

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# **Implementación de un sistema automatizado para el stacker de la impresora troqueladora Ward en Papelsa S.A.**

Edny Jhoan Restrepo Madrid  
Sebastian Gaviria Agudelo  
Fabian Oswaldo Chaverra Chaverra

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero mecatrónico

Asesor  
Edwin Herlyt Lopera Mazo

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento de Mecatrónica  
Medellín, Colombia  
2023

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

Este proyecto se realizó para fortalecer las condiciones laborales de los trabajadores y la cadena productiva de la máquina, mediante la implementación de un sistema automatizado para el *stacker* de la impresora troqueladora Ward en la empresa Papelsa S.A., con la cual se logró mejorar tres indicadores claves en el proceso: productividad, confiabilidad y seguridad; este último indicador fue de gran importancia para el departamento de seguridad y salud en el trabajo, debido a las altas cifras de incidentes presentadas en la compañía por la interacción cercana que tienen los operarios y el grupo de mantenimiento con el equipo.

El montaje y desarrollo del sistema automatizado propuesto implicó el cambio de la gran mayoría de los componentes eléctricos y electrónicos que previamente tenía la máquina, los cuales ya son obsoletos en el mercado. Estos fueron reemplazados por elementos que contarán con certificaciones vigentes en estándares de seguridad.

Adicionalmente, se realizó un diagnóstico de los componentes hidráulicos y neumáticos, así se evaluó el estado de estos elementos y se ejecutó el cambio de los que fueron necesarios; también se logró la integración de una pantalla *HMI*, con el fin de obtener una mejor interacción del personal de la planta con la máquina.

Con esta automatización se mejoró la productividad de este equipo en casi un 50 % y se pasó de tener una disponibilidad de máquina del 73 % a una mayor del 95 %. Por último, se pudo mejorar notablemente la seguridad de la máquina, gracias a que se incorporaron elementos que cuentan con estándares de seguridad eléctrica, fortaleciendo a la empresa en el cumplimiento de la Ley 1562 del 2012 que dictamina disposiciones en materia de seguridad y salud ocupacional en pro del beneficio de todo el personal de la compañía y sus visitantes.

*Palabras clave:* Automatización, PLC, Productividad, Confiabilidad, RETIE.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

A nuestras familias por todo el esfuerzo, apoyo y el empeño que tuvieron para que cada día, de esta formación profesional pudiéramos cumplir con los objetivos.

A nuestros compañeros, quienes estuvieron en este largo camino compartiendo, colaborando en los momentos difíciles y siempre generando un apoyo y unos conocimientos académicos para un gran trabajo colaborativo.

A los docentes quienes siempre nos compartieron sus conocimientos, nos brindaban las mejores enseñanzas para que nosotros como estudiantes tomáramos ejemplos de aquellas cosas buenas y tratáramos de superarnos a diario.

A Papelsa S.A por apoyar con los recursos y el espacio necesario para llevar a cabo la realización de este proyecto.

A nuestro asesor Edwin Lopera por tener la paciencia y ser un excelente guía en la elaboración de la propuesta y en el informe final de nuestro proyecto de grado.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ACRÓNIMOS

---

*PLC Controlador lógico programable*

*FSC Forest Stewardship Council*

*HMI Interfaz hombre maquina*

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## TABLA DE CONTENIDO

---

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. GENERALIDADES.....	6
1.2. OBJETIVOS .....	7
1.2.1. Objetivo general.....	7
1.2.2. Objetivos específicos.....	7
1.3. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	10
3. METODOLOGÍA .....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	22
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	49
REFERENCIAS .....	50

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. GENERALIDADES

Papelsa S.A. es una empresa que se encuentra ubicada en el municipio de Barbosa, Antioquia, y fue fundada en 1978 por la organización Ardila Lulle. En sus inicios, se posesiona como una industria dedicada a la producción, comercialización y distribución de papel, utilizando como materia prima la pulpa de celulosa, además de incursionar en la venta de cajas de cartón corrugado. En el año de 1998, Papelsa S.A. es vendida al grupo Smurfit kappa sin perder su razón social, pero adoptando un nuevo sistema para la fabricación del papel Kraft, debido a que su materia prima pasaría a ser papel reciclado, adoptando una idea de sostenibilidad y responsabilidad social.

Con el fin de siempre mantener el liderazgo en el sector papelerero, Papelsa S.A. ha desarrollado un sistema integrado de gestión de calidad, medio ambiente, seguridad industrial y salud ocupacional que la posicionan como una empresa líder en promover el respeto por el medio ambiente y garantizar la seguridad y salud de todos sus colaboradores. Sus productos ahora son 100 % reciclables y como muestra de esto obtuvo un certificado de la entidad *Forest Stewardship Council (FSC)* que la identifica como una empresa líder en el cuidado del medio ambiente, lo que agrega un valor diferenciador a la hora de satisfacer las necesidades de sus clientes (Papelsa, 2018).

En la planta corrugadora de la empresa se dispone de una máquina de terminado conocida como impresora troqueladora Ward. Este equipo tiene como principal objetivo la impresión y troquelado de láminas de cartón, ya sean de pared sencilla o doble pared, con un diseño donde no es necesario agregar algún tipo de pegante para la formación de la caja a diferencia de otro tipo de flexo impresoras.

A la salida de la troqueladora Ward se tiene asociado otro equipo que se conoce como *stacker* automático, el cual se encarga de hacer la limpieza del troquelado resultante del proceso, el transporte de la lámina y el apilado de una cierta cantidad de cajas, según sea la necesidad del cliente. Sobre este equipo surge la necesidad de mejoramiento, debido a que es una máquina que salió al mercado en el año de 1988. Por este motivo, la mayoría de sus elementos electrónicos y eléctricos eran obsoletos y no se consiguen en el mercado, lo que tenía a punto de dejar este equipo en un paro total por falta de repuestos de los instrumentos que están presentado fallas.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Además de esto, el stacker automático no tenía un procesador para hacer los ajustes del sistema de control requeridos por el aumento de la producción, sino que funcionaba con un sistema de control basado en lógica cableada asociada a relevos y a un sistema electrónico muy particular que ya no se encontraba comercial, aunque se contara con la asesoría de los proveedores de la máquina; esto estaba ocasionando bajos índices de disponibilidad del equipo.

Otro factor importante fue mejorar el indicador de seguridad industrial de esta máquina, dado que la mayoría de los elementos no contaban con las certificaciones de la norma vigente en estándares de seguridad eléctrica como lo son la NTC2050 – 2020 y el RETIE, lo que podría ocasionar un accidente o incidente, ya sea con los operarios de la máquina o con el equipo de mantenimiento. Además, por parte del departamento de seguridad y salud en el trabajo, se estaba pidiendo con urgencia realizar un mejoramiento que ayudara a prevenir ciertas condiciones de riesgos asociados a la operación del equipo, entre ellas: electrocución, arcos eléctricos, incendio o explosión, fracturas, golpes o luxaciones, atrapamientos, amputaciones y daños al proceso.

Con la realización de este proyecto, se obtuvo una reducción de la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente plasmada en la matriz de riesgos y peligros de la empresa lo que permitió un fortalecimiento en la ley 1562 del 2012 que modifica el sistema de riesgos laborales y que dicta otras disposiciones en materia de seguridad y salud ocupacional en pro del beneficio de todo el personal de la compañía y sus visitantes.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Actualizar el sistema de control automático del stacker de la impresora troqueladora Ward ubicada en la planta corrugadora en la empresa Papelsa S.A., con el fin de mejorar los indicadores de productividad, confiabilidad y seguridad de la máquina.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar los planos eléctricos y electrónicos actuales de la máquina para entender su funcionamiento e identificar todos los elementos del equipo que son necesarios cambiar para la actualización de su sistema de control.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Realizar el montaje de los sistemas de control y de potencia en un banco de trabajo para hacer ensayos del programa, verificar el buen funcionamiento de los nuevos elementos y enlazar todo el sistema de comunicación, con el fin de disminuir el tiempo de paro de la línea de producción previo a la puesta en marcha.
- Diseñar un algoritmo de control programable que se ajuste a los estándares de trabajo de la máquina y que permita reducir tiempos muertos y aumentar la productividad del equipo.
- Implementar todo el montaje para la automatización en el área de trabajo.
- Mejorar los índices de productividad, confiabilidad y seguridad del equipo.

### **1.3. ORGANIZACIÓN DE LA TESIS**

En el primer capítulo se hace una introducción al proyecto en donde se explica quién tiene la necesidad, qué problemática se está presentando y cuál es la oportunidad de mejora. Además, se hace una descripción del objetivo principal planteado y los objetivos específicos que ayudarán a dar solución al problema que pretende mejorar la compañía, indicándose también quien facilitará los recursos necesarios para la realización de la automatización requerida.

Para el segundo capítulo se hace una recolección de los conceptos claves contenidos en el informe, con los cuáles se crea una base de referencias bibliográficas que ayudaron como fuente de información para la ejecución del proyecto; donde se explicaba cuáles beneficios puede traer la automatización para la empresa, dónde se han implementado ideas similares y que resultados se han obtenido en el proceso, con estos tipos de mejoramientos.

El tercer capítulo condensa la información del paso a paso utilizado para dar solución al problema presentado. Se describe la metodología utilizada que ayudará a soportar cómo fueron ejecutados cada uno de los objetivos planteados al inicio de la automatización, cuáles fueron los medios y recursos utilizados para llevar a cabo el cumplimiento del cronograma presentado ante los directivos de la empresa, encargados de dar la aprobación para la ejecución de las distintas actividades planeadas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En el cuarto capítulo se describe de una manera clara cada uno de los resultados obtenidos con el proyecto, acompañado de una explicación que señala cuáles fueron las ventajas y limitaciones que se presentaron; soportando estos mejoramientos con porcentajes de indicadores, gráficos comparativos del antes y del después, las fortalezas y logros que se alcanzaron tras la implementación de esta automatización.

Para el quinto y último capítulo se exponen una serie de conclusiones que dan respuesta al cumplimiento de los objetivos planteados en la formulación del proyecto, se detalla en cada uno, cuáles fueron las fortalezas y limitaciones que se obtuvieron, además de brindar una pequeña recomendación que es importante tener en cuenta al momento que se decida realizar una automatización para una máquina en el área industrial.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 2. MARCO TEÓRICO

---

La importancia de automatizar procesos industriales es determinada por el término “EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA DE FABRICACIÓN”, con el cual se evalúa, cuánto tiempo de fabricación de la máquina es productivo en función al tiempo total de producción (Tecnología para la industria, 2023). Los sistemas industriales utilizados para transformar la materia prima en un producto de comercialización son excelentes para llevar a cabo tareas repetitivas y, una vez que son ajustados, pocas veces se desvían de su funcionamiento, es decir, tienen por lo general resultados constantes. Cabe resaltar que es indispensable llevar a cabalidad el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante del equipo y un excelente mantenimiento autónomo.

Sin embargo, es realmente difícil resumir la importancia de automatizar procesos industriales, esto se debe a que es una acción que impacta directamente, las diferentes variables de un proceso productivo en una empresa, esto hace necesario indagar aún más en las ventajas que aporta una automatización a una máquina industrial.

El proceso del papel corrugado es una técnica que se emplea para la fabricación de las cajas de cartón, la cual consiste en pegar la cantidad necesaria de papel kraft para dar una buena resistencia a la lámina; algunos de estos papeles pasan por una máquina corrugadora para darle una forma de onda en el medio de los papeles como se observa en la Figura 1. Las plantas corrugadoras utilizan un sistema de impresión directo conocido como flexografía. En este proceso de impresión la tinta se transfiere al cartón para dar un diseño personalizado al cliente.

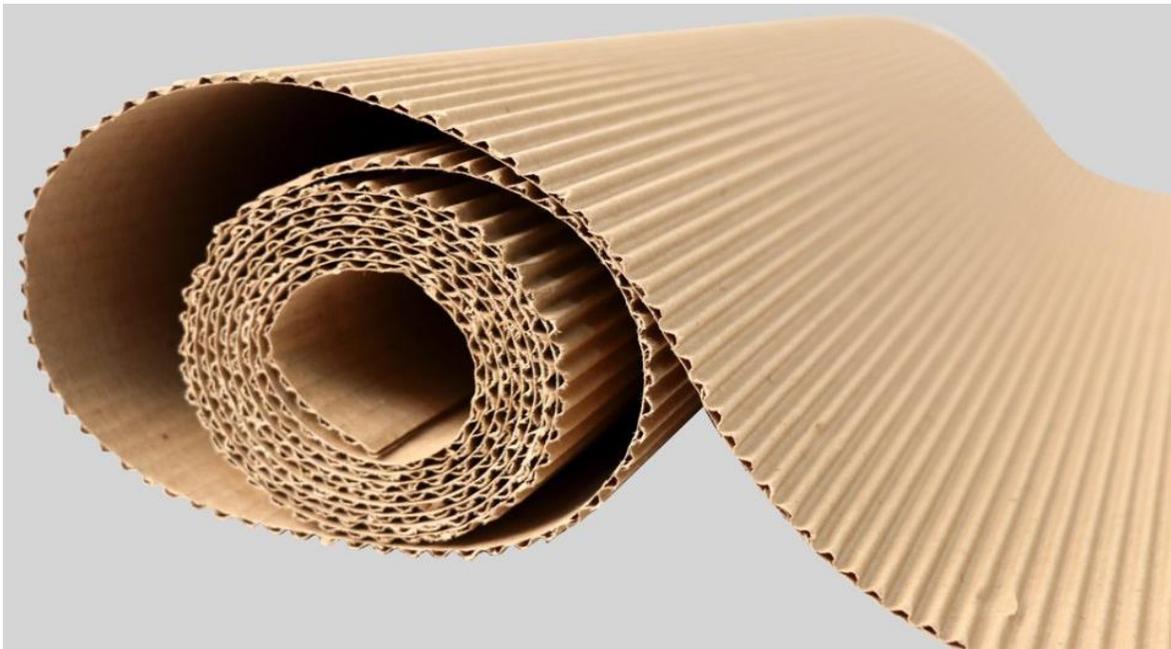
En esta técnica se utilizan unas planchas flexibles, también conocidas como cliché, las cuales están hechas de fotopolímero para lograr una alta calidad. Este material es muy duradero y permite acabados con mayor detalle (Esagraf, 2020). Las impresoras son las encargadas de recibir la lámina de cartón para hacer la impresión del diseño, los cortes, las ranuras y el apilado de la caja.

A nivel nacional es muy común comprar estos equipos de segunda mano, debido a su bajo costo y a la poca inversión de varias empresas papeleras. Estos equipos regularmente son traídos desde Europa, cuando allí realizan modernización de su maquinaria. Regularmente son máquinas de muchos años de servicio que carecen de mucha automatización.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 1**

*Papel corrugado.*



*Nota.* La imagen representa *papel corrugado* con clave tipo c, webmaster-Pesa, 2020,

fuelle (<http://pesa.com.mx/carton-corrugado-resistente-y-de-materia-biodegradable/>).

Según lo escrito por Jorge Hernández (2021) en un artículo para la revista “ialimentos”, la compra de maquinaria de segunda mano en Colombia ha aumentado alrededor de un 30 % con respecto a las cifras que se presentaron en el año 2020 en industrias como la farmacéutica, la alimentaria, la papelería y de empaques, entre otras. Esto es debido al deseo de aumentar la competitividad frente a otras empresas, además de que puede tener un ahorro de hasta de un 70 % en su inversión en comparación con la adquisición de una máquina nueva, lo que ven como algo muy favorable para su flujo de caja y para impulsar mayores cifras en las ventas (Hernandez, 2021).

La impresión flexográfica es un sistema ampliamente utilizado en todo el mundo para imprimir cajas personalizadas a gran velocidad. Es un método tradicional de impresión que se ha perfeccionado con los años (Esagraf, 2020). En la Figura 2 se puede observar una de las máquinas utilizadas en Papelsa S.A. para la impresión y troquelado de las láminas, la cual contiene un equipo llamado *stacker*, el cual se encarga del apilado de las cajas; este equipo

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

carece, en gran medida, de automatización y es necesario realizar una rápida intervención para mejorar las condiciones de trabajo.

**Figura 2**

*Impresora flexográfica Ward.*



*Nota.* Elaboración propia.

Una de las impresoras flexográficas de esta compañía, conocida como Ward y observada en la Figura 2, necesita urgentemente una intervención en el *stacker* automático el cual se puede visualizar en la Figura 3. Este sistema no cuenta con un procesador central para hacer todo el control y no brinda las garantías necesarias para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo; además, la seguridad de la máquina es mínima considerando los elementos utilizados en los campos eléctrico, electrónico, hidráulico, neumático, entre otros.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para resolver este problema, se propone la instalación de un Controlador Lógico Programable (PLC). Este dispositivo básicamente es un ordenador muy utilizado en innumerables industrias, en especial en aquellas que gozan de equipos con una amplia gama de automatización, debido a que facilita el control de la máquina y de los diferentes procesos industriales, además de minimizar el control mecánico (Autycom, 2021).

### Figura 3

*Stacker automático Ward.*



*Nota.* Elaboración propia.

Las estadísticas indican que tras la implementación de sistemas automatizados en procesos industriales, haciendo un especial énfasis en plantas de pulpa y papel, se puede constatar que hasta un 75 % de las inversiones realizadas proporcionan grandes beneficios para la empresa; teniendo presente que se debe contar con el acompañamiento de un personal capacitado técnicamente que se encargue de realizar una optimización de los sistemas del proceso, lo que ayudaría a que se puedan alcanzar mayores beneficios, partiendo de la eficiencia y la productividad de la fábrica, la generación de un importante aumento en la productividad y calidad de los productos y una reducción considerable en los costos.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La automatización de los procesos en industrias de pulpa y papel implican tener en consideración componentes de instrumentación, actuación, controladores, ordenadores, plataformas, pantallas *HMI* y estaciones de ingeniería, almacenamiento de datos, gestión de alarmas, sistemas de seguridad, unidades, control continuo. En la medida de que se logre optimizar en estas variables ayudará a fortalecer la maquinaria y los procesos productivos (Tecnología para la industria, 2019).

La actualización del sistema que se pretende implementar tiene relación con otros trabajos ya realizados en la empresa sobre máquinas impresoras similares, en cuanto a sus carencias en seguridad y automatización. Debido a la experiencia de estas mejoras en las impresoras flexográficas, se redujeron tiempos perdidos en el proceso, se aumentó la seguridad y confiabilidad operacional de la máquina y además se le facilitó al operario el manejo de los controles del equipo. Esto conllevó a proponer la automatización de la flexográfica Ward, para que estuviera al nivel de las otras impresoras y así obtener ventajas frente a las empresas que son competencia directa de este gremio.

Es importante recalcar la importancia de tener unos índices altos de confiabilidad operacional, debido a que es una filosofía de trabajo orientada en una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la productividad y mantenimiento de máquinas (Farfan, 2019).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

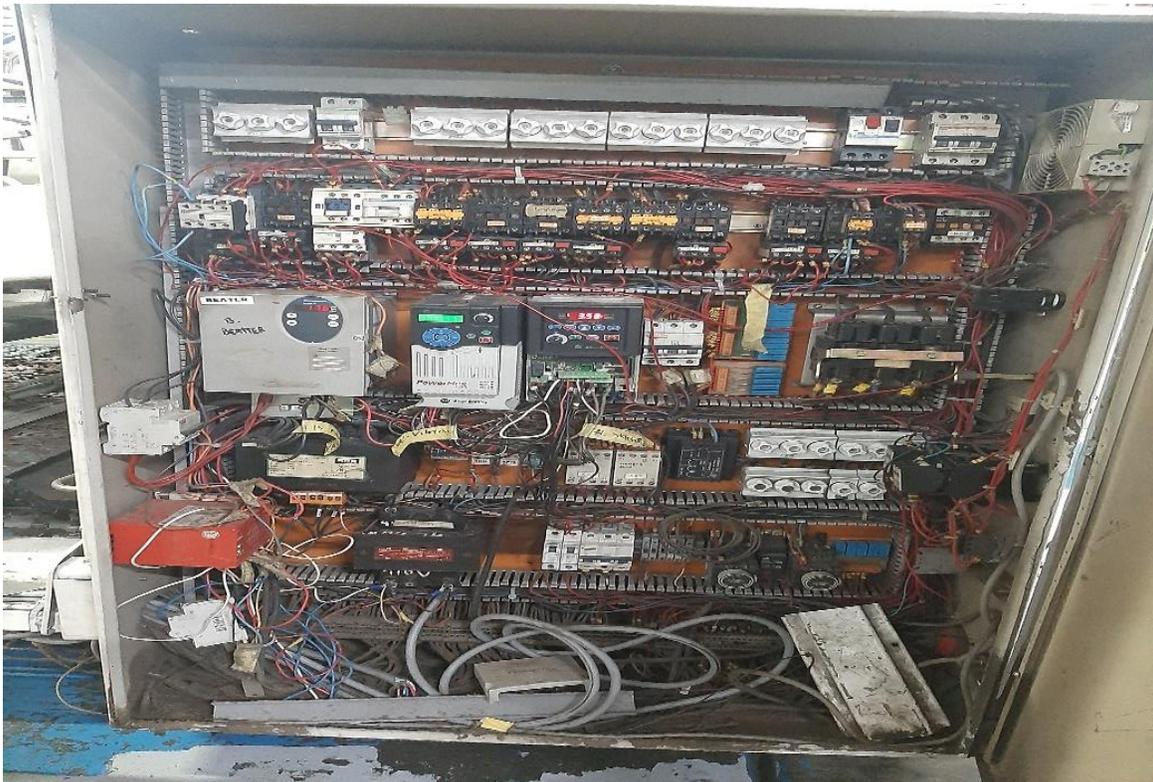
---

La metodología para este trabajo se basó en un desarrollo teórico – práctico, donde se utilizaron muchos de los conocimientos adquiridos durante los diferentes cursos de la carrera, que brindaron un conocimiento técnico a los autores de este proyecto. Además, se aprovechó la amplia experiencia laboral que se ha obtenido en la empresa Papelsa S.A., quien además fue la encargada de brindar los recursos tecnológicos y económicos para la realización de este proyecto.

Como solución al primer objetivo específico planteado se hizo un estudio de los planos eléctricos y electrónicos para entender todo el funcionamiento de la máquina, comprender cuáles eran sus principales falencias y analizar junto con el operario que interactúa diariamente con el equipo cómo se podrían mejorar los tiempos perdidos de operación. Luego, se realizó un listado de todos elementos eléctricos que se encuentran en el gabinete de potencia observado en la Figura 4, usado para el control de los motores. Es decir, elementos como guardamotores, contactores, relés térmicos, fuentes de voltaje, transformadores, protecciones y cableados para agregar al listado de compra.

**Figura 4**

*Tablero de potencia stacker automático.*



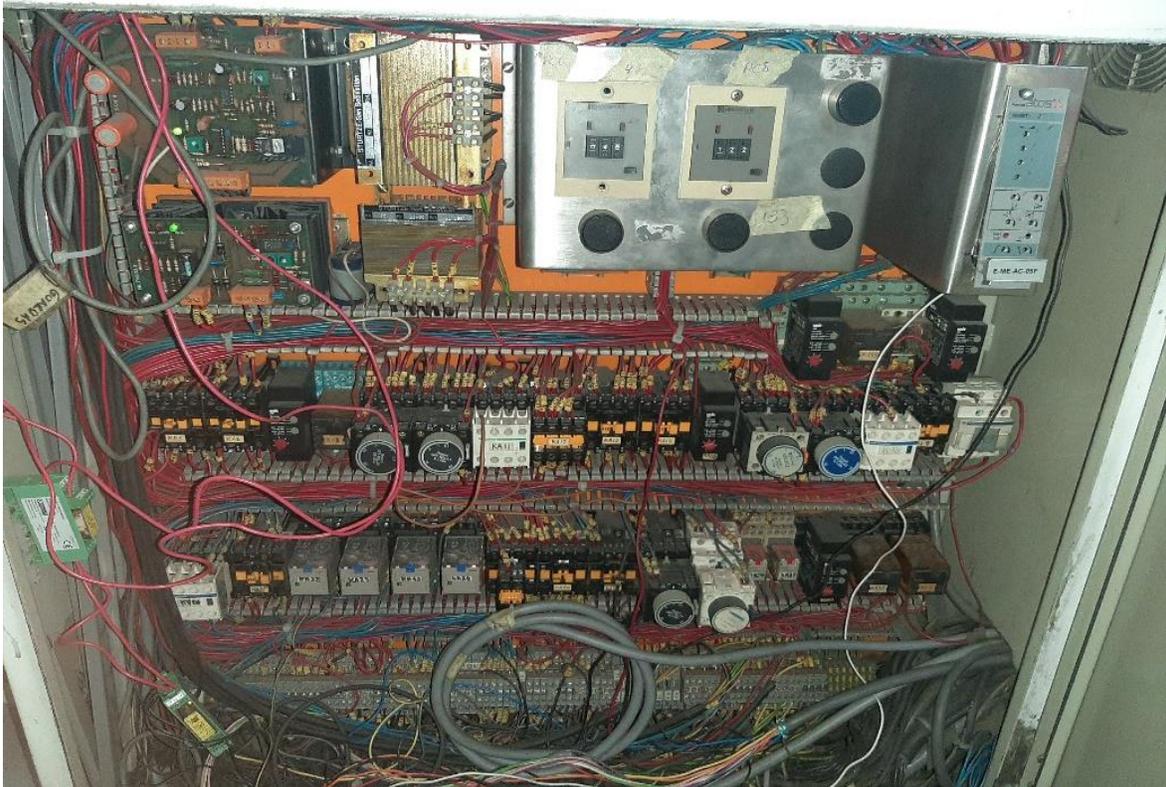
*Nota.* Elaboración propia.

En cuanto al campo electrónico, se agrega un *PLC* con licencia válida en la empresa, más exactamente de la marca Allen Bradley. Se efectuaron cambios de componentes en el gabinete de control mostrado en la Figura 5, en donde se intervinieron elementos como: relevos, pulsadores para el control manual, borneras, suiches de comunicación y relevadores de seguridad. Se agregaron variadores de velocidad en los motores que lo necesitaban para comunicar con el *PLC* por red ethernet. Se agregó una pantalla táctil donde se puede manipular la velocidad de los motores a través de los variadores de velocidad junto con otras variables asociadas al arrume de las láminas según la necesidad del cliente y todo lo relacionado con las alarmas que se programaron en la máquina.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 5**

*Tablero de control stacker automático.*



*Nota.* Elaboración propia.

Por otro lado, se evaluó el funcionamiento del sistema hidráulico y neumático de la máquina. Se definió si se requiere cambio de válvulas o de cilindros, se revisó que no tengan pase entre cámaras, que no haya fugas de aceite o de aire según corresponda y que los elementos tengan buena velocidad de respuesta y no presenten algún tipo de bloqueo.

Con el fin de brindar solución al segundo objetivo enunciado, en el momento que llegaron los materiales pedidos para la automatización, se realizó todo el montaje de los gabinetes de potencia y control en un banco de trabajo que se tiene en uno de los talleres de mantenimiento, observado en la Figura 6 que cuenta con las garantías de seguridad necesarias para hacer pruebas y ensayos de cada uno de los elementos a utilizar. Posteriormente este equipo ayudaría también para realizar pruebas básicas del algoritmo programado para el *PLC*, antes de que se realizará el montaje en campo.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 6**

*Banco de trabajo.*



*Nota.* Elaboración propia.

Luego de tener todos elementos instalados y conectados en el gabinete, se utilizó la estación de ingeniería que se observa en la Figura 7; para dar solución al tercer objetivo específico y diseñar un algoritmo de control donde se realizó la programación del modo manual y automático de la máquina; ajustándose a los estándares de calidad del proceso y reduciendo tiempos muertos en la secuencia de trabajo, para así lograr un aumento en la productividad del equipo; además de relevar las seguridades que se van a instalar en las puertas, con el paro seguro de la máquina y así mejorar índices de seguridad. Además, se realizó la creación del *runtime* para el *panel view* y así hacer más amigable el intercambio de datos entre la máquina y el operario.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 7**

*Estación de ingeniería de rockwell.*



*Nota.* Elaboración propia.

Después de pasar por todo el proceso de pruebas y tener evaluado que el sistema está funcionando en condiciones estables, se definió con la gerencia los días más convenientes para el montaje en el área de trabajo, esto según la carga de producción de la máquina. Se hizo de una manera rápida sin dejar la seguridad a un lado porque cada minuto que el equipo este parado es una pérdida que está teniendo la empresa; por eso se realizó una lista de chequeo antes de empezar la intervención y así garantizar de tener todo lo necesario para el día de la parada y el montaje, con esto se pudo iniciar lo que sería el cuarto objetivo específico.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

El primer día de la intervención, como se puede visualizar en la Figura 8, se empezó a realizar el cambio de los cables de potencia y de control que se tenían, con el fin de prevenir futuros paros de la máquina debido a que estos tuvieran desgaste por su vida útil o altas temperaturas en su tiempo de trabajo. Se realizó toda la conexión de motores, sensores y la instalación del gabinete de potencia.

**Figura 8**

*Cambio de cableado stacker automático.*



*Nota.* Elaboración propia.

En el segundo día se procedió con todo el conexionado en el gabinete de potencia, además de realizar las modificaciones necesarias en el gabinete de control, cambio de pulsadores, relevos, breaker de control, módulo de seguridad, PLC y la instalación del *panel view*.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para el tercer y último día de montaje se realizó la instalación de los troyanos de seguridad en las puertas, para evitar el ingreso de cualquier persona a la máquina en el momento que se encuentre produciendo y alguien quisiera vulnerar esta seguridad, la máquina automáticamente generara un paro productivo y así se puede evitar un posible accidente.

Este día se realizó el encendido de la máquina, donde se realizaron las pruebas y ajustes necesarios para el correcto funcionamiento del equipo y poder ser entregada a producción sin ningún inconveniente. Al final de este día se entregó satisfactoriamente el proyecto a la gerencia cumpliendo con los tiempos establecidos en el cronograma de trabajo y posteriormente la máquina fue ingresada nuevamente a la línea de producción.

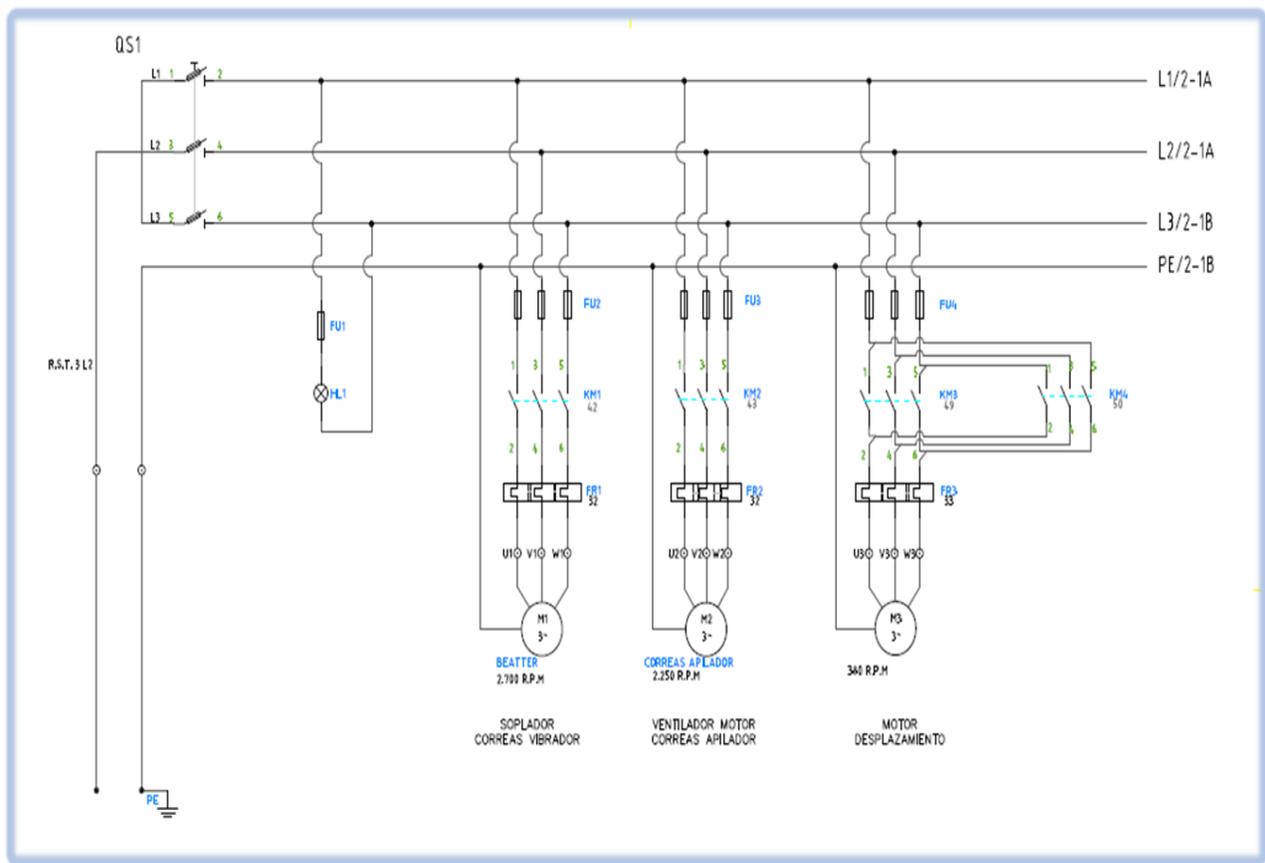
Cabe resaltar que con el pasar de los días y después de hacer un seguimiento detallado con el equipo productivo, mantenimiento y seguridad de la empresa, se llegó a la conclusión de que el quinto objetivo específico, habría tenido indicadores de gran importancia para la compañía y los cuales se ven plasmados satisfactoriamente en el capítulo de resultados.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Inicialmente para dar solución al primer objetivo específico, se realizó una revisión de los planos eléctricos y electrónicos originales de la máquina, de los cuáles solo fue posible mostrar un ejemplo en la Figura 9 y Figura 14 debido a la política de seguridad de la información manejada por Papelsa S.A. En esta revisión se logró definir un listado de los elementos necesarios para la ejecución del proyecto, tal como se observa en la Figura 10. Estos materiales fueron pedidos verificando la información de voltaje, corriente y potencia nominal de cada uno de los motores e instrumentos existentes en el equipo; además, se hizo una valoración de las entradas y salidas digitales utilizadas para el control y los modos de accionamiento eléctricos.

**Figura 9**

*Hoja del plano eléctrico y electrónico original del gabinete de potencia.*



*Nota.* Tomada de Papelsa S.A.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 10**

*Listado de materiales para proyecto del stacker.*

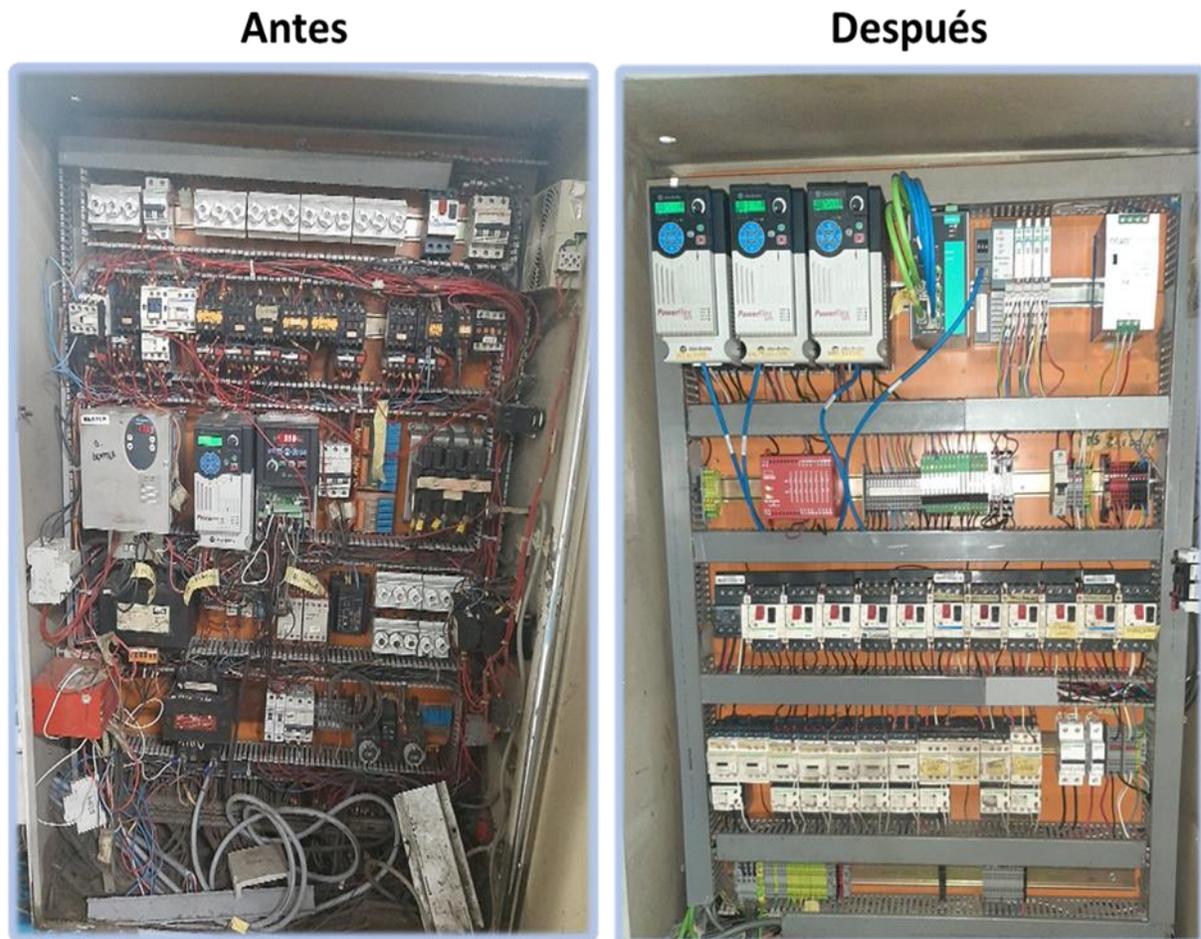
LISTADO DE MATERIALES SCTAKER AUTOMATICO DE LA WARD					
N°	DESCRIPCION MATERIAL	CANTIDAD	CODIGO SAP	CENTRO	ALMACEN
1	DRIVE AB POWERFLEX 525 / 5HP	2	4244620	P120	P121
2	DRIVE AB POWERFLEX 525 / 3HP	1	4250261	P120	P121
3	MODULO AB 1734-TB TERMINAL BLOCK	2	4523697	P120	P121
4	MODULO AB 1734-IB8 8 E/D 24DC	6	4225860	P120	P121
5	MODULO AB 1734-OB8e 8 S/D 24DC	4	4244624	P120	P121
6	SWITCH DE COMUNICACIÓN 7 PUERTOS MOXA	1	4244622	P120	P121
7	INTERRUPTOR OMROM D4SL-N2NFA-D4	5	4258710	P120	P121
8	MODULO DE SEGURIDAD CAT 4	1	4250225	P120	P121
9	FUENTE DE VOLTAJE 110VAC A 24VDC	1	4487896	P120	P121
10	BREAKER TRIFASICO 40 A	1	7808598	P120	P121
11	BREAKER MONOFASICO 3A	3	3032311	P120	P121
12	BREAKER BIFASICO 5A	1	4248600	P120	P121
13	TRANSFORMADOR DE 440VAC A 110VAC	1	7805541	P120	P121
14	CABLE BLINDADO SIEMON F/UTP CATEGORIA 6A	100	7614030	P120	P121
15	CABLE APANTALLADO 3 X 18 + 20	100	4201058	P120	P121
16	CABLE APANTALLADO 18 X 18	25	4202380	P120	P121
17	PLUG RJ45 CATEGORIA 6A	15	3006371	P120	P121
18	BORNERA DE CONTROL RED X 50 UNI	1	3003514	P120	P121
19	BORNERA DE CONTROL BLACK X 50 UNI	1	3003520	P120	P121
20	BORNERA DE CONTROL GREY X 50 UNI	1	3021950	P120	P121
21	BORNERA DE TIERRA C 50 UNI	1	7254574	P120	P121
22	PORTA RELE PHOENIX X 25 UNI	1	4257896	P120	P121
23	RELE PHOENIX 24 VDC X 25 UNI	1	4257897	P120	P121
24	CONTACTOR TELEM 440VAC /20A	6	4587896	P120	P121
25	GUARDAMOTOR TELEM 2A	4	6544512	P120	P121
26	GUARDAMOTOR TELEM 1A	2	6544513	P120	P121
27	GUARDAMOTOR TELEM 8A	2	6544516	P120	P121
28	GUARDAMOTOR TELEM 3A	3	6544520	P120	P121
29	CONTACTOR INVERSOR DE GIRO TELEM 440VAC / 20A	2	4587899	P120	P121
30	CABLE 4 X12 UNITRONIC	100	7845263	P120	P121
31	CABLE 4 X 10 UNITRONIC	50	7844561	P120	P121
32	PANEL VIEW 1250 DE AB	1	7589634	P120	P121
33	BOBINA TELEM LXD1F7 110V	15	2017673	P120	P121
34	RELÉ TÉRMICO TELEM 1 A 1,6 AMP	4	2017673	P120	P121
35	RELÉ TÉRMICO TELEM 2,5 A 4 AMP	2	2080111	P120	P121
36	RELÉ TÉRMICO TELEM 0,63 A 1 AMP	3	2080122	P120	P121
37	RELÉ TÉRMICO TELEM 5,5 A 8 AMP	2	2092854	P120	P121
38	BOTÓN PULSADOR TELEM LED VERDE	10	2080121	P120	P121
39	BOTÓN PULSADOR TELEM LED ROJO	10	2011443	P120	P121
40	BOTÓN PULSADOR TELEM LED NEGRO	3	2011446	P120	P121
41	BOTÓN PULSADOR TELEM LED AMARILLO	3	2003421	P120	P121
42	SELECTOR TELEM 2 POSICIONES N.A	5	2017863	P120	P121

Nota. Elaboración propia.

Con la llegada de todos los materiales se comenzó con la solución del segundo objetivo específico; para empezar, se realizó el cambio del gabinete de potencia como se ve en la Figura 11. El antiguo gabinete carecía de elementos que cumplieran con estándares de seguridad eléctrica como lo son la NTC2050 – 2020 y el RETIE, por lo que se exponía a todo el personal de la empresa que tuviese una interacción cercana al equipo a un riesgo eléctrico inminente. Además, se agregaron variadores de frecuencia con la referencia *powerflex* 525 controlados vía ethernet para los motores que requerían control de velocidad, tal como se observa en una de las hojas de los planos eléctrico y electrónico actualizados de la Figura 12, y arranques directos para los demás motores controlados por salidas digitales del PLC.

**Figura 11**

*Comparación gabinete de potencia.*

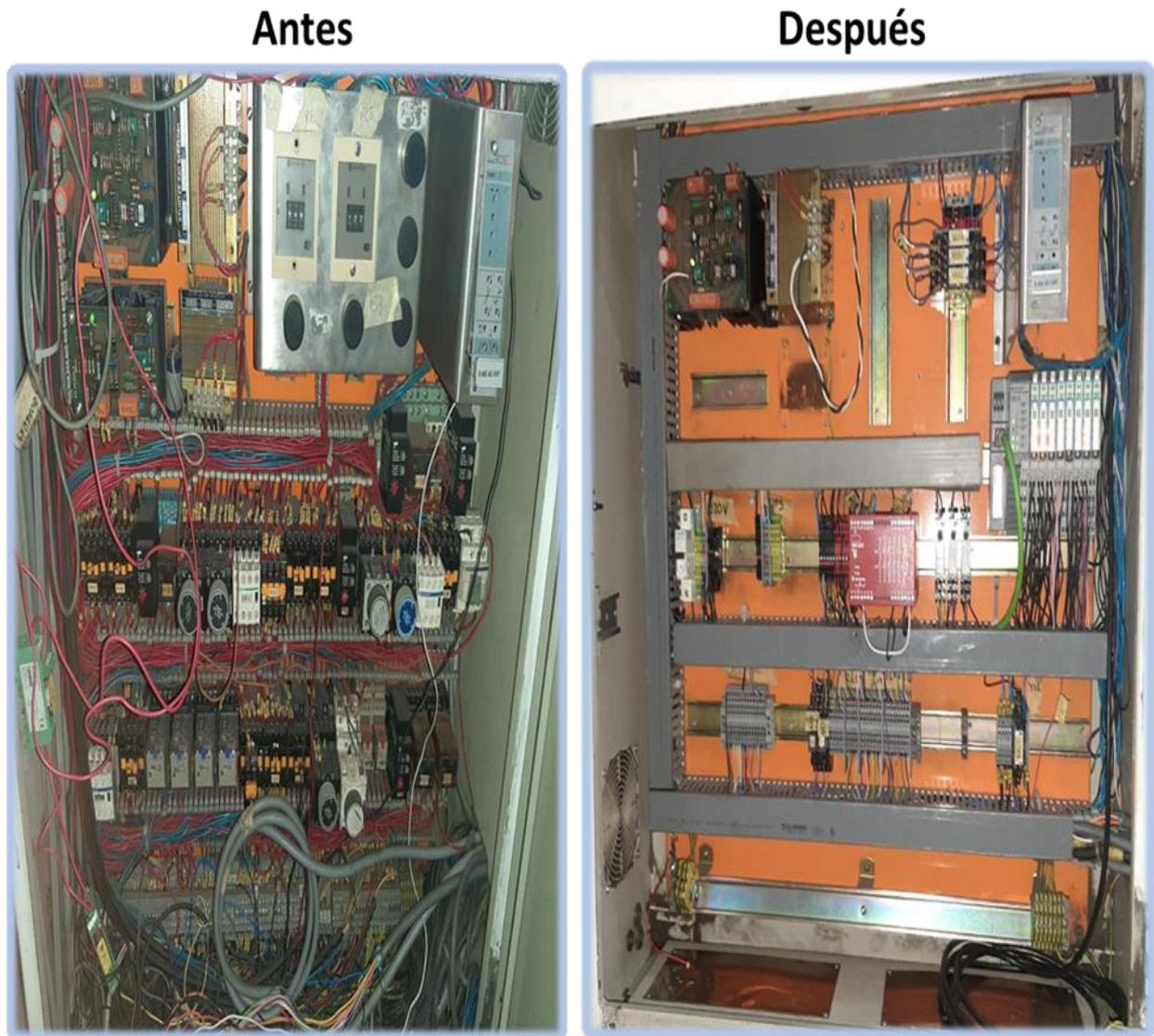


*Nota.* Elaboración propia.



**Figura 13**

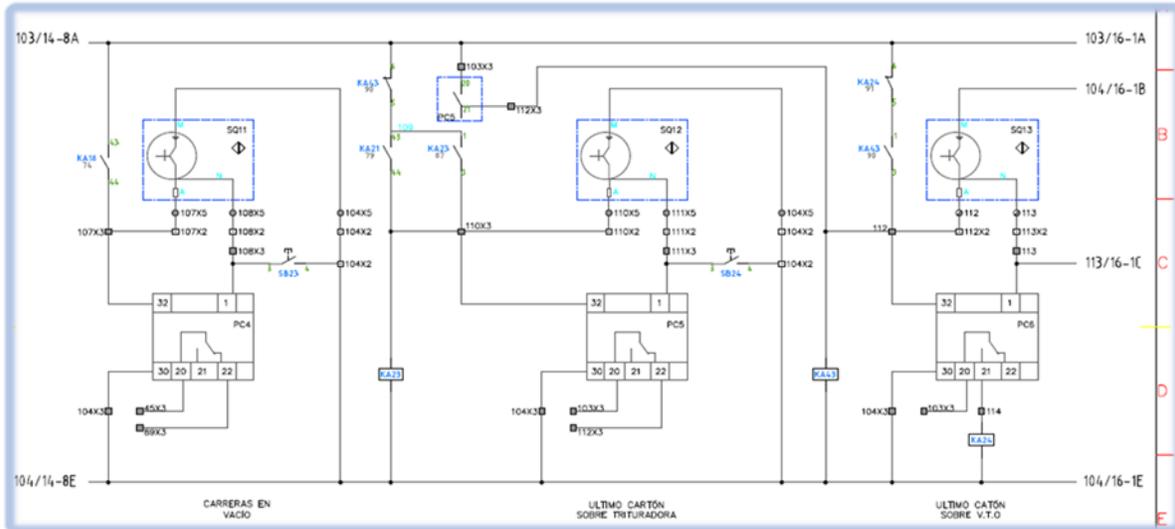
*Comparación gabinete de control.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 14**

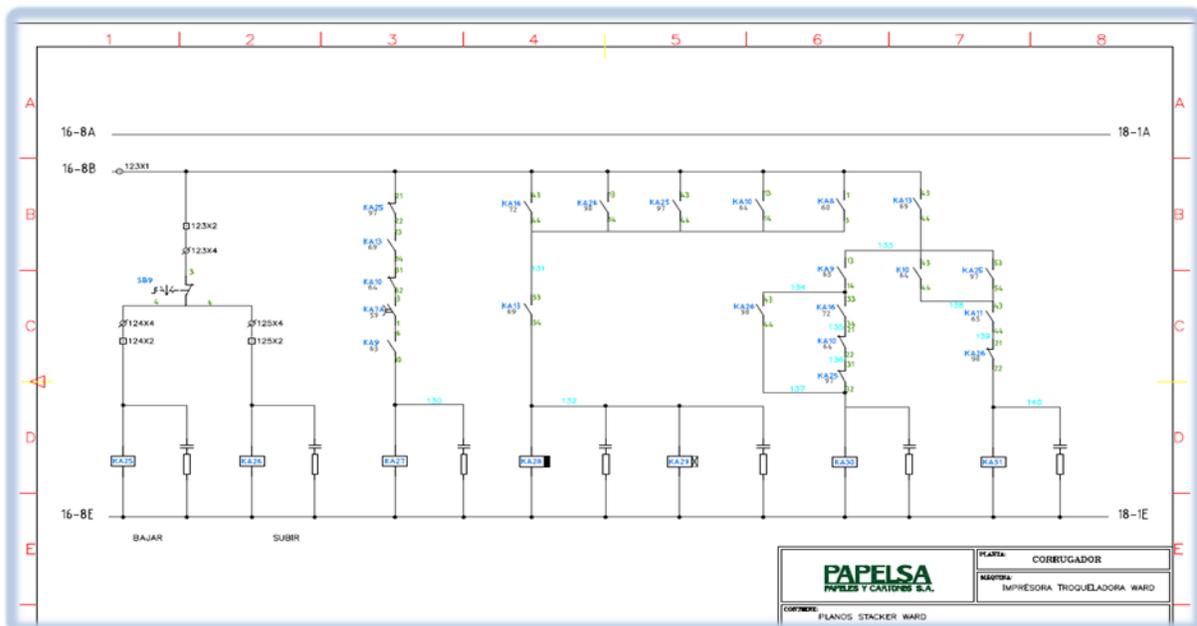
Hoja del plano eléctrico y electrónico original del gabinete de control.



Nota. Tomada de Papelsa S.A.

**Figura 15**

Hoja del plano eléctrico y electrónico actualizado del gabinete de control.



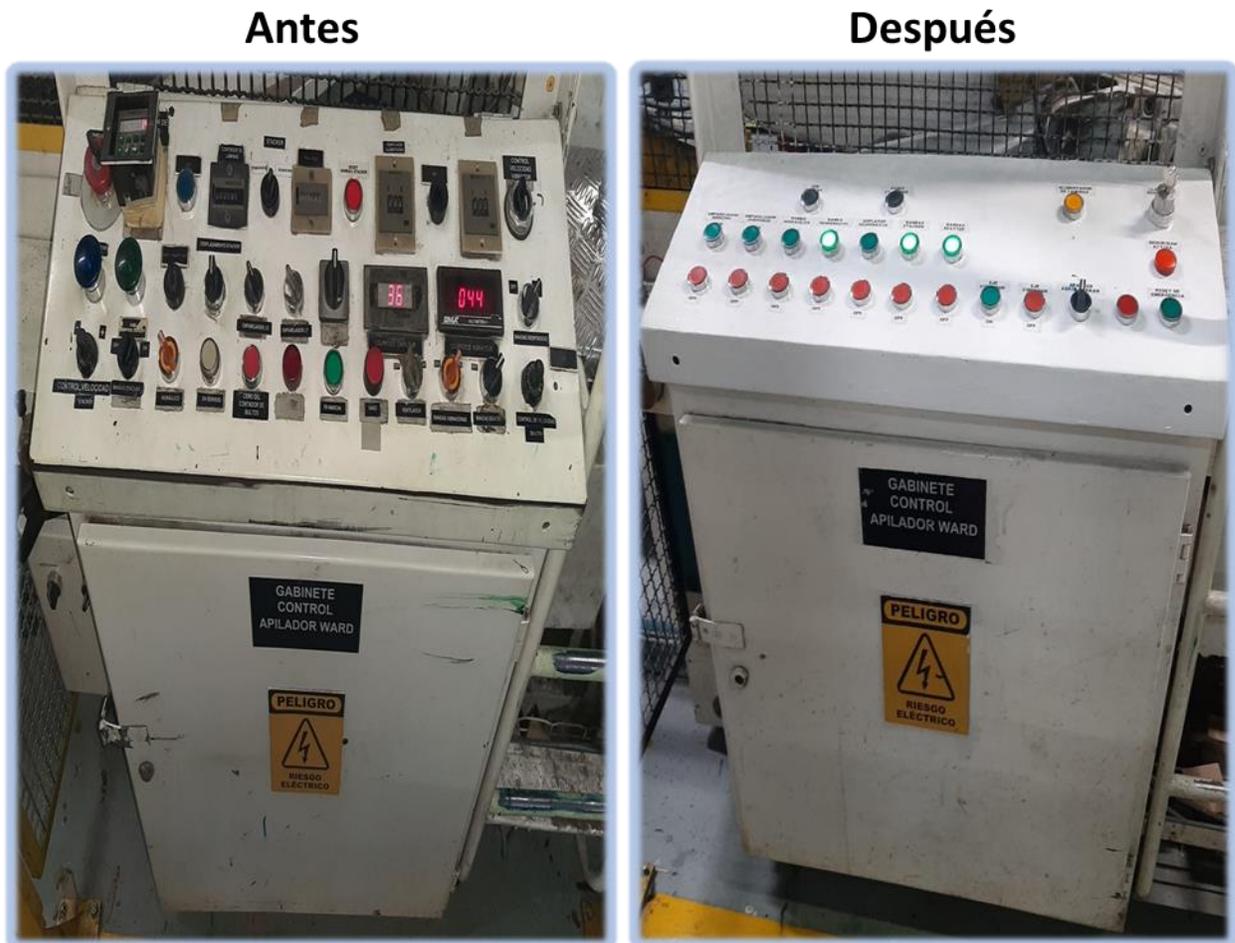
Nota. Elaboración propia.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

También se eliminaron del panel de control las señales de temporizadores y contadores análogos, los cuales fueron programados en el *panel view* para la parametrización de los pedidos. Los demás elementos como perillas y pulsadores de referencias antiguas fueron homologados por pulsadores luminosos más modernos para realizar el control manual de los motores de la máquina y el control de actuadores. Esta modificación se puede ver reflejada en la Figura 16.

**Figura 16**

*Comparación panel de control.*



*Nota.* Elaboración propia.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Se instaló un *panel view* plus 1250 de Allen – Bradley mostrado en la Figura 17. Esta *HMI* ayudó a eliminar todos los elementos análogos que se tenían en el panel de control como temporizadores y contadores, los cuáles fueron integrados a una pantalla del *panel view*, donde se asignan los setpoint de proceso, en la programación de los pedidos.

A continuación, se brinda una explicación de los botones y elementos contenidos en la pantalla principal del *stacker*, mostrada en la Figura 17, que para efectos del proceso fue nombrada apilador:

- 1- **Setpoint laminas para apilar:** En esta entrada numérica el operario asigna el setpoint de la cantidad de láminas que necesita hacer arrumes, según la necesidad del comprador.
- 2- **Visualización del contador de láminas:** En este display el operador podrá observar la cantidad de láminas que se han apilado.
- 3- **Tiempo de espera:** En esta entrada numérica, se asigna el setpoint para el tiempo de diferencia que se debe llevar entre una lámina y la que le sigue.
- 4- **Parrilla manual/automático:** El operador decide el modo de funcionamiento de expulsión de la parrilla, si desea que se realice de forma automática o si desea realizar la expulsión de manera manual desde los botones del panel de control.
- 5- **Tiempo parrilla:** El operador asigna el tiempo óptimo que debe tener de diferencia la lámina que finaliza el arrume para alcanzar a realizar la evacuación del paquete saliente.
- 6- **Velocidad de las bandas:** En esta entrada numérica se asigna el porcentaje de velocidad de las bandas del *stacker*. También se observa un botón de falla del variador y otro de motor activo. La barra indica la retroalimentación del porcentaje de velocidad.
- 7- **Velocidad del vibrador:** En esta entrada numérica se asigna el porcentaje de velocidad del vibrador del *stacker*. También se observa un botón de falla del variador y otro de motor activo. La barra indica la retroalimentación del porcentaje de velocidad.

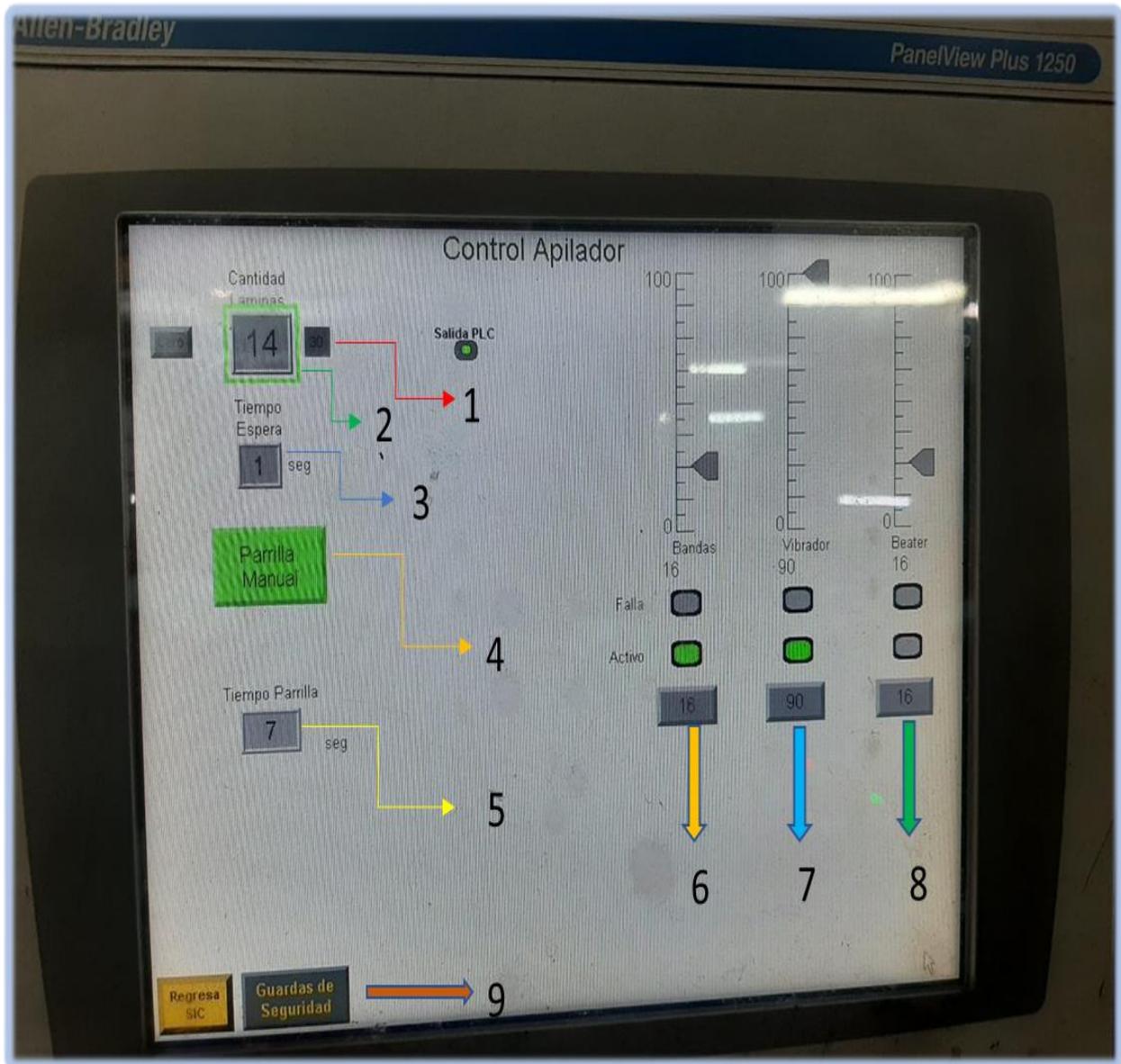
	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- 8- **Velocidad del *beater*:** En esta entrada numérica se asigna el porcentaje de velocidad del *beater* del *stacker*. También se observa un botón de falla del variador y otro de motor activo. La barra indica la retroalimentación del porcentaje de velocidad.
  
- 9- **Guardas de seguridad:** Al pulsar este botón, el *panel* direcciona al operario a la pantalla de indicación de estados de los interruptores de seguridad.

Adicionalmente se creó una pantalla para las guardas de seguridad como se observa en la Figura 18. Esto ayudará a identificar con facilidad la apertura de una puerta de la máquina que no se vuelva a cerrar; esto con el fin de hacer un diagnóstico más eficiente en el momento de que el equipo no arranque por condición de puerta abierta o por un daño en el interruptor; en la pantalla se verá reflejada una intermitencia sobre el recuadro de la guarda que tenga esta condición.

**Figura 17**

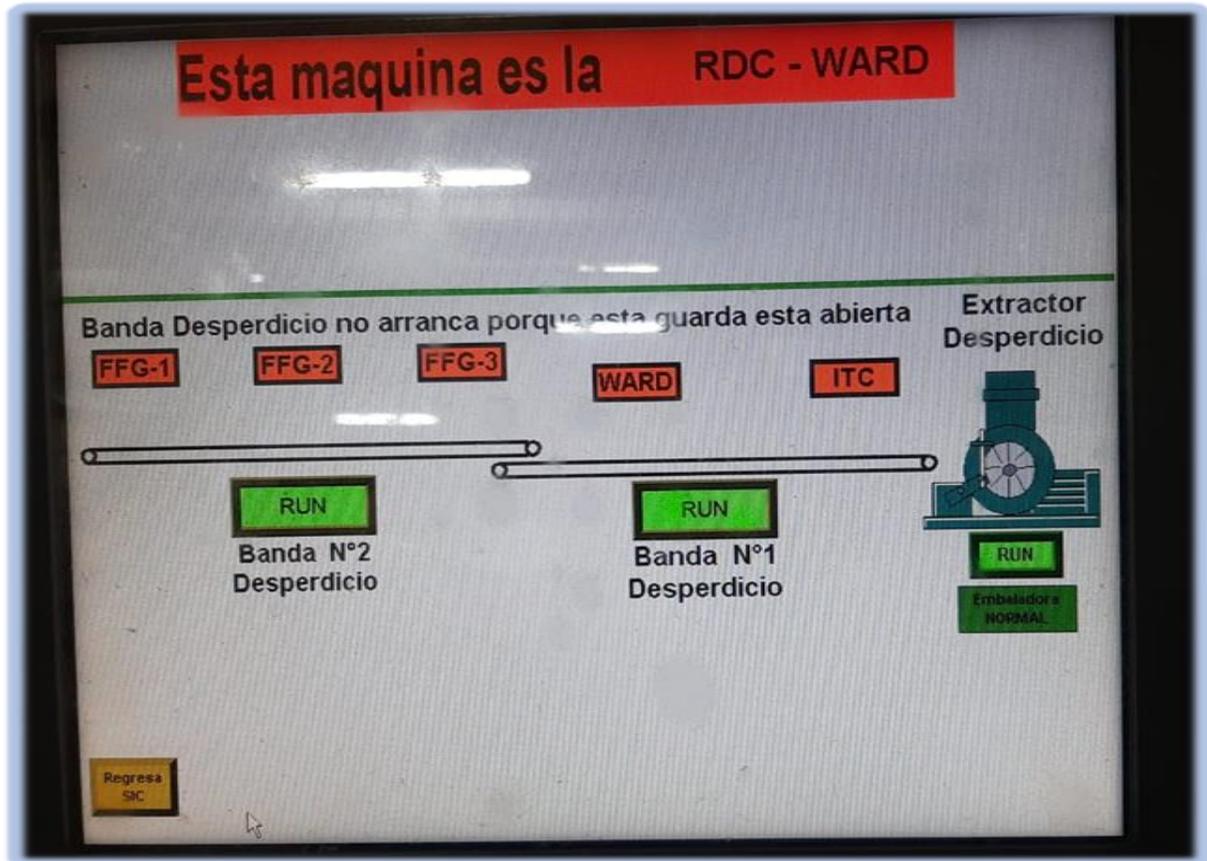
*Panel view 1250 del Stacker automático de la Ward.*



*Nota. Elaboración propia.*

**Figura 18**

*Panel view 1250, guardas de la Ward.*



*Nota.* Elaboración propia.

Para mejorar los indicadores de seguridad y hacer una reducción en los colores críticos de la matriz de riesgos y peligros, se instalaron interruptores de marca Omron electromagnéticos de referencia D4SL-N2NFA-D4 en todas las puertas de la máquina como el que se ve en la Figura 19 Se instaló este tipo de interruptor gracias a que posee una bobina que se puede magnetizar y evitar que la llave omron sea extraída, esto con el fin de prevenir el ingreso al interior del equipo de cualquier persona cuando se encuentre en modo *run*. Así se minimizaron puntos de atrapamiento y se evitan condiciones inseguras del personal que se encuentre en la planta.

Si alguien por algún motivo intenta forzar la apertura del interruptor, el controlador automáticamente para toda la sección y envía una alarma de advertencia informando de la condición.

**Figura 19**

*Interruptor de seguridad.*



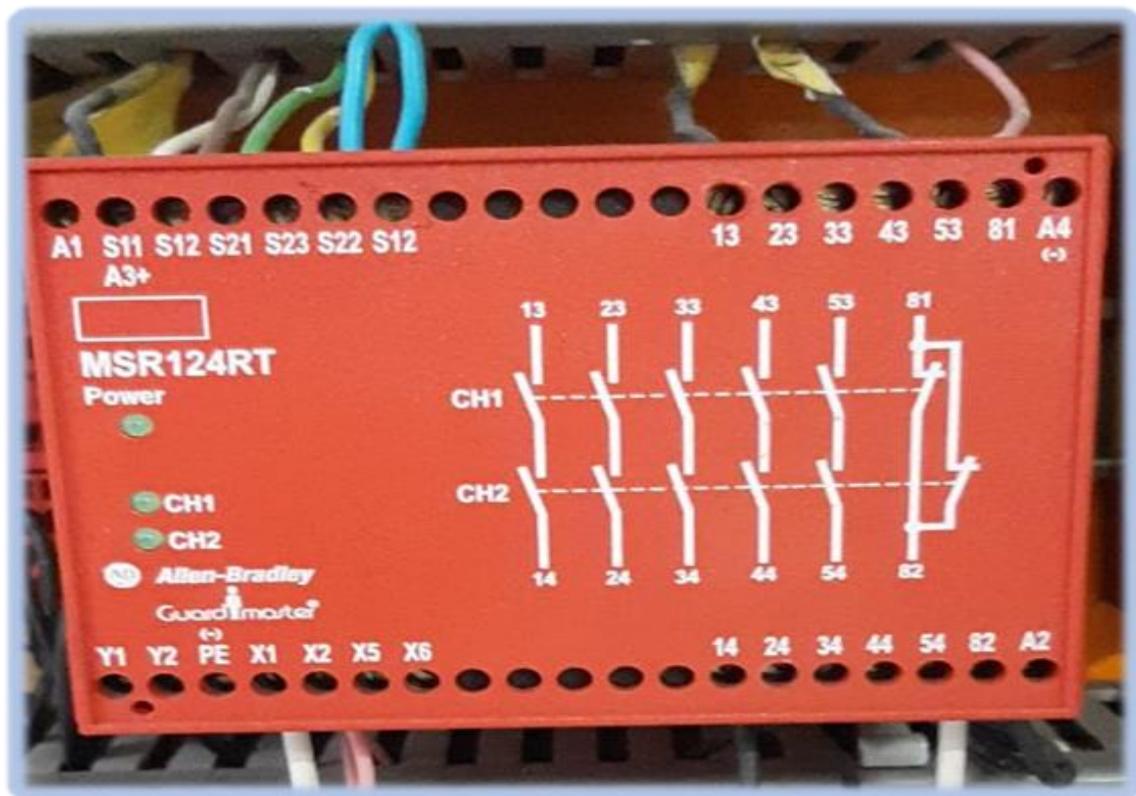
*Nota.* Elaboración propia.

Igualmente se integró un módulo de seguridad MSR124RT de Allen Bradley categoría 4, como el que se observa en la Figura 20, el cual, gracias al sistema optoacoplador que le fue integrado, ofrece altas velocidades de respuesta a los cambios de estado y un porcentaje nulo de vulnerabilidad en el *interlock* por el personal operativo.

En este módulo se conectaron las señales asociadas a los interruptores instalados en las puertas, debido a que la aseguradora exige tener relevadas estas señales, con este tipo de instrumentos electrónicos y no estar conectadas directamente a un canal de entradas del PLC, lo que a su vez proporciona una mayor seguridad en la interacción hombre-máquina. En la Figura 21 se puede observar el plano eléctrico de la conexión del sistema de guardas.

**Figura 20**

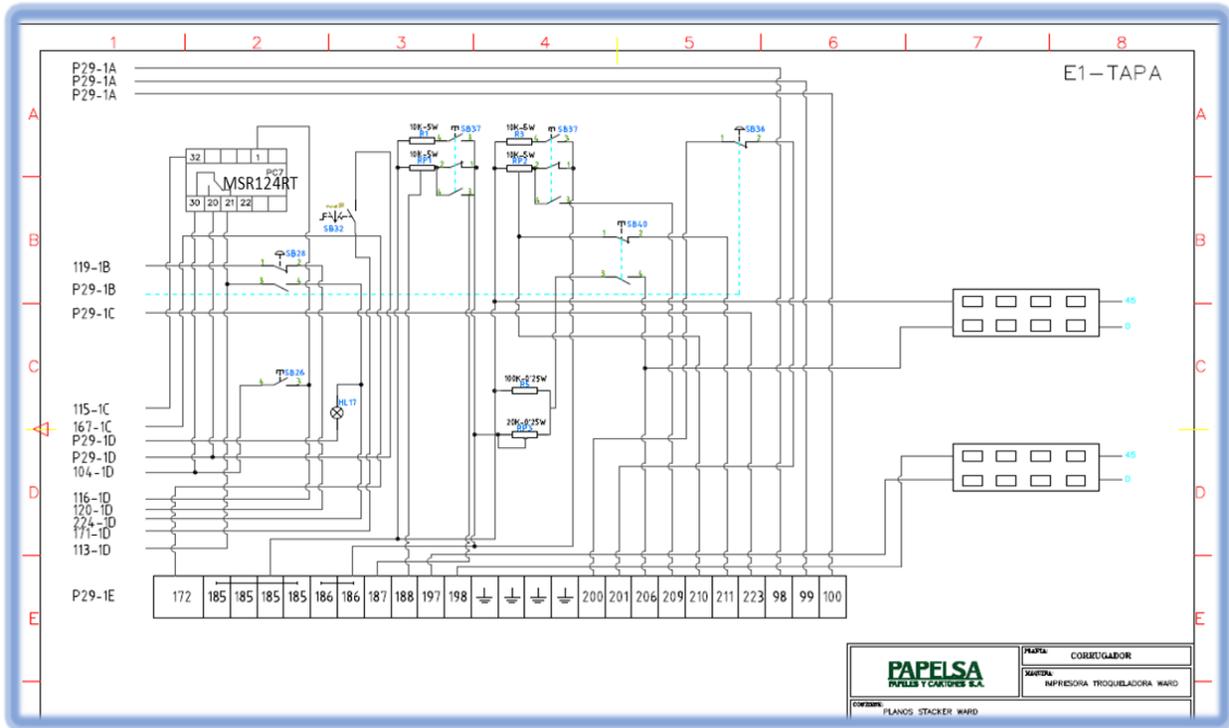
*Módulo de seguridad MSR124RT de Allen Bradley*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 21**

*Hoja de plano eléctrico y electrónico gurdas de seguridad.*



*Nota.* Elaboración propia.

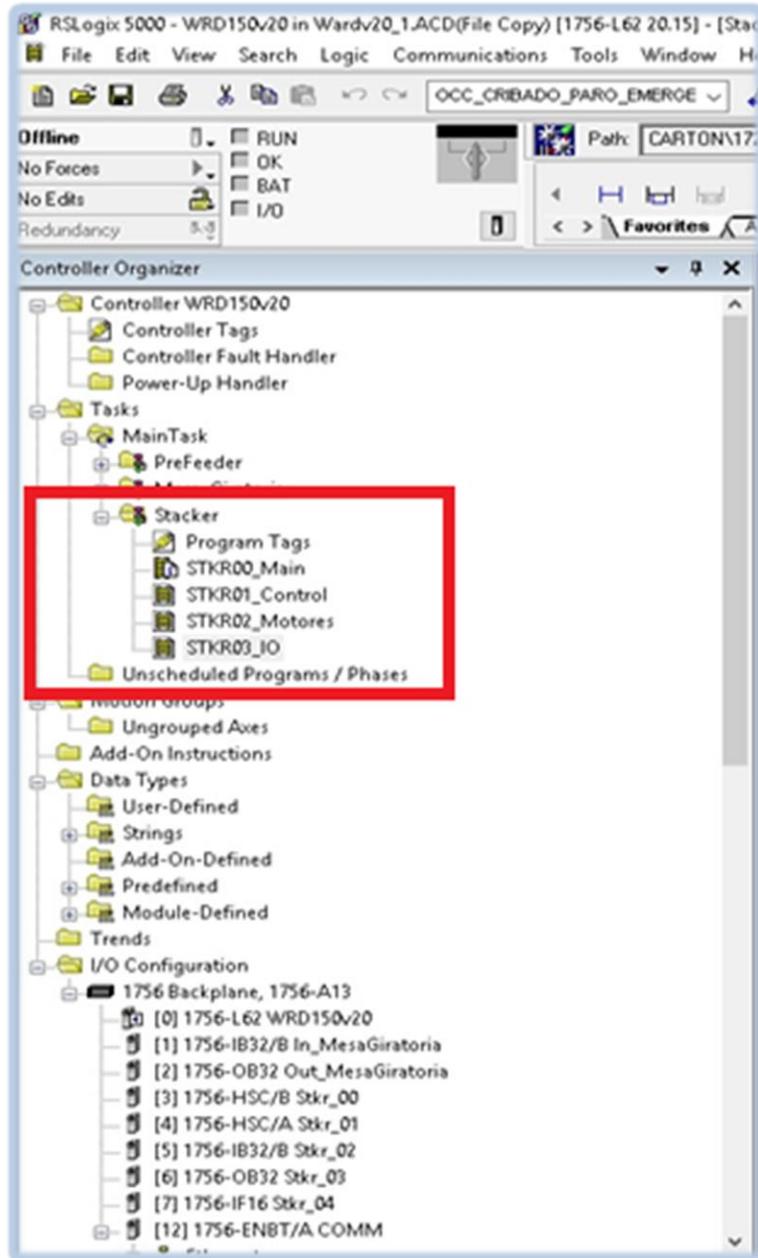
Con la inclusión del *PLC* y la realización de un algoritmo de control se eliminaron tiempos muertos de operación, realizando un trabajo conjunto con el personal operativo, además de la integración de los diferentes sistemas que se pueden controlar vía ethernet como lo son: variadores de velocidad, *HMI* y chasis remoto para la recolección de señales digitales. Esto ayudará a obtener una mayor rapidez al momento de hacer un diagnóstico de alguna dificultad que se esté presentando en la máquina a nivel de mantenimiento.

En la Figura 22 se puede observar cómo fue agregado un nuevo *main* al árbol de organización del procesador de la troqueladora Ward. Aquí se incluyen las rutinas de trabajo del *stacker* automático que fueron programadas, tales como el control secuencial de operación, arranque de los motores, rutina de seguridad, activación de señales de entradas y salidas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 22**

*Árbol de organización procesador Ward.*



*Nota.* Elaboración propia.

A continuación, la Figura 23 y la Figura 24 muestran unas tablas con el listado de las entradas digitales al PLC asociadas al tablero de control y al tablero de potencia, las cuáles fueron utilizadas para la recepción de señales, tales como pulsadores, sensores, paros de emergencia, módulo de seguridad y reconocimientos de los motores.

**Figura 23**

*Listado señales de entrada al PLC, tablero de potencia.*

ENTRADAS PIO TABLERO POTENCIA		
1,0	GUARDA MOT +TERM	Abre y Cierra Apilador
1,1	GUARDA MOT +TERM	Ventilador del Motor de las Correas
1,2	GUARDA MOT +TERM	Banda Desperdicio del Beater
1,3	GUARDA MOT +TERM	Soplador del Beater
1,4	GUARDA MOT +TERM	Bomba Hidraulica
1,5	GUARDA MOT +TERM	Ventilador Refrigerador de la Unidad Hidraulica
1,6	GUARDA MOT +TERM	PFLEX 1, 2 y 3 alguno esta apagado
1,7	Limit Swicth	Apilador Cerrado y Ubicado en posicion de Trabajo
2,0	Limit Swicth	Apilador Abierto
2,1	Limit Swicth	Apilador Cerrado
2,2	Limit Swicth	Apilador Maxima Altura
2,3	STKR SQ8	Fotocelda Parrila sin Laminas

*Nota.* Elaboración propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 24**

*Listado señales de entrada al PLC, tablero de control.*

ENTRADAS PIO CONSOLA PRINCIPAL		
1,0	PB-LED Amarillo	Consola Operador ON/OFF Alimentacion de Laminas
1,1	PB-LED verde	Start Variador AC VIBRADOR
1,2	PB Rojo	Stop Variador AC VIBRADOR
1,3	PB Negro	Reset Contador Laminas
1,4	PB-LED verde	Start Variador AC BEATER
1,5	PB Rojo	Stop Variador AC BEATER
1,6	PB-LED verde	Start Variador AC BANDAS
1,7	PB Rojo	Stop Variador AC BANDAS
2,0	P-Select RET-Cen	Abrir Apilador
2,1	P-Select RET-Cen	Cerrar Apilador
2,2	PB-LED verde	Start SOPLADOR
2,3	PB Rojo	Stop SOPLADOR
2,4	PB-LED verde	Start Banda Desperdicio
2,5	PB Rojo	Stop Banda Desperdicio
2,6	PB-LED verde	Start Bomba Hidraulica
2,7	PB Rojo	Stop Bomba Hidraulica
3,0	PB-LED verde	Start Emparejador IZQ
3,1	PB Rojo	Stop Emparejador IZQ
3,2	PB-LED verde	Start Emparejador DER
3,3	PB Rojo	Stop Emparejador DER
3,4	P-Select	Sacar Parrilla Manualmente
3,5	P-Select	Entrar Parrilla Manualmente
3,6	MSR124	Modulo Seguridad en Falla Segura
3,7	PB Negro	Reset Fallas Drives AC
4,0	E.STOP 1	Consola Principal Emergency Stop por LLAVE de BLOQUEO
4,1	E.STOP 2	Salida Apilador Lado Operador Emergency Stop
4,2	E.STOP 3	Salida Apilador Lado Motor Emergency Stop
4,3	P-Select RET-Cen	Salida Apilador Subir Apilador
4,4	P-Select RET-Cen	Salida Apilador Bajar Apilador
4,5	PB Negro	Salida Apilador JOG Bandas
4,6	P-Select RET-Cen	Salida Apilador Mover Tope Adentro
4,7	P-Select RET-Cen	Salida Apilador Mover Tope Afuera
5,0	PB-LED Amarillo	Salida Apilador ON/OFF Alimentacion de Laminas

*Nota.* Elaboración propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la Figura 25 se puede observar el listado de las señales de salida del *PLC*, del gabinete de potencia y de control, las cuales se utilizaron para la activación de electroválvulas neumáticas e hidráulicas, el accionamiento de contactores y los pilotos de reconocimiento de falla y marcha.

**Figura 25**

*Listado señales de salida del PLC, gabinete de control y potencia*

SALIDAS PIO TABLERO POTENCIA		
3,0	KM3	APILADOR ABRIR
3,1	KM4	APILADOR CERRAR
3,2	VTO FAN	Ventilador Forzado del Motor VTO (2 Fases)
3,3	KM13	BANDA DESPERDICIO BEATER
3,4	KM1	BEATER SOPLADOR
3,5	KM5	BOMBA HYD
3,6	KM6	BOMBA HYD VENTILADOR (3Fases)
3,7	SF	Permisivo de Alimenatacion (Stop Feed)
SALIDAS PIO CONSOLA PRINCIPAL		
6,0	PLT-Amarillo	Piloto Alimentacion de Laminas
6,1	PLT-Verde	Piloto Variador AC VIBRADOR
6,2	PLT-Verde	Piloto Variador AC BEATER
6,3	PLT-Verde	Piloto Variador AC BANDAS
6,4	PLT-Verde	Piloto SOPLADOR
6,5	PLT-Verde	Piloto BANDA DESPERDICIO
6,6	PLT-Verde	Piloto BOMBA HIDRAULICA
6,7	PLT-Verde	Piloto EMPAREJADOR IZQUIERDO
7,0	PLT-Verde	Piloto EMPAREJADOR DERECHO
7,1	PLT-Rojo	Piloto E.STOP1
7,2	PLT-Rojo	Piloto E.STOP2
7,3	PLT-Rojo	Piloto E.STOP3
7,4	Valvula	Main Valve Hydraulic
7,5	Valvula	Subir Apilador Proporcionalmente
7,6	Valvula	Subir Apilador Proporcionalmente
7,7	Valvula	Bajar Apilador Proporcionalmente
8,0		EMPAREJADOR DERECHO
8,1		EMPAREJADOR IZQUIERDO
8,2	Valvula	Entrar Parrila
8,3	Valvula	Sacar Parrilla
8,4		Entrar BackStop
8,5		Sacar BackStop
8,6		Pilto Falla Drives

*Nota.* Elaboración propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Después de realizar la creación de la tabla de variables con las entradas y salidas del listado de señales, se realizó la lógica de control de operación de la máquina para lograr el cumplimiento del tercer objetivo específico, que consiste básicamente de dos puntos:

### **Modo Manual**

Permite realizar los movimientos que el operario desee desde la consola de operación, primero debe de considerar de tener seleccionado la perilla de modo man/auto, hacia el lado del modo manual, esto habilitará el uso de los pulsadores que se tienen en la consola. Se debe tener en cuenta que los botones no tienen un enclavamiento, excepto el de la bomba hidráulica, esto debido a temas de seguridad, por lo que el operario debe dejar oprimido el pulsador hasta que él lo considere necesario.

Los pulsadores de color verde tienen internamente una luz piloto que se enciende para indicar al operador si se está realizando el movimiento, ya sea de un motor o de un cilindro, también se tienen pulsadores de color rojo con una luz piloto para indicar si el elemento está en falla y se debe de reiniciar.

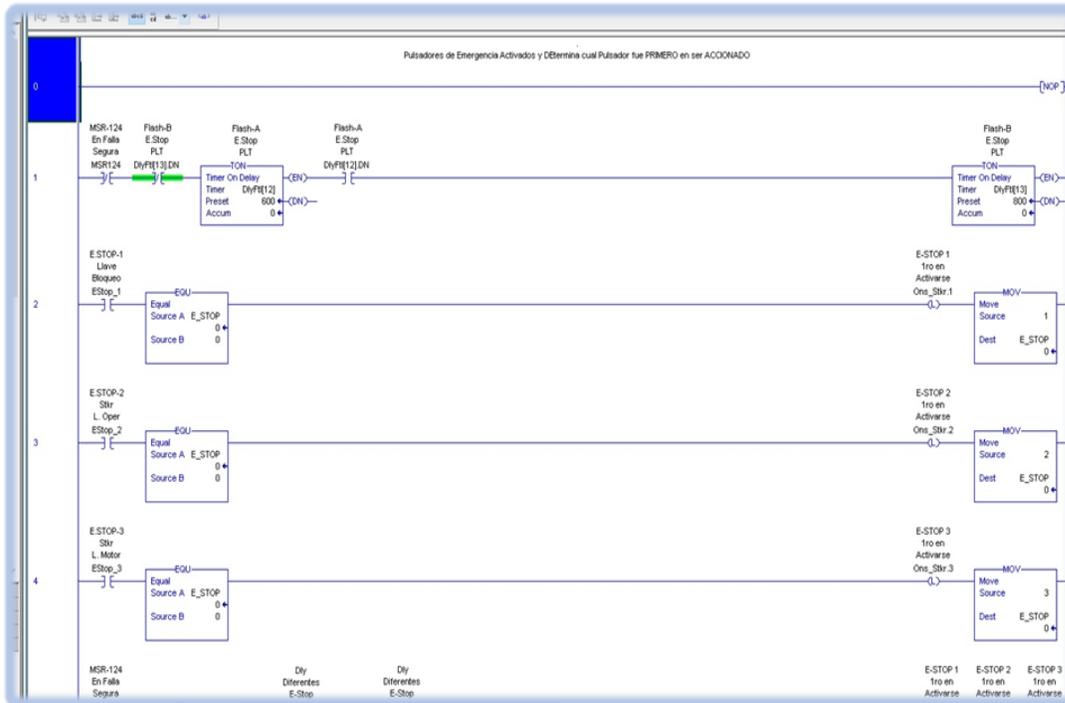
Motores y cilindros que permiten operación en modo manual:

- 1- Motor Vibrador del beater
- 2- Motor correas del beater
- 3- Motor bandas del apilador
- 4- Motor del emparejador apilador
- 5- Motor para abrir y cerrar el *stacker*
- 6- Motor ventilador del beater
- 7- Motor bomba hidráulica
- 8- Cilindro bajar y subir *stacker*
- 9- Cilindro emparejador del apilador

Para concluir este modo se realizó una rutina de seguridad con los paros de emergencia instalados en diferentes puntos estratégicos de la máquina, que, en caso de ser accionados, generará un corte inmediato de todo tipo de energía peligrosa como lo son, la eléctrica, la neumática y la hidráulica; inhabilitándose cualquier tipo de movimiento en los actuadores del equipo. Esta rutina puede ser observada en la Figura 26.

**Figura 26**

*Rutina paros de emergencia stacker Ward.*



*Nota.* Elaboración propia.

### Modo Automático

En este modo se realiza toda la rutina de activación del *stacker* como se puede visualizar en la Figura 27, esto con el fin de lograr una operación eficiente del automático, el funcionamiento del programa será mencionado en un paso a paso que se presentará a continuación con la secuencia de trabajo que contiene el *main*.

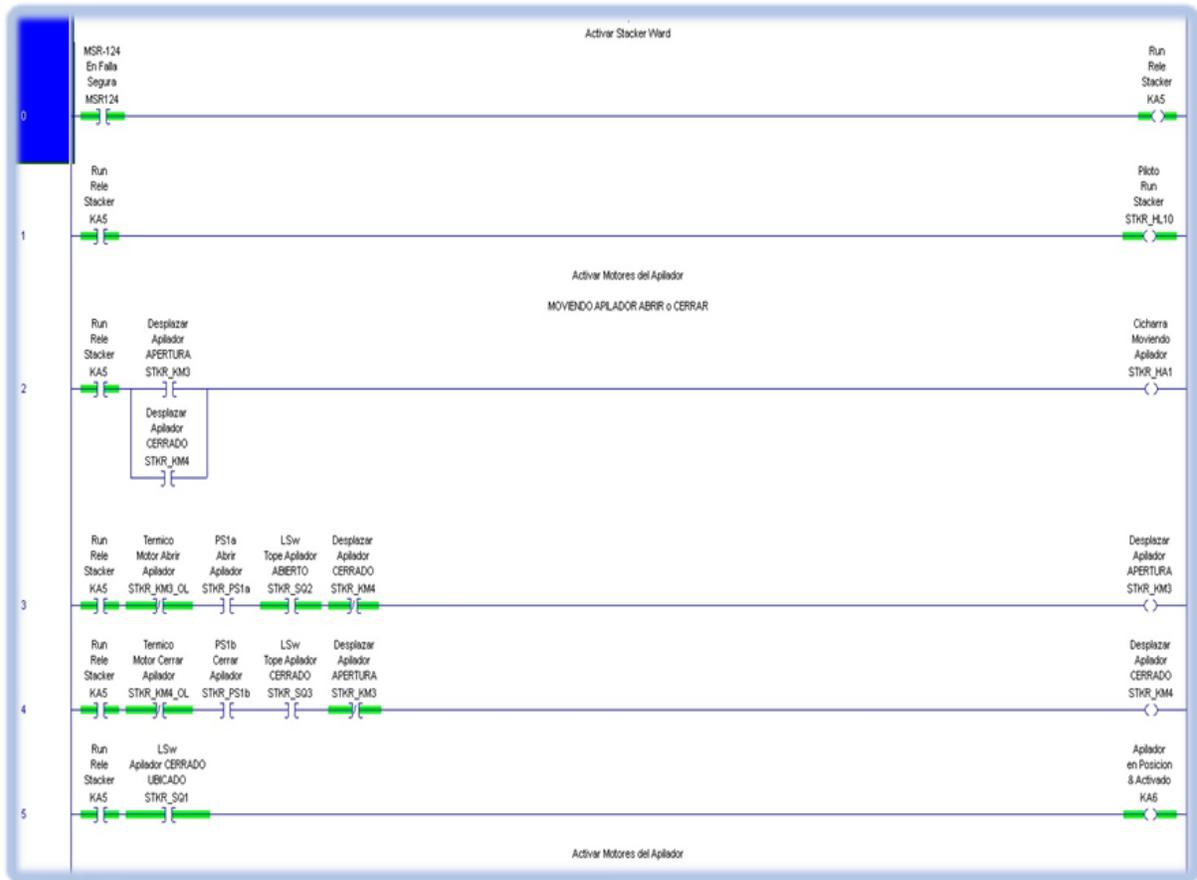
- 1- Se verifican todas las seguridades del equipo como lo son, los paros de emergencia, señal de confirmación del módulo de seguridad indicando que los interruptores se encuentran cerrados, estado *ready* de los variadores de velocidad, además de las señales de reconocimiento de guardamotors y relés térmicos.
- 2- El operador debe asignar el setpoint de la cantidad de láminas que desea apilar, tiempo de espera entre una lámina y la siguiente, tiempo para evacuación de la parrilla, velocidad de las bandas del beater, del vibrador y de las bandas del stacker.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- 3- El ayudante de máquina debe posicionar manualmente los emparejadores y altura del *stacker* según el pedido a producir.
- 4- El operador es autónomo al decidir el modo de operación de la parrilla si desea realizarlo de forma manual o si el sistema efectúa la evacuación de forma automática.
- 5- Al cumplirse todas estas condiciones, el programa solo está a la espera de recibir la señal del comando de arranque ejecutada por el operador.
- 6- Inicialmente el programa realiza un arranque secuencial de todos los motores, evitando un alto consumo de energía en las líneas de alimentación principal.
- 7- El programa entrega la señal de confirmación, para la alimentación de láminas a la Ward 15000, comenzando así el proceso de limpieza del material troquelado en el beater.
- 8- Después de pasar por el proceso de limpieza, se entrega la lámina a las bandas del *stacker* para el transporte hacia la parrilla.
- 9- El sensor de conteo empieza a mandar la señal al contador y además confirma la presencia de láminas que a su vez da la orden de activar el cilindro del emparejador, que alinea el paquete que se está formando.
- 10- Tres láminas antes de alcanzar el setpoint del arrume, se baja automáticamente la velocidad de las bandas del *stacker* para abrir el espacio para la evacuación de la parrilla.

**Figura 27**

*Rutina activación del stacker Ward.*

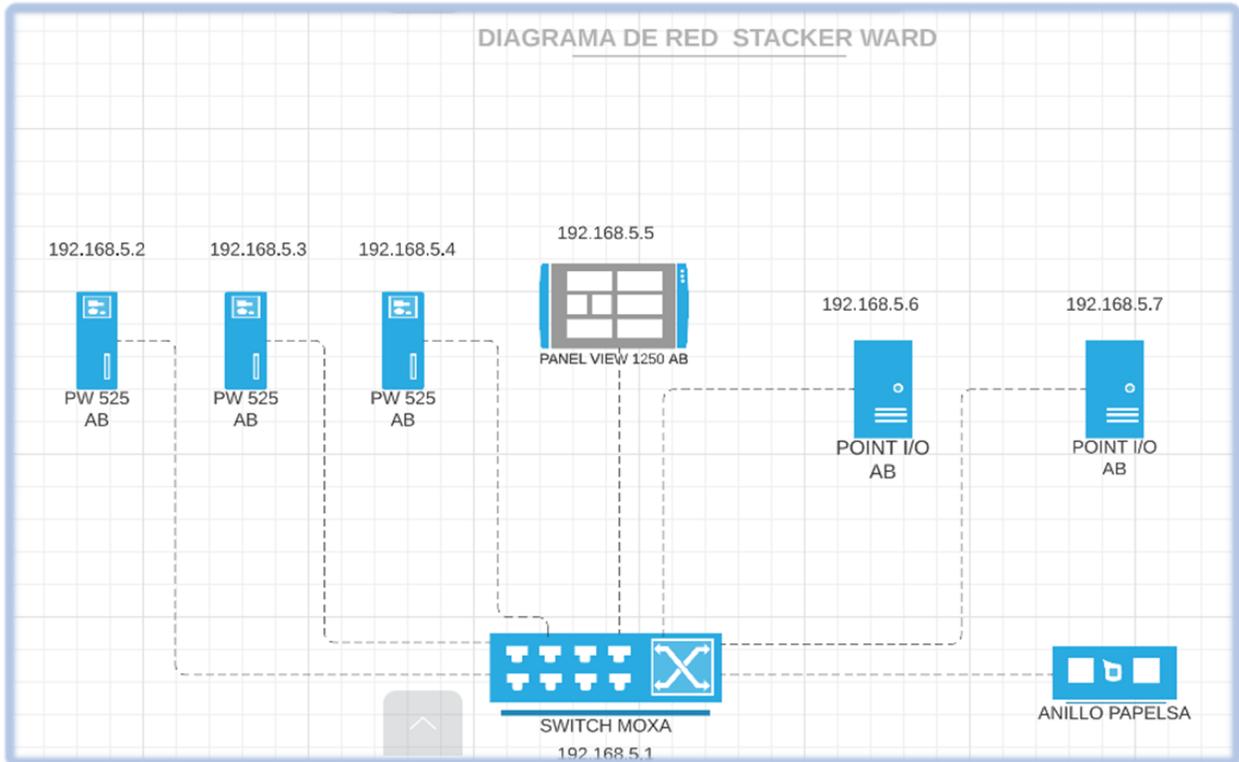


*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó una actualización en los planos eléctricos y electrónicos del equipo debido a los múltiples cambios que se ejecutaron en los gabinetes de potencia y control, como fue mostrado en figuras anteriores. Además, se amplió la red de comunicación ethernet entre los distintos elementos utilizados para la automatización, como se puede observar en los planos de red de la Figura 28. De esta manera, se procedió a efectuar la entrega final de todos los informes, la documentación, los resultados finales del proyecto y así garantizar el cumplimiento del cuarto objetivo específico, que fue la entrega en campo de toda la automatización realizada.

**Figura 28**

*Diagrama red de comunicación stacker Ward.*



*Nota.* Elaboración propia.

Gracias a este proyecto se logró mejorar tres puntos claves en el proceso: la disponibilidad de la máquina, la productividad y el indicador de seguridad, los cuales arrojaron resultados muy positivos que se ven reflejados en las gráficas mostradas en las Figuras 29,30,31 y 32. Se debe tener en cuenta que el montaje fue implementado en el mes de junio del año 2022, por lo que a modo de comparación se realizan promedios en los porcentajes de los indicadores; los meses de enero a mayo son utilizados para mostrar el antes y de julio a diciembre para el después, con lo que se puede verificar el cumplimiento del quinto objetivo específico.

### Disponibilidad

Se evidenció una mejoría en el índice de disponibilidad de máquina que antes del proyecto se encontraba en un promedio del 73 %. Después de la automatización se pasó a tener una disponibilidad en el equipo de un 95 %, lo que indica que se obtuvo una gran disminución

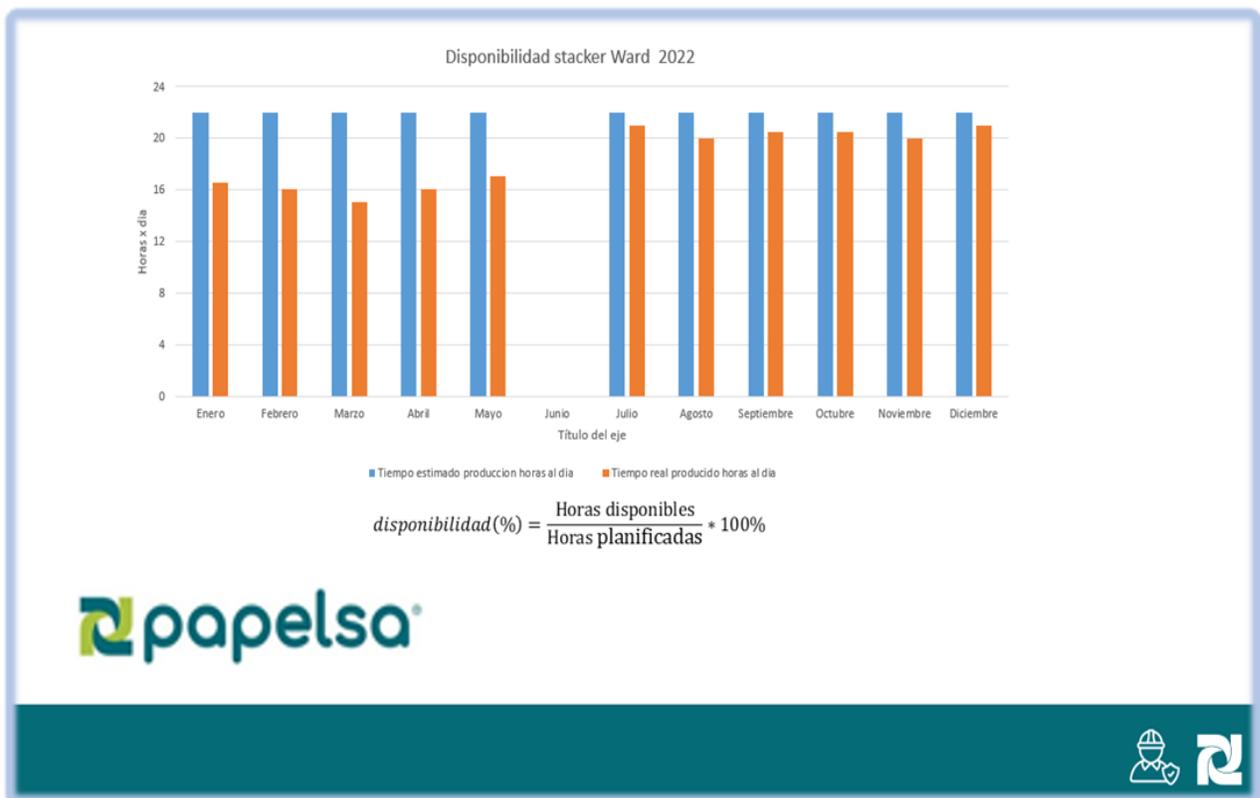
en los tiempos perdidos y un alza en la producción. Estos indicadores son calculados por la empresa usando la Ecuación (1):

$$disponibilidad (\%) = \frac{\text{Horas disponibles}}{\text{Horas planificadas}} * 100\%, \quad (1)$$

tomando como referencia la gráfica de la Figura 29.

### Figura 29

Gráfica disponibilidad stacker Ward del año 2022.



Nota. Elaboración propia.

### Productividad

La automatización de este equipo ayudó a mejorar los indicadores de productividad, debido a que la máquina paso de producir alrededor de 120 cajas por minuto a un promedio de 180 cajas por minuto, como se observa en la Figura 30, aumentando en un 50 % la cantidad de cajas producidas con relación a las cifras obtenidas antes del montaje, con lo que se vería reflejado un aumento en las ganancias de la empresa y la disminución de los tiempos de despachos en los pedidos.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la próxima gráfica se podrá notar que la máquina paso de tener una productividad de un 70 % aproximadamente a un 92%, esto se pudo comprobar con la Ecuación (2):

$$Productividad(\%) = \frac{\text{Horas disponibles}}{\text{Horas planificadas}} * \frac{\text{Cajas producidas}}{\text{Cajas planificadas}} * 100\% \quad (2)$$

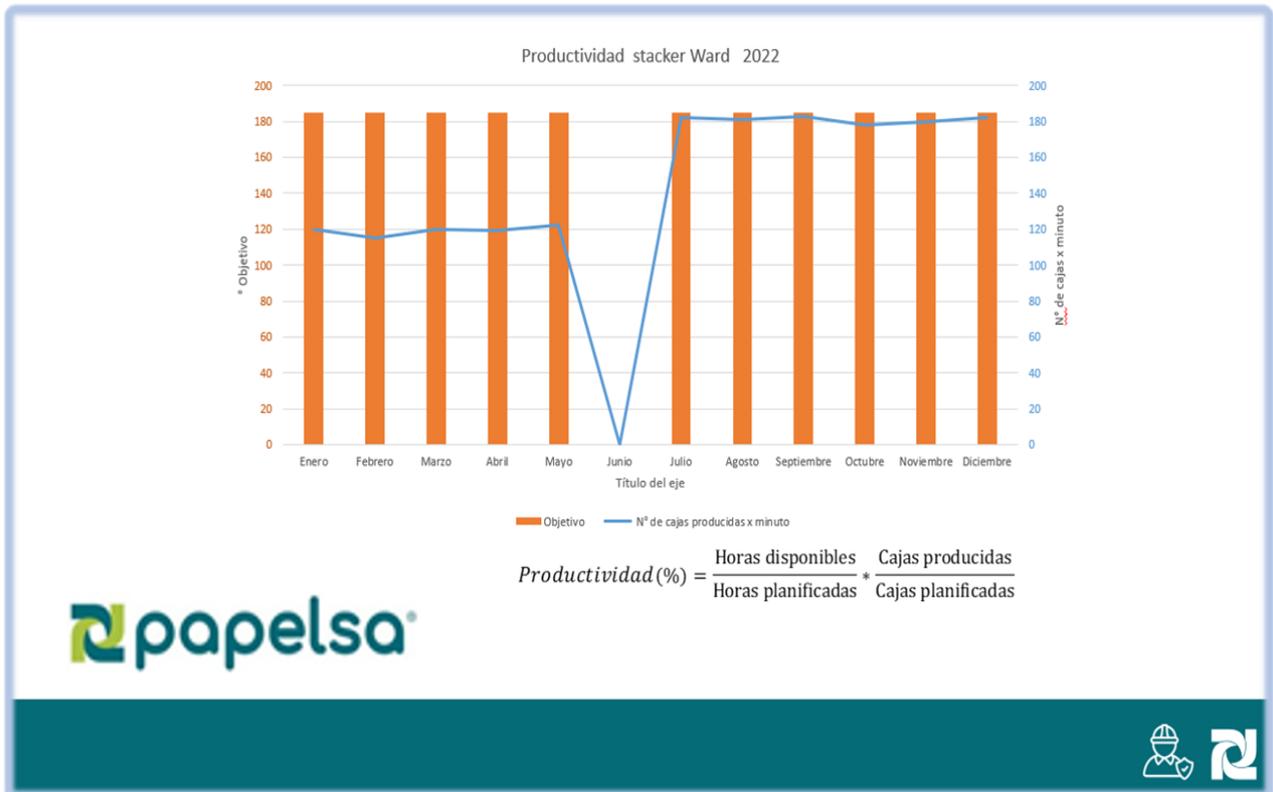
Además, se puede comprobar con la gráfica del OTIF mostrada en la Figura 31, que es calculada con la Ecuación (3):

$$OTIF(\%) = \frac{\text{Pedidos a tiempo y en su totalidad}}{\text{Pedidos totales realizados}} * 100\% \quad (3)$$

la mejoría que se obtuvo en los tiempos de entrega de los pedidos y a su vez disminución de inventarios.

**Figura 30**

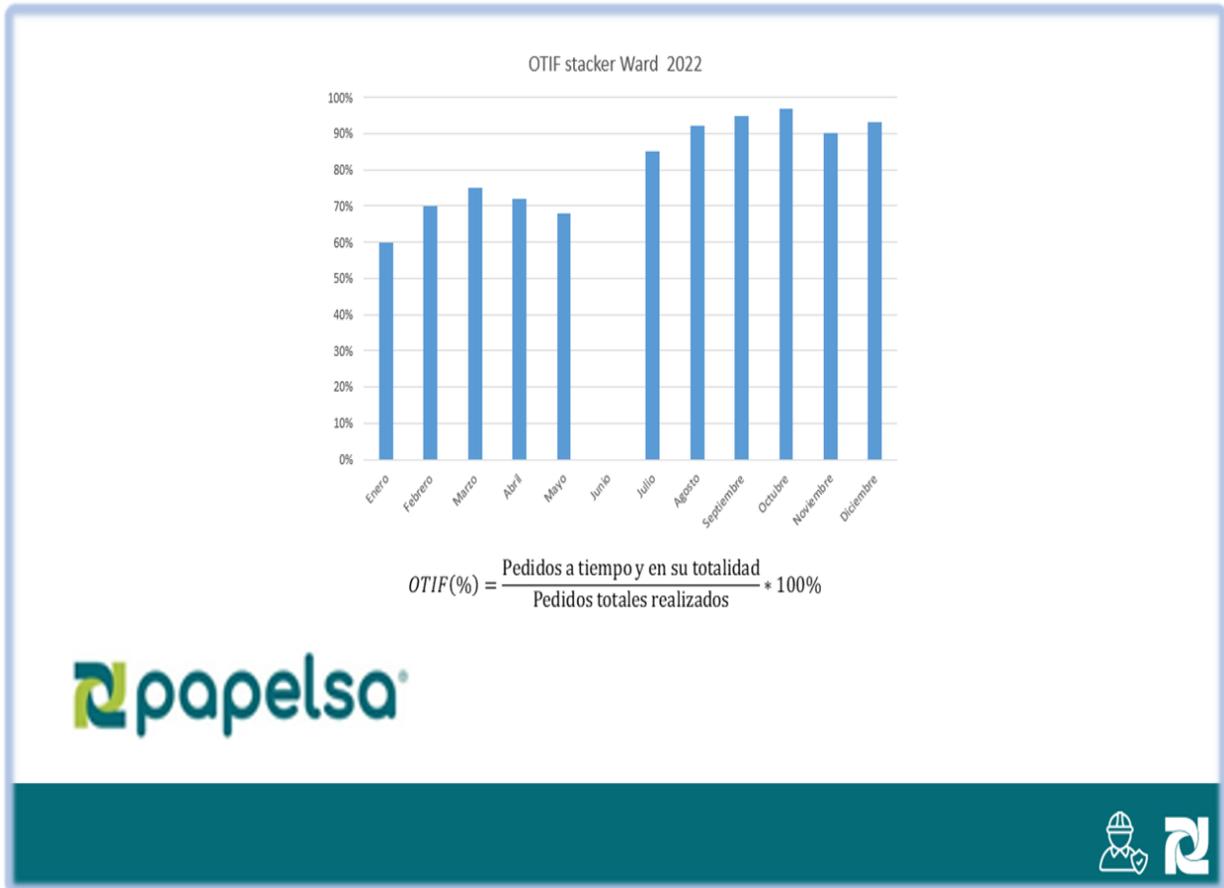
*Gráfica productividad stacker Ward del año 2022.*



Nota. Elaboración propia.

**Figura 31**

*Gráfica OTIF stacker Ward del año 2022.*

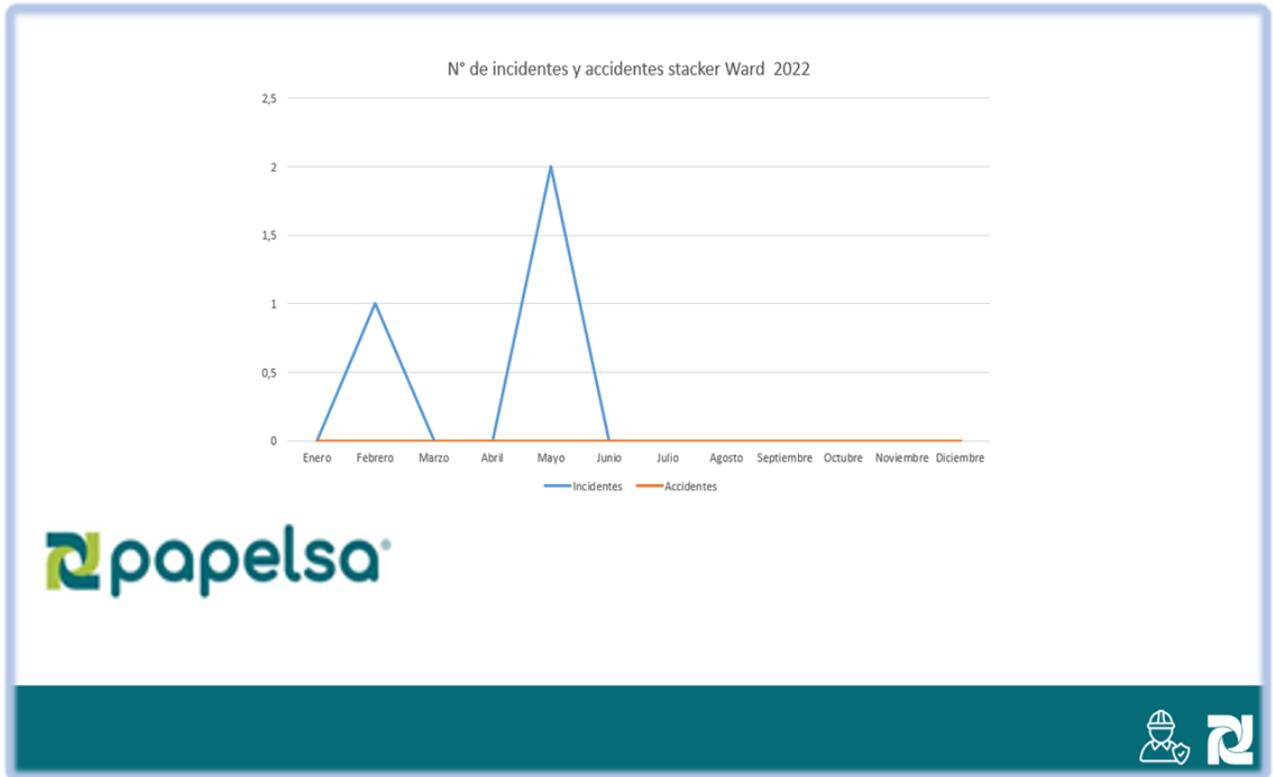


*Nota.* Elaboración propia.

Para finalizar y observar la repercusión que obtuvo el proyecto en materia de seguridad, se puede evidenciar una disminución total de los incidentes que se presentaban en la máquina con el personal de la planta y temporales. La Figura 32 muestra como en los 6 primeros meses de terminado el proyecto no se volvió a presentar ningún incidente en el equipo, lo que al final se traduce en cero accidentes de trabajo.

**Figura 32**

*Grafica de incidentes y accidentes stacker Ward del año 2022.*



*Nota. Elaboración propia.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

- Mediante la ejecución de este proyecto se logró interpretar, que con la actualización tecnológica realizada en el *stacker* y la aplicación de la ingeniería a un sistema industrial como el de la impresora flexográfica, ayudó a mejorar los tiempos de productividad en un 50 %, generó una mejora en el indicador de confiabilidad del equipo a un 95 %, además de reducir la probabilidad de riesgos de accidentes e incidentes para el personal de la empresa.
- Se analizaron los planos eléctricos y electrónicos de la máquina para hacer un inventario con los materiales que se necesitaban para la implementación de la automatización.
- Durante el desarrollo de la automatización se implementó el montaje todo el sistema de control y de potencia es un banco de trabajo lo que permitió realizar todo el enlace de la red de comunicación, realizar ensayos y ajustes al programa que se estaba ejecutando en el PLC, esto ayudó a reducir los tiempos del arranque de operación.
- Se diseñaron unas rutinas de control en el *PLC* que ayudaron a crear una secuencia de trabajo más optimizada, ajustándose a los estándares esperados de producción y a la reducción de tiempos muertos de la máquina, lo que conllevó aumentar la productividad.
- Se logró realizar por completo el montaje de los diferentes equipos en el área de operación y llevar a cabo el arranque de la máquina según el cronograma de actividades concertado con la empresa.
- Según las mejoras expuestas, se puede recomendar que para un próximo mejoramiento, es indispensable contar con la información técnica de la máquina, los manuales operativos, los planos eléctricos y electrónicos actualizados, lo que facilitará realizar modificaciones en los equipos y lograr a plenitud cada uno de los objetivos propuestos.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

- Autycom. (2021). *Autycom*. Obtenido de <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/>
- Educalingo*. (Junio de 2021). Obtenido de <https://educalingo.com/es/dic-en/stacker>
- Esagraf*. (2020). Obtenido de <https://www.esagraf.com/caracteristicas-impresion-flexografica/#:~:text=La%20impresi%C3%B3n%20flexogr%C3%A1fica%20es%20un,t%C3%A9cnicas%20de%20preimpresi%C3%B3n%20e%20impresi%C3%B3n>.
- Farfan, J. (2019). *predictiva21*. Obtenido de <https://predictiva21.com/otra-vision-confiabilidad-operacional/>
- Hernandez, J. I. (2021). Maquinaria usada: un camino para el ahorro y la sostenibilidad. *ialimentos*.
- Papelsa. (2018). Obtenido de <https://papelsa.com/>
- Tecnología para la industria. (27 de Noviembre de 2019). Obtenido de <https://tecnologiaparalaindustria.com/automatizacion-de-procesos-en-plantas-de-pulpa-y-papel-el-exito-esta-en-contratar-un-servicio-integral/>
- Tecnología para la industria*. (2023). Obtenido de <https://tecnologiaparalaindustria.com/como-calcular-la-eficiencia-de-una-maquina-y-consejos-para-aumentarlas/#:~:text=y%20un%20ejemplo.-,%20BFQu%C3%A9%20es%20la%20eficiencia%20de%20una%20m%C3%A1quina%20de%20fabricaci%C3%B3n%3F,del%20tiempo%20total%20de%2>

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES	<u>Jhoan Restrepo Madrid</u>
	<u>Sebastian Gaviria Agudelo</u>
	<u>[Signature]</u>
FIRMA ASESOR	<u>[Signature]</u>
FECHA SEGUNDA ENTREGA: 9 de mayo de 2023	