

## REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

### ***“ACTUALIZACIÓN DE SISTEMA DE ALINEACIÓN EN LÍNEAS DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICAS”***

**Autor: Fernando Hernández Loeza**

Tesina presentada para obtener el título de:  
**Ingeniero en Mecatrónica**

Nombre del asesor:  
**Aldo Jaime Pureco Niño**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar, organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación “Dr. Silvio Zavala” que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo “Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada”, se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





ESCUELA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

Actualización de sistema de alineación en líneas de impresión flexográficas.

TESINA POR EXPERIENCIA PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

Ingeniero en Mecatrónica

PRESENTA:

Fernando Hernández Loeza

ASESOR:

Aldo Jaime Pureco Niño

CLAVE: 16PSU02140

ACUERDO: LIC120614

MORELIA, MICHOACÁN

Julio, 2022

## Índice

Introducción.....	1
Fábrica de Conversión.....	2
Proceso de fabricación de envases Tetra Pak.....	3
Planteamiento del problema.....	10
Objetivo.....	12
Justificación.....	13
Gastos y ahorros del nuevo sistema de alineación.....	13
Hipótesis.....	14
Capítulo 1: Descripción del funcionamiento de los alineadores de papel.....	15
1.1 Sistema de alineación original.....	16
1.2 Sistema de alineación mejorado.....	18
Capítulo 2: Instalación del equipo.....	20
2.1 Reemplazo de marco de alineación de entrada (Web Guide Infeed).....	21
2.2 Instalación del gabinete CBY11.....	23
2.3 Reemplazo de marco de alineación de salida (Web Guide Outfeed).....	26
2.4 Instalación de cámaras de centrado de impresión (Print Centering).....	27
2.5 Instalación del sistema de alineación de suaje (ETC).....	29
2.6 Cambio de gabinetes eléctricos CBY1.....	30
2.7 Calibración de alineador de entrada y salida.....	32
2.8 Calibración de centrado de impresión.....	38
2.9 Reemplazo de HMI.....	42
2.10 Puesta en marcha y capacitación del personal de operación.....	44
Capítulo 3: Experiencia profesional dentro de la empresa.....	46

3.1 Empleado del taller de mantenimiento.....	46
3.1.1 Mantenimiento Eléctrico.....	46
3.1.2 Mejora de patines para carga de rollos individuales.....	48
3.1.3 Mantenimiento mecánico.....	54
3.2 Maintenance Shift Engineer (Ingeniero de Mantenimiento en Turno). .....	56
3.2.1 Mantenimiento eléctrico y programación de PLC.....	57
3.2.2 Implementación de la metodología WCM dentro de la empresa.....	62
3.3 Maintenance Engineer (Ingeniero de mantenimiento de célula de impresión). .....	72
3.3.1 Automatización de generación de órdenes de averías en SAP.....	75
3.3.2 Proceso de automatización de registro de averías.....	76
3.3.3 Automatización de asignación de actividades preventivas.....	79
3.3.4 Planes futuros.....	80
Glosario.....	81
Bibliografía.....	84

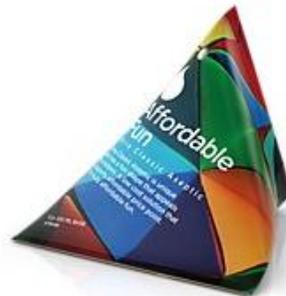
## Introducción.

“Tetra Pak es una de las tres empresas del grupo de origen sueco Tetra Laval, junto con DeLaval y Sidel. Tetra Pak es una empresa fundada en 1951 en Lund, Suecia, por el doctor Ruben Rausing. Tetra Pak se dedica a vender soluciones de envasado de alimentos, convirtiendo materia prima en envases de cartón laminado, ofreciendo la tecnología de envasado y vendiendo planes de mantenimiento para las máquinas llenadoras” (Tetra Pak, s.f.).

“El primer diseño de envase aséptico se basaba en un tubo continuo de cartón que era llenado con el producto y sellado en los extremos, como se puede observar en la ilustración 1, el sellado de los extremos alternando el sentido da como resultado la forma de tetraedro que se puede apreciar en la ilustración 2, de este envase clásico viene el nombre de Tetra Pak” (Tetra Pak, s.f.).



*Ilustración 1 (Tetra Pak, s.f.) Demostración de principio de envasado de tubo continuo que da como resultado el envase en forma de tetraedro.*



*Ilustración 2 (Tetra Pak, s.f.) Envase Tetra Clásico Aséptico en forma de tetraedro.*

A lo largo de los años se han desarrollado nuevos tipos envase con un diseño más convenientes para el consumidor final, por ejemplo, envases que con tapa que se pueden volver a cerrar haciendo que sea más fácil mantener el producto y disponer de él. En México se encuentra una de las fábricas de conversión (converting factory) de

mayor capacidad del mundo, con una producción anual de alrededor de 1 billón de envases.

#### Fábrica de Conversión.

La planta de Tetra Pak Querétaro se encuentra ubicada en la carretera a Querétaro se encuentra ubicada en el municipio de El Pueblito, fue instalada en 1997 y ha tenido grandes inversiones para incrementar su capacidad de producción, convirtiéndose en una de las plantas con mayor complejidad del mundo debido a la gran cantidad de variedades de formatos (tipos de envases) que se pueden producir en sus instalaciones. Se le conoce como fábrica de conversión a las plantas donde se toma la materia prima y se convierte en el envase en sí.

La capacidad instalada de la planta se ha duplicado desde que fue fundada y actualmente en 2022 se está preparando para ampliarse aún más.

## Proceso de fabricación de envases Tetra Pak.

Los envases de Tetra Pak están compuestos de 6 capas, como se puede ver en la ilustración 3 (Tetra Pak, s.f.), a continuación, se describe la función que lleva a cabo cada una de las capas:

1. Plástico para sellar el contenido.
2. Plástico adhesivo para unir el aluminio.
3. Aluminio como barrera para la luz, oxígeno, bacterias y conserva el sabor.
4. Plástico adhesivo para unir las capas anteriores al papel.
5. Papel con diseño impreso, da rigidez al empaque.
6. Plástico para proteger el envase de la humedad externa.

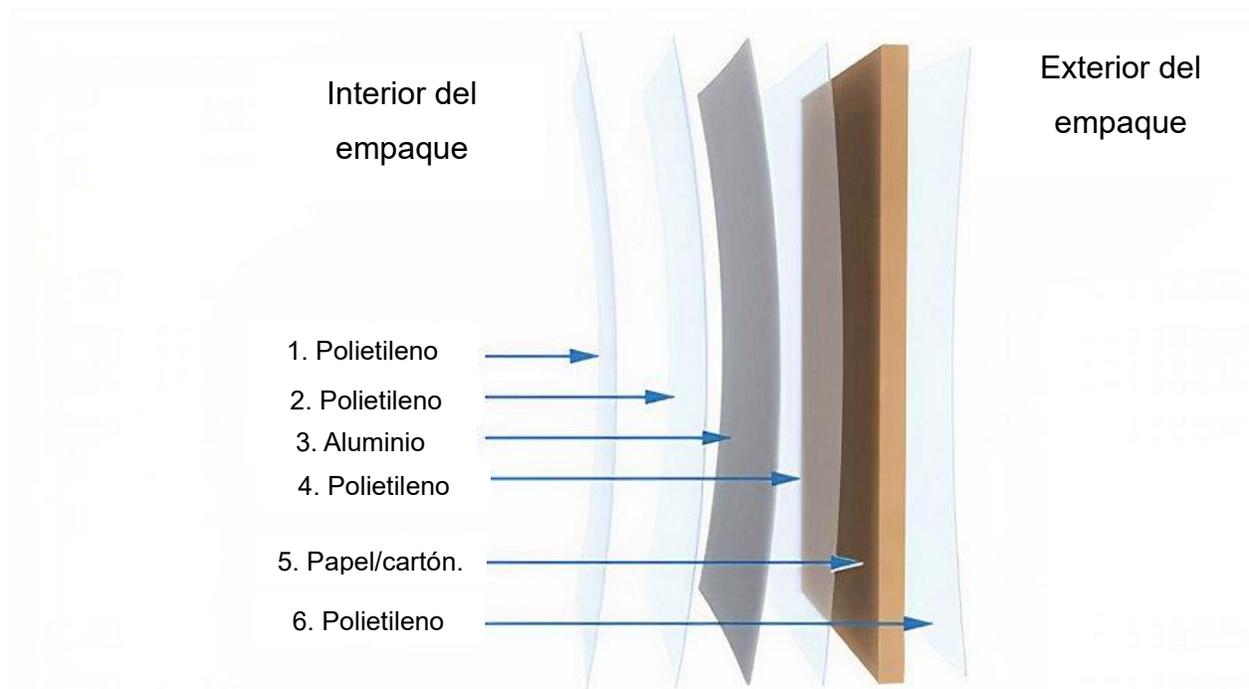


Ilustración 1 (Tetra Pak, s.f.) Composición de un envase aséptico.

La manufactura de un envase en una fábrica de conversión se compone de varios subprocesos consecutivos que se separan en áreas, las áreas de manufactura y sus actividades y procesos se describen a continuación:

#### 1. Preprensa (Pre-press):

- 1) En esta etapa del proceso se “revela” el diseño que irá impreso en el envase en una placa de fotorolímico.
- 2) Dependiendo de la complejidad del diseño del envase, la imagen final se descompone en diferentes capas de color, se pueden tener un máximo de siete capas de color independiente.
- 3) La lámina de fotorolímico ya revelado es cortada en placas las cuales son montadas en una camisa con adhesivo activado por solvente.
- 4) Estas placas montadas en la camisa actúan como sellos que transfieren la tinta al papel, estas camisas se usan en el siguiente proceso de conversión.



*Ilustración 2 (Esko, 2022) Mangas flexográficas con placas de fotorolímico reveladas.*

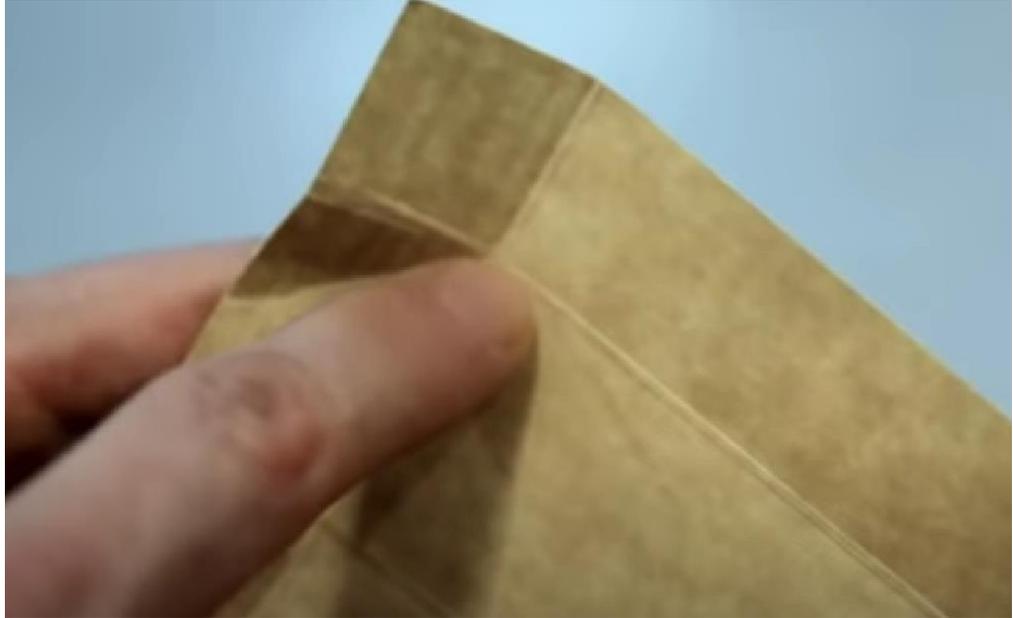
## 2. Impresión (Printing-Press):

- 1) Las camisas preparadas en el proceso anterior se montan en las unidades de impresión necesarias, teniendo un máximo de siete.
- 2) La tecnología de estas impresoras se conoce como flexografía, la flexografía utiliza las placas de fotopolímero flexible (de ahí el nombre de flexografía) que sirven como un sello, de forma similar a la impresión tipográfica de Guttenberg.
- 3) Las impresoras de flexografía utilizan como materia prima un rollo máster completamente en blanco con un ancho de aproximadamente entre 1450 y 1620 mm y hasta con 4 km de papel enrollado.
- 4) El papel pasa a través de unidades de impresión (mostrado en ilustración 5) donde las camisas preparadas en el proceso anterior están montadas, estas camisas transfieren la tinta al sustrato (papel blanco). La velocidad de giro y posición lateral de las camisas es controlada por un sistema con visión artificial que sincroniza los rodillos de las unidades de impresión con un eje virtual para que todas las capas de colores coincidan y se aprecie la imagen completa al final del proceso, a esta sincronización de los colores se le conoce como control de registro.



*Ilustración 3 (Canal Tetra Pak Magyarország ,2014) Unidad de impresión con los rodillos (de izquierda a derecha) anilox y plate transfiriendo tinta al papel.*

- 5) Después de ser impreso, el papel pasa por una troqueladora giratoria que suaja el material como se muestra en la ilustración 6, lo perfora o ambos, dependiendo del tipo de envase a producir.



*Ilustración 4 (Canal Tetra Pak Magyarország ,2014) Predoblado (suaje) visible en el papel.*

- 6) Se utilizan varios sistemas de visión artificial para detectar diferencias en color, manchas o zonas donde la tinta no se transfirió correctamente, estos sistemas también verifican la posición del suaje y las perforaciones hechas por la troqueladora.
- 7) El papel se enrolla nuevamente al final de la línea, los rollos ya impresos son enviados al almacén o pasados directamente al proceso de laminado en caso de que se esté trabajando en línea continua entre el área de impresión y laminación.

### 3. Laminación (Coating):

- 1) Los rollos máster impresos que provienen del proceso anterior pasan por 3 laminadores que van agregando las diferentes capas de polietileno, así como la capa de aluminio. Se utilizan diversas mezclas de polietileno de propiedades variadas, el material y la proporción

exacta dependen del tipo de envase y el tipo de producto que vaya a contener. Por ejemplo, si el envase no es aséptico no se usa aluminio, pero requerirá refrigeración y si el contenido es ácido como el jugo de tomate se utiliza plástico más resistente que el necesario para contener leche.

- 2) El aluminio que se utiliza como materia prima está en forma de una lámina más delgada que un cabello humano, está enrollado en un núcleo de acero que se desenrolla al ser jalado por los rodillos y se adhiere al papel gracias al polietileno.
- 3) El polietileno se recibe en “pellets” que son pequeñas bolas de plástico, los pellets son introducidos en los tornillos de los extrusores por gravedad y la fricción entre el tornillo y el barril del extrusor los funde para poder ser aplicados como una película delgada sobre el papel como se observa en la ilustración 7.



*Ilustración 5 (Canal Tetra Pak Magyarország ,2014) Película de polietileno aplicada al papel en movimiento a través de la línea de laminación.*

- 4) El grosor y la homogeneidad de las películas de polietileno son monitoreadas y controladas constantemente con equipos láser e infrarrojos que detectan discrepancias en el grosor de cada capa, así como partes con falta de cobertura de plástico.

5) La manera de mantener una película de polietileno homogénea es controlando la temperatura en el tornillo de extrusión y en el labio de extrusión de cada uno de los laminadores. La temperatura del barril y el tornillo aumenta a la par con la velocidad de giro del tornillo, y se enfría usando ventiladores. La apertura del labio del extrusor es controlada usando resistencias eléctricas, esto aumenta o disminuye la abertura del labio por donde sale el plástico, una apertura exacta garantiza una película de polietileno continua y homogénea.

#### 4. Corte y Finalizado (Slitter and Finishing).

- 1) Los rollos máster impresos y laminados pasan a máquinas cortadoras que dividen el rollo máster en rollos con un ancho de un envase y aproximadamente 2500 m de material enrollado, que da como resultado un diámetro de aproximadamente un metro.
- 2) Se utilizan ejes de posicionamiento horizontal muy precisos para mover las cuchillas que cortan el rollo máster en rollos individuales, la precisión del sistema es muy importante para que cada rollo tenga el ancho exacto del envase, con una tolerancia de  $\pm 0.1$  mm.
- 3) Los rollos ya cortados, pero con defectos detectados en los procesos de impresión y corte pasan a las máquinas inspección donde un operador busca los defectos y los retira de los rollos, los rollos ya depurados continúan su recorrido como un rollo sin defectos.
- 4) Los rollos sin defectos de calidad, así como los que ya han sido depurados, atraviesan un sistema de rodillos transportadores que cuenta con estaciones de emplayado donde se envuelven los rollos individualmente y se les agrega una etiqueta con un código de barras para su seguimiento.

- 5) Los rollos son apilados en tarimas por dos grúas con sistemas de control de posición vertical y horizontal como la mostrada en la ilustración 8, las grúas toman los rollos usando pinzas acolchadas con goma. Este sistema de grúas lee los códigos de barras que se encuentran en etiquetas previamente adheridas a cada rollo para identificarlo y saber en qué tarima debe ser apilado.



*Ilustración 6 (Canal Tetra Pak Magyarország, 2014) Grúa apilando rollos individuales en tarimas.*

- 6) Las tarimas completas son envueltas en plástico por dos máquinas paletizadoras automáticas, todas estas envolturas plásticas sirven para proteger los rollos terminados durante su transporte.
- 7) Después de ser empleados, las tarimas completas son llevadas al almacén de producto terminado usando montacargas donde serán cargados a camiones y trasladados a las diferentes empresas con llenadoras de Tetra Pak.

## Planteamiento del problema.

En la industria de impresión en masa, las impresoras de flexografía son de las más utilizadas ya que tienen la ventaja de poder imprimir un diseño repetitivo a gran velocidad sobre diferentes sustratos flexibles como papel, cartón, plástico, etc. (Heredia J., 2020),

Algunas de las desventajas del proceso de flexografía son que, debido a las altas velocidades de producción, estas líneas deben tener un control muy preciso para mantener la posición del papel lateralmente y evitar desalineaciones, además de una velocidad constante en todas las etapas por donde pasa el papel, manteniendo una sincronización entre los diferentes ejes que componen la máquina.

En este tipo de proceso incluso un movimiento lateral de 1 mm puede ocasionar defectos en la imagen impresa, y una variación en la velocidad del papel a lo largo de la línea podría causar una ruptura del material, por lo tanto, se deben mantener en sincronía los rodillos que aplican la tinta para que la imagen final sea visible y el papel no se rompa, de no ser así lo que genera es desperdicio, esto es una pérdida económica para la empresa y un daño al medio ambiente que tiene que ser evitado.

Las líneas de impresión instaladas en la empresa cuentan con un sistema de alineación que está basado en una cámara que detecta la orilla del sustrato usando el contraste entre la sombra proyectada por el papel y la luz de una lámpara detrás del mismo, cada línea de producción cuenta con 2 alineadores de papel, uno a la entrada donde se carga el rollo de papel blanco, y otro a la salida donde sale el rollo máster con el diseño impreso y suajado.

El sistema de alineación es controlado por el operador y el mismo operador es quien ajusta el alineador al ángulo que le parezca más conveniente dependiendo de las características del diseño a imprimir. El sistema original, al contar con una sola cámara en cada alineador, sólo detecta un lado del papel, por lo que las variaciones en el ancho del sustrato debidas sobre todo a los cambios de temperatura y en menor medida a la

tensión que se aplica y las demás variables involucradas durante su fabricación, no son tomadas en cuenta para el correcto centrado de la impresión.

Los marcos de alineación son ajustados al criterio del operador lo que puede originar que la trayectoria del papel esté torcida unos milímetros a lo largo de toda la máquina, esto provoca que al haber perturbaciones en el sistema ya sea por rampas de aceleración o desaceleración de la línea, empalmes o variaciones en el ancho de papel, el sistema de alineación tarde en compensar la posición del sustrato causando desperdicio, retrasos para buscar las fallas en el producto terminado y tiempo de producción desperdiciado.

Lo anterior implica ajustes largos antes de la producción, requiriendo más papel y tiempo. Por ende, como iniciativa global la empresa solicitó a una integradora de origen alemán que desarrollara un sistema de alineación mejorado con las características específicas que el proceso actual necesitaba.

Se busca que el sistema reduzca el tiempo y metros de materia prima requeridos durante los ajustes de producción, que mejore el control de la posición lateral del papel y que posea una mayor exactitud en el control para poder reducir el ancho total de la materia prima lo que generará un ahorro económico directo a la empresa.

## Objetivo.

Instalación de sistema de alineación mejorado en 3 líneas de impresión situadas en Tetra Pak Querétaro, retirando el sistema de alineación obsoleto para el cual ya no existen refacciones, aumentando la confiabilidad de las líneas de producción y reduciendo el tiempo y la cantidad de metros de materia prima necesarios para realizar los ajustes de producción.

## Justificación.

El sistema de alineación mejorado permitirá reducir el tiempo de ajuste entre órdenes de producción, reducirá el material necesario para los ajustes y se reducirá el ancho de la materia prima.

La cantidad de papel utilizada durante los ajustes varía dependiendo de la habilidad del operador, se calcula una constante aproximada de 120 metros por ajuste después de la instalación del sistema.

La reducción en el ancho de papel utilizado en impresión, restándole 3 mm de ancho también permitirá reducir la cantidad de aluminio utilizado en el proceso de laminación, ya que el ancho de la película de aluminio se verá reducido en 2 mm. Agregado a las ventajas anteriores, el control de alineación más preciso ayudará a mitigar la probabilidad de que producto defectuoso llegue al cliente.

### Gastos y ahorros del nuevo sistema de alineación

Los costos y ahorros que implican la instalación del sistema de alineación solamente en el área de impresión son los siguientes:

- Con un rollo teniendo aproximadamente 4 mil metros de papel, al retirar 3 mm a lo ancho del rollo, la cantidad de papel ahorrada por rollo sería de alrededor de 12 m<sup>2</sup>.
- Con una producción cercana a 120 rollos máster impresos por día, se sumarían 1440 m<sup>2</sup> de papel ahorrados diariamente.
- Con un costo promedio rondando los \$ 10.36 MXN, se trata de un ahorro diario de \$14,918.4 MXN, y un ahorro anual de más de \$ 5,000,000 MXN.
- El costo de instalación por cada línea de impresión sería aproximadamente € 204,000, lo que equivale a cerca de 4,700,000 MXN.
- El costo total de la instalación rondaría los \$ 15,000,000 MXN, con un ahorro promedio anual de \$ 5,000,000 MXN, por lo tanto, la inversión inicial se recuperaría entre 3 y 4 años.

## Hipótesis.

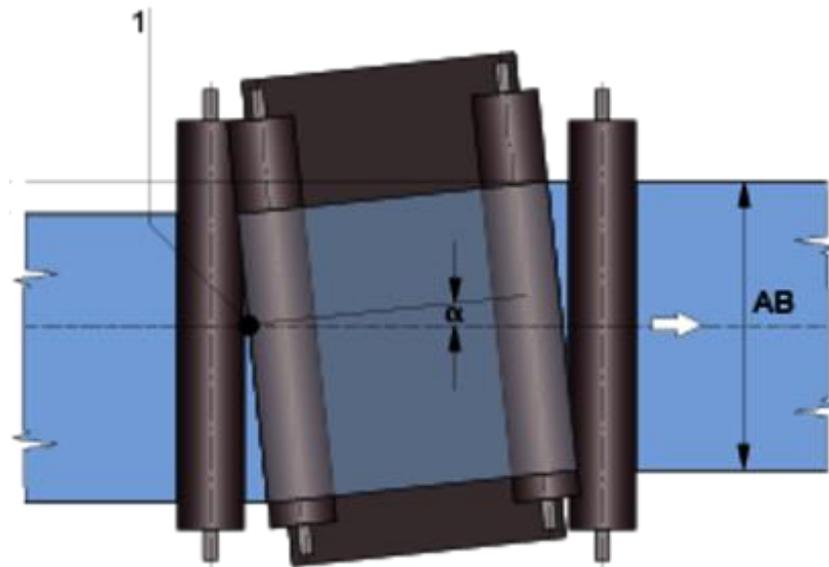
El uso del nuevo sistema de alineación hará que el proceso requiera una menor cantidad de papel para producción comercial, reducirá el tiempo y material desperdiciado en cada ajuste de producción, a la par, reducirá la cantidad de pasos que el operador tiene que realizar, al reducir la intervención del operador la cantidad de errores humanos y los defectos en calidad también disminuirán.

## Capítulo 1: Descripción del funcionamiento de los alineadores de papel.

La función básica de un alineador, como su nombre lo indica es alinear el papel, esto se logra manteniendo su posición lateral estable y de ser necesario compensando la posición del papel inclinando los rodillos guía lo que provoca su desplazamiento.

Los alineadores de papel son capaces de modificar la trayectoria del sustrato gracias a la regla de la entrada normal (normal entry rule) que indica que una línea de material que se aproxima a un rodillo se alineará a sí misma perpendicular al eje de rotación del rodillo, el efecto se muestra en la ilustración 9 (Erhardt+Leimer, 2022).

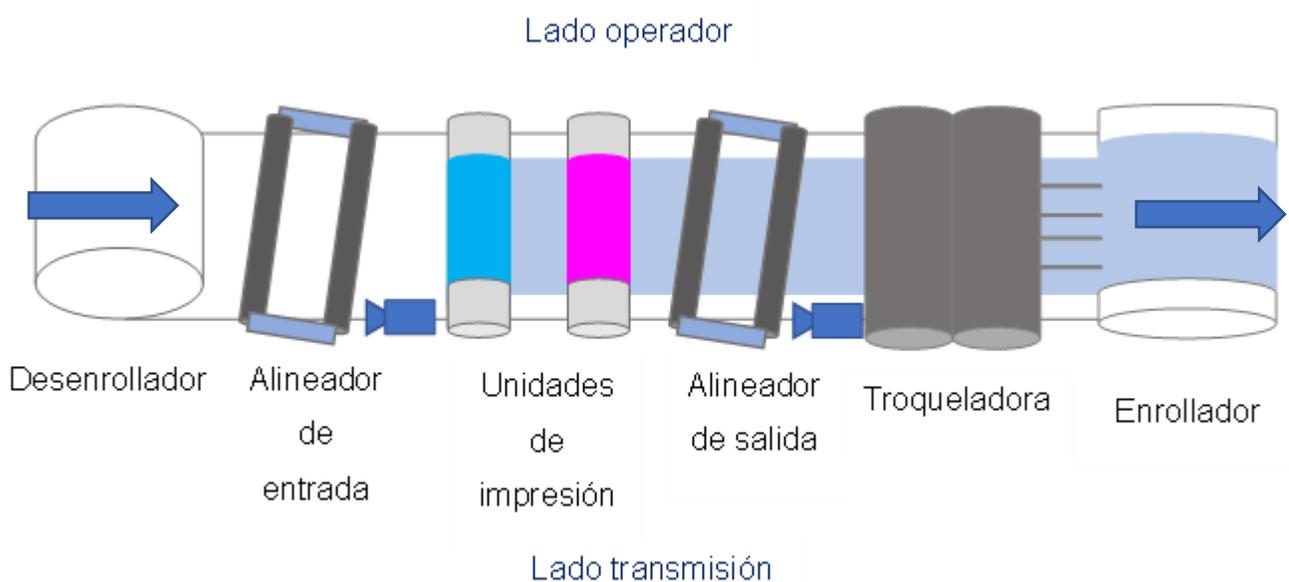
Por esta misma razón, cualquier rodillo desalineado a lo largo de la línea de producción provocará un cambio en la trayectoria del papel, por eso se usa un alienador a la entrada y otro a la salida de las unidades de impresión.



*Ilustración 7 (Erhardt+Leimer, 2022) Regla de entrada normal, la trayectoria del papel se modifica al cambiar el ángulo del rodillo de entrada del alineador con respecto al papel.*

## 1.1 Sistema de alineación original.

Una línea de impresión flexográfica tiene máquinas que incluyen el desenrollador de papel, los alineadores, las unidades de impresión, la troqueladora y el enrollador, aunque la línea se compone de muchos otros sistemas el proceso se divide de forma general en estas máquinas distribuidas de la manera que se aprecia en la ilustración 10, la ilustración ejemplifica los sistemas fundamentales de la línea y el orden en el que el papel es transportado a través de ellos:



*Ilustración 8 Distribución general de una línea de impresión flexográfica*

En la ilustración 10 los íconos azules representan las cámaras de los alineadores, tanto el alineador de entrada como el de salida del sistema de alineación original cuentan cada uno con una sola cámara para detectar la orilla del papel y mantenerlo en la posición que el operador requiera.

Para resaltar las diferencias entre los dos sistemas de alineación se describe un ajuste de producción con el equipo de alineación original que seguiría los siguientes pasos:

1. Se arranca la máquina a baja velocidad (50 m/min).

2. El operador mueve el alineador de entrada de tal forma que la impresión quede, a su criterio, centrada para después dejar que el sistema mantenga la posición del papel automáticamente.
3. En la etapa posterior del proceso, una vez que la tinta ha sido transferida al papel, el operador mueve ya sea la posición lateral de la troqueladora rotativa o mueve el alineador de salida para el suaje coincida con la impresión.
4. Cuando el control de posición es estable se inicia la rampa de aceleración para subir la velocidad a producción comercial (600 m/min).

El sistema de alineación original posee la desventaja de que cada operador tendrá diferentes prácticas para ajustar la impresión y el suaje, lo que podría causar que el papel quede torcido a lo largo de la línea, por ejemplo, que el alineador de entrada esté inclinado hacia el lado operador y el alineador de salida inclinado hacia lado transmisión, causando que perturbaciones pequeñas en el sistema puedan desalinearse el papel lo que provoca producción defectuosa y desperdicio, además, tener los alineadores en posiciones encontradas provoca que tarden un mayor tiempo en volver a controlar la alineación del sustrato ya que tienen un rango de movimiento menor hacia uno de sus extremos.

Como el sistema anterior sólo cuenta con una cámara en cada marco de alineación, no toma en cuenta las variaciones en el ancho del sustrato ni el encogimiento del papel al deshidratarse en su recorrido por la línea de producción.

El papel entra a temperatura ambiente pero la fricción con los rodillos causa que se caliente, sin embargo, el mayor cambio de temperatura es cuando pasa por secadores que avientan aire caliente a la cara impresa, estos secadores se mantienen a una temperatura de 80 °C, la transferencia de calor no es inmediata y el papel pasa a altas velocidades. La temperatura del papel cuando sale de la unidad de impresión 7 ronda los 50 °C a comparación del promedio de 25 °C en el piso de producción.

La diferencia en espesor y composición del papel, así como la tensión aplicada por el proceso también contribuyen a que haya variaciones en el ancho comparando el material antes de entrar a la máquina y cuando sale ya impreso.

## 1.2 Sistema de alineación mejorado.

El sistema de alineación mejorado tiene la siguiente configuración:

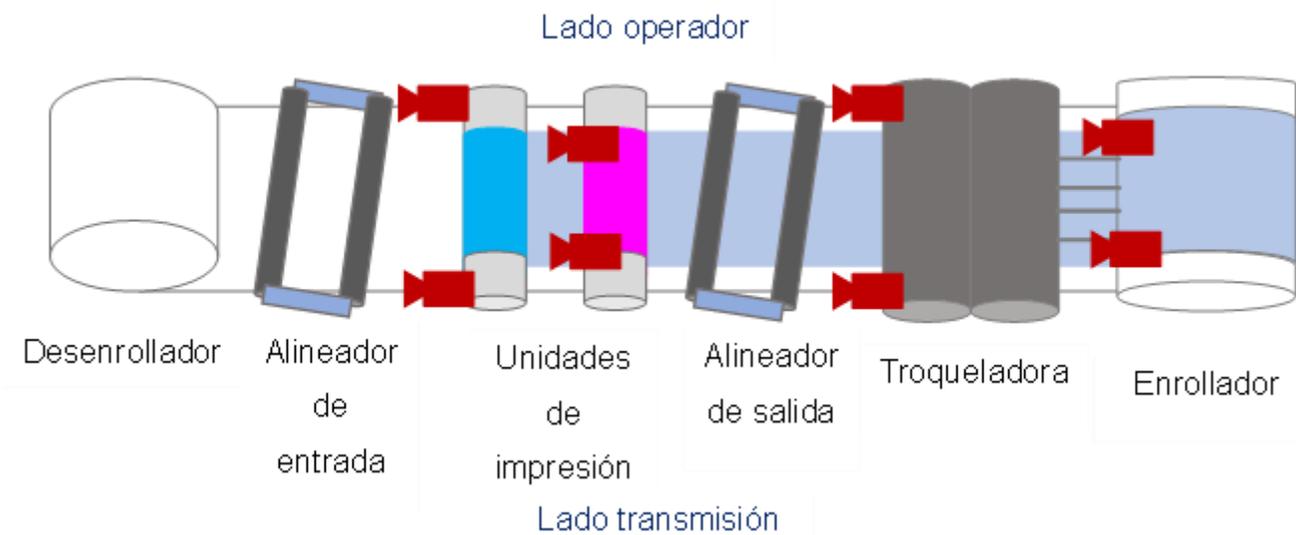


Ilustración 9 Diagrama de línea de impresión flexográfica con el nuevo sistema de alineación, se representan las cámaras del sistema en color rojo.

En la ilustración 11 se muestra una línea de producción con el nuevo sistema de alineación instalado, en este caso se tienen dos cámaras en cada alineador, dos en la unidad de impresión de color clave y otras dos después de la troqueladora (las cámaras se representan con los íconos rojos) lo que permite tener un mejor control ya que el papel, la impresión y el suaje se alinearán al centro de la máquina en vez de seguir el ajuste del operador, esto ayuda a que el camino que sigue el enhebrado del papel sea uniforme y con menos oscilaciones en posición con respecto al centro.

Esta trayectoria al centro de la línea tiene la ventaja de que, aunque haya variaciones en el ancho del papel mientras se desenrolla, el centro del papel siempre seguirá el centro de la máquina.

Como la trayectoria del papel siempre pasa por el centro de la máquina ya no es necesario ajustar los alineadores constantemente, como se hacía en cada cambio de orden de producción o de ancho de sustrato.

El sistema utiliza cámaras que capturan imágenes en blanco y negro, el procesamiento de las imágenes es mucho más complejo que el sistema anterior porque varias cámaras reconocen patrones en la impresión y los dobleces hechos en el papel por la troqueladora.

La desventaja del sistema mejorado es que es más complejo y tiene más componentes lo que lo hace más susceptible a fallas, así mismo la cantidad de parámetros que maneja aumenta considerablemente en comparación con el sistema anterior que sólo veía el borde del papel.

## Capítulo 2: Instalación del equipo.

La instalación comenzó en conjunto con los ingenieros alemanes, dos especialistas mecánicos y un especialista en automatización, un grupo de contratistas que incluía 5 eléctricos y 5 mecánicos además de un especialista en automatización brasileño de la propia empresa.

La instalación del equipo se llevó a cabo en las siguientes fases:

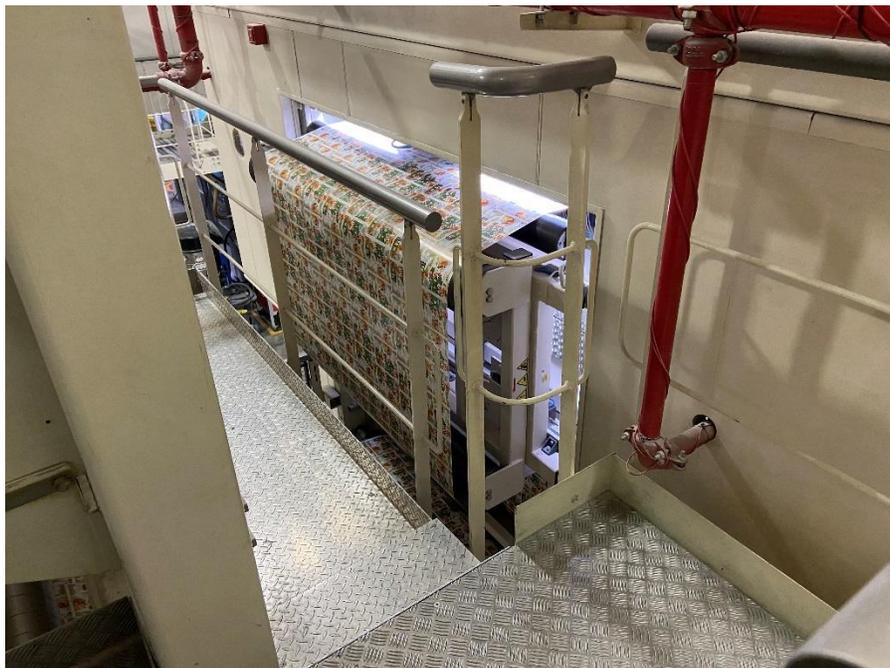
1. Cambio de marco de alineación de entrada (Web Guide Infeed).
2. Cambio de gabinete eléctrico CBY11.
3. Cambio de marco de alineación de salida (Web Guide Outfeed).
4. Instalación de cámaras de centrado de impresión (Print Centering).
5. Instalación del sistema de alineación de suaje (ETC).
6. Cambio de gabinetes eléctricos CBY1.
7. Calibración de alineador de entrada.
8. Calibración de alineador de salida.
9. Calibración de centrado de impresión.
10. Reemplazo de HMI.
11. Puesta en marcha.
12. Capacitación a personal de operación y mantenimiento.

La instalación estaba prevista para durar aproximadamente siete días por cada línea de producción considerando la puesta en marcha del equipo, seguido de un periodo de monitoreo de 2 días en el cual la máquina estaría produciendo de forma normal mientras el equipo de especialistas se aseguraba de que todo transcurriera correctamente.

Esta etapa de monitoreo también serviría como un periodo de capacitación continua donde los operadores y mantenimiento podrían resolver dudas sobre el nuevo sistema que resultó mucho más complejo y difícil de entender por todos los involucrados en el proceso de impresión.

## 2.1 Reemplazo de marco de alineación de entrada (Web Guide Infeed).

Para actualizar el alineador de entrada fue necesario reemplazar todo el marco mecánico, la etapa de potencia y la etapa de control. El marco de alineación tiene un par de rodillos que sirven de guía para el papel, en la ilustración 12 se observa el papel en la trayectoria del enhebrado sobre los rodillos guía y sobre el papel se observa la luz blanca que sirve para que las cámaras detecten el contraste por la sombra proyectada por el sustrato, cuando el marco de alineación se inclina hacia un lado u otro el papel en movimiento se desplaza hacia el mismo lado de la inclinación. El movimiento se logra usando un tornillo sin fin que hace girar el marco mecánico sobre un pivote.

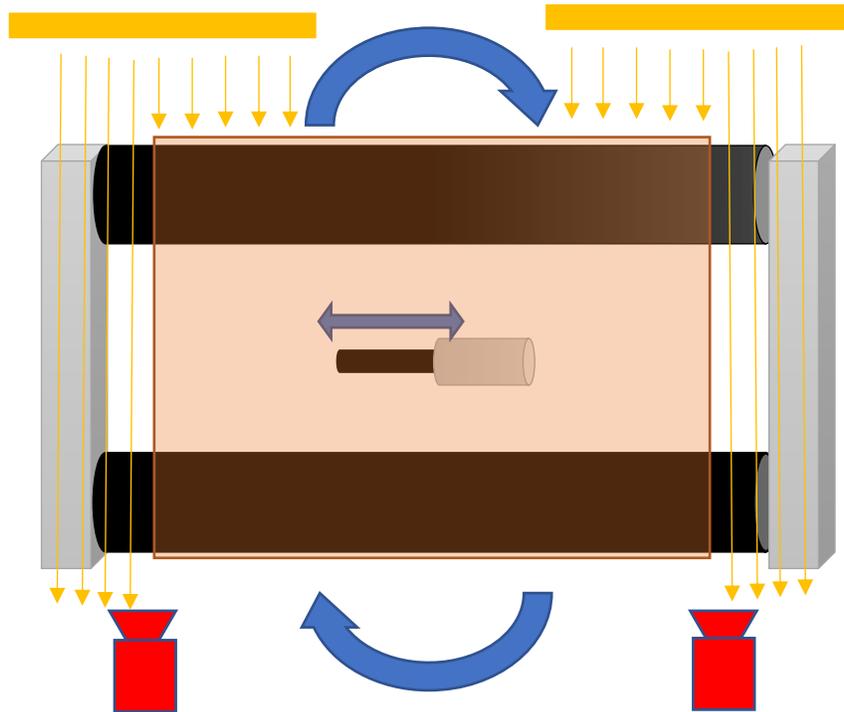


*Ilustración 10 Marco de alineación de entrada, se observa el enhebrado de papel sobre los rodillos guía. El papel impreso se utiliza para los ajustes de producción con lo que se logra desperdiciar aún menos papel blanco.*

En la ilustración 13 se muestra un diagrama simplificado de los principales componentes del marco mecánico del alineador. Se representa la estructura que sostiene los rodillos con color gris, los rodillos guía en color negro y en el centro detrás del papel se encuentra el actuador lineal eléctrico.

Las flechas azules indican los posibles movimientos de los componentes, el pivote mecánico convierte el movimiento lineal del actuador en torsión. Se utiliza un sistema con tornillos sin fin para aumentar la resolución del sistema, esto quiere decir que puede realizar ajustes muy finos sin requerir componentes maquinados con tanta precisión.

El papel se muestra en color naranja y en amarillo la lámpara, en la ilustración también se muestra como la luz es obstruida por el papel y este contraste entre sombra y luz queda directamente encima del campo de visión de la cámara.



*Ilustración 11 Diagrama simplificado de los componentes del marco de alineación.*

Los componentes mecánicos del marco de alineación fueron retirados con la ayuda de polipastos manuales como se observa en la ilustración 14, no son equipos tan pesados y este tipo de herramienta resultó suficiente, esta actividad se llevó a cabo por los contratistas locales.

De la misma manera, el nuevo marco que tenía aproximadamente las mismas dimensiones se montó usando el polipasto manual. Después del montaje es necesario revisar el paralelismo de los rodillos guía con respecto a los demás rodillos de la línea y nivelar el marco de alineación.



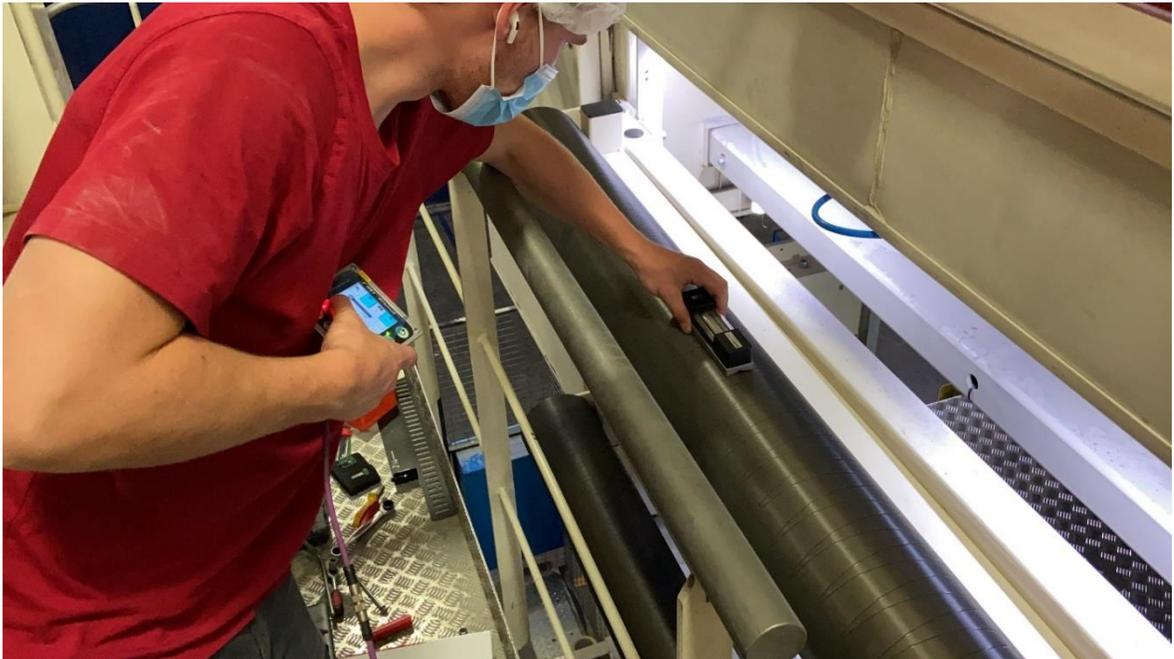
*Ilustración 12 Desmontaje de alineador de entrada usando polipasto manual.*

## 2.2 Instalación del gabinete CBY11.

En paralelo con la instalación mecánica los contratistas locales eléctricos cambiaron el gabinete de control CBY11 que envía y recibe las señales del alineador de entrada, se reemplazaron todos los componentes eléctricos del sistema anterior por lo que se tuvieron que tender y enrutar todos los nuevos cables del sistema desde el gabinete hasta el alineador. Por conveniencia todos los cables están previamente cortados y ponchados, y cuentan con una identificación para saber qué puntos interconectan además de contener información sobre el número de serie en el sistema para posterior seguimiento por parte de la integradora.

Este gabinete cuenta con módulos de comunicación, así como entradas y salidas digitales y analógicas marca Beckhoff que se enlazan al gabinete principal del control de alineación CBY1 por medio de comunicación CAN Bus. Después de energizar el sistema del alineador de entrada, la estructura tiene que ajustarse mecánicamente y se le deben definir parámetros mediante software.

Los ingenieros alemanes llevaron a cabo las actividades de los ajustes mecánicos, comenzando con la nivelación de los rodillos guía. Para ello se define el centro del movimiento del servomotor del actuador lineal nivelando la estructura usando un nivel con exactitud de  $\pm 0.2$  mm.



*Ilustración 13 Nivelación de marco de alineación de entrada, se usa un control para mover manualmente el alineador.*

Se energiza el gabinete CBY11 para poder mover el alineador de forma manual. Se coloca el nivel de precisión sobre el rodillo superior del alineador, como se observa en la ilustración 15, y se mueve el marco de tal forma que la gota del nivel quede al centro. Para poder realizar este procedimiento es necesario puentear las señales de seguridad ya que el servomotor no se moverá si hay guardas de la máquina abiertas o si hay algún paro de emergencia por pérdida de comunicación, la cual no estará establecida hasta que se complete la instalación.

Cuando se logra tener el marco mecánico nivelado al centro, se guarda el ajuste para que la posición del tonillo sin fin que mueve el marco del alienador sea tomada como referencia y siempre se pueda restablecer la inclinación a  $0^\circ$ , cuando el marco de alineación se encuentra en esta posición la trayectoria del papel no se ve afectada, esto

es importante durante los empalmes entre rollos ya que el alineador se debe mantener estático (función “hold”) unos segundos y al momento de enhebrar el papel por la línea.

El alineador se mantiene bloqueado justo cuando pasa el empalme entre rollos ya que ese empalme se realiza con cinta especial que es muy gruesa. Esta cinta es cortada manualmente por los operadores y quedan cortes imperfectos por lo que la cinta puede sobresalir de las orillas del papel causando lecturas erróneas y afectando el sistema, así mismo el empalme puede quedar desfasado uno o dos milímetros entre las orillas de ambos rollos, si el sistema intentara controlar estas perturbaciones comenzaría a oscilar así que es más conveniente dejar pasar esa parte del papel que ya se sabe de antemano que estará desalineada y será desperdicio.

Los sistemas subsecuentes también se mantienen en espera mientras pasa el empalme, incluyendo las unidades de impresión y la troqueladora. Las unidades de impresión se abren cuando pasa el empalme, esto quiere decir que se mueve el rodillo con la camisa de impresión hacia atrás, alejándose del papel y dejando espacio para que la cinta pase sin dañar las placas con el diseño. A su vez, la troqueladora se abre para no dañar las cuchillas que cortan y doblan el papel, así el empalme pasa hasta el enrollador.

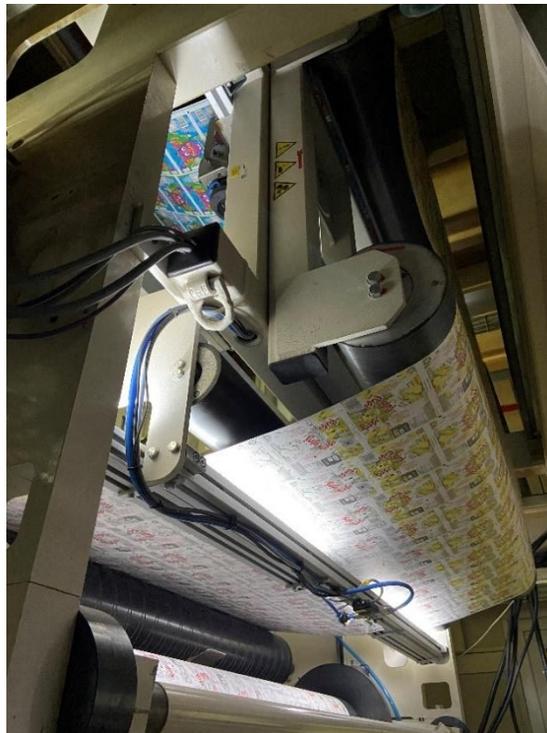
Idealmente los marcos de alineación deberían hacer movimientos mínimos pues todo el papel pasa por el centro de la máquina, el alineador actúa cuando hay perturbaciones como, por ejemplo, los empalmes entre rollos o cuando el papel se desliza hacia los lados por la velocidad de la línea y la superficie lisa de los rodillos.

El sistema de alineación a la entrada asegura que el papel esté centrado antes de que llegue a las unidades de impresión. Mientras mejor se controle la posición del papel será más fácil mantener el registro de los colores de las unidades de impresión.

Para el ajuste de paralelismo se toma como referencia un rodillo posterior al rodillo guía que se vaya a ajustar, utilizando un indicador de carátula y un tridente que se apoya sobre el rodillo que servirá de referencia, se mide la distancia entre los rodillos y se ajusta la posición del rodillo que se va a dejar paralelo hasta que ambos extremos de los rodillos estén a la misma distancia. Se realiza el mismo procedimiento para los dos rodillos guía.

### 2.3 Reemplazo de marco de alineación de salida (Web Guide Outfeed).

El marco de alineación de salida funciona bajo el mismo principio que el de entrada, tiene los mismos componentes mecánicos y eléctricos. Sin embargo, el intercambio del marco anterior por el nuevo resultó ser más complicado debido al espacio reducido en comparación con el alineador de entrada por la gran cantidad de sistemas adicionales que rodean al alineador de salida como se ven en la ilustración 16. Se realizaron los mismos ajustes de paralelismo y nivelación, así como el centrado del mecanismo.



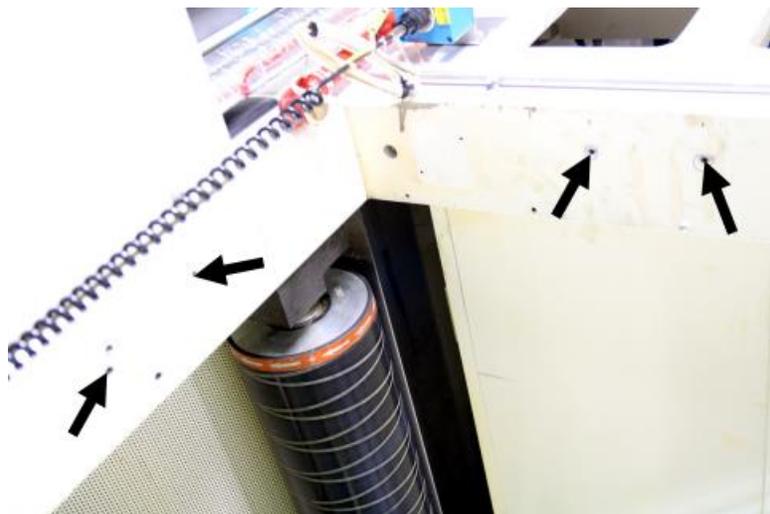
*Ilustración 14 Marco de alineación de salida.*

Como se puede apreciar en la ilustración 16, el alineador de salida está montado en la dirección contraria al de entrada, con los rodillos apuntando al enrollador de papel, así mismo la lámpara se encuentra en la parte inferior y las cámaras en la parte superior detrás del papel. Los alineadores se pueden instalar incluso en una posición horizontal, como es el caso de la etapa de impresión digital que se utiliza para imprimir códigos QR únicos.

El alineador de salida se encarga de volver a centrar el sustrato al centro de la máquina antes de entrar a la troqueladora, ya que el suaje junto con las perforaciones y el diseño impreso sobre el sustrato tienen que coincidir perfectamente para que el material pueda ser utilizado en los siguientes procesos. Si esto no se logra, no importa que la alineación y registro hayan sido perfectas durante la impresión, el material final será desechado.

#### 2.4 Instalación de cámaras de centrado de impresión (Print Centering).

A diferencia de los marcos de alineación que fueron actualizados conservando el mismo principio de funcionalidad, estos componentes no existían en el diseño anterior. Las cámaras del centrado de impresión utilizan visión artificial para detectar marcas impresas además de la orilla del papel. Gracias a estas marcas puede calcular la posición y el ancho de la impresión y de esta manera retroalimentar la posición lateral de la manga flexográfica y centrar la impresión justo al centro del papel ya en la misma trayectoria del centro de la máquina. Como ya se había mencionado, esta actividad era realizada por el operador, por lo tanto, el tiempo requerido para hacerlo dependía de la habilidad de cada persona y estaba sujeto a errores.



*Ilustración 15 Puntos de fijación para marco del sistema de centrado de impresión (Print Centering)*

Las cámaras se montan después de la unidad de impresión con el color clave, las demás unidades de la línea se sincronizan con la unidad de impresión clave para que el diseño final sea visible, nítido y todos los colores coincidan entre sí.

La base de las cámaras se atornilló a la estructura de la máquina, por lo que fue necesario barrenar y machuelear como se puede observar en la ilustración 17.

El marco de las cámaras, caja negra que se observa en la ilustración 18, es atornillado a la estructura y sostiene un par de rieles donde van montadas las dos cámaras que detectan y miden la impresión.



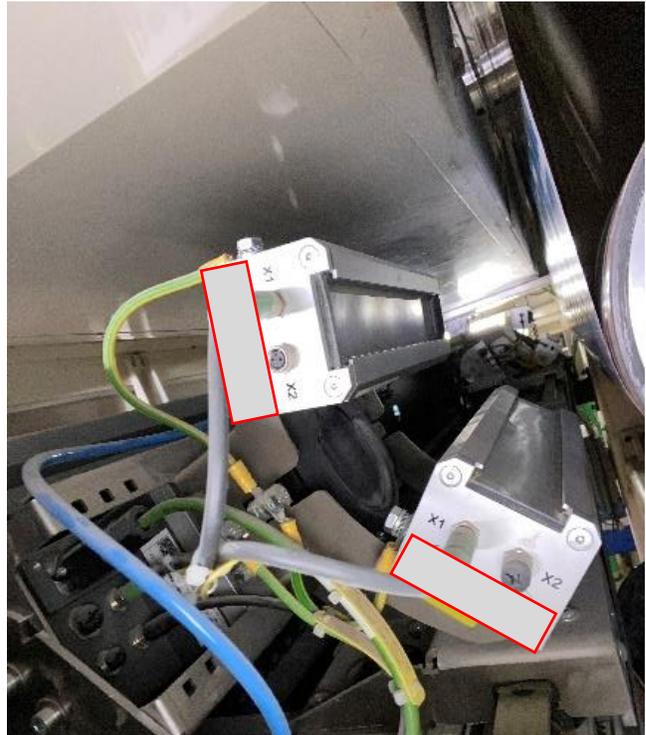
*Ilustración 16 Colocación del marco de las cámaras de centrado de impresión usando polipastos manuales.*

Las cámaras se mueven sobre este riel lo que les permite cambiar la separación entre ellas para adaptarse a los diferentes anchos de papel que se manejan. Cada riel es independiente y poseen un servomotor y una banda dentada, este mecanismo es el que hace mover las cámaras hacia lado operador o lado transmisión. El posicionamiento tiene que ser exacto, los servomotores tienen retroalimentación mediante un encoder (transductor de rotación) y un par de sensores de límite, uno de ellos funciona para definir el punto de inicio del movimiento, en caso de que el traslado se interrumpa debido a un atoramiento mecánico que podría ser causado por residuos de papel que se haya roto.

El sistema es capaz de volverse a posicionar de forma correcta, aunque haya perdido el seguimiento de su movimiento a menos que haya sufrido un daño en sus componentes.



*Ilustración 18 Marco para el sistema de centrado de impresión ya instalado con guardas de color negro.*



*Ilustración 17 Estructura que sostiene la cámara, así como las lámparas LED de luz difusa y luz directa.*

En la ilustración 19 se ve el marco de las cámaras de centrado de impresión ya montado y en la ilustración 20 se muestran las cámaras y lámparas del sistema que quedan ocultas detrás las cubiertas negras del marco.

## 2.5 Instalación del sistema de alineación de suaje (ETC).

Este sistema tiene varias similitudes al de centrado de impresión, usa visión artificial para el procesamiento de las imágenes que captan las cámaras, pero a diferencia del centrado de impresión, detecta el contraste de la sombra proyectada por

el suaje en el papel, en específico mide la distancia que hay entre la orilla del papel al centro del suaje realizado por la troqueladora. Debido a secretos industriales no es posible agregar más detalles sobre su funcionamiento, así como tampoco imágenes.

## 2.6 Cambio de gabinetes eléctricos CBY1.

CBY1 es el gabinete principal del sistema de alineación y es donde se lleva a cabo todo el procesamiento. Este gabinete se interconecta a los alineadores de entrada como de salida, al centrado de impresión y medición del suaje. El cerebro del equipo es una computadora industrial con Windows embebido donde toda la aplicación de control está programada utilizando Visual Basic, la IPC se ubica en la esquina superior derecha del gabinete que se observa en la ilustración 21.

Esta computadora es la que realiza el procesamiento de imágenes a blanco y negro que son enviadas desde las diferentes cámaras que componen al sistema, usando



*Ilustración 19 Interior del gabinete principal CBY1. Se ven los cables verdes de comunicación PROFINET y los cables morados para la comunicación con el protocolo CAN Bus.*

esta retroalimentación actualiza la posición de los alineadores y movimiento lateral de la unidad de impresión clave para mantener estable la posición del papel.

La PC industrial se conecta a los tres PLC principales de la línea mediante PROFINET, que son los cables verdes que se aprecian en la ilustración 15, al ser un protocolo de comunicación propiedad de Siemens, se requieren adaptadores entre ambos controladores además de adaptaciones a nivel de software para poder transferir la información.

Aunque estos tres PLC funcionan como una unidad que controla toda la línea, cada PLC tienen asignadas diferentes funciones específicas como lo son seguridad, control maestro de la línea y el control de la posición de las bancadas de las unidades de impresión.

La IPC se conecta al PLC principal de seguridad para enviar y recibir las señales que garantizan que los servomotores de los alineadores no se moverán cuando el área de movimiento está siendo intervenida, el PLC recibe la señal de las puertas de seguridad y no permite realizar ningún movimiento a menos que las puertas y seguros sean rearmados y las alarmas sean restablecidas.

La PC industrial también está conectada al PLC que controla las unidades de impresión para tomar el mando del rodillo “plate” o (rodillo de placa) y moverlo lateralmente para poder centrar la impresión sobre el papel. Este control se alterna dependiendo del modo en que se opera la máquina, que puede ser control por registro (manera en la que funcionaba antes de este sistema) y el modo de alineación a centro de máquina, siendo el último donde se ven las ventajas de este equipo.

Finalmente, el controlador se conecta con el PLC general que gobierna la velocidad de la línea y las secuencias, así recibe la retroalimentación del estado actual de la máquina, el momento del empalme o los metros que faltan para terminar el rollo. De la información más importante que se transmite entre estos controladores son las recetas con los parámetros del trabajo que se vaya a realizar.

Los parámetros de la receta contemplan:

- Ancho del papel.
- Ancho de la línea guía.
- Distancia entre estas marcas.
- Tamaño total del área impresa.
- Tipo de predoblado que se está marcando en el papel.
- Tipo de papel para saber la intensidad y tipo de luz que se debe proyectar sobre el sustrato.

## 2.7 Calibración de alineador de entrada y salida.

Contando con todos los componentes mecánicos y eléctricos ya instalados se procedió a calibrar las cámaras del alineador de entrada. Se generó un instructivo de forma local para los demás ingenieros de mantenimiento, ya que los manuales proporcionados por la integradora no eran lo suficientemente claros.

Antes de comenzar a calibrar el ajuste óptico de las cámaras, se tuvo que revisar el firmware de la tarjeta de control del servomotor del alineador y comunicación de las cámaras. Esto se realizó con software especializado de la integradora así que la empresa no tiene acceso a él.

Después de actualizar el firmware, lo cual fue necesario porque los componentes del sistema habían llegado a la planta desde 2018 pero la instalación se retrasó debido a la pandemia de 2020, se procedió a aflojar los opresores de la lente de la cámara que se ven la ilustración 22, estos opresores bloquean el ajuste de enfoque y apertura de la lente previniendo que se mueva con la vibración de la máquina en funcionamiento, el ajuste de la lente se logra mediante un mecanismo similar al que posee una cámara fotográfica profesional moviendo la distancia que hay entre la lente y el sensor y abriendo o cerrando un iris mecánico para dejar pasar más o menos luz. Esta parte del

procedimiento es especialmente tediosa debido a la posición incómoda en la que el ingeniero debe colocarse para acceder a los tornillos.



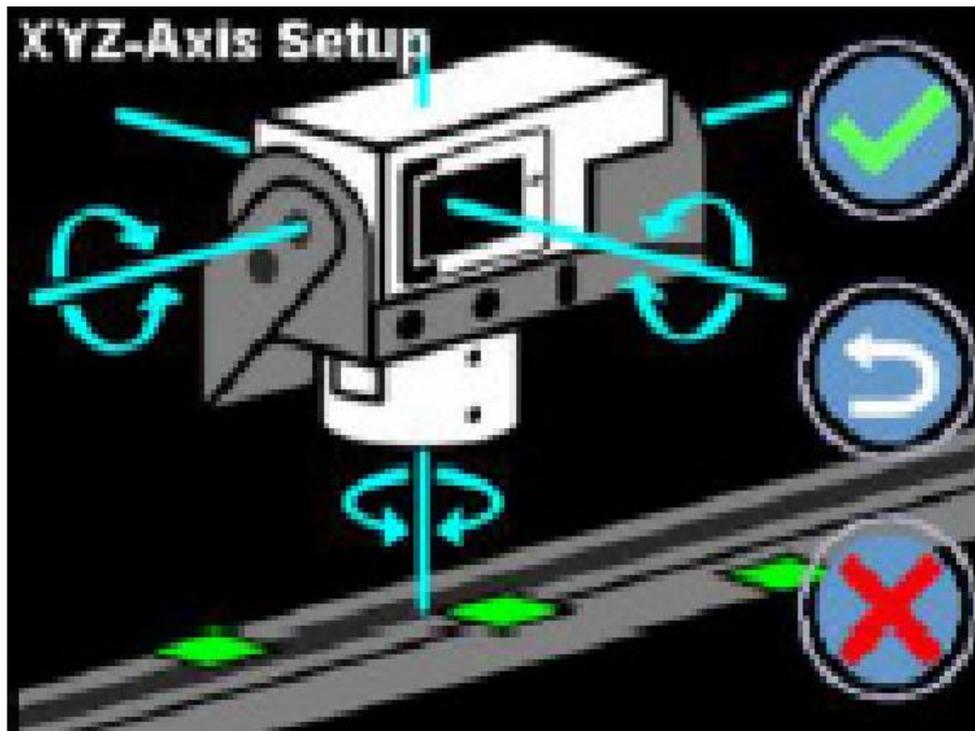
*Ilustración 20 Opresores protegidos por una cubierta de plástico flexible para evitar que caigan en el material.*

A continuación, se apagan las lámparas LED de luz blanca que apuntan hacia las cámaras, las cámaras cuentan con LED que proyectan tres cuadros verdes, estos son un indicador del rango de visión completo que posee el sensor, se ajustaron para que quedaran justo dentro del marco de las lámparas superiores como se muestra en la ilustración 23.



*Ilustración 21 Representación de la lámpara LED en color gris y los marcadores verdes proyectados por la cámara para posicionarla correctamente.*

La apertura de los marcadores verdes se ajusta con la misma lente de la cámara, girando las perillas y el ángulo se calibra con los diferentes tornillos con los que cuenta la base, el proceso se repite en ambas cámaras como se muestra en la ilustración 24.

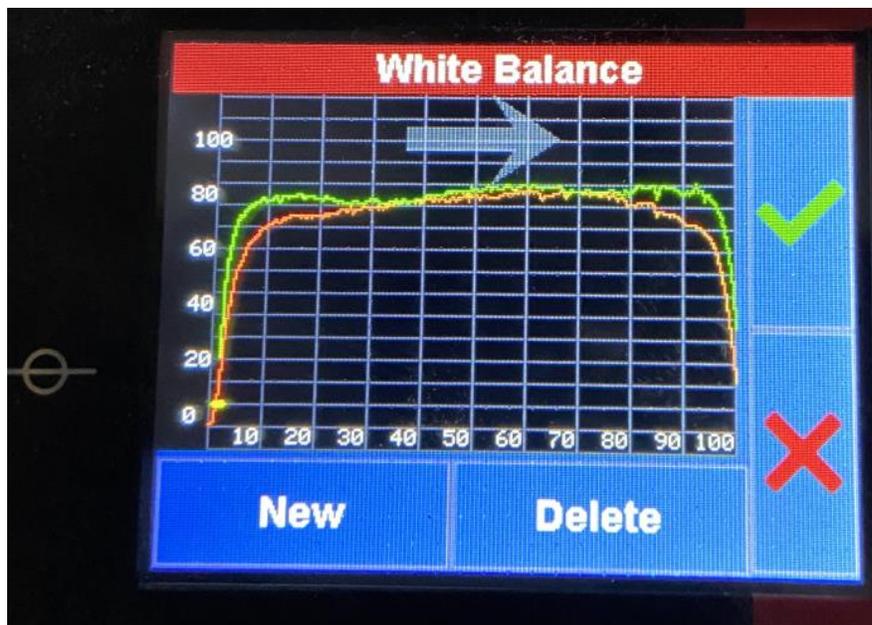


*Ilustración 22 Posibles ejes de ajuste de la posición de la cámara con respecto a la lámpara LED.*

Cuando las cámaras apuntan correctamente hacia la lámpara LED para recibir la luz de forma perpendicular se prosigue con la calibración encendiendo las lámparas LED.

En la interfaz gráfica con la que cuenta cada una de las cámaras se comprueba la dirección de escaneo de la imagen, la imagen se procesa desde el lado operador hacia el lado transmisión y esta dirección se identifica en la interfaz gráfica de la HMI de la cámara con una flecha sobre la gráfica que muestra el valor analógico de la luz captada por la cámara.

El tiempo de exposición de la imagen obtenida se ajusta para que el valor analógico de la luz directa a la cámara se mantenga en 80%, esto evitará el sensor se sature y la imagen quede sobre expuesta.



*Ilustración 23 Calibración del balance de blancos, verde señal recibida por el sensor, en naranja la señal complementaria que nivela el balance de luz sentido.*

Se borra el ajuste previo de balance de blancos para grabar uno nuevo con las condiciones de iluminación específicas de la planta y el punto de la línea donde el sistema está instalado. En la ilustración 25 se observa en verde la señal de luz detectada por la cámara y en naranja la señal complementaria calculada para compensarla, esto es el balance de blancos.

Un nuevo balance de blancos es calculado con la luz blanca apuntando directo a la cámara y el resultado es una señal recta como se observa en la ilustración 26.

Esta señal en línea recta que resulta de la calibración permite detectar mejor el contraste entre la sombra del papel y la luz blanca, el balance de blancos de debe definir cuando la cámara ya está en su posición permanente.



Ilustración 24 Señal en línea recta compensada por el cálculo de balance de blancos.

A continuación, se instala una rejilla de calibración con 39 ranuras equidistantes, se comprueba la calibración del enfoque, apertura y exposición haciendo que el sistema cuente las ranuras de la rejilla, si los pasos anteriores se hicieron correctamente, el número será 39 o un valor muy cercano.

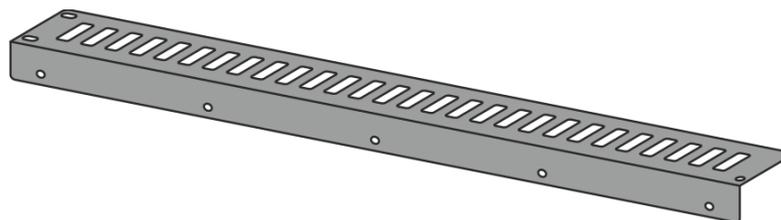


Ilustración 25 Rejilla de calibración para conteo de flancos.

En la ilustración 27 se muestra un modelo de la rejilla utilizada para el conteo de flancos, la calibración hace que la cámara relacione la separación entre los flancos proyectados por la rejilla con los píxeles de su campo de visión y así calcula la posición del papel.

En la ilustración 28 se observa cómo son percibidos los orificios de la rejilla en contraste con las partes metálicas que obstruyen el paso de la luz.



*Ilustración 26 Señal de flancos debido a la luz obstruida por la rejilla.*

En este punto ya se ha completado la calibración de la cámara del alineador, el proceso se repite con las cámaras restantes que en este caso con 4 por línea ya que cada alineador tiene dos.

Para fijar el ajuste y que no se pueda debido a las vibraciones de la máquina en funcionamiento, se aprietan levemente los opresores que sujetan la lente de la cámara, para que apenas y toque las perillas de ajuste ya que se puede afectar la calibración porque el tornillo empujaría la lente hacia un lado.

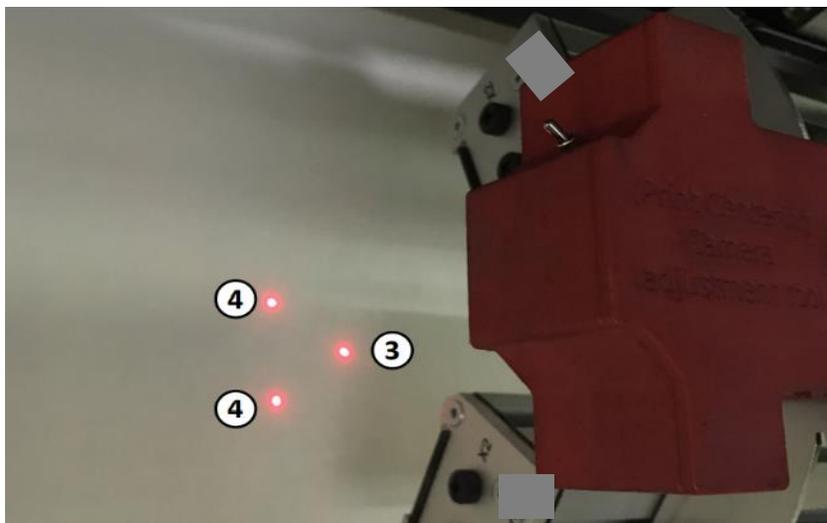
A continuación, los parámetros se guardan en una memoria SD que está instalada en cada cámara para que en caso de que se quede sin energía ya sea por un apagón no programado o una libranza, los parámetros no se borren y no se tenga que volver a realizar la calibración.

Se repiten los mismos pasos con la otra cámara del alineador, no hay un orden específico para realizar esta acción. Después de tener ambas cámaras calibradas se guarda la lectura del ancho de papel en los alineadores de entrada y salida usando las HMI de servicio que se ubican en cada uno de los gabinetes de control (CBY1 y CBY11),

este valor permite que el sistema interprete las lecturas de distancia obtenidas por las cámaras y determine el ancho completo del papel y sepa hacia qué lado se debe mover el alineador, sin estos datos el sistema no podría centrar el papel ni la impresión.

## 2.8 Calibración de centrado de impresión.

Los marcos donde van montadas las cámaras para el centrado de impresión tienen que estar nivelados horizontal y verticalmente, después de comprobar lo anterior,



*Ilustración 27 Aditamento con luz láser para calibrar la distancia de la cámara al papel.*

se procede a ajustar la distancia entre las cámaras y el papel. Es necesario tener enhebrado el papel a través de toda la impresora y se debe mantener tenso con más de 1000 N, esto garantiza que la distancia entre la cámara y el sustrato es la misma que cuando la máquina esté en producción. La empresa integradora diseñó un aditamento impreso en 3D con 4 láser el cual se puede observar en la ilustración 29, este aditamento se instala provisionalmente en las bases de las cámaras y se apunta hacia el papel, la distancia entre la cámara y el sustrato es correcta si los cuatro haces de luz convergen en un único punto, este ajuste se lleva a cabo moviendo el ángulo de la cámara al mismo tiempo que se varía la distancia que tiene al papel, si la cámara está muy cerca o muy lejos, los puntos proyectados por los láseres nunca coincidirán.

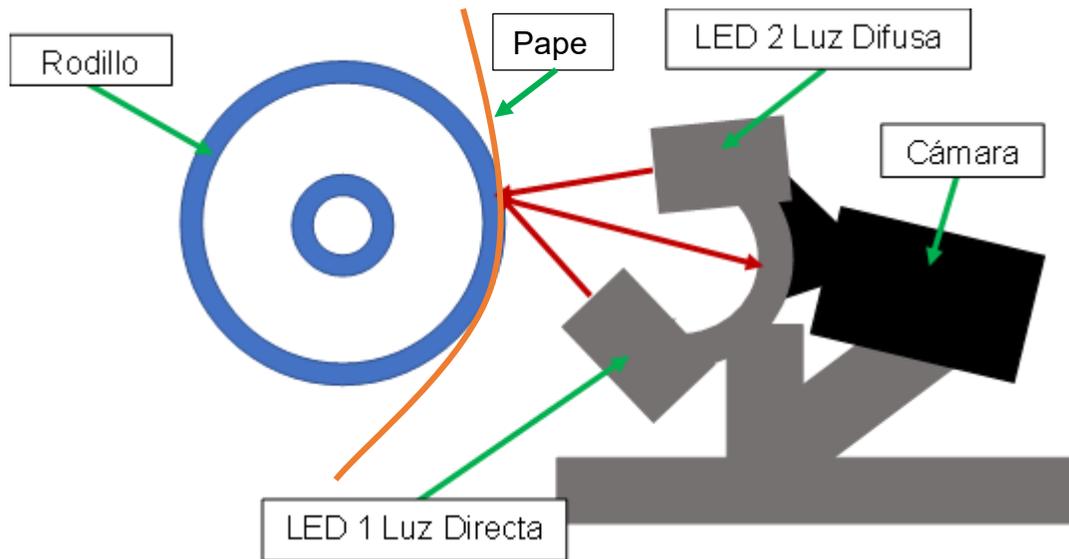
Una vez que la distancia es correcta, se aprietan los tornillos de la base mostrada en la ilustración 30. Posteriormente se calibra el ángulo de la cámara, como el papel se enhebra entre varios rodillos el ángulo final con el que pasa frente a la cámara puede variar entre impresoras dependiendo del ajuste de paralelismo y el modelo de la línea, por lo tanto, se tiene que hacer un ajuste fino en cada máquina.



*Ilustración 28 Tornillos de fijación de los rieles de las cámaras*

Cada cámara cuenta con dos barras LED como se muestra en la ilustración 31, una de las barras tiene un difusor de luz para usarse con materiales reflectivos como papel laminado con aluminio que se usa en los envases metalizados y la otra lámpara proyecta la luz directamente.

Para calibrar el ángulo de la cámara y por lo tanto la incidencia de luz, se enciende el proyector de luz difusa con una intensidad del 100%, este proyector se encuentra en la parte superior de la cámara como se aprecia en la ilustración 25 (LED 2) y se mueve el ángulo de la cámara hacia arriba y hacia abajo buscando que la gráfica de luz llegue al punto máximo, por lo tanto, el ángulo es correcto y la imagen será lo más clara posible. Para poder diferenciar el punto máximo de luz reflejada se aumenta el tiempo de exposición de la cámara a aproximadamente 3 segundos. Alcanzar este punto indica que la lente está completamente perpendicular a la luz que rebota del papel (el papel se ejemplifica en color naranja en la ilustración 31).



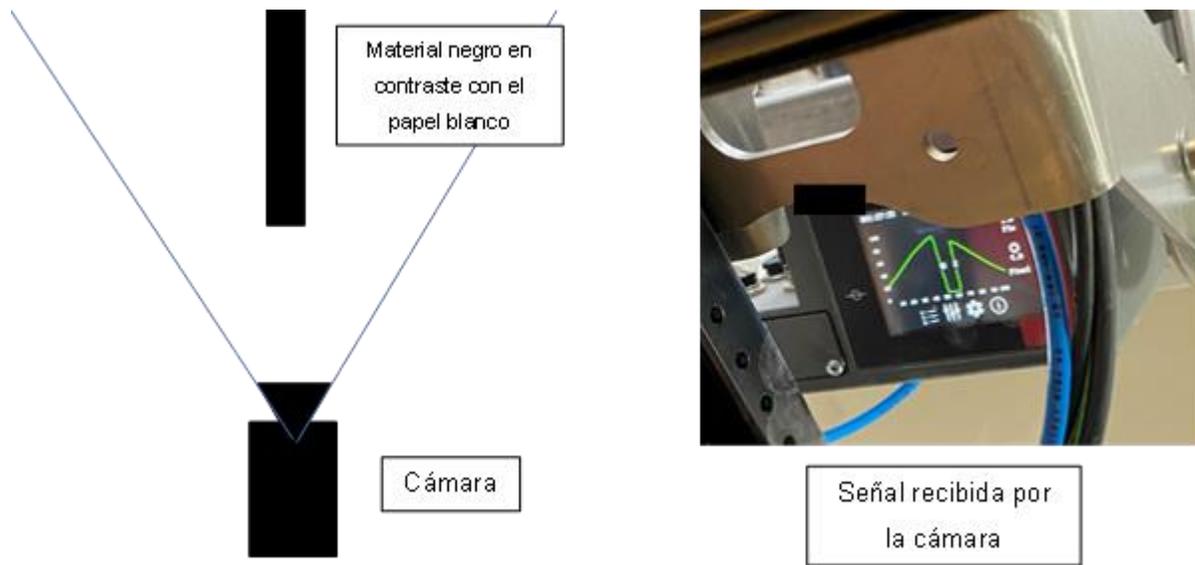
*Ilustración 29 Diagrama simplificado de la cámara y su posición respecto al rodillo.*

Cuando se completa el ajuste mecánico de la estructura se sigue con el ajuste del foco, acercamiento y apertura de la lente. Al igual que con las cámaras de los alineadores, antes de comenzar con la calibración debe aflojar el opresor que fija la lente y evita que se mueva el ajuste.

El tiempo de exposición se ajusta nuevamente a un segundo para que la imagen no se sature. Para calibrar el foco de la lente se coloca un material negro que contraste con la luz reflejada del papel blanco, esto será detectado por la cámara como un valor analógico de cero o muy cercano a cero.

Como se muestra en la ilustración 32, se ajusta el acercamiento hasta que la línea de la gráfica quede completamente vertical, esto quiere decir que la diferencia entre el papel blanco y el material negro es detectada con una rampa de 90°, lo que da como resultado una imagen nítida.

Para poder lograr el centrado de la impresión el sistema debe procesar rápidamente la imagen obtenida de las cámaras y determinar la distancia entre la orilla del papel y la orilla de la imagen impresa.

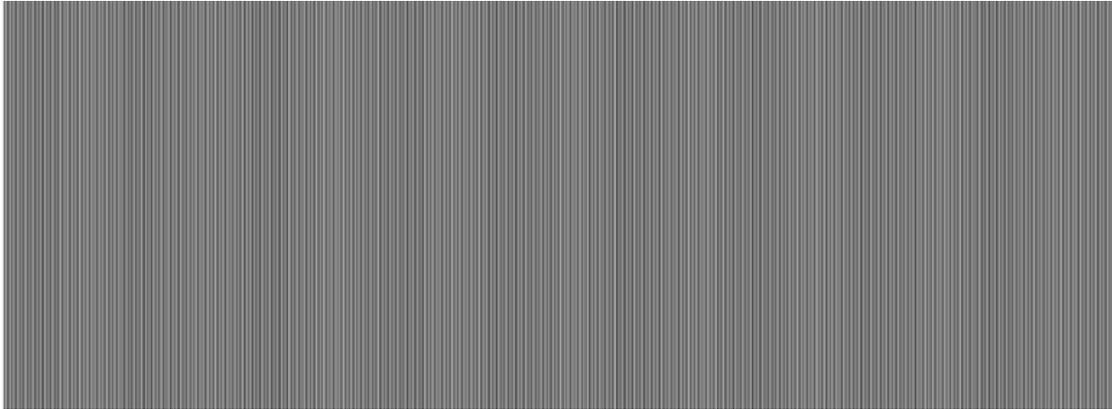


*Ilustración 30 Ajuste de foco de la cámara de centrado de impresión.*

Para lograr esto, el diseño impreso cuenta con unas marcas que el sistema busca y filtra del resto de la imagen, esta homogeneidad entre las marcas impresas en los diferentes diseños es lo que permite procesar con rapidez las señales.

Las marcas tienen un ancho definido en milímetros, este ancho se le indica al sistema para que sepa diferenciarlas del resto de la impresión, las cámaras se deben calibrar de tal manera que exista una relación muy exacta entre pixeles de la imagen y milímetros en la impresión.

Esta relación se logra con un diseño de líneas verticales a una distancia exacta entre sí que se coloca en el campo de visión de la cámara, el patrón de calibración se muestra en la ilustración 33, el patrón se adhiere sobre el papel tensado para que quede en la misma posición donde pasará la impresión. El software se encarga de hacer los cálculos de la relación entre pixeles de la imagen y milímetros reales moviendo la cámara en diferentes posiciones a lo largo del riel donde está montada.



*Ilustración 31 Patrón de calibración para cámaras de centrado de impresión.*

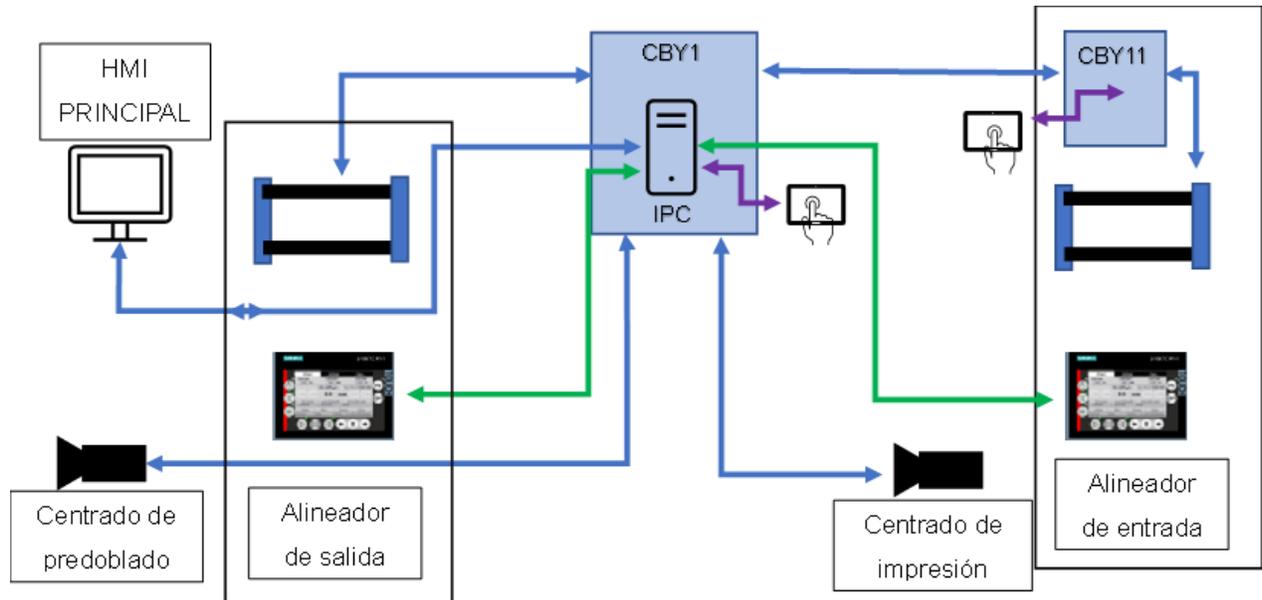
## 2.9 Reemplazo de HMI.

Las HMI anteriores eran poco amigables con el usuario, la interfaz era en blanco y negro con una pantalla LCD sin luz trasera. Esta interfaz tenía la desventaja de que para trasladarse entre menús había que utilizar combinaciones de teclas físicas y mantenerlas presionadas por cierta cantidad de segundos dependiendo de la acción deseada, lo que causó que los botones físicos se dañaran y en ocasiones no respondieran. Además, la información se mostraba con íconos sin descripción lo que dificultaba intuir las funciones o el estado general del sistema.

Utilizar paneles recientes, que cuentan con pantalla táctil, facilita la operación y el diagnóstico del sistema. Las nuevas HMI que se instalaron son marca Siemens, se tuvo que modificar el gabinete de operación para poder alojar las nuevas pantallas ya que eran más grandes que las anteriores, además se retiraron todos cables de comunicación previos que usaban del protocolo CAN Bus y que resultaron obsoletos por el tipo de conector y el tiempo de uso.

La HMI Siemens sirve para tener control de los actuadores de los alineadores y definir el modo de control que se está utilizando, pero también se instaló un monitor conectado a la IPC que muestra las imágenes capturadas por las cámaras y donde se puede observar en tiempo real el error y correcciones realizadas para mantener el papel

y la impresión centrada. En total el sistema completo tiene 5 HMI de diferente complejidad.



*Ilustración 32 Representación de la red de comunicación entre HMI y componentes del sistema, así como los protocolos de comunicación utilizados.*

En la ilustración 34 se muestra la conexión de las HMI por la línea, no se agregan todas las conexiones de la red ya que sería un diagrama muy complejo, pero se aprecia la gran cantidad de elementos en la red en relación con el alineador anterior que tenía la interfaz directamente conectada a la tarjeta de control de los servomotores de los marcos de alineación.

La nueva interfaz resulta mejor porque despliega más información sobre el estado actual del sistema, pero tuvo el efecto adverso de parecer demasiado complicada para el personal de operación y la curva de aprendizaje resultó lenta pues no retenían el significado de los diferentes valores que se muestran y cómo afectan al sistema.

La ventaja notoria fue en la detección de alarmas ya que el problema es mucho más explícito, explicándolo con texto e imágenes, por ejemplo, el alineador cuenta con unos sopladores instalados sobre las lentes de las cámaras, pero el sistema es capaz de detectar si las cámaras están sucias, lo que detona una alarma que indica explícitamente

el problema, en comparación con la HMI anterior que cuando el equipo se encontraba alarmado sólo encendía un LED de color rojo y se debía abrir el gabinete donde se encontraba la tarjeta de control para ver el código del problema para después buscarlo en el manual o también conectarse a la red CAN Bus usando un adaptador para ver más detalles sobre la alarma.

## 2.10 Puesta en marcha y capacitación del personal de operación.

El sistema de alineación ya calibrado se probó con producción comercial el mismo día que se finalizó su instalación. Se acompañó al equipo de producción y la empresa integradora para apoyar en problemas que pudieran surgir.

El personal de proyectos contrató a traductores para auxiliar a los operadores durante la capacitación que recibieron por parte de los ingenieros alemanes, pero debido a la falta de conocimiento técnico y del proceso que tenía el traductor no se obtuvo el resultado deseado.

Se apoyó durante esta etapa sirviendo de traductor entre los operadores y el personal alemán para posteriormente acompañar la producción varios días para mostrar las ventajas del nuevo sistema.

Se tuvieron diversos problemas con los operadores porque el nuevo equipo es mucho más complejo que el anterior y ellos ya estaban acostumbrados a trabajar de una manera durante años y habían mecanizado la secuencia de sus actividades después de todo su tiempo operando las líneas de impresión.

En cuanto veían un comportamiento que no comprendían detenían la máquina y argumentaban que el sistema no estaba funcionando correctamente, por ejemplo, intentaban mover manualmente la posición de la troqueladora, el nuevo sistema centraba el predoblado basándose en las lecturas de las cámaras y por lo tanto editaba la posición definida por el operador, así que el operador volvía a mover la troqueladora. Resultó

complicado que el personal operativo entendiera el principio de funcionamiento de los nuevos alineadores y el nuevo nivel de automatización que se había alcanzado.

También se capacitó al personal de mantenimiento sobre el funcionamiento del sistema, se llevó a cada grupo de ingenieros en turno a la máquina y se mostró el proceso de ajuste de producción, el principio de funcionamiento de los alineadores, el centrado de impresión y el software en la PC industrial.

Incluso con las bases técnicas de los ingenieros en turno surgieron muchas dudas sobre el diagnóstico del equipo y todas las variables involucradas en su funcionamiento.

Sin embargo aun con todas estas dificultades se ha logrado obtener el éxito en la instalación y operatividad del equipo, los operadores se han ido adaptando poco a poco a la nueva forma de trabajar y cada vez hay menos dudas sobre como operar el nuevo sistema así mismo, el personal de mantenimiento ya comprende casi en su totalidad el funcionamiento del equipo y se han familiarizado con él a tal grado que pueden identificar las causas de los problemas más recurrentes y realizar las acciones necesarias para resolverlos en tiempo oportuno.

## Capítulo 3: Experiencia profesional dentro de la empresa.

### 3.1 Empleado del taller de mantenimiento.

Al ingresar a la empresa en abril de 2018 aún se manejaba la modalidad de subcontratación, la primera experiencia laboral se obtuvo realizando actividades en el taller de mantenimiento sin trabajar directamente para Tetra Pak.

El personal del taller de mantenimiento son los encargados de las actividades generales, tales como apoyar en actividades de mantenimiento preventivo a las líneas de producción y dar mantenimiento a los equipos auxiliares como vehículos de guiado automático (AGV Autonomous Guided Vehicle), bombas de tinta, limpieza de filtros de polietileno y patines para rollos individuales.

Las actividades resultan ser más técnicas y no de ingeniería, al ser un puesto generalizado se realizan trabajos en las tres áreas de producción de la planta, es decir, impresión, laminación y corte, pero también en equipos auxiliares como los silos de almacenamiento de polietileno y el área de reciclaje donde se corta y compactan cubos de desperdicio de producción.

#### 3.1.1 Mantenimiento Eléctrico.

Los equipos eléctricos que se intervienen en el taller son bombas de tinta, patines para cargar rollos individuales, vehículos de guiado autónomos que recogen los rollos máster y patines para empujar los rollos máster.

Los conocimientos de electricidad y electrónica resultaron muy útiles para el diagnóstico y reparación de los equipos mencionados como la medición de impedancia de motores de corriente alterna y directa, estos conocimientos permitieron poder reparar bombas de tinta y patines. Al ser equipos relativamente sencillos el diagnóstico es en su

mayoría fácil si se tienen las bases de electricidad, como entender los conceptos de voltaje, corriente, resistencia y potencia. La herramienta más utilizada para el diagnóstico es el multímetro, equipo que se aprendió a utilizar correctamente durante la universidad.

Los conocimientos de programación permitieron modificar la base de datos de los rollos de papel que los patines autónomos como el que se muestra en la ilustración 35 (Atlas Robots, s.f.) utilizan para llevar a cabo las tareas para saber qué tipo de materia prima se ha solicitado desde el área de impresión y cómo estos se irán almacenando o pasando a los siguientes procesos, ningún empleado de mantenimiento tiene preparación en programación en lenguajes de alto nivel, como la carrera de mecatrónica abarca también sistemas computacionales se pudieron llenar los gaps de conocimiento de los compañeros.



*Ilustración 33 (Atlas Robots, s.f.) Ejemplo de AGV cargando una tarima.*

### 3.1.2 Mejora de patines para carga de rollos individuales.

En el área de corte y finalizado se utilizan patines para mover los rollos individuales que son mucho más pequeños que los rollos máster, a estos equipos se les conoce como patines dr, se puede apreciar un ejemplo de esta máquina en la ilustración 36. Los patines son utilizados para pasar los rollos del transportador que los mueve



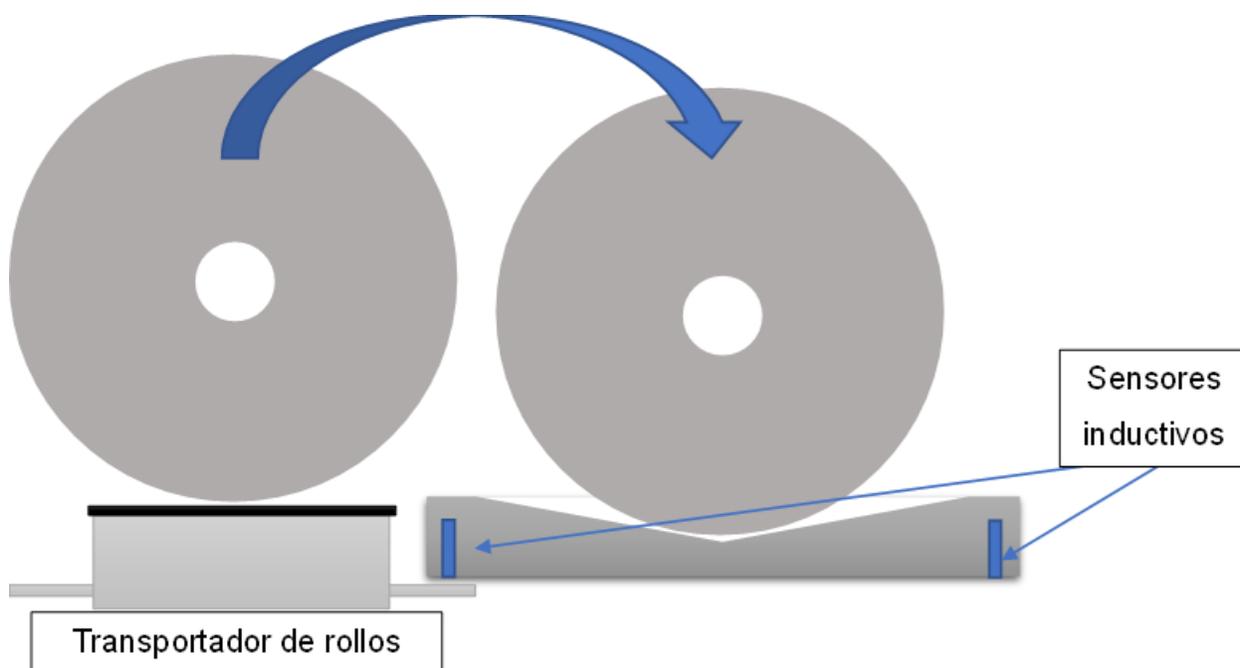
*Ilustración 34 Patin eléctrico para manipular rollos individuales.*

después de ser cortados a las máquinas de inspección cuando se ha marcado un defecto de producción que debe ser revisado y removido.

Estos patines cuentan con un motor de 24 VCD (en la ilustración 36, el cilindro negro en la parte baja central del patín) con una caja de engranes acopado a un par de poleas con dos bandas dentadas (que se observan en color blanco en la ilustración 36) que hacen subir y bajar los rollos montados sobre una plataforma con una forma de “V” (como se ejemplifica en la ilustración 37) que evita que los rollos se giren, el movimiento

se acciona mediante un par de mandos colocados en el manubrio del patín, cuando la plataforma queda a la altura necesaria para pasar los rollos del transportador al patín, el movimiento hacia abajo se detiene gracias a unos sensores inductivos instalados en la parte baja de la plataforma que detectan una ceja en la estructura del transportador.

El diseño original usaba una tarjeta de control diseñada en Europa además de un arreglo eléctrico de temporizadores analógicos y relevadores. La unidad de control resultaba poco confiable, fallando con una alta frecuencia, causando que siempre faltaran patines en el área de producción y la mayoría se encontraran en el taller de mantenimiento siendo reparados.



*Ilustración 35 Plataforma de patín con rollo montado y sensores de detección de la ceja del transportador, el rollo se gira para pasarlo al patín.*

Debido al periodo de entrega de refacciones que usualmente era de semanas porque los componentes eran enviados desde Europa, los patines permanecían en el taller de mantenimiento por largos periodos de tiempo lo que causaba muchas quejas por parte del área de producción.

Se habían propuesto varias modificaciones a la unidad de control por los compañeros del área de mantenimiento a lo largo de los años, pero todas agregaban

componentes haciendo cada vez más complejo el circuito y aumentando los posibles puntos de falla del sistema.

En conjunto con los encargados del área de corte y finalizado, se buscó migrar a un diseño más simple que facilitara el diagnóstico y reparación, así como el abasto de refacciones en el almacén. Se propuso un rediseño de la unidad de control empezando desde cero con una gran reducción de componentes comparándolo con el proyecto original.

La selección de la tarjeta de control dependería de la potencia necesaria por el motor de corriente directa con el que contaba el patín y de la batería recargable de 24V con la que ya cuentan, estos motores se dañan de forma muy esporádica, el problema era sólo la unidad de control.



*Ilustración 36 Placa con datos de motor de patines.*

El motor CD a controlar tiene las siguientes características que también se observan en la ilustración 38 de la placa del motor:

- Alimentación a 24 VCD
- Potencia de 520 W
- Consumo de corriente de 33.5 A

Se buscó un controlador de motor de corriente directa comercial apto para manejar la carga, se eligió una capacidad de 50 A a 24 V que da como resultado una potencia máxima de 1.2 KW, se escogió esta potencia sobrada para evitar que sobrecargas momentáneas por inercia o atoramientos por descuido del operador al momento de manipular los rollos, dañaran los circuitos de potencia del controlador y por las características de los productos disponibles en el mercado.

Cualquier controlador con esas características es suficiente para la función del patín, por lo tanto, se abre la posibilidad de obtener refacciones fácil y rápidamente a comparación de los componentes anteriores.

Se consiguió una tarjeta de control Modulación de Ancho de Pulso o PWM por sus siglas en inglés (Pulse Width Modulation) como la mostrada en la ilustración 39 para el motor de corriente directa, esta tarjeta de control genérica que se puede encontrar en tiendas en línea por aproximadamente \$400 MXN se usó para reemplazar la tarjeta de control europea con un costo de más de \$34,000 MXN y tiempos de entrega de incluso meses.

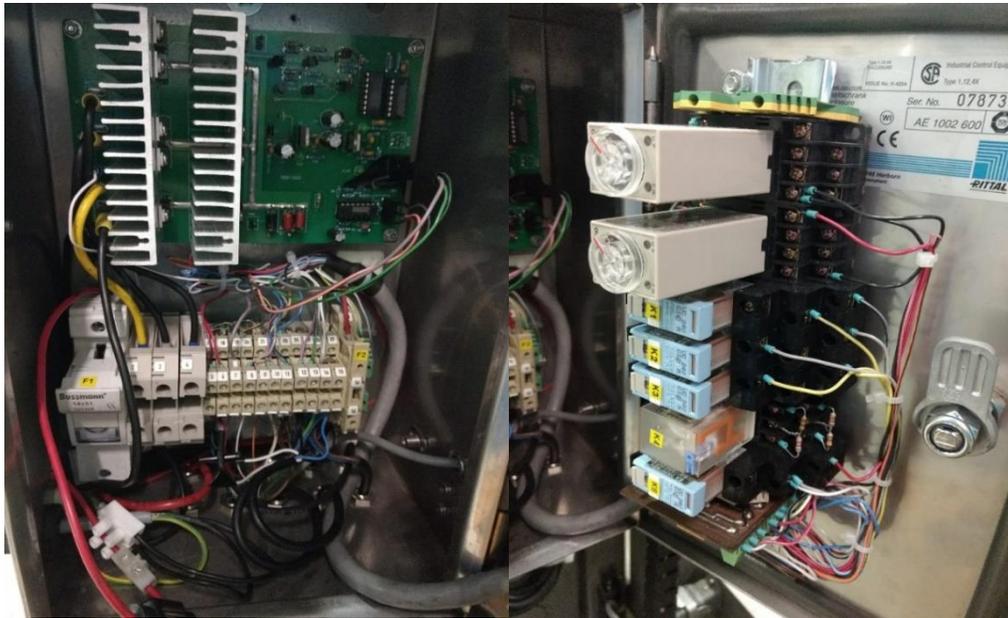


*Ilustración 37 Controlador que se optó por usar con un costo de \$ 18.69 USD que son aproximadamente \$ 375.07 MXN sin*

También se retiraron la mayoría de los demás elementos electromecánicos, dejando completamente fuera los temporizadores analógicos y reduciendo la cantidad

de relevadores, los cuales se interconectaron de tal manera que aislaran el voltaje de control de 5 V y la potencia de 24 V, además de brindar protección contra cortos circuitos por una manipulación errónea activando la subida y bajada de la plataforma al mismo tiempo.

En las ilustraciones 40 y 41 se muestra una comparativa entre el circuito de control original y le circuito de control propuesto:



*Ilustración 38 Gabinete de control con circuito original.*



*Ilustración 39 Gabinete con nuevo circuito de control.*

Diagrama de nuevo diseño de unidad de control:

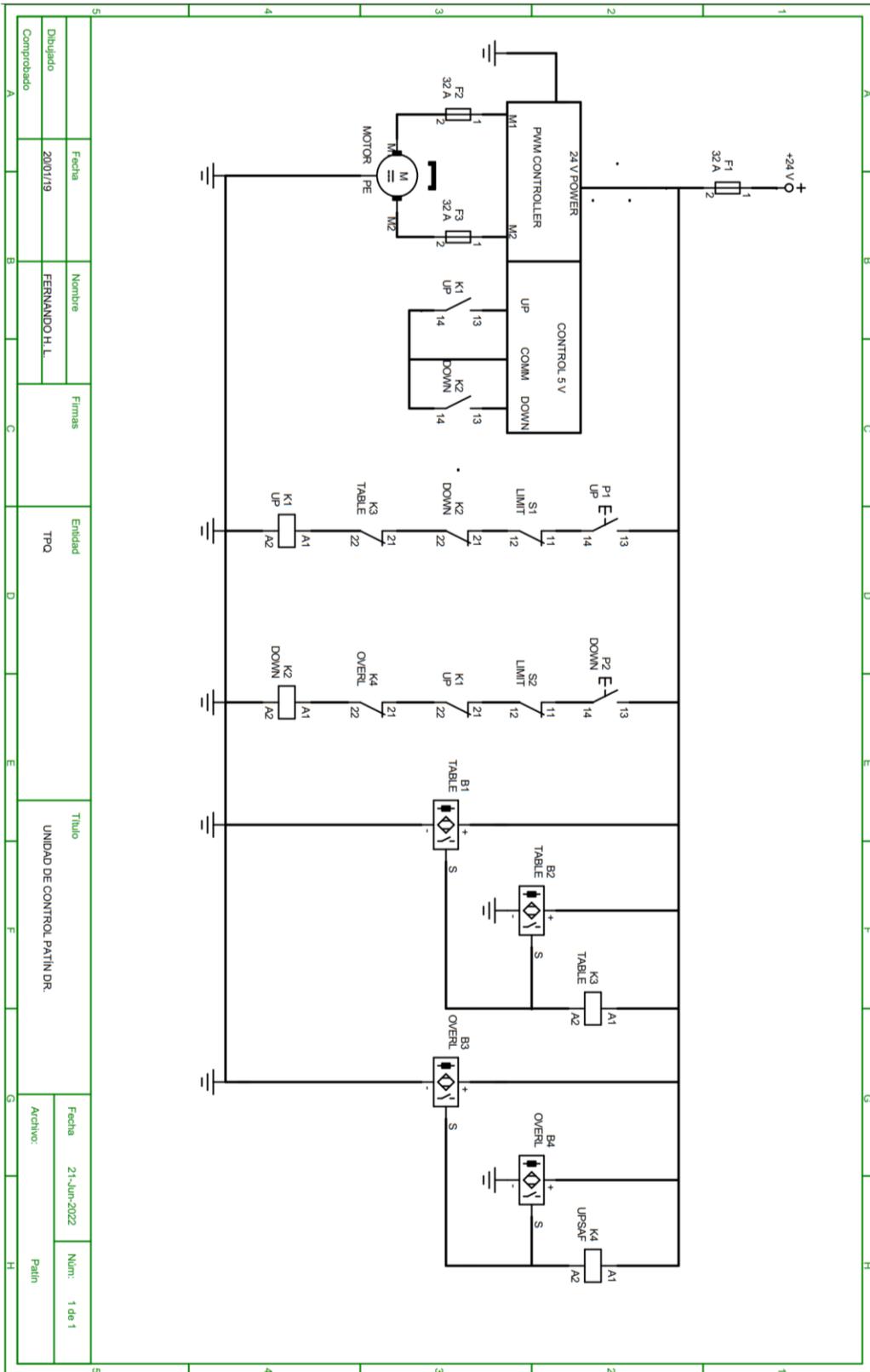


Diagrama 1 Unidad de control de patin para rollos individuales

Se realizó la modificación en un solo patín y se puso a prueba durante un mes, durante todo ese tiempo no se tuvieron problemas con el patín modificado y ya con el diseño validado, se procedió a estandarizarlo e instalarlo en todos los patines que se dañaran y llegaran al taller de mantenimiento.

Se compartió el diagrama con todos los integrantes del equipo para que cualquiera pudiera realizar la migración al nuevo diseño y al cabo de un par de meses, los 15 patines ya se encontraban actualizados.

Después de la modificación en un solo patín se obtuvo un mejor rendimiento en comparación con los demás equipos que tenían el diseño original, aunque al tratarse de un equipo auxiliar no se llevó un control exhaustivo de las averías que les ocurrían, la cantidad de equipos dañados se redujo a solo uno al mes, con averías más fáciles de diagnosticar por la simplificación del sistema, también se vio la ventaja de utilizar componentes comerciales pues había refacciones disponibles y las reparaciones se realizaban en poco tiempo.

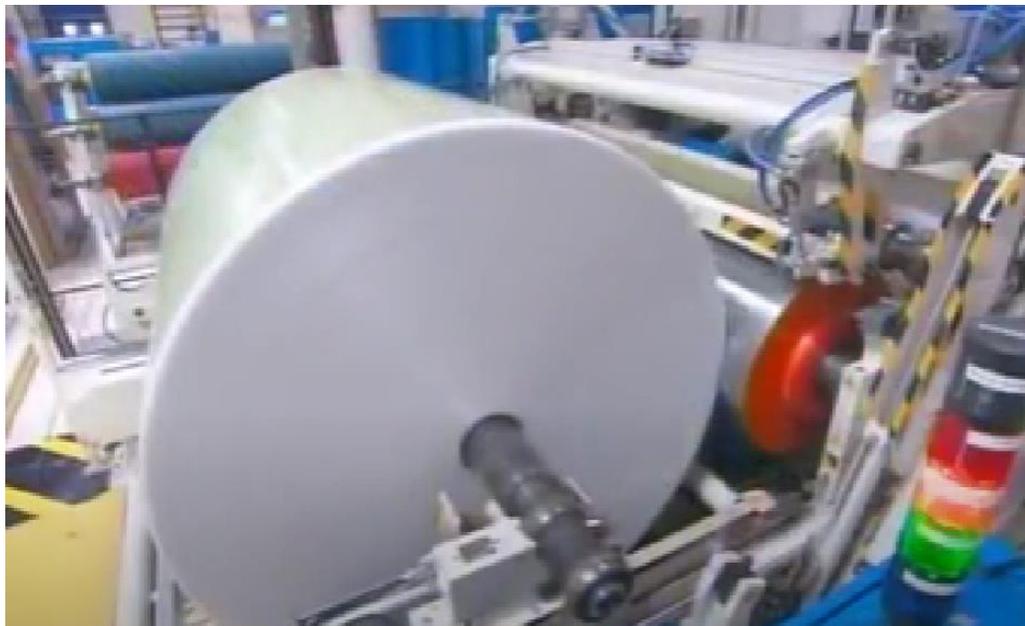
El ahorro económico fue evidente pues se migraron los 15 patines al nuevo diseño utilizando menos de \$6,000 pesos mexicanos, que corresponde a menos del 18% del costo de una sola tarjeta de control original y se reutilizaron los relevadores que ya estaban instalados. Como no se tuvo que ampliar el stock de refacciones a otros componentes además del controlador PWM, la única inversión fue la compra de estos y las horas hombre invertidas en el rediseño.

### 3.1.3 Mantenimiento mecánico.

Las actividades de mantenimiento mecánico en el taller son ajustes de componentes sencillos, limpieza y lubricación, además de apoyar a los expertos mecánicos en la restauración de sistemas más complejos en las líneas de producción.

Algunas de las actividades son la restauración de mordazas de las flechas que sujetan los rollos máster en los enrolladores de papel, estas mordazas sujetan el núcleo de cartón donde se enrolla el papel como se aprecia en la ilustración 42.

Las mordazas aplican presión contra el núcleo de cartón al ser empujadas desde dentro de la flecha por una cámara neumática que es inflada con aire, esta cámara neumática y las mordazas sufren desgaste por los esfuerzos repetitivos a los que están sometidas, el mantenimiento se realiza dependiendo del número de ciclos que han trabajado (Time Based Maintenance), su vida útil es de aproximadamente 6000 ciclos que son cerca de 50 días de operación.



*Ilustración 40 (Canal How It's Made Show, 2016). Enrollador de papel, se aprecia el eje o flecha sobre el que gira el núcleo donde se va enrollando el material.*

Dentro de las inspecciones mecánicas durante los mantenimientos preventivos se revisan el juego de los rodamientos de los rodillos, así como su lubricación usando graseras, también se inspeccionan las bandas de transmisión, que por ejemplo usan los rodillos anilox que transfieren la tinta a las placas de impresión, ya que el plástico de las bandas dentadas se daña con frecuencia debido a los esfuerzos producidos al acelerar y frenar la línea, por ejemplo, cuando por alguna razón se requiere un paro de emergencia los motores y el sistema completo intentan detener el movimiento de los componentes lo más rápido posible, pero la inercia de los rodillos previamente en

movimiento alcanza a arrancar los dientes de las bandas. En las inspecciones se busca identificar las bandas que estén a punto de dañarse para reemplazarlas de inmediato y evitar paros no planeados posteriormente.

El mantenimiento mecánico incluye también la limpieza de las bancadas donde se desplazan los rodillos y se acercan o se alejan del papel, si no se retira la tinta de las bancadas, esta se secará y formará piedras de tinta que impedirán el movimiento libre de la bancada, las guías donde se desplazan los rodillos normalmente se llenan de la tinta que salpica por la misma naturaleza del proceso con rodillos impregnados de tinta girando a altas velocidades.

### 3.2 Maintenance Shift Engineer (Ingeniero de Mantenimiento en Turno).

El siguiente puesto dentro de la organización es el de Ingeniero de Mantenimiento en Turno, la responsabilidad principal de esta posición es realizar el mantenimiento correctivo a las líneas de producción durante la jornada laboral de 8 horas por turno.

Se agrupan equipos de 3 personas especialistas en electricidad, mecánica y mecatrónica. Los equipos A, B, C y D rolan 3 turnos, descansando 2 días cada 6 días trabajados y van intercambiando el horario de trabajo los cuales van de:

- de 7 a 15 horas,
- de 15 a 23 horas y
- de 23 a 7 horas.

La efectividad del equipo se mide con el tiempo medio de intervención en la línea detenida (MDT Mean Down Time) y la calidad de la reparación, ya que si la falla se presenta nuevamente es necesario analizar más a fondo el problema utilizando la metodología de Mantenimiento Productivo Total (Total Productive Maintenance).

Los ingenieros de mantenimiento en turno también participan en actividades de mantenimiento preventivo durante los paros de producción planeados en las tres áreas de la planta. Durante estas intervenciones, los ingenieros en turno se apoyan de los empleados del taller de mantenimiento para realizar las actividades ya que la gente en

turno cuenta con mayor conocimiento al estar en contacto constante con las máquinas durante su funcionamiento en producción.

Los ingenieros de turno comprenden las secuencias automáticas y los puntos que se deben revisar para evitar fallas futuras, por eso es necesaria su participación en las actividades preventivas.

### 3.2.1 Mantenimiento eléctrico y programación de PLC.

Se requiere saber interpretar los diagramas eléctricos para poder comprender el funcionamiento de las máquinas y tener la capacidad intuir qué componentes están involucrados en una avería. Durante la carrera sólo se realizan y analizan diagramas sencillos para proyectos pequeños, pero es indispensable conocer la estructura en que se ordenan los diagramas eléctricos industriales para poder leerlos rápida y correctamente.

Dentro de las herramientas de diagnóstico se utilizan diversos softwares de automatización, todos los controladores de las líneas son marca Siemens, de los cuales se cuenta con:

- Siemens Step 7
- Siemens TIA Portal
- WinCC
- Sinamics STARTER

Los conocimientos de programación de PLC resultaron indispensables para el puesto, ya que se deben interpretar los programas de las líneas de producción para poder diagnosticar averías y para ser capaz de realizar mejoras que aumenten la confiabilidad de las máquinas. La empresa cuenta con un convenio con Siemens, los PLC de todas las máquinas son de esta marca y durante la carrera se manejaron equipos similares así que se tenía conocimiento previo y familiarización con la interfaz gráfica.

Los sistemas de automatización dentro de una línea en la empresa son de alta complejidad, manejan una gran cantidad de CPU y módulos de entradas y salidas distribuidos por lo que es necesaria una red muy amplia para la interconexión de todos los sistemas. Se cuenta con varios protocolos de comunicación como Profibus, Ethercat, Profinet, Industrial Ethernet, CAN Bus, Sercos y Drive Qliq y se cuentan con varios adaptadores de red para compartir la información entre componentes de diferentes marcas, así que prácticamente todos los sistemas de la línea están siendo monitoreados constantemente y en caso de un fallo se generan las alarmas correspondientes para ayudar al diagnóstico.

Dentro de las diferentes líneas de producción que se encuentran en la empresa, las impresoras son las máquinas más complejas, utilizan 3 CPU Simatic 400 como maestros y a su vez, cada máquina que compone la línea de producción cuenta con un PLC y módulos de entradas y salidas independientes. La integración requirió la implementación de diferentes marcas y tecnologías, por ejemplo, el control de los motores que le dan tracción al papel se lleva a cabo mediante drives Siemens o Parker, el control es relativamente simple pues los controladores sólo asignan el ajuste (set-point) de velocidad a la que deben girar y el drive del motor se encarga del resto, pero las impresoras también cuentan con rodillos que deben girar de forma sincronizada, para su control se utilizan drives Rexroth que manejan servomotores que se sincronizan al eje virtual de la máquina, el sistema de Rexroth usa la interfaz Sercos para la comunicación mediante fibra óptica, este protocolo es el más rápido con el que cuentan las máquinas, la red Sercos se encuentra aislada de las demás pero cuenta con un adaptador llamado PPC para el envío y recepción de señales con los PLC Siemens.

La complejidad de las impresoras se debe a que los sistemas de control de posición y sincronización son de lo más difíciles de dominar en la automatización, antes de contar con esta tecnología, los rodillos estaban acoplados de forma mecánica a un eje con engranajes que transferían el giro a cada parte de la máquina lo que limitaba la velocidad máxima a 300 m/min y requería de ajustes constantes entre diferentes tamaños de envases, se cambiaban los engranes de transmisión para ajustar la relación

de velocidad con el diámetro de las camisas que los rodillos que se usan en los diferentes tipos de envase.

Como actualmente se cuenta con drives para el controlar los motores asíncronos de corriente directa una gran cantidad de componentes mecánicos se han sustituido por componentes electrónicos los cuales se programan usando software y no requieren calibraciones tan finas como sus contrapartes mecánicas. Para la programación, monitoreo y diagnóstico de los motores y sus drives se utiliza el software de Sinamics Starter, el programa permite conectarse al drive para conocer el estado del motor, poder graficar señales como corriente, torque, velocidad, temperatura, etc. En tiempo real para así realizar diagnósticos certeros. El software también permite realizar cambios en la configuración de hardware en caso de que se tengan que cambiar componentes como lo son los encoder. Sinamics Starter también permite definir el telegrama de comunicación entre el PLC y el drive, así como monitorear su comunicación. El programa resulta muy útil para el diagnóstico ya que se pueden revisar los detalles y ayudas disponibles en caso de presentarse una alarma, en comparación con sólo revisar el panel LCD con el que cuentan los drives Sinamics.

En conjunto con los drives Siemens se utilizan drives marca Parker que son obsoletos y cada vez más difíciles de conseguir, estos drives fallan con mucha más frecuencia que un drive Siemens y constantemente se daña la etapa de potencia, donde se encuentran los IGBT, en este caso los conocimientos de electrónica resultan útiles para poder realizar la reparación en sitio ya que el enviar el drive a una empresa especialista es muy costoso y requiere bastante tiempo, la reparación en el momento ha ahorrado dinero y tiempo en casos de emergencia donde no se cuenta con refacción de un drive completo.

El uso de lenguajes de alto nivel como Java y la programación de placas Arduino durante la carrera ayudó a poder entender más rápida y fácilmente los programas más recientes del software TIA Portal en comparación con los colegas que cuentan con una preparación en Electricidad o Electrónica pura, lo que destaca una de las ventajas de la carrera de mecatrónica. Esto es porque la programación en TIA Portal está basada en literales en vez de direcciones absolutas como en Step7 clásico, lo que quiere decir que

el direccionamiento de las señales de entradas y salidas físicas del PLC es relativo a nombres de variables en vez de tener que hacer referencia exactamente a la dirección de la salida o la dirección de memoria específica.

Aunque las versiones recientes de TIA Portal ofrecen muchas ventajas sobre Step7 clásico, este sigue siendo ampliamente utilizado en la industria debido a que no es viable económicamente retirar todo el equipo ya instalado para hacer la actualización a hardware más reciente compatible con el nuevo software, así que se seguirá usando Step 7 hasta que haya un incentivo económico como el completo desabasto de refacciones lo que provocaría tiempo de paro en máquina.

En conjunto con los controladores, la maquinaria tiene una gran cantidad de Interfaces Humano Máquina o HMI por sus siglas en inglés (Human Machine Interface), para su programación se utiliza el software de WinCC, con él se pueden editar las interfaces gráficas y agregar o quitar funciones y pantallas. Estando en el puesto de mantenimiento en turno también se realizaron modificaciones a las interfaces de varias máquinas para desplegar información útil al personal de operación, siguiendo los estándares de la empresa que están definidos a nivel global para poder replicar las mejoras en las diferentes plantas de producción. También se generaron pantallas específicas para mantenimiento que ayuden a realizar un diagnóstico más rápido de los problemas.

Al igual que los PLC, las pantallas instaladas son Siemens y hay versiones antiguas y discontinuadas como las MP377 y nuevas como los modelos Confort como el que se muestra en la ilustración que cuentan una resolución mayor y mejor respuesta táctil. Las HMI Confort sólo se pueden programar en TIA Portal, así que cuando alguna pantalla antigua sufre un daño, se reemplaza por una de versión actual migrando el proyecto a TIA Portal.

El único gabinete que cuenta con exclusivamente hardware reciente sirve para controlar el posicionamiento de la troqueladora, se utiliza un PLC Simatic 1500 con capacidades de seguridad y funciones tecnológicas para el control de motores, todo el proyecto, el programa del PLC y la HMI está desarrollado utilizando TIA Portal.



*Ilustración 41 Simatic touch confort panel de Siemens.*

Por esta combinación de hardware viejo y nuevo que es actualizado dependiendo de las necesidades, se utilizan herramientas recientes y anteriores para el diagnóstico y modificación de las líneas de producción.

Cada línea de la planta cuenta con un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, más conocido como SCADA (por sus siglas en inglés que se refieren a Supervisory Control and Data Acquisition) para la interfaz y el almacenamiento de información como el historial de alarmas y visualización de gráficas de diferentes variables de proceso, como la velocidad, temperatura, presión, etc. El proyecto de WinCC de SCADA está guardado dentro del multiproyecto que contiene todos los demás PLC e interfaces, la versión del software que se usa para editar las funciones de SCADA difiere de las HMI convencionales ya que permite realizar acciones más complejas ya que la aplicación corre sobre una computadora con sistema operativo Windows que posee muchos más recursos en comparación con los paneles HMI que están bastante

más limitados. El sistema SCADA se compone de un servidor resguardado en el cuarto eléctrico donde sólo el personal de mantenimiento tiene acceso el cual está conectado directamente a la red de OT de la línea, y para el uso de operación se tiene un cliente que consulta la información del servidor y a su vez el servidor recibe los comandos introducidos desde el cliente y los envía al PLC correspondiente. Desde esta plataforma se obtiene un control centralizado de toda la línea y una vista general de todas las máquinas, sistemas y subsistemas que la componen.

Otra de las herramientas de diagnóstico utilizadas por los ingenieros de mantenimiento en turno es un sistema de adquisición de datos llamado CDAS (Control Data Acquisition System). CDAS está conectado a la red de OT (Operation Technologies), es decir la red de los PLC, y puede obtener cualquier bit o palabra dentro de cualquiera de los PLC para luego almacenarla en una base de datos. Estos registros resultan muy útiles a la hora de diagnosticar ya que se puede ver el comportamiento histórico de señales analógicas como la temperatura y corriente del funcionamiento de un motor.

### 3.2.2 Implementación de la metodología WCM dentro de la empresa.

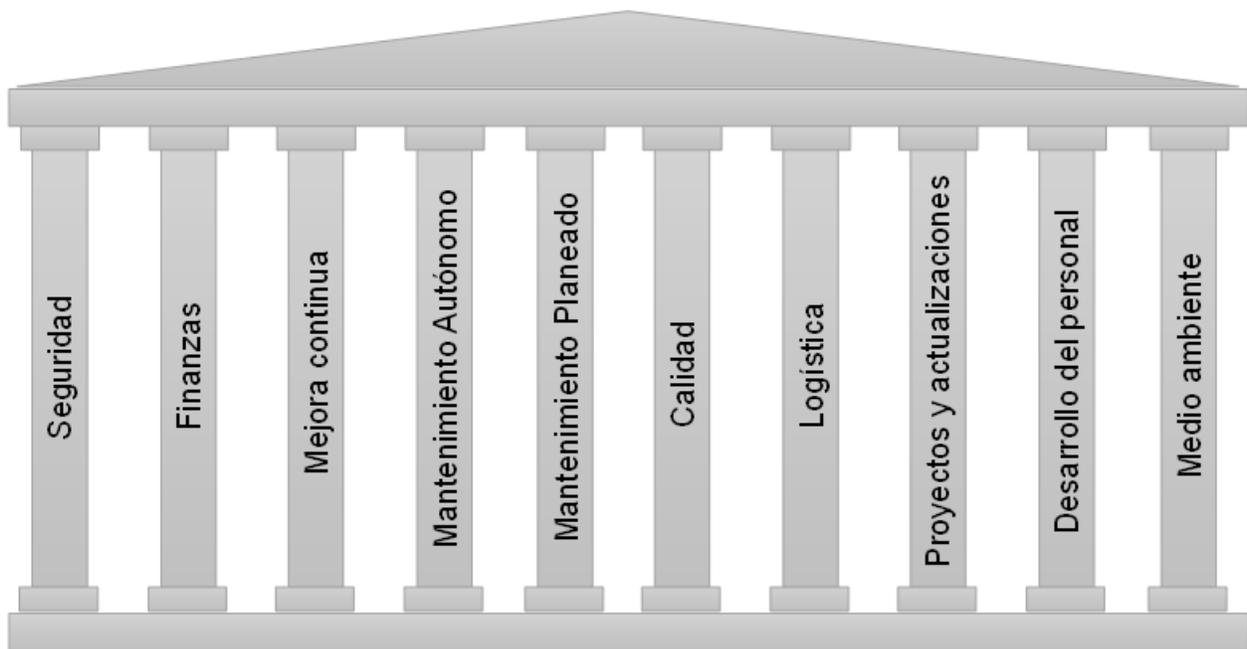
La empresa utiliza la metodología de Manufactura de Clase Mundial que se abrevia WCM por sus siglas en inglés (World Class Manufacturing).

“El término fue usado por primera vez en 1984 por Hayes y Wheelwright, ellos la describen como un conjunto de prácticas que al ser aplicadas resultaran en un desempeño superior en todos los aspectos” (S., R. & N. 2016). y según su literatura, una empresa WCM debe tener y ofrecer las siguientes características:

- Entregas en el menor tiempo posible.
- Entregas siempre a tiempo.
- Un producto con mejores cualidades que aquellos ofrecidos por la competencia.

- Un producto fabricado a la perfección.
- Un producto con el diseño que el cliente requiera.
- El volumen de producción que el cliente requiera.
- Ofrecer el producto más barato del mercado.

La metodología de WCM divide la organización en diferentes pilares que sostienen la empresa, estos pilares son los mostrados en la ilustración 44.



*Ilustración 42 Pilares de la filosofía WCM*

WCM usa como herramienta la metodología de Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total) que se enfoca fuertemente en el mantenimiento preventivo para evitar paros no planeados y aumentar la confiabilidad de la maquinaria y por consecuencia aumentar la productividad.

El pilar de mantenimiento está enfocado en garantizar la confiabilidad de las máquinas mediante mantenimientos planeados con actividades definidas en Mantenimiento Basado en Tiempo (Time Based Maintenance) que son actividades

detonadas por el tiempo que la máquina lleva en operación y Mantenimiento Basado en Condiciones (Condition Based Maintenance).

### 3.2.2.1 Mantenimiento Basado en Tiempo:

Para detonar las actividades de mantenimiento basado en tiempo se toma en cuenta la vida útil de los componentes ya sea indicada por el fabricante o de manera empírica dentro de la planta, por ejemplo, el quemador de gas que se utiliza para calentar el aire en los secadores de las impresoras utiliza un bulbo de detección de luz ultravioleta (como el mostrado en la ilustración 45 montado como en la ilustración 46) con una vida útil de 10,000 horas a una temperatura menor de 50°C, esto equivale a aproximadamente 417 días de funcionamiento continuo, considerando que las líneas funcionan prácticamente los 365 días del año las 24 horas del día, los bulbos se cambian cada año dejando un margen de unos 50 días hasta el fin de vida útil calculado de componente lo que permite evitar paros no planeados.



Ilustración 44 Bulbo detector de luz UV para detección de flama.

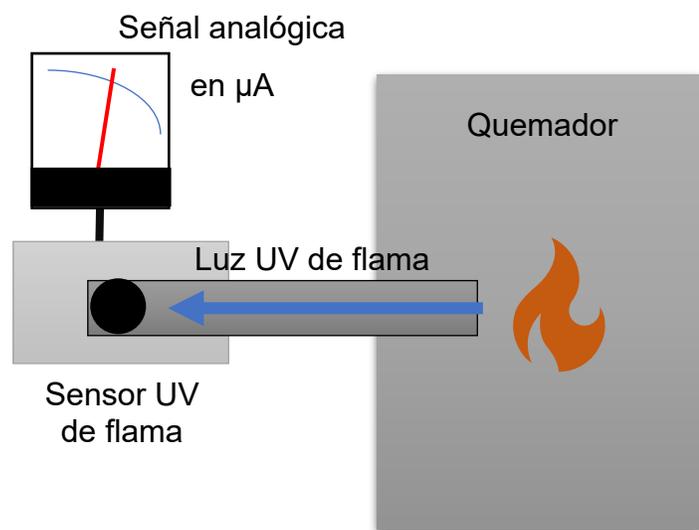


Ilustración 43 Montaje de un sensor detector de flama.

Aunque el equipo no haya llegado aún al tiempo de vida útil exacto, se deja el margen para trabajar de forma segura y se compensa el gasto realizado en la refacción

(que es de cerca de \$ 350 dólares) con el tiempo de paro que se evita por sólo reemplazarlo, además, como el cambio se realiza durante un mantenimiento preventivo, se pueden realizar distintas pruebas para garantizar que el sensor no está defectuoso y ha sido ajustado correctamente.

#### *3.2.2.2 Mantenimiento Basado en Condiciones.*

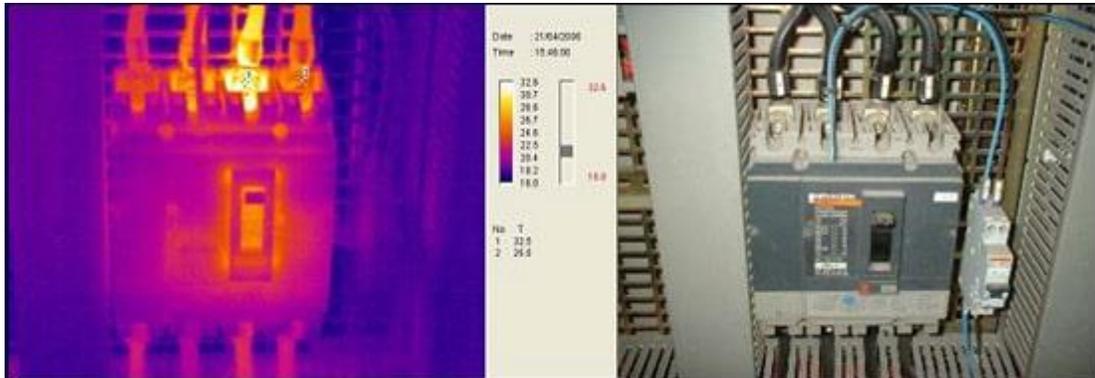
El mantenimiento basado en condiciones detona actividades dependiendo de la medición obtenida de las condiciones de la maquinaria usando herramientas como el análisis de vibraciones, el análisis de aceites y termografías.

El análisis de vibraciones sirve para detectar posibles daños en máquinas rotativas, como pueden ser rodamientos que requieren lubricación o que están dañados, desalineación en el acoplamiento de motores y flechas, así como el desbalanceo de poleas o álabes de ventiladores.

El análisis de aceites se realiza sobre todo en unidades hidráulicas y en las cajas de reductores buscando, por ejemplo, residuos de metal y contaminantes derivados del desgaste de bombas hidráulicas, el desgaste de engranajes y el desprendimiento de material interno de las mangueras. Estos contaminantes pueden atorar los carretes de las válvulas hidráulicas o los conductos de estas, lo que detiene los movimientos hidráulicos de las máquinas. El análisis de aceites es muy útil para saber si es viable el reemplazo completo del aceite de un sistema grande que requiera una gran cantidad de litros o si se puede continuar trabajando con un nivel de contaminación aceptable.

Las mediciones de temperatura de componentes mecánicos y eléctricos usando cámaras termográficas permiten observar el espectro infrarrojo que es irradiado por los equipos, lo que otorga la capacidad de detectar zonas calientes en motores que se calientan por un sobre esfuerzo, conexiones eléctricas, como se muestra en la ilustración 47, que en su mayoría se deben a conexiones flojas, contactos carbonizados en interruptores y contactores, o cargas desbalanceadas en las fases eléctricas.

Estos hallazgos detonan actividades para la inspección y reapriete de los componentes, medición de impedancia de motores y aislamiento a tierra, así como también su reemplazo.



*Ilustración 45 Imagen termográfica de interruptor eléctrico con calentamiento en una de las fases.*

La medición de temperatura en componentes mecánicos como pueden ser equipos rotativos como poleas, rodillos o acoplamientos ayuda a encontrar zonas de forzamiento con exceso o falta de lubricación o desgaste en cajas de reducción motriz.

En la ilustración 48 se puede observar como una polea se encuentra mucho más caliente en relación con las que le rodean, lo que indica algún forzamiento mecánico.



*Ilustración 46 Imagen termográfica de poleas donde se observa que la polea del centro irradia más calor.*

### *3.2.2.3 Mejora continua y erradicación de averías.*

El pilar de mantenimiento aporta a la mejora continua del proceso agregando modificaciones de hardware y software a la maquinaria ya instalada. Una de las formas en que se enfoca el esfuerzo y recurso del pilar en estas mejoras es mediante la participación en equipos de mejora continua (Equipos Kaizen) que son grupos multidisciplinarios que utilizan metodología de los 12 pasos Kaizen para erradicar problemas crónicos, mejorar la calidad, evitar desperdicio de material, eliminar operaciones, generar estándares, etc.

Los 12 pasos de la metodología Kaizen son:

1. Identificar y clasificar pérdidas.
2. Seleccionar y justificar el tema, definir un objetivo y hacer un plan.
3. Entender el proceso y el equipo.
4. Entender la situación actual.
5. Validar si el objetivo es alcanzable.
6. Actualizar el plan.
7. Utilización de análisis de causa (5W+1H)
8. Proponer, evaluar y decidir contramedidas.
9. Implementar contramedidas.
10. Revisar resultados.
11. Estandarización.
12. Planes futuros.

Los equipos Kaizen no se detonan con tanta frecuencia, pero la herramienta de la metodología que más utiliza un ingeniero de mantenimiento en turno son los análisis de falla, estos análisis se llevan a cabo para encontrar la causa raíz de los problemas y poder así proponer acciones para erradicar los diferentes modos de falla.

La realización de los análisis de falla se detona cuando se cumple alguno de los siguientes criterios:

- Una avería mantiene la producción en paro por más de una hora.

- Una avería no se corrigió correctamente y se repitió el evento.
- Llevar a cabo la reparación costó más de \$ 100,000 MXN.

Los formatos de análisis de falla cuentan con toda la información del evento, la información permite identificar la línea donde ocurrió, cuándo ocurrió y bajo qué circunstancias.

Se utiliza un diagrama de causa efecto (también conocido como diagrama de pescado o Ishikawa). Estos diagramas de causa efecto pueden tener muchas ramas, pero dentro de la empresa se utiliza un estándar para los análisis de mantenimiento que considera las “4 M” que describen las posibles causas del problema, las cuales que son:

1. Mano de obra.
2. Material.
3. Máquina.
4. Método.

A continuación, se presenta ejemplo de análisis de falla en la tabla 1:

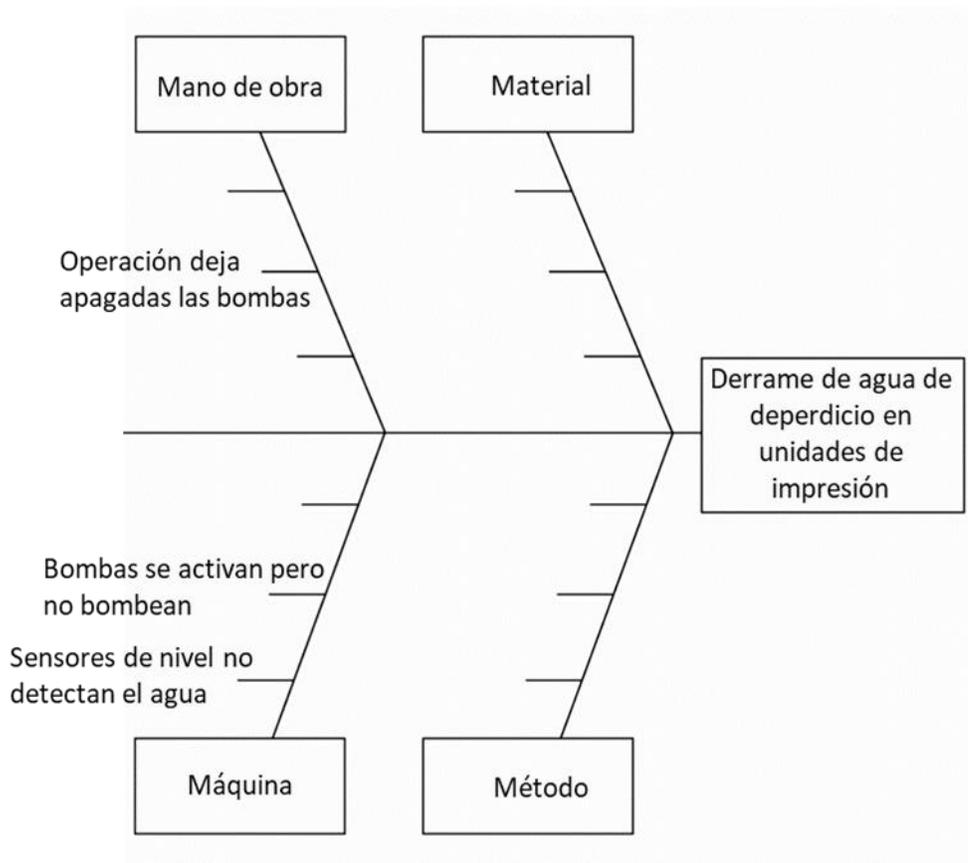
*Tabla 1 Carátula de análisis de falla.*

Línea	Máquina	Sistema	Fecha
Impresora 3	Unidades de Impresión	Agua de desperdicio	20-oct-21
<b>Modo de falla</b>			
<i>PU35 - DERRAME DE AGUA DE DESPERDICIO</i>			
<b>¿Qué?</b>	Derrame de agua de desperdicio en unidades de impresión		
<b>¿Dónde?</b>	Unidad de impresión 5		
<b>¿Cuándo?</b>	A mitad de turno con máquina corriendo		
<b>¿Quién?</b>	Grupo B, no tiene relación		
<b>¿Cuál?</b>	Ha ocurrido en ocasiones anteriores en diferentes líneas y diferentes unidades de impresión		

**¿Cómo?**

Se presentó un derrame de agua sucia en la unidad 5 de la línea de impresión 3 cuando el grupo B estaba en turno, en ocasiones al llenarse los depósitos de agua de desperdicio las bombas neumáticas no bombean el agua lo que provoca que se sigan llenando los contenedores y se derrame agua sucia en el piso de producción causan un riesgo ya que los operadores tienen que realizar actividades en la zona y podrían resbalar, la limpieza del derrame ocupa tiempo del personal de operación.

**Diagrama de causa efecto**



*Ilustración 47 Diagrama de causa efecto con las diferentes posibles causas del problema.*

En la ilustración 49 se muestra el diagrama de Ishikawa con las diferentes fallas en la máquina que podrían haber causado el problema, así como los errores de operación que también la podrían ocasionar.

Tabla 2 Herramienta de los 5 por qué.

5 por qué:					
Causa	2	3	4	5	Contramedida
Sensores de nivel no detectan el agua	La cabeza el sensor está sucia	Sensores con costra de tinta no se activan con el agua	Cambio de capacitancia detectada		Estandarización de sensores de flotador
Operador deja apagadas las bombas	Operador olvida volver a poner la bomba en automático	Apagan la bomba cuando hacen rutinas de limpieza	Para evitar que trapos sean succionados		Control de bombas solo para mantenimiento
Bombas se activan, pero no bombean	Falta de presión neumática	La presión de la línea de servicio cae por debajo de 3 bar	Se activan todas las bombas al mismo tiempo	No fue considerado en el diseño de la máquina	Modificar el programa de PLC para evitar que más de 3 bombas se activen al mismo tiempo

En la tabla 2 se muestra la herramienta de los 5 por qué la cual se usa para analizar más a fondo las diferentes causas preguntando el “por qué” de manera seriada y encontrar el problema raíz.

Utilizar herramientas de análisis como esta permite encontrar soluciones a problemas que de otra forma parecerían imposibles ya que da tiempo de analizar cada una de las causas potenciales de una manera estructurada, y es especialmente útil si se aplican conocimientos de ingeniería con equipos multidisciplinarios.

El producto del análisis de falla son las contramedidas, después de que son validadas por más integrantes del equipo, se asigna un responsable para ejecutarlas, definiendo una fecha límite calculando el tiempo necesario para realizarla en base al nivel de dificultad y de otros factores como pueden ser la recepción de refacciones de las cuales depende la acción a realizar.

Las contramedidas obtenidas de los análisis de falla son registradas de manera ordenada para poder dar un seguimiento y que no se queden sólo dentro del documento del análisis. Los formatos de análisis de falla también sirven para que el conocimiento y la experiencia sean transmitidos a todo el personal de mantenimiento incluyendo empleados nuevos y también a los que no estuvieron involucrados en la resolución de la avería.

Siguiendo con el mismo ejemplo del problema derivado de las bombas de desperdicio se realizaron las siguientes modificaciones al programa del PLC para evitar que más de 3 bombas se enciendan al mismo tiempo, en la ilustración 50 se muestra un contador que es aumentado en 1 cuando se detecta un flanco positivo en la salida digital que activa cualquiera de las válvulas neumáticas de las bombas de desperdicio. En la ilustración 51 se muestra el comparador que es activado cuando se han activado 3 bombas de desperdicio en base al contador de la ilustración 50, al mismo tiempo se activa un temporizador de 1.5 minutos, lo que permite que las 3 bombas activas terminen

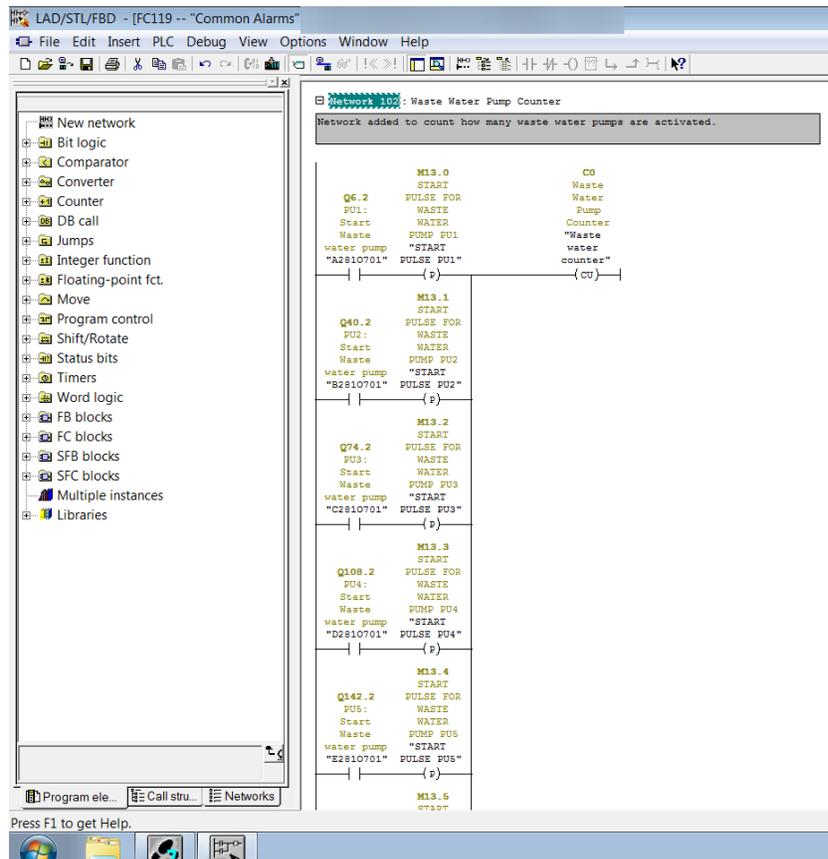


Ilustración 48 Contador de bombas activas.

su ciclo con duración de 1 minuto y al mismo tiempo se activa la inhabilitación de las demás salidas digitales de las bombas, así como una alarma para indicar que se ha llegado al límite de las bombas encendidas al mismo tiempo. Cuando el tiempo del temporizador se termina, el control vuelve a su estado normal y el contador, así como la inhabilitación vuelven a 0.

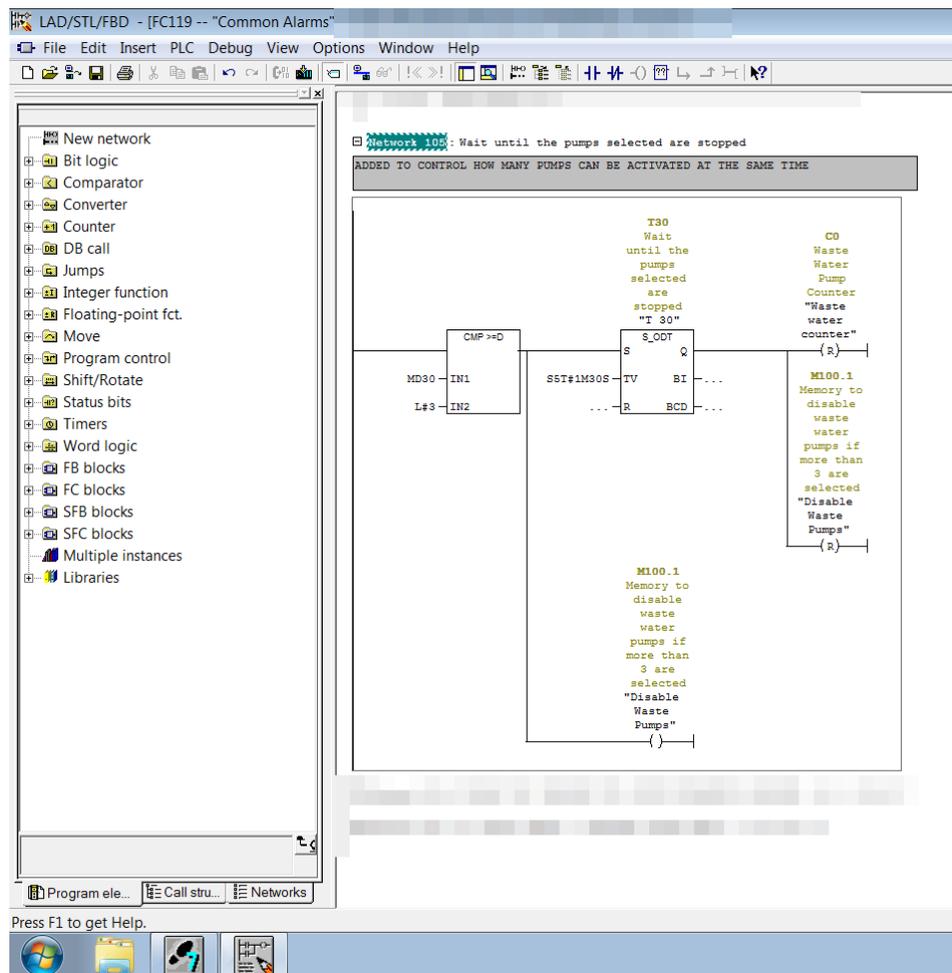


Ilustración 49 Comparador para limitar el número de bombas activas al mismo tiempo.

### 3.3 Maintenance Engineer (Ingeniero de mantenimiento de célula de impresión).

El puesto posterior al de ingeniero de mantenimiento en turno dentro del organigrama de la empresa es el de ingeniero de mantenimiento de la célula, en este puesto se define de qué área de producción se llevará el control, ya sea impresión,

laminación o terminado. El enfoque a sólo un área del proceso permite una especialización que como ingeniero de turno resultaría complicada.

Debido a la especialización, dentro de las responsabilidades de esta posición se les da apoyo a los ingenieros de mantenimiento en turno (quienes son los primeros en atender las averías) cuando las averías han tomado más de una hora y no se ha obtenido un diagnóstico claro, por lo que para este puesto se requiere alta disponibilidad debido a que la planta opera las 24 horas del día.

Además del nivel de responsabilidad, la mayor diferencia entre estos dos puestos es que en turno no se lleva como tal un seguimiento del historial de fallos y problemas crónicos, sólo se procura mantener las máquinas funcionando durante la duración de la jornada laboral.

Los ingenieros de célula llevan el seguimiento de la inteligencia de pérdidas de las diferentes áreas categorizando las intervenciones y modos de falla registrando los eventos en una base de datos para después poder hacer un despliegue de la información y ver cómo se distribuyen los problemas de las líneas.

Los despliegues de la información son muy útiles para determinar dónde están las áreas críticas y normalmente se toman en cuenta las siguientes agregaciones de información:

- Frecuencia de averías en las diferentes máquinas de las líneas.
- Frecuencia de averías por mes.
- Frecuencia de averías por 4M de la metodología (Máquina, Mano de obra, Material, Método)
- El costo de las reparaciones.
- Tipo de avería (eléctrica, neumática, hidráulica, mecánica, etc.)

Tener estos datos permite enfocar los esfuerzos y recursos en los modos de falla de mayor impacto, utilizando diagramas de Pareto se pueden identificar las máquinas con más problemas o que han resultado más costosas de reparar. En la ilustración 52 se muestra un ejemplo de un despliegue de la frecuencia de averías por máquina sumando los eventos de todas las líneas de impresión, se observa que la mayoría de los eventos se concentran en el desenrollador y enrollador de papel, que son los equipos que tienen más partes móviles, secuencias automáticas y que son manipulados de forma manual con más frecuencia por los operadores.

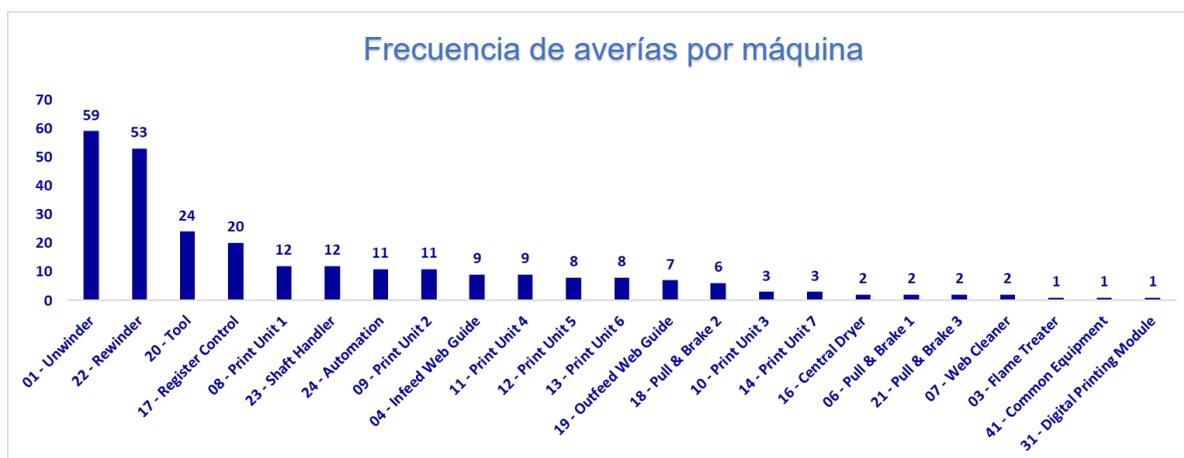


Ilustración 50 Despliegue de información de la frecuencia de averías en las líneas de impresión.

En base a la información histórica recopilada en los registros de la base de datos se pueden obtener conclusiones sobre las tendencias de los problemas, agrupando la información de diferentes maneras, como por ejemplo, después de determinar que las fallas ocurren con mayor frecuencia en el desenrollador y enrollador se pueden seguir separando las causas y saber si los problemas tienen una causa eléctrica, como pueden ser sensores, cables dañados, daño en componentes electrónicos o si bien, son mecánicas, por ejemplo, la falta de lubricación o el desgaste de mecanismos. Así se definen constantemente las prioridades y las acciones a realizar usando todos estos datos como fundamentos para las decisiones de colocación de recursos y tiempo.

### 3.3.1 Automatización de generación de órdenes de averías en SAP.

Dentro de las actividades administrativas de este puesto hay que estar vaciando constantemente la información de los eventos a una base de datos. La empresa utiliza un sistema llamado SAP para la gestión de todo el proceso, desde compras de materiales hasta órdenes de trabajo de mantenimiento. “SAP es un sistema ERP representa a las siglas en inglés Enterprise resource planning que se traduce como planificación de recursos empresariales” (SAP SE, s.f.). En resumen, es una base de datos donde se gestiona toda la información de la empresa para tener un control centralizado y que la información de las diferentes áreas de la empresa no esté esparcida en documentos o bases de datos diferentes.

El uso de la interfaz gráfica de SAP resulta bastante tedioso porque no es amigable o intuitiva y requiere de muchos pasos para poder realizar un solo registro. En la ilustración 53 se muestran algunos campos que son necesarios para registrar la información referente a una avería.

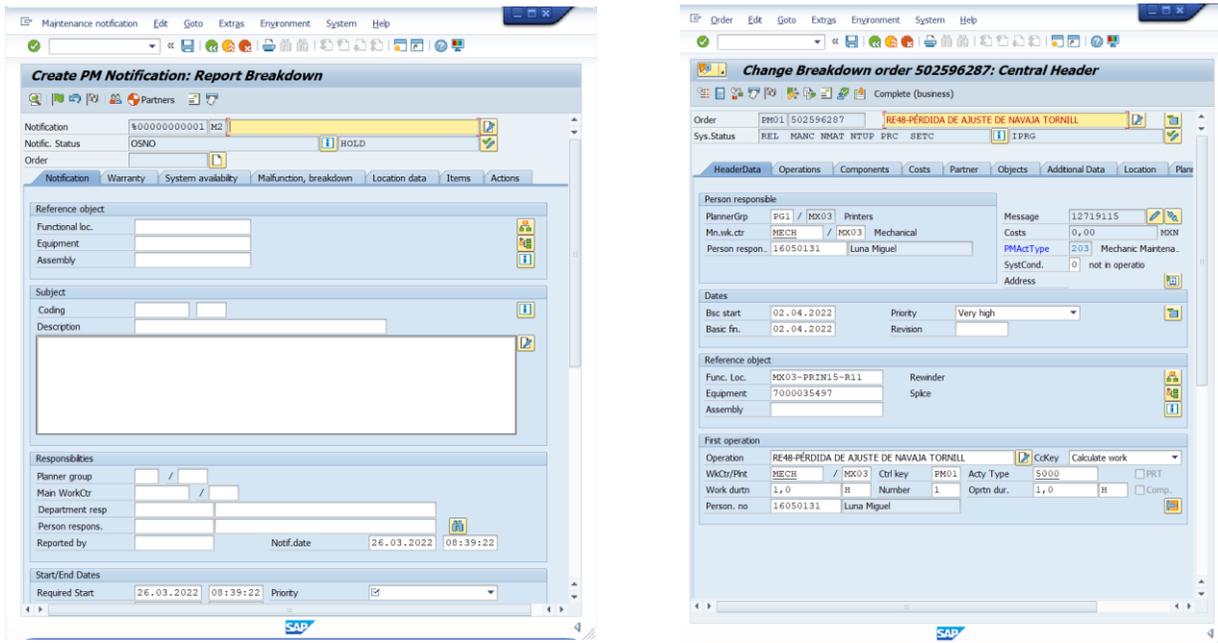


Ilustración 51 Interfaz gráfica de SAP para el llenado de los campos necesarios para generar una orden de avería.

Uno de los problemas que se tenían al trabajar con SAP es que cada integrante del equipo de la célula de impresión manejaba archivos de Excel diferentes donde ordenaban la información para registrar las averías, después copiaban la información en cada uno de los campos de la interfaz gráfica de SAP. Un empleado familiarizado con la interfaz de SAP y Windows tardaba en promedio de 15 a 20 minutos en registrar en el sistema toda la información de un solo evento.

El equipo de mantenimiento optó por definir el uso de un solo archivo de Excel que funciona como intermediario entre el usuario y SAP ya que la mayoría de los compañeros están más acostumbrados a trabajar con Excel. Este archivo contiene la información que se necesita de los eventos, pero en vez de copiar cada celda a cada campo de la interfaz de SAP se utilizó un algoritmo que interactúa con la SAP y guarda los registros automáticamente.

### 3.3.2 Proceso de automatización de registro de averías.

El objetivo de este desarrollo fue reducir el tiempo de trabajo de oficina, optimizando así la jornada laboral y poder usar ese tiempo ahorrado en actividades en el piso de producción que son las acciones que de verdad tienen impacto en el mantenimiento de los equipos.

La aplicación debía cumplir con las siguientes características:

- Interfaz gráfica simple para el usuario.
- Poder relacionar los códigos de la base de datos de SAP con identificadores más humanos.
- Leer datos desde un archivo de Excel
- Poder actualizar los datos en el mismo archivo de Excel.
- Lidar con los errores en el sistema de SAP.
- Estar disponible para otros integrantes del equipo, aunque no tengan instalado el intérprete de Python.

Limitaciones:

- Debido a restricciones por seguridad, no se puede tener acceso directo a la base de datos de SAP con el nivel de empleado actual, por eso es necesario interactuar con la interfaz gráfica.

Analizando las herramientas disponibles como las macros de Excel y los lenguajes de programación que pueden interactuar con el sistema operativo Windows, se optó por desarrollar la aplicación en Python ya que la sintaxis es más sencilla y la comunidad ha desarrollado muchas librerías para interactuar con datos y poder analizarlos.

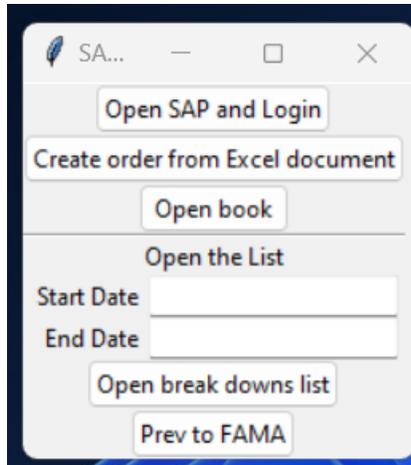
Utilizando Python se obtiene un diccionario usando las cabeceras de la tabla de Excel junto con toda la información del archivo. Ya que SAP utiliza como llave primaria códigos alfanuméricos para el registro de objetos y sus relaciones, se programó un codificador que permite al usuario registrar los datos de la avería con términos más humanos como “Línea de producción 2” o empleado de mantenimiento “Juan Pérez” en vez de “MX-W081” y el número de empleado “111823”.

Python resulta ideal para este tipo de tareas gracias a las funciones de lista de comprensión (list comprehension) que permiten filtrar listas y diccionarios en una sola línea de código en comparación con Visual Basic que es como están programadas las Macros de Excel, donde se requieren ciclos “for” para buscar dentro de un arreglo de datos.

Se usó la librería TKinter para generar la interfaz gráfica que se muestra en la ilustración 54, la interfaz es muy simple ya que sólo se requiere correr una función con un botón y los datos están en el archivo de Excel.

Se creó una base de datos dentro de el mismo documento de Excel para poder relacionar los códigos de SAP con la información depositada en el archivo de Excel.

El programa realiza los registros en SAP y toma los números de los registros ya creados y los agrega al archivo de Excel para que toda la información esté relacionada por una única llave primaria que es el número de orden en SAP.



*Ilustración 52 Interfaz gráfica de aplicación desarrollada con Python.*

El archivo de Excel se encuentra alojado en un grupo de Microsoft Teams que es la plataforma que se utiliza para compartir información entre todos los integrantes del equipo de mantenimiento, cada que se ejecuta el programa este archivo se actualiza y todos tienen acceso a él, lo que facilita hacer consultas rápidas de la información sin tener que lidiar con SAP y teniendo la certeza de que la información está actualizada.

Cuando la aplicación realiza los registros tarda aproximadamente 30 segundos en completar uno (en una computadora con procesador Intel i5, pero el tiempo es menor con un procesador más rápido), y los puede ir registrando de manera consecutiva.

El promedio se realizan 45 registros de averías al mes de toda la planta, lo que anteriormente tomaba cerca de 11.25 horas, este sistema puede generar la misma cantidad de registros en menos de 23 minutos sin necesidad de intervención humana, lo que deja libres más de 11 horas hombre para poder realizar otras actividades.

Con los registros realizados se puede verificar si las averías entran dentro del criterio para realizar un análisis de falla, de ser así se genera un archivo de Excel con la información de la avería, así se evita el retrabajo para tener que pasar nuevamente la información a otro formato.

### 3.3.3 Automatización de asignación de actividades preventivas.

Gracias a la base de datos de SAP las actividades detonadas por Time Based Maintenance (Mantenimiento Basado en Tiempo) se generan automáticamente con un número de orden, pero es necesario asignar a un ingeniero para que las realice y que la actividad, así como el costo de las refacciones queden registradas en el sistema.

Se identificó el área de oportunidad para reducir el tiempo necesario para la asignación de estas actividades. Un planeador de mantenimiento tiene que asignar en promedio 100 actividades por cada paro planeado, se asigna un paro planeado por cada línea de producción al mes, teniendo 10 líneas de producción en la planta, se tendrían que asignar manualmente alrededor de 1000 actividades mensuales. Asignar y guardar las actividades toma aproximadamente 3 minutos por cada una que serían 50 horas considerando todos planeadores y todas las áreas de producción.

Al estar ya generadas las órdenes de trabajo el sistema sólo tarda 5 segundos en asignar una actividad, lo que reduce el tiempo de registro a 84 minutos en total, entre los 3 equipos de mantenimiento de las tres áreas de producción.

Desde luego, las actividades de planeación del mes no se llevan a cabo en un sólo día, sino por semana debido a los cambios en los planes de producción, por lo que el sistema reduciría el tiempo en la planeación a 10 minutos a la semana por cada preventivo.

Además de que si hay cambios en el calendario de producción o el personal que se consideraba para las actividades, la actualización de los registros en SAP será de igual manera muy rápido tomando también 5 segundos en realizar la acción de la actualización haciendo que incluso el retrabajo por la naturaleza dinámica de la producción de la empresa no tome mucho tiempo.

#### 3.3.4 Planes futuros.

El sistema desarrollado es bastante sencillo, la funcionalidad se logró con relativamente pocas líneas de código y ha tenido un gran impacto en la optimización de tiempo requerido para realizar actividades administrativas, esto sienta las bases para continuar el desarrollo y poder generar un sistema de gestión de la información automatizado e integrado con la inteligencia de pérdidas dejando cada vez más horas hombre libres para realizar acciones en el piso de producción.

Se pretende seguir desarrollando el sistema para que:

- Actualice el tiempo entre intervenciones detonadas por TBM.
- Genere órdenes de trabajo basándose en los sistemas de CBM ya instalados en la planta.
- Integración de las diferentes plataformas de información que tiene la empresa.
- Integración de industria 4.0 e internet de las cosas para un mejor seguimiento de la maquinaria y eventos.

## Glosario.

**Sustrato:** Base del envase, en este caso hace referencia al papel o cartón donde se imprime el diseño.

**Suaje:** Consiste en una herramienta manufacturada con una placa de acero para doblar, cortar o marcar materiales como tela, papel, cuero, etc.

**Máquina paletizadora:** Máquina que envuelve las tarimas con plástico para su sujeción durante el transporte.

**Manga:** Las mangas de entintado son polímeros tubulares de alta precisión que se montan sobre los rodillos de impresión donde a su vez se colocan las placas con los diseños de la impresión.

**Color clave:** Color de la primera unidad de impresión el cual es seguido por los demás para sincronizarse.

**Unidad de impresión clave:** Unidad de impresión donde está montado el color clave.

**Encoder:** El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se asocian a cremalleras o a husillos.

**Embebido:** Dicho de una cosa: Contener o encerrar dentro de sí a otra.

**CAN Bus:** “CAN (siglas del inglés Controller Area Network) es un protocolo de comunicaciones desarrollado Bosch, basado en una topología bus para la transmisión de mensajes en entornos distribuidos y ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples unidades centrales de proceso”.

**Machuelear:** Esta operación consiste en realizar una cuerda, mediante una herramienta denominada machuelo, el cual es una especie de tornillo de acero aleado

templado y rectificado, con ranuras a lo largo de la cuerda que permiten el desalajo de las rebabas arrancadas al generar la cuerda.

**Libranza:** Retirar temporalmente la energía eléctrica de una zona.

**Lado operador:** Lado de la máquina donde se encuentra el panel de operación, se utiliza el término para evitar ambigüedades en las descripciones de izquierda o derecha para la ubicación de componentes.

**Lado transmisión:** Lado de la máquina donde se encuentran los motores y transmisiones que hacen funcionar la línea de producción, se utiliza el término para evitar ambigüedades en las descripciones de izquierda o derecha para la ubicación de componentes.

**Enhebrado:** En este caos hace referencia a pasar el papel entre los rodillos de la máquina por toda la trayectoria del proceso.

**Foco:** Punto donde se concentran rayos luminosos o caloríficos reflejados por un espejo cóncavo o refractados por una lente.

**Apertura:** Ópt. Diámetro de la lente en un instrumento óptico que limita la cantidad de luz que recibe.

**Exposición:** Acción de exponer a la luz una placa fotográfica o un papel sensible durante cierto tiempo para que se impresione.

**Rollo Máster:** rollo que cuenta con las dimensiones originales de cuando es recibido como materia prima, rollo que no ha sido cortado en tiras con ancho de un solo envase.

**Inteligencia de pérdidas:** El seguimiento y análisis de todas las pérdidas que la empresa experimenta en el proceso de producción ya sea tiempo de paro, material desperdiciado, etc.

**Modo de falla:** Manera específica en la que una máquina falla, por ejemplo, sobrecalentamiento de un motor asíncrono.

**SAP:** “Es uno de los principales productores mundiales de software para gestión de procesos de negocio, y desarrolla soluciones que facilitan el procesamiento eficaz de datos y el flujo de información entre las organizaciones” (SAP SE. s.f.). En este documento se refiere exactamente al software utilizado para la gestión de información.

**Tkinter (interfaz Tk):** Es un paquete para el desarrollo de interfaces gráficas multiplataforma de Python.

## Bibliografía.

- Tetra Pak. (s.f.) Recuperado de Tetra Pak en breve. <https://www.tetrapak.com/es-mx/about-tetra-pak/the-company/tetra-pak-in-brief>
- Tetra Pak. (s.f.) Historia de Tetra Pak. <https://www.tetrapak.com/es-mx/about-tetra-pak/the-company/history>
- Canal How It's Made Show, (2016). How It's Made Tetra Pak Containers. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=R7HgG4a3jJA&t=157s&ab\\_channel=HowIt%27sMadeShow](https://www.youtube.com/watch?v=R7HgG4a3jJA&t=157s&ab_channel=HowIt%27sMadeShow)
- Tetra Pak (s.f.) Material para envasado para envases de cartón Tetra Pak. <https://www.tetrapak.com/es-es/solutions/packaging/packaging-material/materials>
- Tetra Pak Magyarország (2014) Ozone Network: How is it made? We'll show it! Tetra Pak milk carton. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=5tHULL8jtTo>
- Erhardt+Leimer, (2022). SYSTEMS FOR WEB GUIDING WITH STATE-OF-THE-ART NETWORKING TECHNOLOGY. <https://www.erhardt-leimer.com/products/web-guiding-technology/web-guiding-systems/>
- Heredia J., (2020), FLEXOGRAFÍA. [https://issuu.com/hernandez-cesar/docs/meta\\_3.5\\_proyecto\\_final\\_-\\_libro\\_digital/s/11507868](https://issuu.com/hernandez-cesar/docs/meta_3.5_proyecto_final_-_libro_digital/s/11507868)
- Esko, (2022). Impresión de envases con Cyrel Digital Imager, Plachas Cyrel - Esko <https://www.esko.com/es/products/digital-flexo-platemaking/cdi>
- Atlas Robots. (s.f.). AGV Vehículo de Guiado Automático. <https://atlas-robots.com/robot-agv/>

- S., R. & N. (2016). World Class Manufacturing (WCM) Practices: An Introspection. International Research Journal of Engineering and Technology. <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5500.pdf>
- SAP SE. (s.f.). ¿Qué es SAP? | Historia y Sistemas Empresariales que definen a SAP. <https://www.sap.com/latinamerica/about/company/what-is-sap.html>