [Último acceso: 08 Abril 2025].

Anexos

Anexo 1. DF-MTO-MQ7-01_Diagrama de Flujo_Proceso de Fabricación de Papel TISSUE MAQ7.



Anexo 2. INS-MTO-MQ7-01 Cargas Instaladas de Maquina 7.

 Convertipap FÁBRICA DE PAPEL TISSUE		CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. * PLANTA TLAXCALA *				CLAUSULA DE REFERENCIA			
						Cláusula 7.5 ISO 9001:2015			
						TIPO DOCUMENTO			
						DOCUMENTO TÉCNICO			
CARGAS INSTALADAS DE MAQUINA 7						DEPARTAMENTO		CÓDIGO	
						MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MÁQUINAS		INS-MTO-MQ7-01	
						FECHA DE ACTUALIZACIÓN	REVISIÓN	PÁGINA	
						28/04/2025	0	Página 1 de 1	
MCC 1									
TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	KW	A	V	R.P.M	TIPO DE ARRANQUE		SECCIÓN	
M12A05A	Motor Refinador B (F. Larga)	355	520	480	1793	ARRANCADOR SUAVE		D2	
M20A02	Agitador del Tanque de Mezcla	30	54	415	982	TENSIÓN PLENA		E2	
M20A03	Bomba del Tanque de Mezcla	22.8	38.5	440	1770	TENSIÓN PLENA		E3	
M20A06	Agitador del Tanque de Maquina	18	29	480	1170	TENSIÓN PLENA		E6	
M12A05B	Motor de Discos del Refinador B	0.25	0.66	460	1710	TENSIÓN PLENA		E7	
M20B01	Bomba del Tanque de Maquina	22.8	38.5	440	1770	TENSIÓN PLENA		G2	
M20C01	Motor del Depurador Vertical	90	141	480	888	ARRANCADOR SUAVE		G3	
M20A07A	Motor Refinador A (F. Corta)	355	520	480	1793	ARRANCADOR SUAVE		H2	
M20C03	Motor de la Criba Secundaria	36	63	440	1175	ARRANCADOR SUAVE		L2	
M20A07B	Motor de Discos del Refinador A	0.25	0.66	460	1710	TENSIÓN PLENA		I4	
MCC 2									
TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	KW	A	V	R.P.M	TIPO DE ARRANQUE		SECCIÓN	
M25A02	Motor Syder Pulper (Cuchilla)	90	155	415	991	ARRANCADOR SUAVE		A2	
M25A03	Bomba Syder Pulper	22	37	440	1770	TENSIÓN PLENA		A3	
M25A04	Bomba Recirculación Pulper	5.5	10.6	440	1175	TENSIÓN PLENA		A4	
M25B02	Agitador del Tanque Broke	37	65	415	985	TENSIÓN PLENA		A5	
M30A05	Bomba de Agua Blanca	56.7	90	440	1784	TENSIÓN PLENA		C2	

Anexo 3. INS-MTO-MQ7-02 Rutina de Inspección de Temperatura de Drives Maquina 7.

		CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. * PLANTA TLAXCALA *		CLAUSULA DE REFERENCIA Cláusula 7.5 ISO 9001:2015 TIPO DOCUMENTO RUTINA DE INSPECCIÓN																												
RUTINA DE INSPECCIÓN DE TEMPERATURA DE DRIVES MAQUINA 7				DEPARTAMENTO MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MÁQUINAS		CÓDIGO INS-MTO-MQ7-02																										
				FECHA DE ACTUALIZACIÓN 28/04/2025		REVISIÓN 1																										
				PÁGINA Página 1 de 1																												
NOMBRES		ELÉCTRICO 1: _____ ELÉCTRICO 2: _____		ELÉCTRICO 3: _____ ELÉCTRICO 4: _____		FECHA: _____ MARZO 2025																										
TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	Lecturas en °C																														
		DÍAS																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
DRIVE 1-2																																
MD62A04	Ventilador de Combustion LH																															
MD62B05	Ventilador de Combustión LS																															
MD62E01	Ventilador de Salida de Aire																															
MD62B01	Ventilador de Resirculación LS																															
MD62A01	Ventilador de Resirculación LH																															
MD20C02_1	Fan pum A																															
MD20C02_2	Fan pum B																															
DRIVE 3																																
MD60C05	Prensa elevada																															
MD60C03_A	Motor secador Yankee A																															
MD60C03_B	Motor secador Yankee B																															
MD60A00	Rodillo Formador																															
MD60C01	Motor de transmision fieltro																															
M61A03	Bomba del extractor de polvo																															
M63E01	Extractor de Brisa																															
M61E01	Extractor de polvo																															
M60A16	Chorrito cortador																															
MD60M01	Acelerador de Mandriles																															

Página 1

Anexo 4. INS-MTO-MQ7-03 Lectura de Masterpack Maquina 7.

 Convertipap FÁBRICA DE PAPEL TISSUE		CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. * PLANTA TLAXCALA *			CLAUSULA DE REFERENCIA	
					Cláusula 7.5 ISO 9001:2015	
					TIPO DOCUMENTO	
					FORMATO	
LECTURA DE MASTERPACK MAQUINA 7					DEPARTAMENTO	
					MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MÁQUINAS	
					FECHA DE ACTUALIZACIÓN	REVISIÓN
					28/04/2025	0
					CÓDIGO	
					INS-MTO-MQ7-03	
					PÁGINA	
					Página 1 de 1	

REALIZO:				SUBESTACION 7						FECHA: _____ MARZO 2025	
MAQUINA CORRIENDO: _____ m/min										HORA: _____	
FABRICACION:				TRAFO. 1"2500kva" TRAFO. 2"2500kva" TRAFO. 3"2500kva"						UNIDADES	
1	Promedio	3Ø Voltaje								Volts	
2		3Ø Corriente		Ampers							
3		3Ø Potencia		Kwatts							
4	Corriente	Linea	A	Ampers							
5			B	Ampers							
6			C	Ampers							
7		Neutro	N	Ampers							
8	Voltaje	Fase_Neutro	A-N	Volts							
9			B-N	Volts							
10			C-N	Volts							
11		Fase-Fase	A-B	Volts							
12			B-C	Volts							
13			C-A	Volts							
14	Potencia	Activa		Kw							
15		Reactiva		KVAR							
16		Aparente		KVA							

Anexo 5. INS-MTO-MQ7-04 Rutina de Inspección de Motores Principales-Secundarios Maquina 7.

 Convertipap FÁBRICA DE PAPEL TISSUE		CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. * PLANTA TLAXCALA *										CLAÚSULA DE REFERENCIA						
												Cláusula 7.5 ISO 9001:2015						
												TIPO DOCUMENTO						
												RUTINA DE INSPECCIÓN						
RUTINA DE INSPECCIÓN DE MOTORES PRINCIPALES MAQUINA 7												DEPARTAMENTO		CÓDIGO				
												MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MÁQUINAS		INS-MTO-MQ7-04				
												FECHA DE ACTUALIZACIÓN		REVISIÓN				
												28/04/2025		1				
INSTRUCCIONES DE LA RUTINA: TOMAR LOS DATOS REQUERIDOS DIARIAMENTE Y ANOTAR EN OBSERVACIONES LOS PROBLEMAS QUE SE ENCUENTREN EN EL MOTOR, A SU ALREDEDOR O EN EL DRIVE DURANTE LA REALIZACIÓN DE ESTA.												FECHA:		MARZO 2025				
TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	UBICACIÓN		KW	HP	AMP	AMPERAJE			TEMPERATURA			MOTOR				SILLETA/TABLERO	
		MAQ	CCM				L1	L2	L3	LT	C	LV	RUÍDO	VIBRACIÓN	LIMPIEZA	TIERRA FÍSICA	INDICADOR ES	CALENTAMIENTO
DRIVE 1-2																		
MD20C02_1	Fan Pump A	SD1	B	500	670.5	730												
MD20C02_2	Fan Pump B	SD1	D	500	670.5	730												
MD62A01	Ventilador de Recirculación LH	HL	G	250	335.25	370												
MD62A04	Ventilador de Combustión LH	HL	L	51	68.391	80												
MD62B01	Ventilador de Recirculación LS	HL	H	250	335.25	370												
MD62B05	Ventilador de Combustión LS	HL	L	51	68.391	80												
MD62E01	Ventilador de Salida de Aire	HL	I	86	115.326	137												
FE62A00	Burner Control PANEL WET		F (350Q2)															
FE62AB00	Burner Control PANEL DRY		F (350Q3)															
DRIVE 3																		
M60M40_1	Motor Central Hidraulica 1	SD2	B7	23	30.843	36.5												
M60M40_2	Motor Central Hidraulica 2	SD2	C7	23	30.843	36.5												
M60M40_3	Motor Central Hidraulica 3	SD2	C6	3.2	4.2912	5.2												
M68E01	Bomba de Condensado 1	YAN	E5	18.5	24.8085	28.01												
M68E02	Bomba de Condensado 2	YAN	E6	18.5	24.8085	28.01												
M61E01	Extractor de Polvo	HL	H	184	246.744	280												
M63E01	Extractor de Brisa	HL	I	66	88.506	137												
MD60A00	Rodillo Formador	T-F	P	230	308.43	330												
MD60C05	Prensa Elevada	YAN	R	250	335.25	370												
MD60C03_A	Motor Secador Yankee A	YAN	Q	290	388.89	420												
MD60C03_B	Motor Secador Yankee B	YAN	Q	290	388.89	420												
MD60M01	Acelerador de Mandriles	DPP	S	21.3	28.5633	32												
MD60M00	Rodillo POPE	DPP	S	63	84.483	93												

		CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. * PLANTA TLAXCALA *										CLAUSULA DE REFERENCIA							
												Cláusula 7.5 ISO 9001:2015							
												TIPO DOCUMENTO							
												ROUTINA DE INSPECCIÓN							
ROUTINA DE INSPECCIÓN DE MOTORES SECUNDARIOS MAQUINA 7												DEPARTAMENTO				CÓDIGO			
												MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MÁQUINAS				INS-MTO-MQ7-04			
												FECHA DE ACTUALIZACIÓN				REVISIÓN		PÁGINA	
												28/04/2025				1		Página 2 de 2	
INSTRUCCIONES DE LA ROUTINA: TOMAR LOS DATOS REQUERIDOS DIARIAMENTE Y ANOTAR EN OBSERVACIONES LOS PROBLEMAS QUE SE ENCUENTREN EN EL MOTOR, A SU ALREDEDOR O EN EL DRIVE DURANTE LA REALIZACIÓN DE ESTA.																		FECHA: MARZO 2025	
TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	UBICACIÓN		KW	HP	AMP	AMPERAJE			TEMPERATURA			MOTOR				SILLETA/TABLERO		
		MAQ	CCM				L1	L2	L3	LT	C	LV	RUIDO	VIBRACIÓN	LIMPIEZA	TIERRA FÍSICA	INDICADOR ES	CALENTAMIENTO	
DRIVE 1-2																			
MD20C02_1 /251M2	Ventilador de Fan Pump A	SD1	F (250Q)	1.27	1.70307	2.25													
MD20C02_2 261M2	Ventilador de Fan Pump B	SD1	F (260Q)	1.27	1.70307	2.25													
MD62A01/271M2	Ventilador del Motor Recirculación LH	HL	F (270Q)	0.52	0.69732	1.13													
MD62A04/296M2	Ventilador del Motor Combustión LH	HL	F (295Q)	0.52	0.69732	1.13													
MD62B01/286M2	Ventilador del Motor Recirculación LS	HL	F (285Q)	0.86	1.15326	1.63													
MD62B05/301M2	Ventilador del Motor Combustion LS	HL	F (300Q)	0.86	1.15326	1.63													
MD62E01/291	Ventilador del Motor de Salida de Aire	HL	F (290Q)	0.86	1.15326	1.63													
M62C01	MAKE-UP FAN		F (350Q1)																
DRIVE 3																			
M60A03	Motor Caja de Entrada (A.Labio)	T-F	B2	0.75	1.00575	2.8													
M60A04	Levantador del Rodillo de Pasta	T-F	B3	1	1.341	3.7													
M60A05	Tensor de Tela	T-F	B4	1	1.341	3.7													
M60C04	Tensor del Fieltro	T-F	B5	1.8	2.4138														
M60C25	Motor del Reductor del Yankee	YAN	B6	1.15	1.54215	4.3													
M60C40_1	Motor Unidad de Lubricación 1	YAN	C5	11.6	15.5556	18.6													
M60C40_2	Motor Unidad de Lubricación 2	YAN	C4	11.6	15.5556	18.6													
M60Q10	Ventilador QCS		E3	4.55	6.10155	7.7													
M60A16	Chorro Cortador	YAN	I	0.4	0.5364	2													
M61A03	Bomba del Extractor de Polvo		I	21.3	28.5633	32													

Anexo 6. INS-MTO-SUB7-01 Rutina de Inspección de Transformadores Subestación 7.

 FÁBRICA DE PAPEL TISSUE	CONVERTIDOR DE PAPEL S.A. DE C.V. * PLANTA TLAXCALA *						CLAUSULA DE REFERENCIA								
							Cláusula 7.5 ISO 9001:2015								
							TIPO DOCUMENTO								
							RUTINA DE INSPECCIÓN								
RUTINA DE INSPECCIÓN DE TRANSFORMADORES SUBESTACIÓN 7 (7500kVA)							DEPARTAMENTO		CÓDIGO						
							MANTENIMIENTO ELÉCTRICO MÁQUINAS		INS-MTO-SUB7-01						
							FECHA DE ACTUALIZACIÓN		REVISIÓN		PÁGINA				
							28/04/2025		1		Página 1 de 2				
REALIZO: <u>ELÉCTRICO EN TURNO</u>							FECHA: _____ MARZO 2025								
TRANSFORMADOR # 1 (2500kVA)							TRANSFORMADOR # 2 (2500kVA)								
DÍA	TEMPERATURA		VACIO	NIVEL DE	FUGAS DE	ÁREA	TEMPERATURA	DÍA	TEMPERATURA		VACIO	NIVEL DE	FUGAS DE	ÁREA	TEMPERATURA
	BLANCA	ROJA	PSI	LIQUIDOS	ACEITE	LIMPIA	REAL		BLANCA	ROJA	PSI	LIQUIDOS	ACEITE	LIMPIA	REAL
1								1							
2								2							
3								3							
4								4							
5								5							
6								6							
7								7							
8								8							
9								9							
10								10							
11								11							
12								12							
13								13							
14								14							
15								15							
16								16							
17								17							
18								18							

Anexo 7. Layout de Distribución de Motores Principales y Secundarios

