

MODERNIZACIÓN EN LA SECCIÓN STACKER DE LA MÁQUINA FLEXOGRÁFICA

WARD\_1

JUAN PABLO GARCÍA SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

RIONEGRO

2020

MODERNIZACIÓN EN LA SECCIÓN STACKER DE LA MÁQUINA FLEXOGRÁFICA

WARD\_1

JUAN PABLO GARCÍA SÁNCHEZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico

Asesor

Jorge Mario Garzón González

Magíster en Ingeniería

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE

FACULTAD DE INGENIERÍAS

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

RIONEGRO

2020

Nota de aceptación:

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

## AGRADECIMIENTOS

Infinitas gracias a Dios por darme vida y salud permitiéndome llevar a cabo este proyecto, llenándome de fortaleza cada vez que fue necesario. A mi familia por siempre brindarme su apoyo y amor incondicional. Mi más sincero agradecimiento a la universidad por permitirme recibir una adecuada formación. Gracias a mis profesores y a todas aquellas personas que formaron parte de mi proceso académico. Además, es importante agradecer a cada uno de los participantes que hicieron posible el desarrollo de este proyecto. Por último, y de forma muy especial, quiero expresar mi agradecimiento a mi asesor Jorge Mario Garzón, quien me acompañó durante este proceso, teniendo mucha comprensión y paciencia. Aprecio profundamente su sabia guía que facilitó el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	11
2. ANTECEDENTES	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
4. JUSTIFICACIÓN	17
5. OBJETIVOS	19
5.1 Objetivo General	19
5.2 Objetivos Específicos	19
6. MARCO TEÓRICO	20
6.1 Máquina impresora flexográfica Ward_1	20
6.2 Controlador Lógico Programable (PLC)	22
6.2.1 Estructura general de un PLC	24
6.2.2 Ciclo de funcionamiento del PLC	26
6.2.3 Tipos de PLC	28
6.2.4 Ventajas y desventajas de un PLC	33
6.3 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	35
6.3.1 HMI + PLC	36
7. DISEÑO METODOLÓGICO	39
7.1 Diagnóstico previo de la sección Stacker de la máquina Ward_1	40
7.2 Implementación del sistema en la sección Stacker de la máquina Ward_1.	43
7.2.1 Análisis y selección del dispositivo procesador.	44

7.2.2	Software de configuración y programación del OPLC visión V290.	46
7.2.3	Configuración del OPLC en Visilogic 9.8.80.	47
7.2.4	Configuración comunicación entre OPLC V290 y el módulo EX-RC1.	53
7.2.5	Conexión Red CANbus entre PLC V290 y el módulo EX-RC1.	64
7.2.6	Programa en Visilogic del nuevo sistema implementado en el Stacker.	65
7.2.7	Implementación del sistema en el Stacker.	93
7.3	OEE en la sección Stacker de la máquina Ward_1	97
8.	CONCLUSIONES	104
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
10.	ANEXOS	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Máquina impresora flexográfica Ward_1. ....	20
Figura 2. Apilador automático (Stacker). ....	22
Figura 3. PLC Siemens. ....	23
Figura 4. Estructura interna de un PLC. ....	24
Figura 5. Ciclo de funcionamiento de un PLC. ....	27
Figura 6. Ejemplos de PLC compactos. ....	28
Figura 7. Ejemplos de PLC modulares. ....	29
Figura 8. Ejemplos de PLC de tipo montaje en rack. ....	30
Figura 9. Ejemplos de OPLC Unitronics V290 y M-90. ....	31
Figura 10. Ejemplos de PC industriales. ....	31
Figura 11. PLC Omrom CS1G/H de tipo ranura. ....	32
Figura 12. PLC de tipo máquina virtual por Siemens. ....	32
Figura 13. Pantalla HMI. ....	35
Figura 14. Ejemplo de PLC + HMI Unitronics. ....	37
Figura 15. Arquitectura de control común. ....	38
Figura 16. Tiempo muerto Ward_1 año 2019. ....	40
Figura 17. Tiempo muerto Ward_1 año 2020. ....	41
Figura 18. PLC Allen-Bradley SLC 500. ....	42
Figura 19. Tablero control eléctrico Stacker. ....	42
Figura 20. OPLC Unitronics serie Visión (V290-19-B20B). ....	44
Figura 21. Modulo Snap-in V200-18-E2B de E / S. ....	45
Figura 22. Módulo EX-RC1 y módulo IO-D16A3-RO16. ....	46

Figura 23. Logo Software Visilogic 9.8.80. ....	47
Figura 24. Proyectos creados en Visilogic para el sistema.....	47
Figura 25. Selección de módulos PLC y SNAP. ....	48
Figura 26. Configuración NPN en el módulo Snap. ....	49
Figura 27. Diagrama de conexión NPN en el módulo Snap. ....	50
Figura 28. Selección de módulos EX-RC1 y IO-D16A3-RO16. ....	51
Figura 29. Configuración NPN en los módulos de expansión. ....	52
Figura 30. Diagrama de conexión NPN módulo de expansión. ....	52
Figura 31. CANbus UniCAN protocol. ....	53
Figura 32. Configuración de UniCAN. ....	54
Figura 33. Verificación de la señal entre PLC y adaptador. ....	55
Figura 34. Subrutinas In y Out llamadas desde main routine. ....	56
Figura 35. Subrutina In.....	57
Figura 36. Subrutina Out.....	58
Figura 37. Configuración ID del módulo remoto EX-RC1.....	58
Figura 38. Configuración de UniCAN, envío de entradas. ....	59
Figura 39. Subrutina In (Envío de las entras al PLC V290).....	61
Figura 40. Subrutina Out (recepción de salidas desde el PLC V290).....	63
Figura 41. Conexión red CANbus entre PLC V290 y el módulo EX-RC1. ....	65
Figura 42. Subrutinas creadas en el proyecto.....	68
Figura 43. Subrutina Mtto-alarmas. ....	71
Figura 44. Subrutina activación de motores.....	72
Figura 45. Subrutina paquetes. ....	75
Figura 46. Subrutina Láminas. ....	78



Figura 47. Subrutina Emparejador. ....	79
Figura 48. Rutina principal Main Routine. ....	87
Figura 49. Pantallas HMI creadas. ....	88
Figura 50. Pantalla principal al energizar el OPLC V290.....	88
Figura 51. Pantalla Menú principal. ....	89
Figura 52. Pantallas Mantenimientos Alarmas.....	89
Figura 53. Pantalla Control de Motores. ....	90
Figura 54. Pantalla Apilado por láminas. ....	91
Figura 55. Pantalla Apilado por paquetes.....	91
Figura 56. Pantalla Configuración de parámetros operativos. ....	92
Figura 57. Desmontaje antiguo sistema control eléctrico. ....	93
Figura 58. Montaje nuevo sistema de control eléctrico. ....	94
Figura 59. Comunicación y descarga de programas en los dispositivos OPLC V290 y EX-RC1. 95	
Figura 60. Ajustes y chequeos pertinentes. ....	96

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de memoria y aplicación dentro de un PLC. ....	25
Tabla 2. Módulo Snap-in V200-18-E2B de E / S.....	45
Tabla 3. Referencias y descripción módulos de expansión. ....	46
Tabla 4. Entradas en el Snap V200-18-E2B integrable al PLC V290.....	66
Tabla 5. Salidas en el Snap V200-18-E2B integrable al PLC V290. ....	66
Tabla 6. Entradas en los módulos de expansión IO-D16A3-RO16.....	67
Tabla 7. Salidas en los módulos de expansión IO-D16A3-RO16. ....	67
Tabla 8. Interpretación del OEE.....	98
Tabla 9. Reporte rendimiento maquinaria antes de la implementación Propac S.A. ....	100
Tabla 10. Reporte rendimiento maquinaria después de la implementación Propac S.A.....	102

## 1. INTRODUCCIÓN

Al igual que muchas otras industrias cartoneras, Propac S.A. es una empresa en Colombia dedicada a la producción y a la comercialización de papel y empaques de cartón corrugado. Empresa que se encuentra en la necesidad de poder modernizar y actualizar las tecnologías de producción, con el fin de obtener una mejora en cuanto a la calidad del producto, al tiempo de fabricación, la vida útil de la maquinaria y cumplir con las normas relacionadas con el medio ambiente y con la seguridad y salud de los trabajadores.

En la planta de producción y comercialización de papel y empaques de cartón corrugado Propac S.A. se emplean máquinas flexográficas para los procesos de impresión, una de estas es la máquina impresora flexográfica Ward\_1. Esta máquina es aún muy útil para la producción, pero por su antigüedad, en la sección Stacker no presenta un sistema de control automático que permita detectar fallas eléctricas por mantenimiento, y que a su vez facilite al operario un buen uso de operación y garantice la salud y seguridad de los trabajadores.

Este trabajo presenta la modernización en la sección Stacker de la máquina flexográfica Ward\_1, soportada en la investigación y análisis de conceptos sobre automatización industrial.

Como parte de la intervención tecnológica, se realizó la implementación de un controlador lógico programable (PLC), integrado con una interfaz hombre máquina (HMI). Lo que permitió mejorar la máquina en cuanto a la reducción de componentes eléctricos de lógica cableada, los tiempos muertos en producción debido al mantenimiento eléctrico correctivo, además de proporcionar seguridad y optimizar el proceso operativo.

## 2. ANTECEDENTES

La Asociación de Corrugadores del Caribe, Centro y Sur América (ACCCSA), es una organización que agrupa a proveedores de maquinaria de corrugación y empresas productoras de cajas de cartón corrugado, lo que permite “intercambiar experiencias, ideas y conocimientos tecnológicos que beneficien y consoliden a todo el sector de corrugación” (ACCCSA, 2016). Las máquinas de impresión flexográfica que reúne esta organización, de las diferentes industrias cartoneras y las que presentan los proveedores en opción de mercado, son máquinas que poseen un control de automatización industrial centralizado, donde el equipo humano de mantenimiento sigue estándares definidos para cada una de ellas, con un conocimiento de estrategias y técnicas que garantizan una mejor gestión de mantenimiento. Lo que se espera es que la maquinaria no trabaje por debajo de sus estándares nominales de producción y que constantemente no se tengan que realizar grandes inversiones en componentes o repuestos nuevos, debido a la pérdida de capacidad de esta maquinaria dentro de la empresa.

Se toman como antecedentes para este proyecto un trabajo relacionado con la modernización de apiladores automáticos de láminas de cartón y otro en donde se implementa un sistema de automatización de procesos.

El primer proyecto, es un trabajo de grado titulado “Diseño de un sistema automático para la recolección y organización de láminas en polipropileno provenientes de una troqueladora excéntrica de la empresa Confelásticos S.A.S.”, elaborado por Carlos Rengifo Escobar en el año 2017. “El fin general de este diseño es relevar la acción del operario en el proceso de recolección y organización de láminas, ejecutado en un entorno de alto riesgo y peligro para el operario” (Rengifo, 2017). A través de un diagnóstico y análisis en la adquisición de la información durante el proceso, las personas encargadas generan conceptos basados en los problemas más críticos para

intentar darles solución; esto, mediante una evaluación que permita crear metas y, a través de conocimientos tecnológicos, obtener un diseño completo, con los mejores sistemas y métodos técnicos de implementación posibles para atender a la problemática general, expresa Rengifo (2017). Finalmente, para dar solución al problema planteado en este estudio, se implementa un diseño de control de automatización en un PLC (*Programmable Logic Controller*) marca DELTA, con adaptadores remotos para ampliar la disponibilidad en el número de entradas y salidas requeridas en el proceso, y la implementación de una HMI (*Human-Machine Interface*) con interfaces gráficas de usuario, para la facilidad de operación por parte del operario. Con las investigaciones y estudios, basados en la problemática en el proceso y en las soluciones adoptadas para el buen desarrollo en la implementación de este diseño, se logra reducir en gran medida los riesgos por fatiga, accidentes y enfermedades a los operarios que se ven expuestos de forma continua en el proceso de recolección, por el simple hecho de delegar esta labor a un sistema automático.

El segundo trabajo, es un proyecto en automatización de procesos titulado “Diseño e implementación de un transelevador automático para almacenamiento de cajas controlado y monitoreado por un sistema SCADA”, elaborado por Manuel Armando Vascones Naula en el año 2016. “El propósito de este trabajo es dar a conocer el diseño e implementación de un transelevador, el cual facilita el trabajo físico de un operador” (Vascones, 2016). En la actualidad, en muchas industrias se encuentran almacenes de materia prima o producto terminado, que son mal manipulados por los equipos de trabajo, esto es, los apiladores de tracción y los de elevación manual; lo que a su vez genera pérdidas económicas, afectan la producción en términos de tiempo y, peor aún, exponen la vida del operador provocando terribles accidentes laborales. Para dar solución a esta problemática se emplea un PLC de la familia Allen Bradley, con el fin de obtener un control preciso e inteligente de los

movimientos mecanizados del equipo, como lo describe Vascones (2016). También se usa un sistema de monitoreo por medio de un SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), para los actuadores y sensores de seguridad del equipo, lo que permite realizar la secuencia del trabajo almacenado y el despacho de manera correcta. Además, se presenta la implementación de un variador de frecuencia utilizado para el control de velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Al lograrse la configuración de todos los mecanismos y software utilizados, se realizó la evaluación de funcionamiento y seguridades; una vez realizadas todas las pruebas, el autor pudo concluir que el equipo funcionó de la manera esperada y que éste se podría implementar en diversas industrias que requieran automatizar sus procesos en cuestión de apilamiento o en bodegas de productos terminados.

Los estudios anteriormente mencionados, permitieron plantear una idea para llevar a cabo este proyecto. Teniendo en cuenta las problemáticas y las soluciones que se implementaron, se construyó una propuesta que permitió lograr un buen diseño e implementar un sistema automatizado como parte de la modernización en la sección Stacker de la máquina flexográfica Ward\_1.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Propac S.A. es una empresa cartonera en Colombia dedicada a la producción y a la comercialización de papel y empaques de cartón corrugado que, a través del dinamismo, la calidad y el control de riesgos, busca una participación creciente en el mercado nacional y el cumplimiento de los márgenes de rentabilidad establecidos con respeto a la comunidad y en armonía con el medio ambiente, la salud y seguridad de los trabajadores (Productora De Papel y Cajas De Carton S.A., s.f.). Dentro de la cadena productiva de la empresa, se ha identificado que el funcionamiento poco eficiente de una de sus máquinas, la impresora flexográfica Ward\_1, puntualmente en su sección del Stacker, viene afectando el proceso de producción y la misión de la empresa.

La Ward\_1 es una máquina impresora flexográfica y de troquelado de láminas y cajas de cartón de la compañía, que se construyó en el año 1995 y viene prestando servicio para Propac S.A. desde el año 2014. Su sistema de control eléctrico actual, en la sección del Stacker, correspondiente al apilamiento de láminas de cartón, es muy complejo por la cantidad de elementos y componentes que posee, por lo que al momento de presentarse diferentes averías eléctricas se requiere de un periodo de tiempo prolongado para lograr su respectiva solución. Cabe aclarar, que los tiempos requeridos para la solución de las averías de esta máquina varían según el daño presentado, que pueden ir desde 5 minutos hasta un turno completo de 8 horas, dependiendo de la gravedad del daño. Hay averías que se pueden detectar fácilmente y que la solución al problema es rápida, pero hay averías que pueden tardar tiempo en detectarse, tanto en los sistemas eléctricos y electrónicos, como en los elementos en campo, y si se ha de requerir un componente y no se cuenta con un repuesto, podría significar horas de paro de la máquina.

Además, la impresora flexográfica Ward\_1, por su antigüedad, en su sección del Stacker no presenta un sistema de control centralizado, que ayude a detectar fallas eléctricas por

mantenimiento y que a su vez facilite al operario un buen uso, garantizando así su seguridad durante el proceso de operación; por ende, esta máquina complejiza la solución de cualquier percance en el control eléctrico y pone en desventaja a la empresa a nivel competitivo debido a que retrasa el proceso de producción.



#### 4. JUSTIFICACIÓN

Propac S.A. cuenta con la máquina impresora flexográfica Ward\_1, que en su sección de Stacker, correspondiente al apilamiento para las láminas de cartón, no cuenta con un sistema eficiente en el control de automatización industrial eléctrico que se acerque a las características de otras máquinas similares. Dicha sección de la máquina Ward\_1 contaba con un PLC Allen-Bradley SLC 500, que ya era obsoleto debido a que ciertas funciones se dañaron con el tiempo. El problema era que no se contaba con un respaldo de software y un soporte de acceso a este PLC; tampoco había planos de dichas funciones y por lo tanto su control era totalmente manual. Por esta razón, al momento de presentarse diferentes averías eléctricas y dependiendo de la avería, se requería de un periodo de tiempo para lograr su solución, lo que retrasaba el proceso de producción, generando pérdidas económicas a la empresa y poniendo además en riesgo la integridad del trabajador.

Como evidencia de lo anterior, por indicadores brindados por el área de producción, una hora de paro de esta máquina le cuesta a la empresa alrededor de \$USD1785, por ende, implicaría verse afectada la meta en producción en unidades y metros cuadrados al mes. Durante el año 2020, solo por averías en la sección Stacker de la máquina, se generaron 49 horas de paro, de las 129 horas totales de paro de la máquina, es decir, que la sección Stacker generó el 37.9 % de los paros de la máquina flexográfica Ward\_1 durante los 5 primeros meses.

Se contemplaron varias soluciones para este problema:

- Asignarle más personal a la máquina, pero no es viable para la empresa como para el personal, ya que implicaría más gastos salariales y se pondría en riesgo la salud y la seguridad de los trabajadores al exponerlos a una máquina que no cuenta con un sistema eficiente de seguridad.

- Cambiar la máquina por una más moderna, con más tecnología, pero esto representaría una inversión elevada para la empresa.
- Eliminar el proceso que esta sección de la máquina lleva a cabo, pero es la menos viable debido a que esta función es indispensable para la culminación de todo el proceso, ya que éste inicia en la máquina flexográfica Ward\_1.

Por último, la solución más viable en términos económicos, ya que no requiere una inversión elevada, fue modernizar la sección Stacker de la máquina flexográfica Ward\_1. Esta modernización consistió en reducir elementos y componentes eléctricos, a través de la implementación de un controlador lógico programable (PLC) integrado con una interfaz hombre máquina (HMI), de modo que permita mejorar el funcionamiento de la máquina, logrando reducir tiempos muertos en producción, debido a la facilidad para realizar los mantenimientos correctivos eléctricos, y, además, aumentar la seguridad de los operarios.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo General

Intervenir la sección de Stacker de la máquina impresora flexográfica Ward\_1 con el fin de modernizar el sistema de control eléctrico.

### 5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico previo de la sección Stacker de la máquina Ward\_1, donde se evalúen problemas eléctricos e inconvenientes en el funcionamiento en cuanto al desplazamiento, transporte, vibración y apilamiento de las láminas de cartón.
- Diseñar e implementar un sistema de control para la sección de Stacker usando un controlador lógico programable con el diseño de interfaces gráficas de usuario.
- Evaluar la eficiencia de la implementación en la sección Stacker implementando la herramienta OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

## 6. MARCO TEÓRICO

Acorde a los objetivos de este proyecto, se realizó una revisión bibliográfica sobre algunos aspectos de la máquina flexográfica a intervenir, algunos elementos usados en sistemas de automatización y control industrial, como los usados en los proyectos que sirvieron como antecedentes al presente trabajo, y definir la selección adecuada que permita lograr la modernización de la máquina flexográfica Ward\_1 en la sección de apilamiento automático Stacker.

### 6.1 Máquina impresora flexográfica Ward\_1

La máquina impresora flexográfica Ward\_1 (ver figura 1) “es un sistema integrado por unidades de flexo impresión, troqueladora, un vibrador y un Stacker, correspondiente al apilamiento de láminas de cartón. A partir de planchas de cartón corrugado, se obtiene en producción continua de cajas de cartón plegables (llamadas de 4 solapas), con el diseño impreso y las dimensiones deseadas por los clientes” (AUTC, 2012).



*Figura 1.* Máquina impresora flexográfica Ward\_1. *Fuente:* Elaboración propia.

Como lo indica AUTC (2012), la impresora flexográfica Ward\_1 se compone principalmente de cinco secciones móviles y una estación fija, que son:

- Cuerpo alimentador (móvil): recibe las láminas de cartón corrugado y las introduce a la máquina a la velocidad requerida.
- Tres cuerpos impresores (móviles): se les asigna de a una unidad de color requerido, para la impresión en lámina.
- Cuerpo troquelador rotativo (fijo): presenta un eje principal de gran tamaño, el cual soporta un troquel de madera con cuchillas cortantes que permiten formar los cuerpos de la caja con las ranuras, hendiduras y solapa de pegado según las dimensiones requeridas.
- Sección Stacker (móvil) (ver figura 2): es un sistema de elevación hidráulica que asciende acorde al apilamiento de lámina de cartón, presenta un desplazamiento estable del Stacker en general y un transporte en forma horizontal del cartón desde la sección de troquelado, todo esto a través de variadores de frecuencia que permiten sincronizar las velocidades de las bandas. Presenta un rodillo vibrador con inversión de giro que permite desplazar los excesos que quedan desde el troquelador, y cuenta con una descarga de paquetes de láminas de cartón a través de cilindros neumáticos cuando no se requiere de un apilamiento de lámina en su totalidad (POZI-STACK, 2005).



*Figura 2. Apilador automático (Stacker). Fuente: (Geo. M. Martin Company, 2017-2019).*

## 6.2 Controlador Lógico Programable (PLC)

Actualmente, podemos encontrar diferentes tipos y modelos de PLC (*Programmable Logic Controller*). En la figura 3 se presenta una gama diversa de PLC de la marca Siemens, muy utilizados hoy en día en la ingeniería automática o automatización industrial para los diferentes sistemas de automatización de procesos y controles industriales.



*Figura 3. PLC Siemens. Fuente: (AUTYCOM, 2019)*

La NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) citada por DIEEEC (2011) dice que un PLC es “instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”.

En sí un PLC es una computadora automática en tiempo real, capaz de recibir diferentes señales de entrada que secuencialmente realizarán una acción específica (salidas), capaz de automatizar procesos electromecánicos, electroneumáticos, electrohidráulicos, diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Es un dispositivo que por su flexibilidad logra adaptarse fácilmente a diferentes tareas al momento de programarlas con lenguajes de programación bastante comprensibles.

### 6.2.1 Estructura general de un PLC

En la figura 4 se ilustra en forma genérica las partes que conforman un PLC que a su vez puede estar por módulos o integradas.

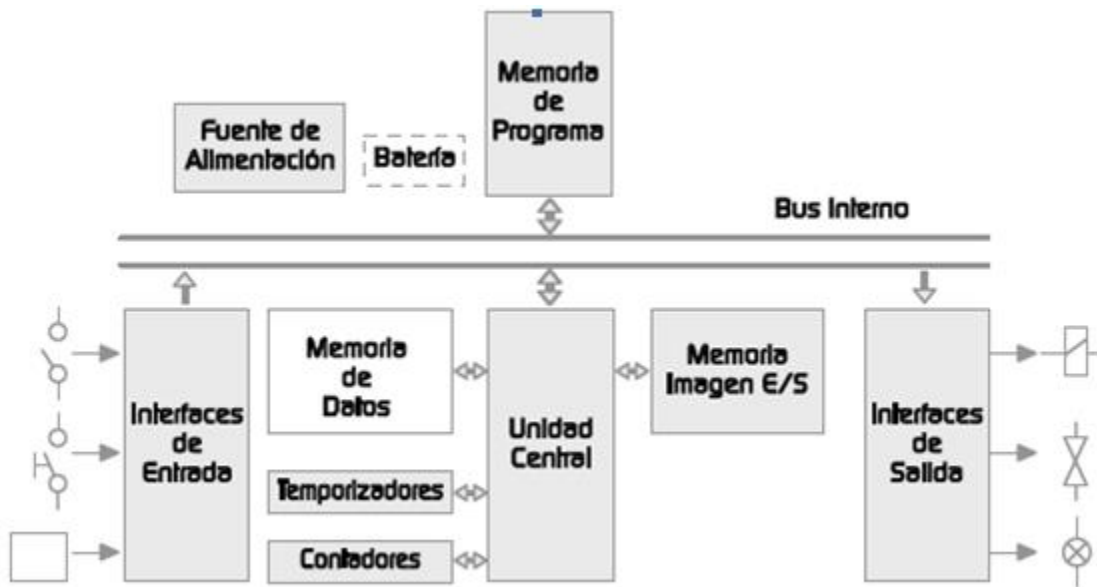


Figura 4. Estructura interna de un PLC. Fuente: (Apunte \_PLC R.M.M).

Los elementos que contiene un PLC son:

- Unidad central de procesos.
- Módulos de entrada.
- Módulos de salida.
- Fuente de alimentación.
- Dispositivos periféricos.
- Interfaces.

La parte principal de un PLC es la CPU (Unidad Central de Procesos), es el “cerebro” del equipo, está estructurada en base a un microprocesador, es la encargada de ejecutar el programa



del usuario, y es capaz de interpretar las entradas a través de las instrucciones que tiene programadas el controlador y como resultado manipula las salidas del PLC.

Como lo indica (Apunte \_PLC R.M.M) en la tabla 1, los controladores hacen uso de diferente tipo de memoria según sea su capacidad de almacenamiento, velocidad de acceso y volatilidad.

Tabla 1. Tipos de memoria y aplicación dentro de un PLC.

MEMORIA	Volátil	No Volátil			
Lectura/escritura	RAM			RAM + Batería RAM + EEPROM	EEPROM
Sólo lectura		ROM	EPROM		
Aplicaciones	Datos internos Memoria imagen E/S	Monitor Intérprete	Programa usuario	Programa usuario Datos internos Parámetros	Programa usuario Parámetros

*Fuente: (Apunte \_PLC R.M.M).*

Los datos y las instrucciones se almacenan en las memorias PM y acceso aleatorio o conocida como RAM. La memoria PM se basa en las ROM, EPROM, EEPROM o FLASH; es donde se ejecuta el sistema de operación del PLC y puede ser reemplazada. Sin embargo, la RAM es donde se guarda y se ejecuta el programa y es la de tipo SRAM la que se utiliza habitualmente. La condición común para las entradas de dos componentes digitales de un PLC se guarda en una parte de la RAM y se denomina tabla PII o entrada imagen de proceso. La salida controlada, o el último valor de la salida calculado por las funciones lógicas, se guardan en la parte de la RAM denominada tabla PIO, salida de la imagen del proceso. El programa utilizado también puede guardarse en una memoria externa permanente (EPROM o EEPROM) que, para ciertos PLC, puede ser un módulo externo que se coloca en una toma del panel frontal.

A través de los módulos de entrada y salida es posible realizar una conexión física entre la

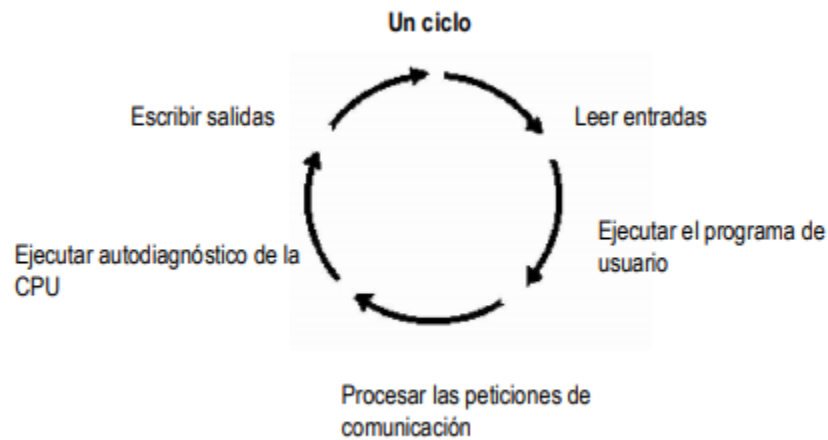
CPU y el sistema que se va a controlar, en los módulos de entrada se pueden conectar señales digitales y analógicas que provienen de dispositivos como sensores, interruptores, botones, actuadores, mecanismos, entre otros, a través de estos módulos se le manda la retroalimentación al PLC para que pueda este procesar los datos. En los módulos de salida el PLC recibe los datos provenientes del exterior, procesa los datos en base a su programa y envía una respuesta a los elementos y equipos para realizar funciones en el proceso, como puede ser accionar bobinas de relevadores, ya sean para motores o mecanismos, abrir o cerrar válvulas, y controlar lámparas de iluminación y de seguridad.

La fuente de alimentación es la que proporciona la energía eléctrica adecuada a la CPU y a las tarjetas del PLC. Los valores en voltaje más utilizados son  $\pm 5V$ ,  $\pm 12V$  y  $\pm 24V$ . En general, poseen dos tipos de fuentes de alimentación independientes, una fuente para la alimentación del PLC (CPU, memorias e interfaces) y otra fuente para la alimentación de entradas y salidas.

### 6.2.2 Ciclo de funcionamiento del PLC

Según lo indica el informe (Apunte \_PLC R.M.M), el funcionamiento de un PLC se puede dividir en tres secuencias principales;

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas.
- Procesado del programa para la obtención de las señales de control.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas.



*Figura 5. Ciclo de funcionamiento de un PLC. Fuente: (Apunte \_PLC R.M.M)*

Como se observa en la figura 5, el funcionamiento de un PLC es un ciclo cerrado, el sistema operativo inicia la vigilancia de tiempo de ciclo, después la CPU escribe los valores de imagen de proceso de las salidas en los módulos de salida, seguidamente la CPU en cada inicio de ciclo captura los datos de información desde los módulos entradas, y actualiza la imagen de proceso de las entradas, la CPU ejecuta el programa de usuario en segmentos de tiempo, ejecutando las operaciones indicadas en el programa desde la primera instrucción hasta la última, si se reciben peticiones por la interfaz de comunicación, la CPU inmediatamente procesa los mensajes que ha recibido, después se realiza un autodiagnóstico donde se comprueba el firmware de la CPU y la memoria del programa, así como el estado de los módulos de ampliación, al final de cada ciclo se escriben los valores de la imagen del proceso en las salidas.

### 6.2.3 Tipos de PLC

Actualmente en las diferentes industrias y en el mercado se pueden encontrar diferentes tipos y gamas de PLC, el uso de cada uno de los dispositivos es de acuerdo con las necesidades que presente el usuario, tanto en funciones, capacidad, número de I/O, tamaño de memoria y aspecto físico, entre otras características. La DIEEEC (2011) en su apartado Tipos de PLC presenta una clasificación de los más destacados en varias categorías:

- Compactos: es un controlador que su configuración inicial no puede ser modificada en el tiempo debido a que todos sus componentes como la CPU, las entradas y salidas, la batería, la memoria y a veces hasta la fuente de alimentación, el cableado y el software, están integrados en el mismo equipo, en la figura 6 se muestran tres ejemplos de equipos compactos que son usados en aplicaciones pequeñas.



*Figura 6. Ejemplos de PLC compactos. Fuente: (DIEEEC, 2011)*

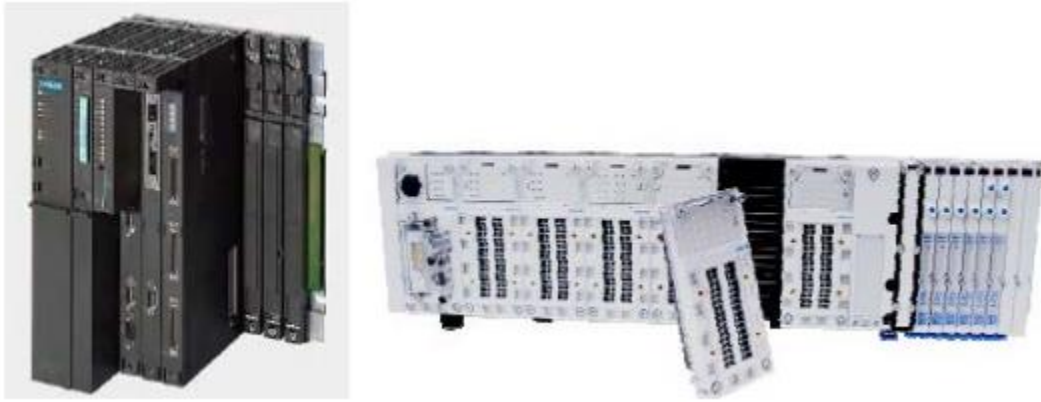
- Modular: este es un equipo que se caracterizan por tener una amplia gama de aplicaciones, gracias a que su estructura es ampliamente configurable, cuenta con una memoria más amplia, por lo que pueden albergar un programa más complejo, almacenar una cantidad moderada de datos y pueden realizar o enviar respuestas

diferentes a la vez, está compuesto por elementos agrupados, los módulos que lo conforman pueden ser los de: tarjeta madre, CPU, memoria, módulo de entradas, módulo de salidas (o mixto). Las entradas y salidas, según la necesidad, serán digitales o análogas. Su uso se halla destinado para el campo de las maquinarias donde deben ser controladas o monitorizadas, en la figura 7 se muestran dos ejemplos de equipos modulares que son usados en grandes industrias para amplias aplicaciones.



*Figura 7. Ejemplos de PLC modulares. Fuente: (DIEEEEC, 2011)*

- Montaje en Rack: en la figura 8 se muestran dos ejemplos de equipos en montaje rack en las cuales, son módulos que no se presentan almacenados todos en un mismo compartimiento o bien se encuentran segmentando, ya que el rack contiene ranuras y se disponen de un modo organizado en el panel frontal del PLC, contienen un sistema de bus integrado para intercambiar información entre los diferentes módulos. algunos expertos consideran que estos pueden brindar una respuesta más pronta a los comandos, dado que permiten un intercambio de datos a mayor velocidad.



*Figura 8. Ejemplos de PLC de tipo montaje en rack. Fuente: (DIEEEEC, 2011)*

- Con panel Operador: equipos conocidos como OPLC, poseen una interfaz de operación al usuario (HMI) y un controlador lógico programable (PLC) integrados en el mismo equipo, no es necesario programar el panel de forma separada, toda la programación se realiza por medio de una herramienta software, lo que permite economizar los gastos del desarrollo del sistema, la interfaz de usuario (HMI) facilita y optimiza su funcionamiento, brinda una supervisión constante y actividad de monitoreo a las actividades que se presentan en las máquinas, dicha interfaz se presenta en una pantalla táctil o en un monitor y un teclado que facilitan la introducción de comandos y por ende la generación de respuestas. En la figura 9 se presentan dos ejemplos de OPLC Unitronics, uno con pantalla táctil y otro con monitor y teclado.



Figura 9. Ejemplos de OPLC Unitronics V290 y M-90. Fuente: (DIEEEEC, 2011)

- Ordenador industrial: estos equipos combinan un PC normal y PLC en un único sistema, la parte de PLC puede estar basada en hardware (PLC de tipo slot) o basadas en un PLC con software virtual (PLC de tipo software). Estos equipos son de peculiar conformación ya que son equipos que se presentan en un pc y en un compartimiento, es posible también que una de estos se encuentre en un área de hardware, mientras que otro se ubique en un espacio con software virtual.



Figura 10. Ejemplos de PC industriales. Fuente: (DIEEEEC, 2011)

- De ranura: este es un equipo especial conformación, ya que esta trata de una tarjeta, como todas las funciones que se emplean en el área de la informática, por medio de la cual se transmiten las funciones con mayor facilidad, esto hace que el PLC sea

más versátil, ya que consta de una ranura desde la cual se puede controlar la tarjeta y que permite intercambiar directamente la información entre las aplicaciones-HIM del PC existente y/u otras aplicaciones software.



Figura 11. PLC Omrom CS1G/H de tipo ranura. Fuente: (DIEEEEC, 2011)

- Tipo Software: se trata en sí de un PLC virtual, es decir, diseñado para que pueda ser adaptado en cualquier ordenador o dispositivo, con la finalidad de que pueda ser empleado o bien monitoreado desde cualquier especial, y llevar a cabo sus funciones con mayor resguardo, por lo que este se trata de un uso más sencillo, la desventaja de los PLC de este tipo es la falta de memoria individual para guardar los datos y la pérdida de los datos sobre el control de los procesos cuando se interrumpe el suministro de potencia.

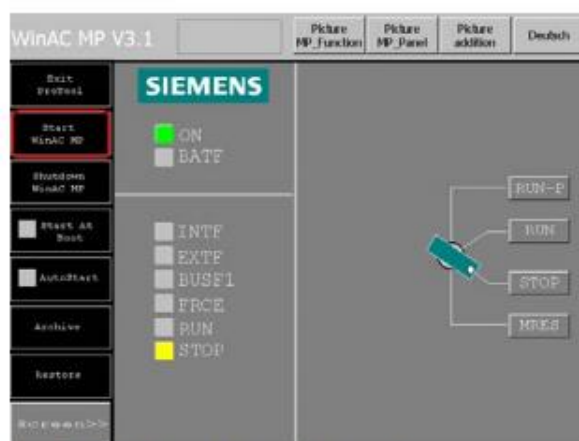


Figura 12. PLC de tipo máquina virtual por Siemens. Fuente: (DIEEEEC, 2011)



#### 6.2.4 Ventajas y desventajas de un PLC

A continuación (Maquiclick, s.f.) y (Gigatecno, s.f.), en los apartados de sus blogs “Ventajas y desventajas de un controlador lógico programable”, comparten algunas de las principales ventajas y desventajas que se pueden encontrar en el momento de utilizar un dispositivo PLC.

Ventajas:

- Reducción del costo de mano de obra en la operación de los equipos, pues al automatizar las tareas o robotizarlas, estos pueden realizar el trabajo de varias personas, por ende, los costos finales del proyecto disminuyen.
- La flexibilidad de programación ante averías y fallas de un equipo permite indicar en donde está de acuerdo a lo que se detectó con los sensores de las entradas, garantizando así un mejor monitoreo de los procesos, lo que hace que la detección de los problemas que presente el equipo se realice rápidamente.
- Permite realizar trabajos de acuerdo con estándares estipulados con anterioridad sin ninguna desviación, su instalación es bastante sencilla, además de ocupar poco espacio y la posibilidad de manejar múltiples equipos de manera simultánea gracias a la automatización.
- La idea básica de la programación de un PLC en cuanto a la estructura mecánica es no cambiar de tarea. lo ideal, es que el diseño y funcionamiento mecánico tengan un alto rango de dinamismo para que la programación sea la única que se cambie frente a lo material. Donde nada más se tenga que cambiar el código y que el diseño mecánico se adapte a ello sin hacer cambios en la misma. Se ahorran costos adicionales como los de operación, mantenimiento e incluso energía.

- De acuerdo con los diferentes tamaños permite generar una infraestructura acorde sin ser una preocupación para los ingenieros en lugar en donde tendrán que instalarse.
- Al ser robustos y al presentar una facilidad de interconexión y horas continuas de trabajo en el proceso, pueden soportar temperaturas y vibraciones mecánicas generadas por la máquina, un desgaste que una persona u operario no lo podría realizar.

#### Desventajas:

- Se necesita personal de mano de obra especializada para el manejo de estos equipos, como así también personal calificado en el montaje o en el recambio de determinadas piezas.
- Antes de automatizar una tarea en la industria, es necesario tener en cuenta todos los detalles de lo que se debe hacer, para que el resultado de la operación sea óptimo, con la menor probabilidad de fallas, tanto en la producción, como en el código de programación.
- Si bien es cierto que el tiempo de recuperación de la inversión es corto por ende esto genera una inversión inicial alta, pero muchas veces es más barato contratar a operarios que adquirir todos los equipos, como un PLC o elementos y piezas electromecánicas, que se necesitan en el inicio de un proceso de fabricación.
- Puede parar todo un proceso fabril si falla el PLC y no hay un backup del mismo.

### 6.3 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), como se observa en la figura 13, es un mecanismo que le permite a una persona como operador interactuar con una máquina o proceso y determinar los diferentes estados en tiempo real en que se encuentra el equipo, como encendido/apagado o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial. Su entorno puede tener distintas formas, puede ser una pantalla independiente, un panel acoplado a otro equipo o una Tablet, de hecho, su aspecto físico no importa, su uso principal es permitir a los usuarios visualizar los datos operativos y controlar las máquinas.



*Figura 13. Pantalla HMI. Fuente: (COPADATA, s.f.)*

La interfaz puede ser tan simple como una lámpara indicadora del estado de un aparato, hasta una o varias pantallas desarrolladas en una computadora que llegan a mostrar en la pantalla del monitor representaciones esquemáticas de todo el proceso bajo supervisión, incluyendo valores reales de las variables presentes en ese momento en la planta; ejemplo el operario puede ver qué cintas transportadoras están encendidas o ajustar temperaturas de tanques industriales de almacenamiento, entre otras funciones.

Programas como el InTouch de la Wonderware, Lookout de la National Instruments, WinCC de Siemens, por mencionar algunos, constituyen plataformas de desarrollo que facilitan el diseño de las HMI en computadoras, algunos de estos paquetes de desarrollo incluyen muchas herramientas poderosas que permiten el desarrollo de HMI de mucho potencial de procesamiento (COPADATA, s.f.).

### 6.3.1 HMI + PLC

Una combinación HMI + PLC, como en el que se observa en la figura 14, desempeña un papel fundamental en el diseño de una solución de automatización en cualquier planta verdaderamente esbelta.

La integración de una interfaz hombre máquina (HMI) y un controlador lógico programable (PLC) proporciona una solución de automatización eficiente. La fabricación ajustada es un método probado y poderoso para aumentar la eficiencia en los procesos de producción. Se pueden aplicar conceptos y prácticas similares que eliminen el "desperdicio" (equipo innecesario y pasos del proceso) al diseño, construcción y soporte de sistemas de automatización para permitir una mayor productividad y confiabilidad, lo que produce una mayor eficiencia (International Society of Automation, 2012).



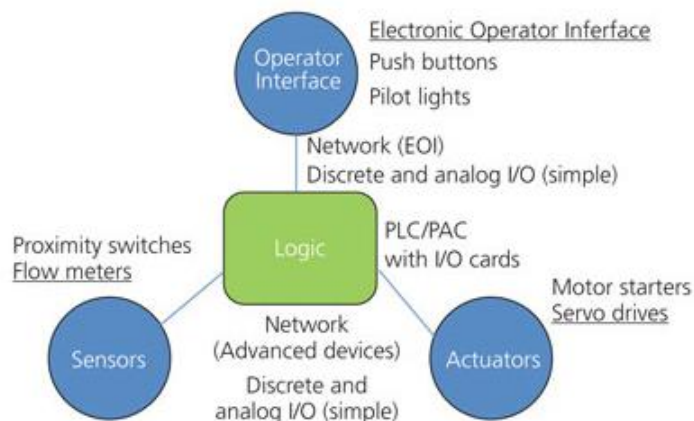
*Figura 14. Ejemplo de PLC + HMI Unitronics. Fuente: (Unitronics, s.f.)*

Al presentarse una combinación entre visualización y control de los procesos en un solo equipo, los sectores industriales y las diferentes plantas, que requieran un equipo como este, tendrían los siguientes beneficios:

- Diseño de máquinas más rápido al proporcionarse un entorno de desarrollo integrado.
- Reducción de los costos de construcción de las máquinas al eliminar cableado, elementos y componentes, que generan un sistema robusto y complican la detección de diferentes fallas en las máquinas.
- Costo de soporte de máquina reducido y operación mejorada al lograr un control de automatización centralizado, el acceso remoto y la administración.

Para entender mejor la convergencia de la funcionalidad de HMI + PLC y las opciones de equipamiento, tener una perspectiva histórica de la tecnología y el desarrollo del PLC y de las interfaces de operador (OI) será muy útil. El PLC se desarrolló para proporcionar control, secuenciación y funcionalidad de seguridad para procesos de fabricación, en sustitución de aquellos sistemas que involucran un número de dispositivos; como múltiples relés de control,

temporizadores, secuenciadores y controladores de lazo cerrado y en gran parte, las tarjetas de I/O son usadas para interactuar con los sensores, actuadores y simples dispositivos de interface de operador, tales como pulsadores y luces piloto, formado por el controlador.



*Figura 15. Arquitectura de control común. Fuente: (International Society of Automation, 2012)*

Hoy en día, las arquitecturas de los sistemas de control, como la mostrada en la figura 15, se están desplazando, y la tecnología de redes, tanto en los equipos y en las empresas, el nivel está avanzando, a través de un ambiente de programación ya establecido y portátil para ambos dispositivos HMI y PLC. La combinación HMI + PLC no sólo elimina los niveles de todos los equipos, sino que permite que la automatización esbelta aumente la eficiencia y la reducción de residuos, tanto en términos de equipo y el tiempo, también permite el acceso y monitoreo remoto a distancia, reducción de costos de formación, y hace que los fabricantes de equipos puedan tomar ventajas en mejores soluciones en su clase, logrando un control de rendimiento de sistemas más rápidos en diseño, comisión, y mantenimiento (International Society of Automation, 2012).

## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

A la hora de llevar a cabo una implementación de un sistema de automatización, se debe considerar una serie de pasos a seguir, como lo propone (Delgado, 2019):

- Planificación, donde se busca conocer el estado actual del problema.
- Gestión del montaje, permite dividir el proceso en fases.
- Integración de elementos, es el proceso de conversión analógico-digital.
- Ejecución, ajustes, parametrización y programación; que permite la conexión serie, digital, para la transferencia de datos entre elementos primarios de automatización (elementos de campo) empleados en fabricación de procesos, y elementos de automatización y control.
- Verificación, una vez realizada la implementación del sistema. Y si es necesario realizar ajustes correspondientes.
- Planificación y gestión de mantenimiento, formular estándares definidos de mantenimiento tanto preventivos como correctivos y así alargar la vida útil para el sistema implantado.
- Localización de averías, estas deben ser localizables y solucionables de una manera fácil en un tiempo mínimo, a través de la eficiencia y métodos técnicos del sistema implementado.

Con relación a lo anteriormente mencionado, para el proyecto actual se plantea el siguiente diseño metodológico, con el fin de cumplir el objetivo general de este trabajo y así obtener los resultados deseados.

## 7.1 Diagnóstico previo de la sección Stacker de la máquina Ward\_1

Para realizar el diagnóstico del Stacker, se realizó inicialmente una descripción detallada del proceso de desplazamiento, transporte, vibración y apilamiento de las láminas de cartón, que permitiera evaluar y evidenciar los problemas eléctricos, logrando determinar las causas por las cuales no se estaba efectuando correctamente la función primordial y/o certificar su confiabilidad futura con algún grado de exactitud. Se realizó un listado con los datos en las diferentes paradas de la máquina de las que se disponía, tratando de estudiar el tiempo medio de reparación necesario, la probabilidad de reparación de la avería y el tiempo medio entre fallos. Este punto ayudó a comprender los percances que se iban produciendo y que fueron parte del análisis para este estudio.

En las figuras 16 y 17 se puede observar los tiempos perdidos en horas por mes de la sección Stacker en el año 2019 y lo que ha transcurrido durante el año 2020.

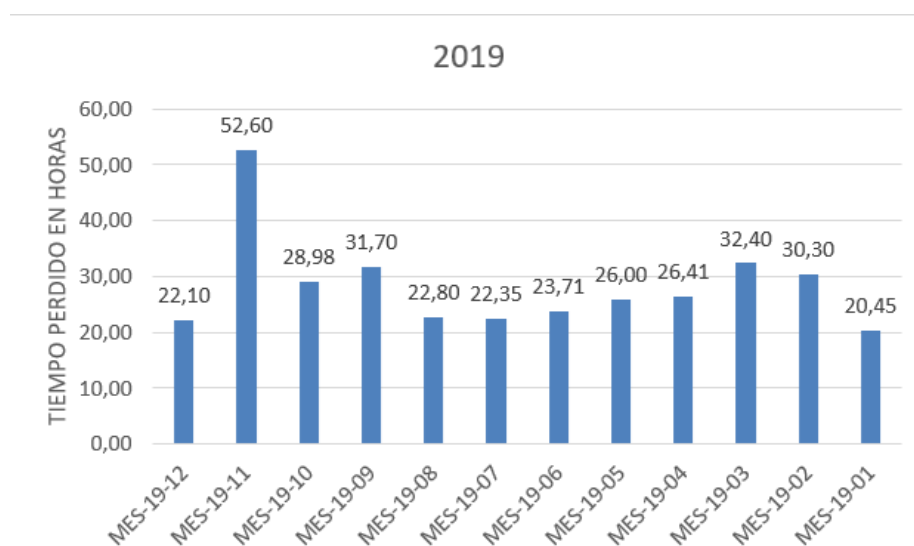
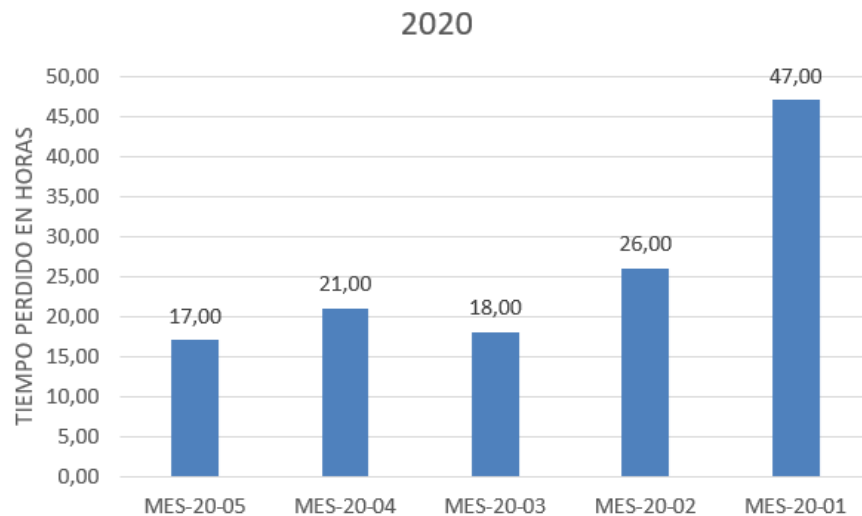


Figura 16. Tiempo muerto Ward\_1 año 2019. Fuente: Elaboración propia.

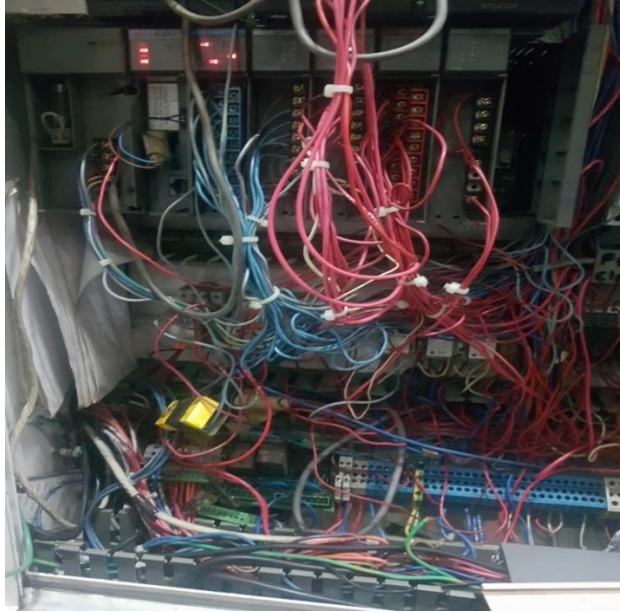




*Figura 17.* Tiempo muerto Ward\_1 año 2020. *Fuente:* Elaboración propia.

Se puede observar que en el año 2019 la máquina flexográfica Ward\_1, perdió 339.8 horas en producción, y solo 204 horas fueron pertenecientes a la sección Stacker, hasta hora en el 2020 hasta el mes de mayo se han registrado 129 horas de tiempo perdido, y solo 49 horas son pertenecientes a la sección Stacker, cabe recordar que una hora de paro de la máquina flexográfica Ward\_1 en producción cuesta alrededor de \$USD1785.

La sección Stacker posee dispositivos y componentes eléctricos y mecánicos, que permiten realizar un proceso y una función específica (movimiento electromecánico). Esta máquina es del año 1995, contaba con un PLC Allen-Bradley SLC 500 (Rockwell Automation , 1996), como en el que se observa en la figura 18, pero ahora ya es un sistema obsoleto, cuyas funciones se han dañado con el tiempo.



*Figura 18.* PLC Allen-Bradley SLC 500. *Fuente:* Elaboración propia.

Actualmente el Stacker presenta un control eléctrico basado en lógica cableada, en la que el tratamiento de datos (botonería, finales de carrera, sensores, presóstatos, etc.) se efectúa en conjunto con contactores o relés auxiliares, frecuentemente asociados a temporizadores y contadores.



*Figura 19.* Tablero control eléctrico Stacker. *Fuente:* Elaboración propia.

Como solución tecnológica a este problema se implementa un controlador lógico programable (PLC). Junto con este PLC se integra una interfaz hombre máquina (HMI), la cual permite una interacción más sencilla del operador con la máquina. La integración HMI-PLC, permite que el diseño de la máquina sea más rápido, que haya reducción de costos en la construcción por la eliminación de componentes y cableado, y la mejora de operación centralizando el acceso remoto y la administración (SdiNews, n.d).

La implementación de este sistema integrado HMI-PLC se hace con el objetivo de mantener y mejorar el funcionamiento de la sección de Stacker de la máquina Ward\_1, con el fin de reducir tiempos muertos en la producción debido a las demoras asociadas al mantenimiento eléctrico correctivo, y garantizando la seguridad a través de un sistema que permita un óptimo proceso operativo y una facilidad de identificar fallas y averías en un tiempo mínimo.

## 7.2 Implementación del sistema en la sección Stacker de la máquina Ward\_1.

Con el fin de diseñar el sistema de control a implementar, se analizó y se realizó el respetivo estudio del problema o proceso de mejora, mediante la implementación de un programa que contempla reglas para un control y monitoreo de las condiciones del sistema, a través de un controlador lógico programable (PLC), donde se implementan las reglas de protección del proceso en diagrama escalera (Ladder Diagram, LD), que satisfacen las necesidades específicas para una mayor eficiencia de la máquina, adaptándose en campo al proceso de fabricación, siendo un equipo especializado para automatización, con el diseño de interfaces gráficas de usuario (Graphical User Interface, GUI) a través de la interfaz hombre máquina (HMI) para interactuar con el operador.

### 7.2.1 Análisis y selección del dispositivo procesador.

Unitronics OPLC es una marca de automatización y PLC'S israelí, su principal innovación son los OPLC, un dispositivo que tiene toda la funcionalidad de un PLC común, pero que incorpora una HMI como se observa en la figura 20.



*Figura 20. OPLC Unitronics serie Visión (V290-19-B20B). Fuente: (Unitronics, s.f.)*

Se ha planteado la adquisición, programación e instalación de un PLC Unitronics V290 de la serie visión, como la mejor opción de solución para la necesidad expuesta. Su capacidad de procesamiento, capacidad de memoria para los datos, facilidad de acoplamiento a las diferentes señales en campo, permiten que este proceso se ejecute satisfactoriamente. Es un PLC con HMI de pantalla táctil gráfica en blanco y negro de 5.7 pulgadas. Acepta módulos de expansiones de E / S y módulos integrables; se expande hasta 316 E / S, lo que se hace ideal para la solución del proyecto.

Se ha seleccionado el módulo integrable de la figura 21, Snap-in V200-18-E2B de E / S de conexión directa en la parte de atrás del PLC Visión V290.



Figura 21. Módulo Snap-in V200-18-E2B de E / S. Fuente: (Unitronics, s.f.)

Módulo Snap-in para OPLC V230,260,280 y 290 consta de 16 Entradas digitales PNP/NPN a 24 VCD incluyendo 2 entradas de alta velocidad, 10 Salidas a relevador, 4 salidas a transistor PNP/NPN a 24 VCD incluyendo 2 salidas de alta velocidad, 2 entradas analógicas (0-10V, 0-20mA,4-20mA, 10 Bits) Y 2 Salidas analógicas (0-10V, 0-20mA,4-20mA, 12 Bits). Dichas características se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Módulo Snap-in V200-18-E2B de E / S.

	Entradas				Salidas				
Módulos de E/S integrables	Digital (aislado) <sup>1</sup>	HSC / Codificador de eje <sup>1</sup>	Cosa analoga	Medida de temperatura	Transistor (aislado) <sup>2</sup>	PWM / HSO <sup>2</sup>	Relé	Cosa analoga	Voltaje de funcionamiento
V200-18-E2B	16 pnp / npn	2 10 kHz de 32 bits	0-20V, 0-20 mA, 4-20 mA de 10 bits	Ninguna	4 pnp / npn	pnp 0,5 kHz npn 50 kHz	10	0-20V, 0-20 mA, 4-20 mA de 12 bits	24 VCC

Fuente: (Unitronics, s.f.)

Los módulos de expansión de E/S se han seleccionado acorde a las necesidades en cuanto ubicación y al número de entradas y salidas requeridas para el proceso, las referencias de los dispositivos Unitronics seleccionados se muestran en la tabla 3, y se representan en la figura 22.

Tabla 3. Referencias y descripción módulos de expansión.

CANTIDAD	MÓDULO	DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO
1	EXRC1	Adaptador remoto utilizado como enlace entre el PLC visión y el módulo de expansión de E/S a través del CANBUS. El adaptador puede aceptar hasta 8 módulos de E/S.
2	IO-D16A3-RO16	Módulo de expansión de 16 Entradas Digitales, 3 Entradas analógicas, 16 salidas a relevador.

*Fuente:* Elaboración propia.



*Figura 22.* Módulo EX-RC1 y módulo IO-D16A3-RO16. *Fuente:* (Unitronics, s.f.)

### 7.2.2 Software de configuración y programación del OPLC visión V290.

Visilogic es un software gratuito propio de Unitronics, permite la configuración de hardware simple, programación en Ladder, aplicación HMI y tendencias gráficas, lo necesario para

llevar a cabo este proyecto. Su descarga se realiza fácilmente desde la página web directamente del fabricante Unitronics. El entorno de programación para los OPLC Unitronics dentro de *Visilogic*, tiene todo tipo de herramientas y funciones, dispone de varios productos los cuales están ideados para soportar el software. Cada uno dispone de características específicas para adaptarse a cualquier tipo de proyecto y maquinaria.



Figura 23. Logo Software Visilogic 9.8.80. Fuente: (Unitronics, s.f.)

### 7.2.3 Configuración del OPLC en Visilogic 9.8.80.

Inicialmente se crearon dos nuevos proyectos como se ve en la figura 24:



 EX-RC1_Stacker_Ward_1.vlp	4/10/2020 3:17 p. m.	.vlp	88 KB
 PLC_Stacker_Ward_1.vlp	4/10/2020 3:12 p. m.	.vlp	142 KB

Figura 24. Proyectos creados en Visilogic para el sistema. Fuente: Elaboración propia.

El proyecto uno se nombró (PLC\_Stacker\_Ward\_1), es el proyecto principal perteneciente al PLC V290 donde se realizó todo el algoritmo de programación y lógica del funcionamiento del

sistema.

El segundo proyecto se nombró (EX-RC1\_Stacker\_Ward\_1), perteneciente al módulo remoto EX-RC1 donde se realiza el algoritmo de programación que permite enlazar la comunicación entre el dispositivo PLC V290 y los módulos expansión de E/S, a través de CANbus UniCAN protocol.

Se realiza la configuración de hardware del primer proyecto (PLC\_Stacker\_Ward\_1), en la opción (HW Configuration), se selecciona el PLC (V290 B20) y el módulo integrable Snap-in (V200-18-E2B) de E / S, como se muestra en la figura 25.

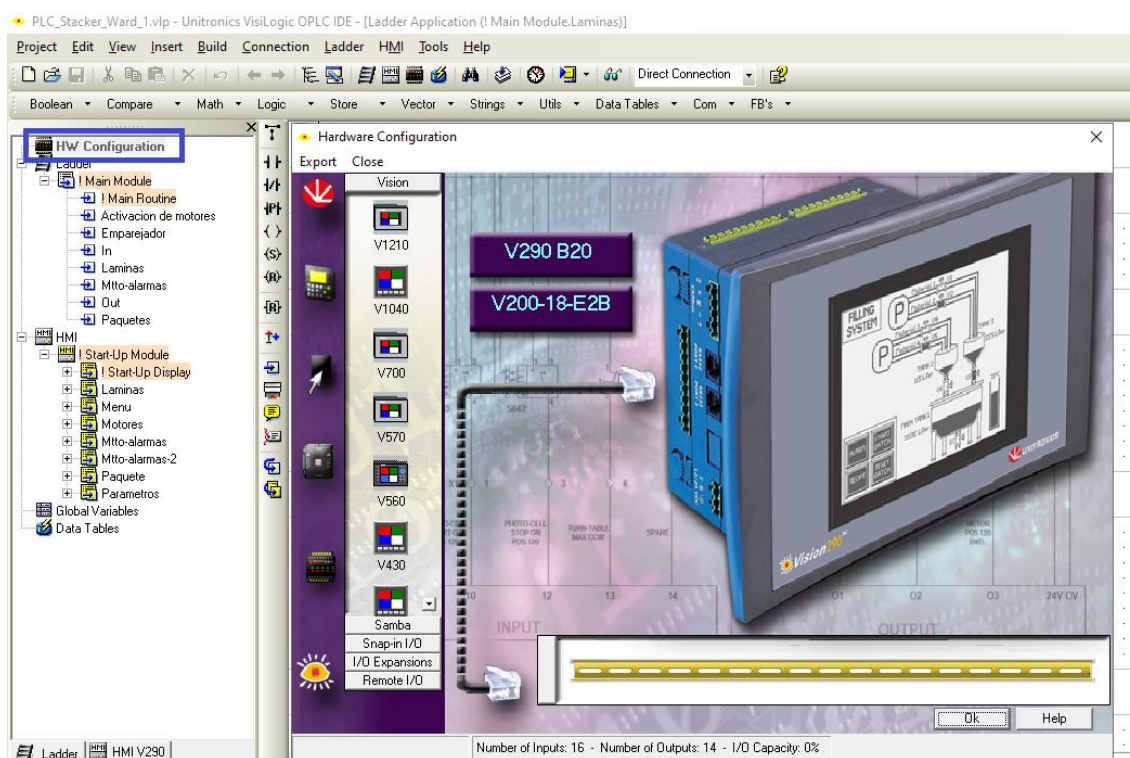


Figura 25. Selección de módulos PLC y SNAP. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 26 se muestra cómo se configura el tipo de entrada digital en el módulo SNAP, pueden ser PNP y NPN, en este caso se tomaron las señales digitales de entradas tipo NPN, debido



a las caídas de voltaje que se pueda presentar en el control, al ruido y las vibraciones que se generan a través de la máquina. Con la configuración NPN se garantiza una conmutación más rápida ya que trabaja con referencia 0V, tiene menor inmunidad al ruido, menor caída de tensión. En la figura 27 se muestra la configuración en el módulo SNAP para la conexión NPN.

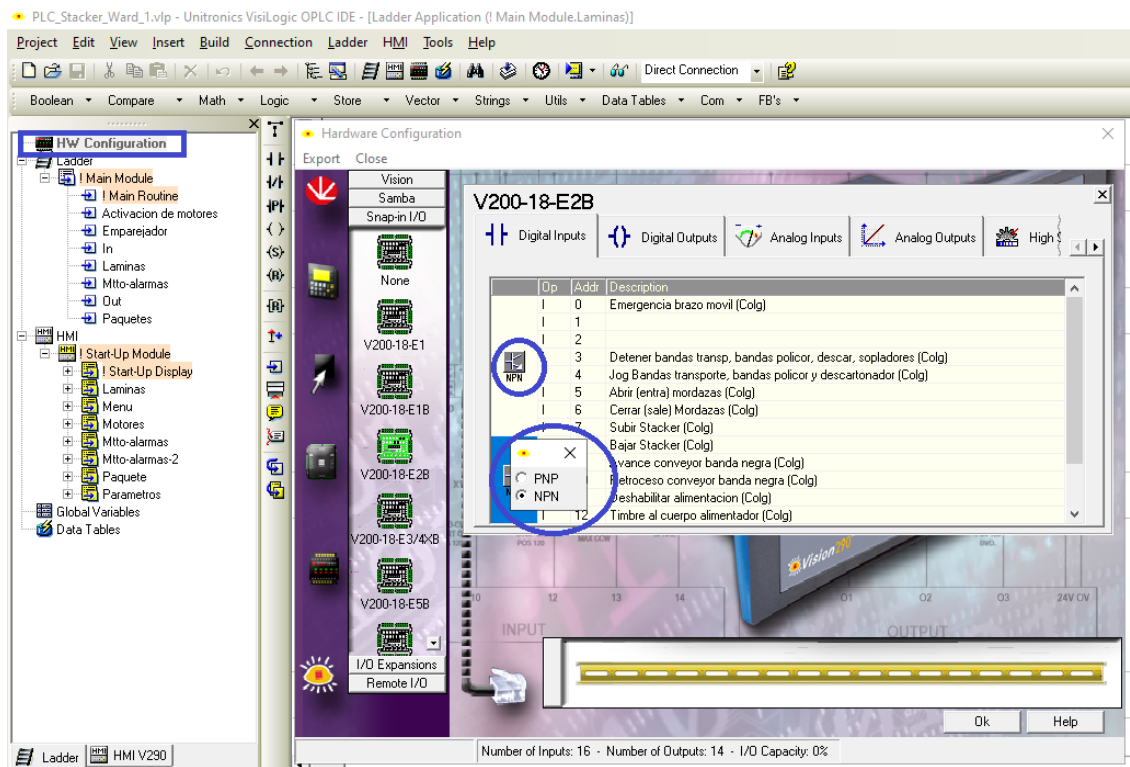
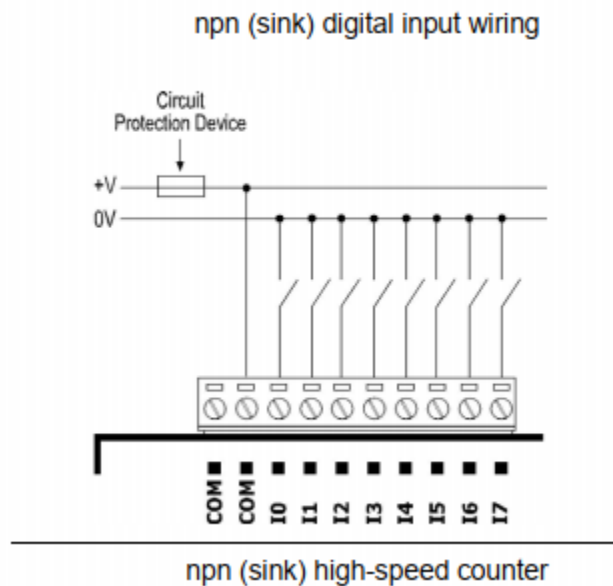


Figura 26. Configuración NPN en el módulo Snap. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 27.* Diagrama de conexión NPN en el módulo Snap. *Fuente:* Elaboración propia.

Se realiza la configuración de hardware del segundo proyecto (EX-RC1\_Stacker\_Ward\_1) en la opción (HW Configuration), se selecciona el módulo (EX-RC1) y dos módulos de expansión (IO-D16A3-RO16), ubicándoles en el riel, como se muestra en la figura 28.

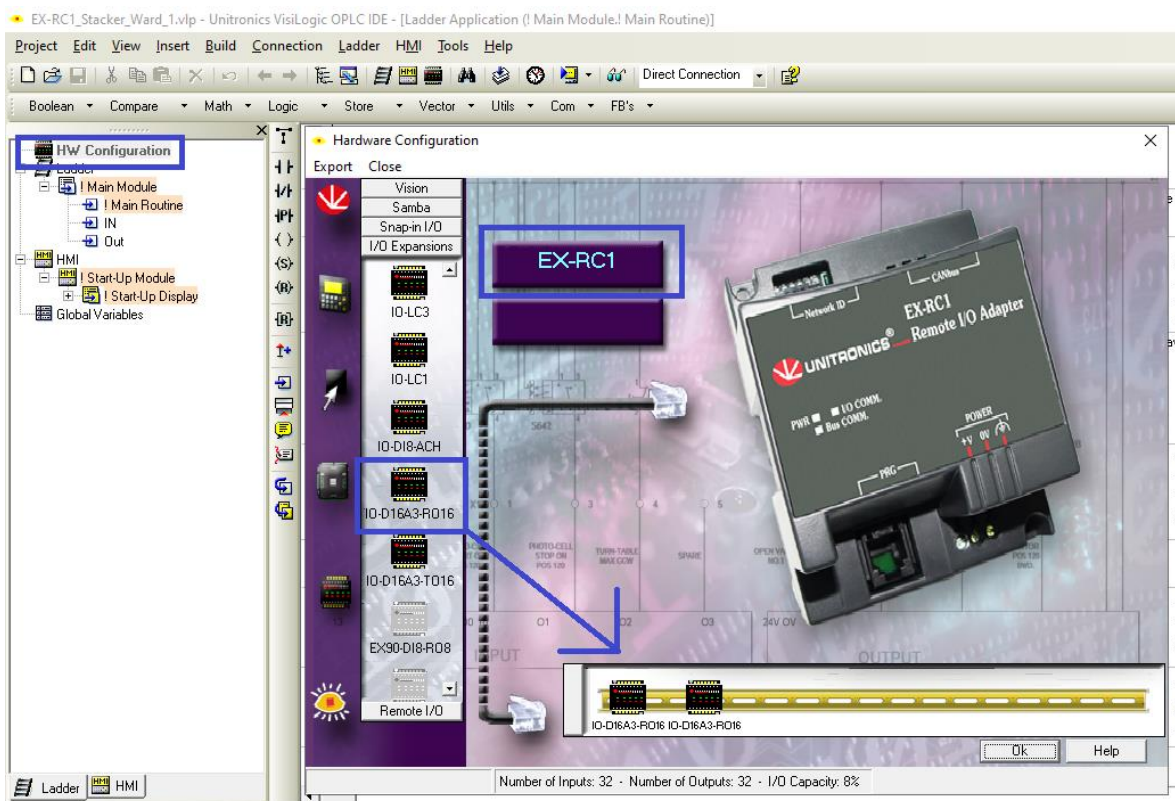


Figura 28. Selección de módulos EX-RC1 y IO-D16A3-RO16. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 29 se muestra cómo se configura el tipo de entrada digital en los dos módulos IO-D16A3-RO16, son dos módulos ya que cada módulo solo tiene 15 entradas y se requieren entre ellos 29 entradas. Pueden ser PNP y NPN, en este caso se tomaron las señales digitales de entradas tipo NPN, en la figura 30 se muestra el diagrama de conexión para las entradas NPN en los dos módulos IO-D16A3-RO16.

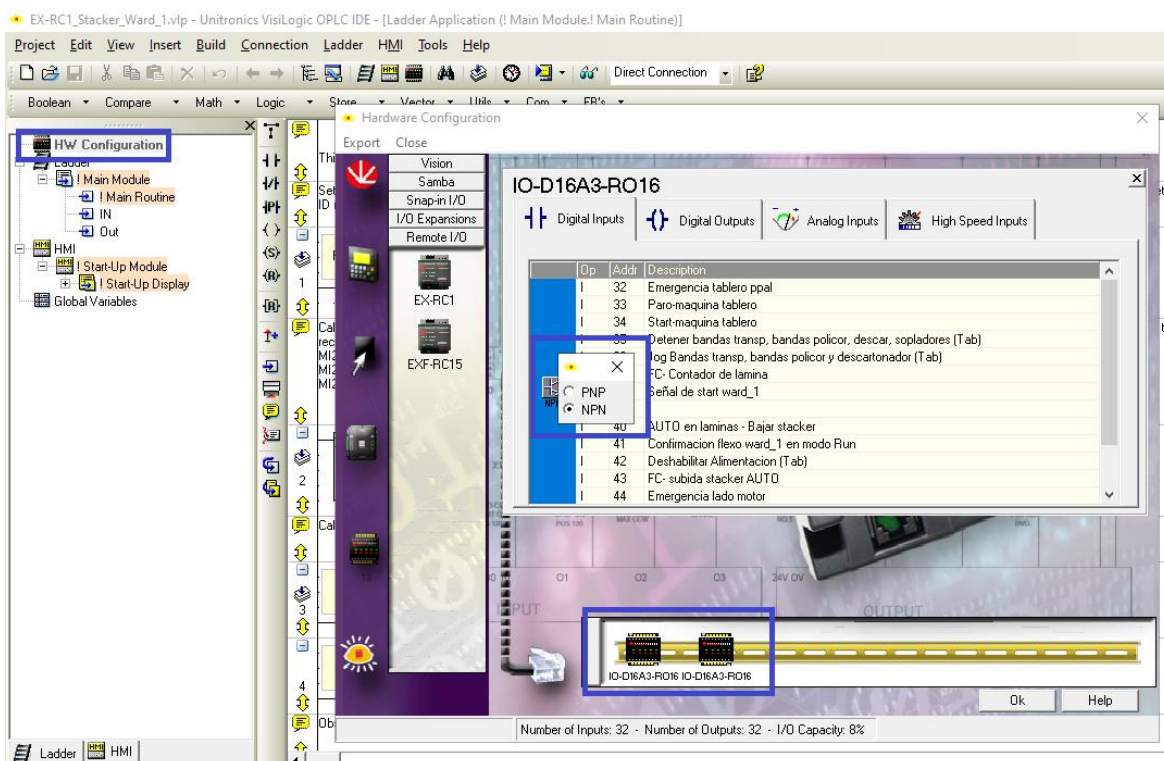


Figura 29. Configuración NPN en los módulos de expansión. Fuente: Elaboración propia.

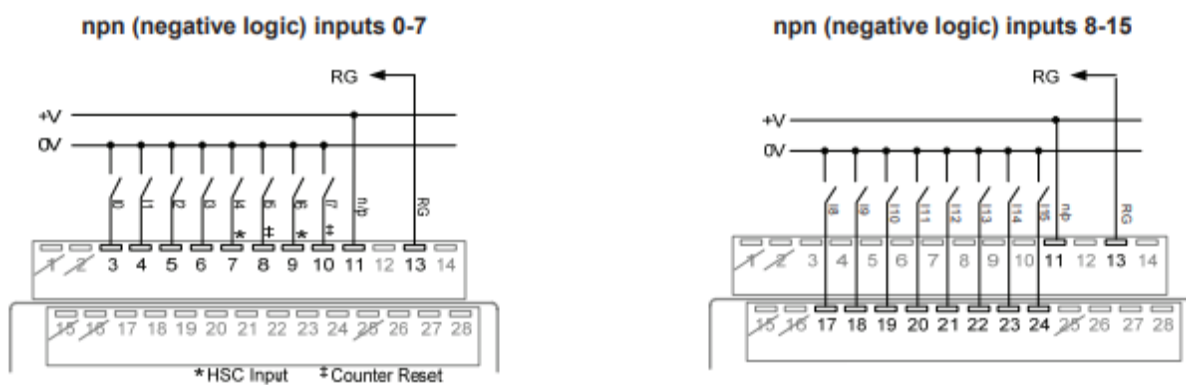


Figura 30. Diagrama de conexión NPN módulo de expansión. Fuente: Elaboración

propia.

#### 7.2.4 Configuración comunicación entre OPLC V290 y el módulo EX-RC1.

Para este proyecto se utiliza el protocolo de comunicación UniCAN, ver figura 31, es un protocolo de comunicación patentado por Unitronics que se ejecuta sobre CANBus permitiendo comunicaciones de datos rápidas entre diferentes dispositivos Unitronics.

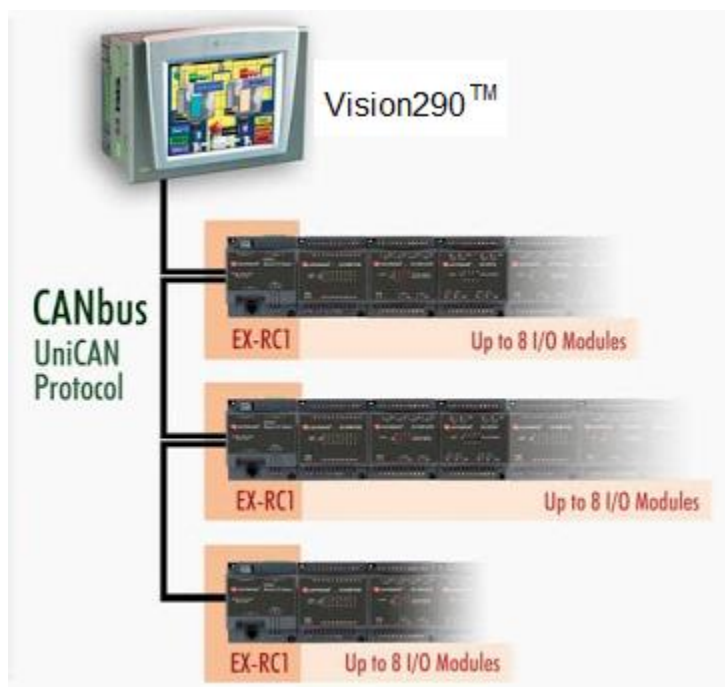


Figura 31. CANbus UniCAN protocol. Fuente: (Unitronics, s.f.).

Dentro del protocolo CANbus se pueden conectar hasta 60 equipos entre PLC y Adaptadores remotos, con hasta 8 módulos de expansión por cada adaptador y a una distancia máxima de 1000 metros dependiendo de la velocidad y las características de la red CANbus. Para este proyecto se implementó el PLC Vision290 conectado a un adaptador remoto EX-RC1 con 2 módulos de expansión IO-D16A3-RO16. UniCAN puede enviar hasta 32 mensajes, cada uno de los cuales contiene 16 valores enteros, con un total de 512 valores de registro MI durante un solo

escaneo de programa.

En el primer proyecto (PLC\_Stacker\_Ward\_1) se configura la comunicación con el módulo remoto EX-RC1. En el Main routine del Ladder (rutina principal del sistema), ver figura 32, Se establece un bit de sistema SB2, siendo un bit de encendido que se mantiene en alto (uno lógico para escaneo) apenas el equipo es encendido. A través del bloque STORE se está definiendo el ID #1 en la red CANbus para el PLC Visión 290, se inicializa el puerto de comunicaciones a través del bloque UNICAM, estableciendo la velocidad en baudios 500 kb y un intervalo de tiempo de 0.5seg en el que el controlador deberá enviar los mensajes automáticamente a través del protocolo de comunicación UniCAN. A través del bloque SET PLC NAME permite asignar un nombre único al PLC, en este proyecto se le asigno el nombre Ward1. Este nombre se utiliza, por ejemplo, para identificar el PLC con fines de red Ethernet.

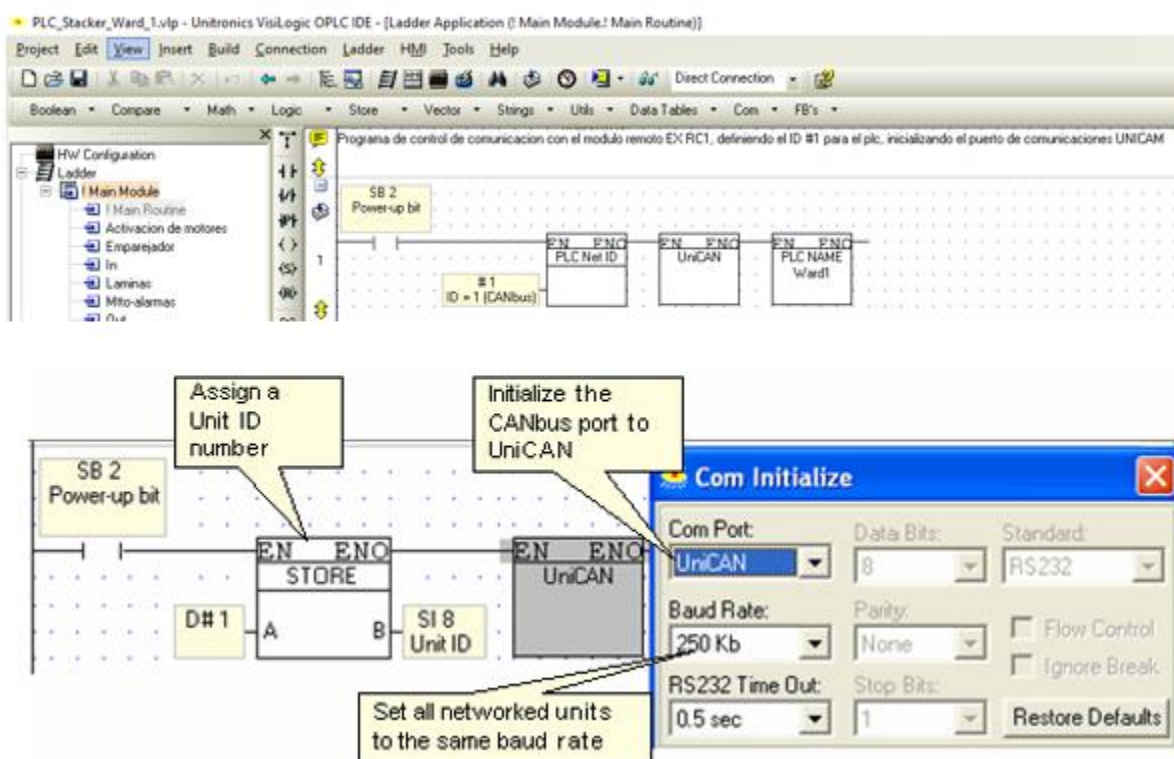


Figura 32. Configuración de UniCAN. Fuente: Elaboración propia.

Para verificar la señal entre el PLC V290 y el módulo adaptador EX-RC1 cada 0,5 segundos, una unidad envía una señal de "vivo" a la red CANbus, el bloque Check Alive Signal, que se muestra en la figura 33, recibe la señal, cuando se recibe la señal de la unidad en red cuyo número de identificación se proporciona, el MB 4002 de estado se enciende para un solo escaneo, este breve período de tiempo significa que no podrá ver la señal en el modo en línea.

En las redes a continuación, si una señal 'Viva' del módulo adaptador EX-RC1 que tiene la ID # 2 no se registra durante 1.10 segundos, el programa activa un bit de error, MB3002.

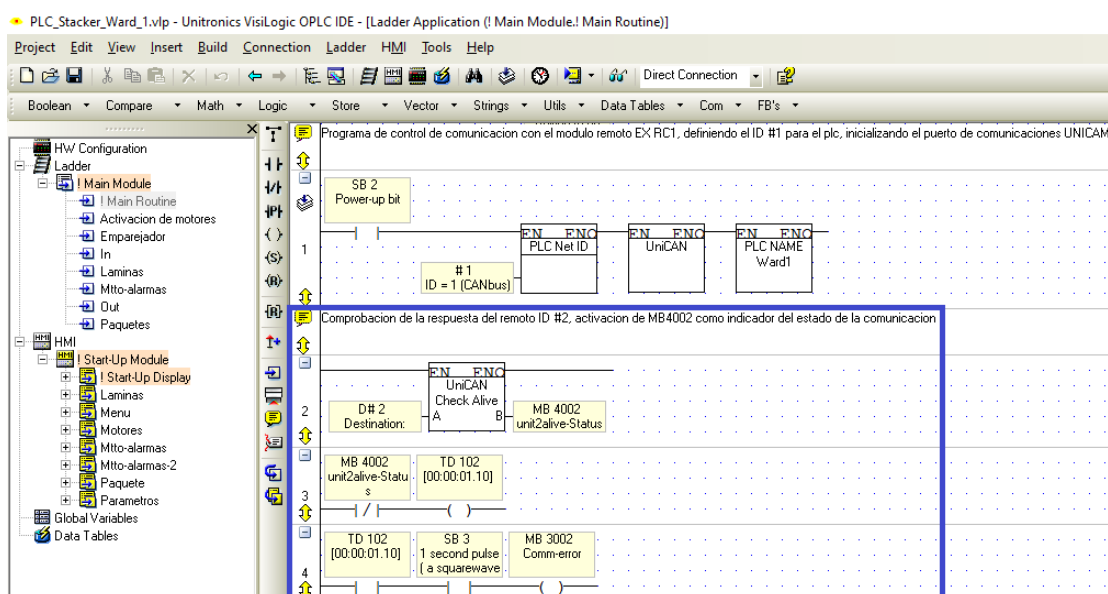


Figura 33. Verificación de la señal entre PLC y adaptador. Fuente: Elaboración propia.

En el navegador del proyecto y sobre Main Module se añadieron dos nuevas subrutinas llamadas In y Out. Estas son llamadas desde la rutina principal Main Routine como se indica en la figura 34.

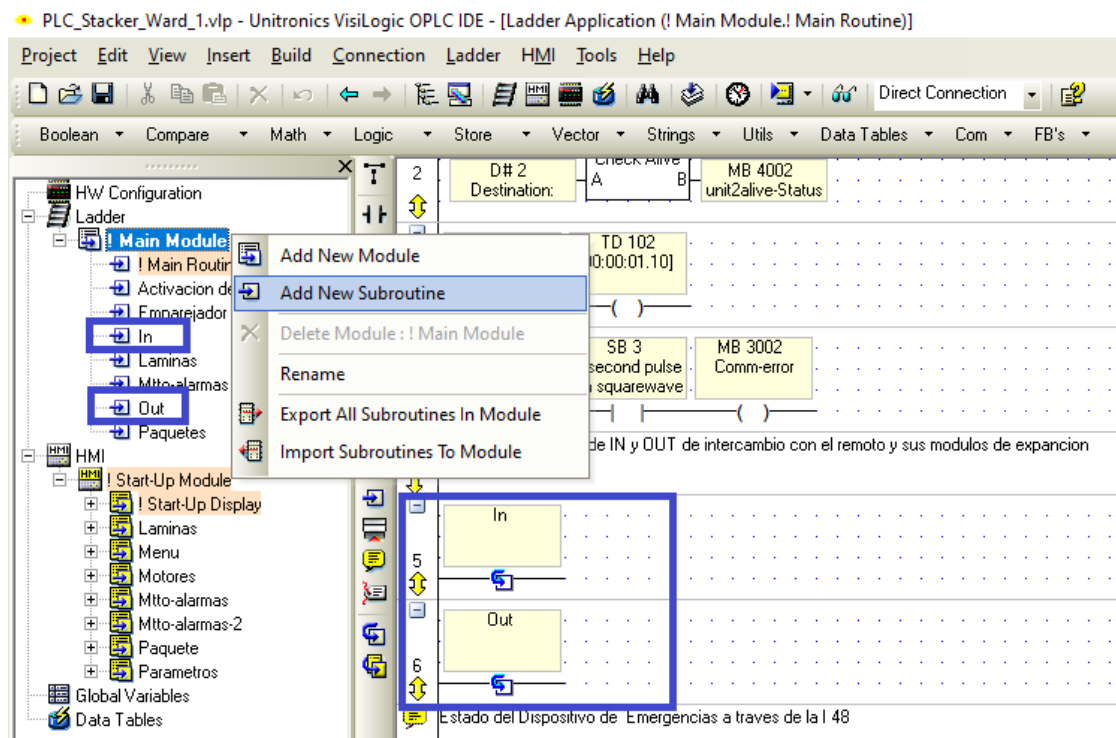


Figura 34. Subrutinas In y Out llamadas desde main routine. Fuente: Elaboración propia.

En la subrutina In de la figura 35, se configuró el recibimiento de los mensajes para verificar el estado de cada una de las entradas de los módulos de expansión IO-D16A3-RO16, conectados al módulo remoto EX-RC1, Cuando llega un mensaje de la unidad en red cuyo número de identificación se da en la función, el MB 4012 de estado se enciende.

Cuando se recibe el mensaje, el bit correspondiente en SIs-240-243, que proporciona un mapa de bits de todas las unidades en la red UniCAN, se apaga.

Al bloque STRUCT llega la dirección del dato de la MI 2000 con las entradas asignadas que vienen del módulo remoto EX-RC1 con la ID #2, de los dos módulos de expansión IO-D16A3-RO16, se asignan las inputs I32-47, I48-63 que están en la MI 2000, al direccionamiento del PLC.



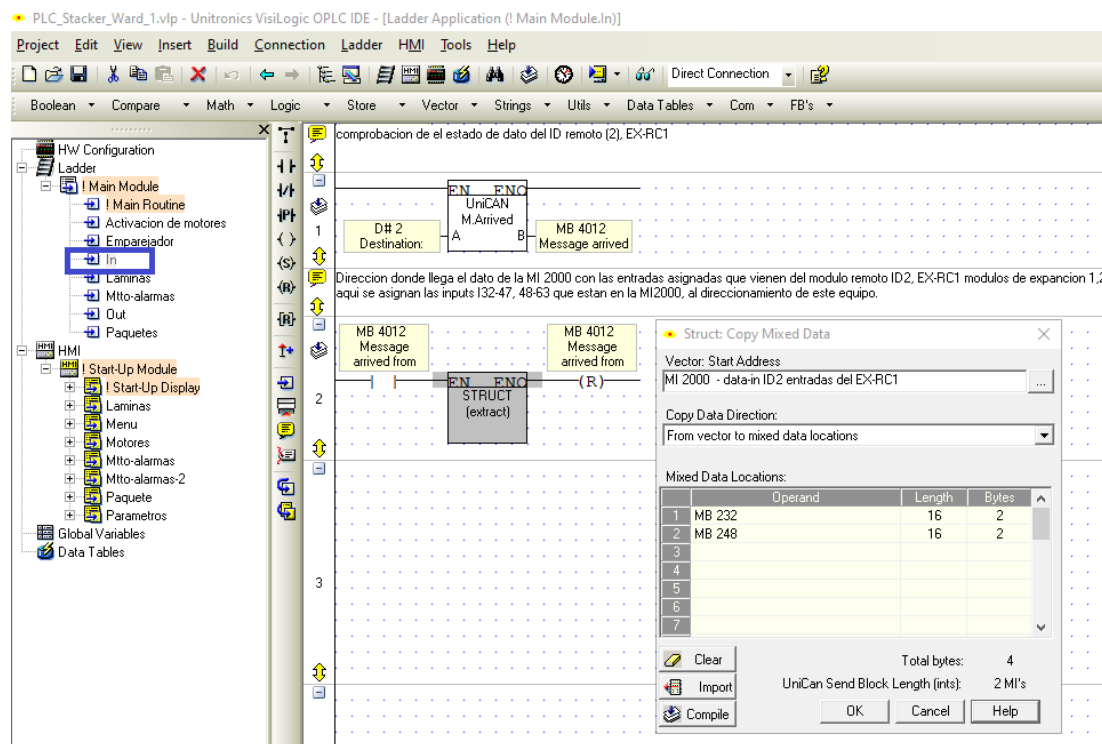


Figura 35. Subrutina In. Fuente: Elaboración propia.

En la subrutina Out de la figura 36, se configuró el control de envío del estado de las salidas O32-63, para los módulos de expansión IO-D16A3-RO16. En el bloque STRUCT se asigna las outs 32-47, 48-63 a la MI 1800, seguidamente se selecciona el módulo remoto EX-RC1 con la ID #2 que ha de recibir el dato, se asigna la MI 1800 donde están las outs correspondientes previamente asignadas y se envía a través del bloque UniCAN send la dirección MI1990.

Se comprueba el estado del búfer SB 201 utilizando un contacto invertido como condición de envío siendo un búfer de alta prioridad, al estar lleno este se enciende y se interrumpe el envío a la red CANbus.

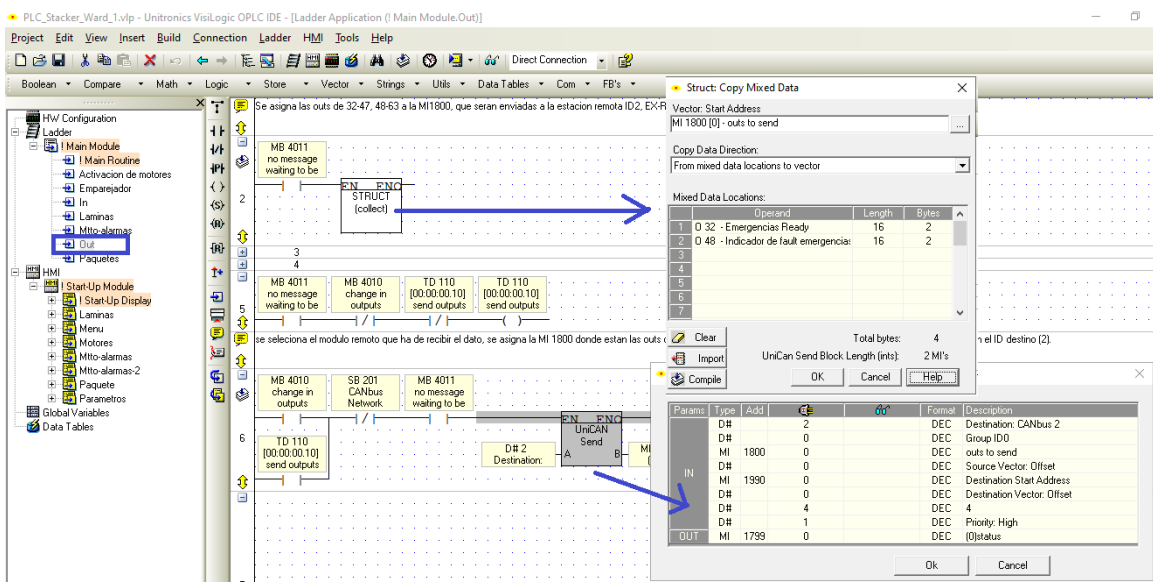


Figura 36. Subrutina Out. Fuente: Elaboración propia.

En el segundo proyecto (EX-RC1\_Stacker\_Ward\_1) se configura la comunicación con el PLC Vision290. Al modulo EX-RC1 en Hardware se le configura la ID, el rango de números de identificación es de 1 a 60. Los ajustes del interruptor DIP representan el número de ID como un valor binario como se muestra en la figura 37. Para este proyecto se le dio la ID # 2 al EX-RC1, como se ha mencionado en apartados anteriormente.

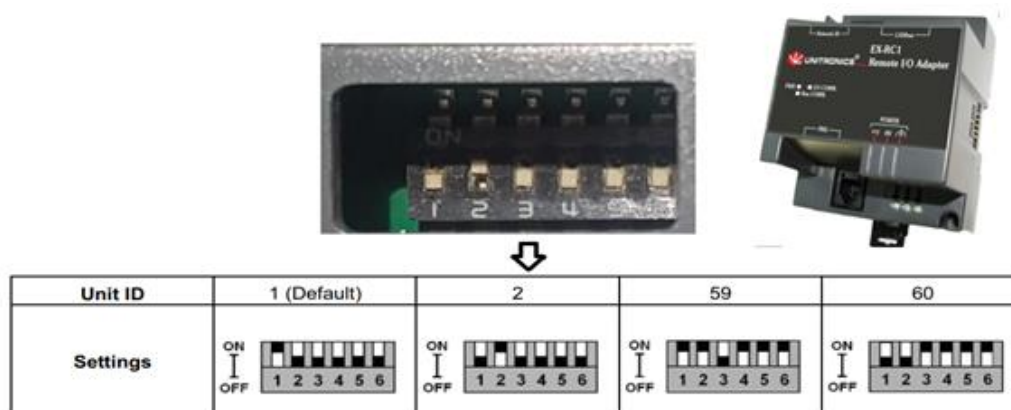


Figura 37. Configuración ID del módulo remoto EX-RC1. Fuente: Elaboración propia.

En el Ladder del software Visilogic el Main routine (rutina principal del sistema), ver figura

38, se establece un bit de sistema SB2, siendo un bit de encendido que se mantiene en alto (uno lógico para escaneo) apenas el equipo es encendido, se inicializa el puerto de comunicaciones a través del bloque UNICAM, estableciendo la velocidad en baudios en 500kb y un intervalo de tiempo de 0.5seg en el que el controlador debe enviar los mensajes automáticamente a través del protocolo de comunicación UniCAN. A través del bloque FÓRMULA se calcula el offset en vector en OPLC, donde envía el estado de las entradas. El estado de las entradas por módulo (hasta 16) es "cerrado" y se envía como MI. Al tener hasta 8 módulos posibles conectados a un adaptador EX-RC1, el PLC "maestro" necesita mantener 8 MI para cada estación remota. En este proyecto se tienen dos MI:

MI2008  $((ID \# 2 - 1) \times 8)$  recibirá el estado de I32-47 (primer módulo extensor después del adaptador) de EX-RC1 con ID # 2

MI2009 recibirá el estado de I48-63, segundo módulo después de EX-RC1 ID # 2.

El vector donde se reciben las entradas en el OPLC Vision290 que tiene ID #1 es la MI2000.

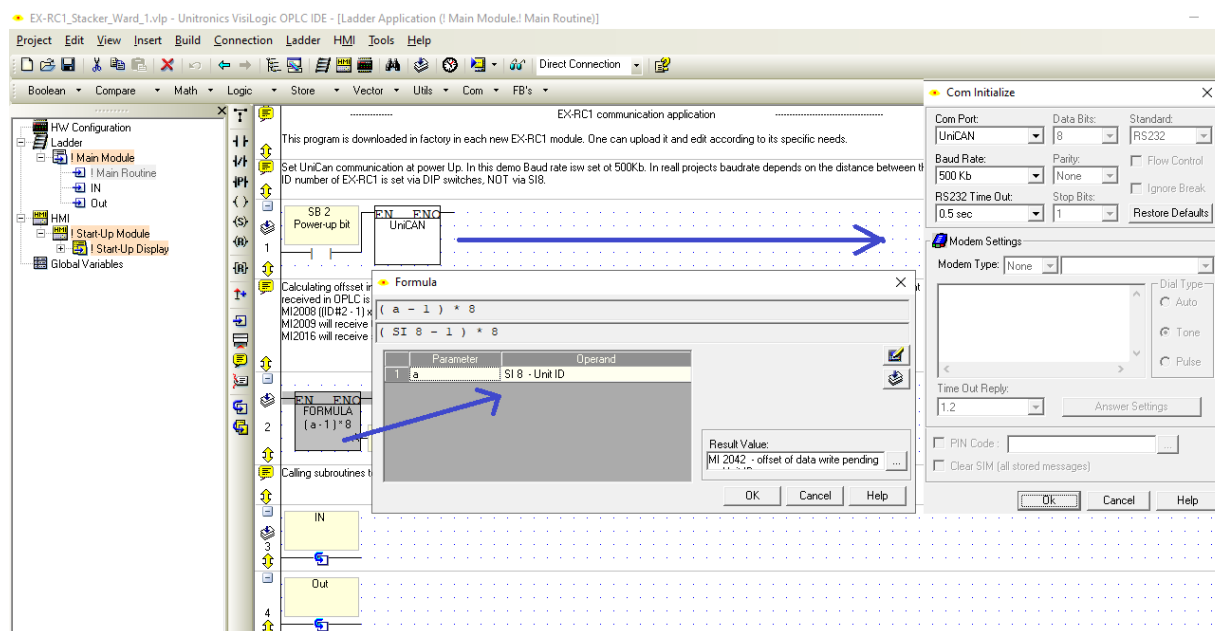


Figura 38. Configuración de UniCAN, envío de entradas. Fuente: Elaboración propia.

En el navegador del proyecto y sobre Main Module se añadieron dos nuevas subrutinas llamadas In y Out. Estas son llamadas desde la rutina principal Main Routine como se indica en la figura 38.

En la subrutina In de la figura 39 se configuró el envío de las entradas. El bloque A=B permite enviar un nuevo mensaje SOLAMENTE si el anterior se envió correctamente, al cambiar la información durante el envío puede provocar que la información se confunda. Con el bloque COMPARE VECTOR se está comparando el vector de estados de entrada actuales MI2000 con el vector de búfer MI2010 para verificar si hay cambios en el estado de entrada. En caso de cambios, MB4091 aumentará. En caso de que ambos vectores sean iguales, MB4091 permanecerá en 0, seguidamente con el bloque COPY VECTOR se está copiando el vector MI2000 ingresando el estado actual al búfer MI 2010, si no hay cambios en las salidas, se activa el generador de pulsos de 0.1 seg para enviar de todos modos el estado de las entradas al OPLC, a través del bloque UniCAN send habilita (Estado MI2040 = 0) - enviar vector MI2000 con longitud 8 a OPLC MI2000 con offset, calculado en la rutina principal con el bloque FÓRMULA.

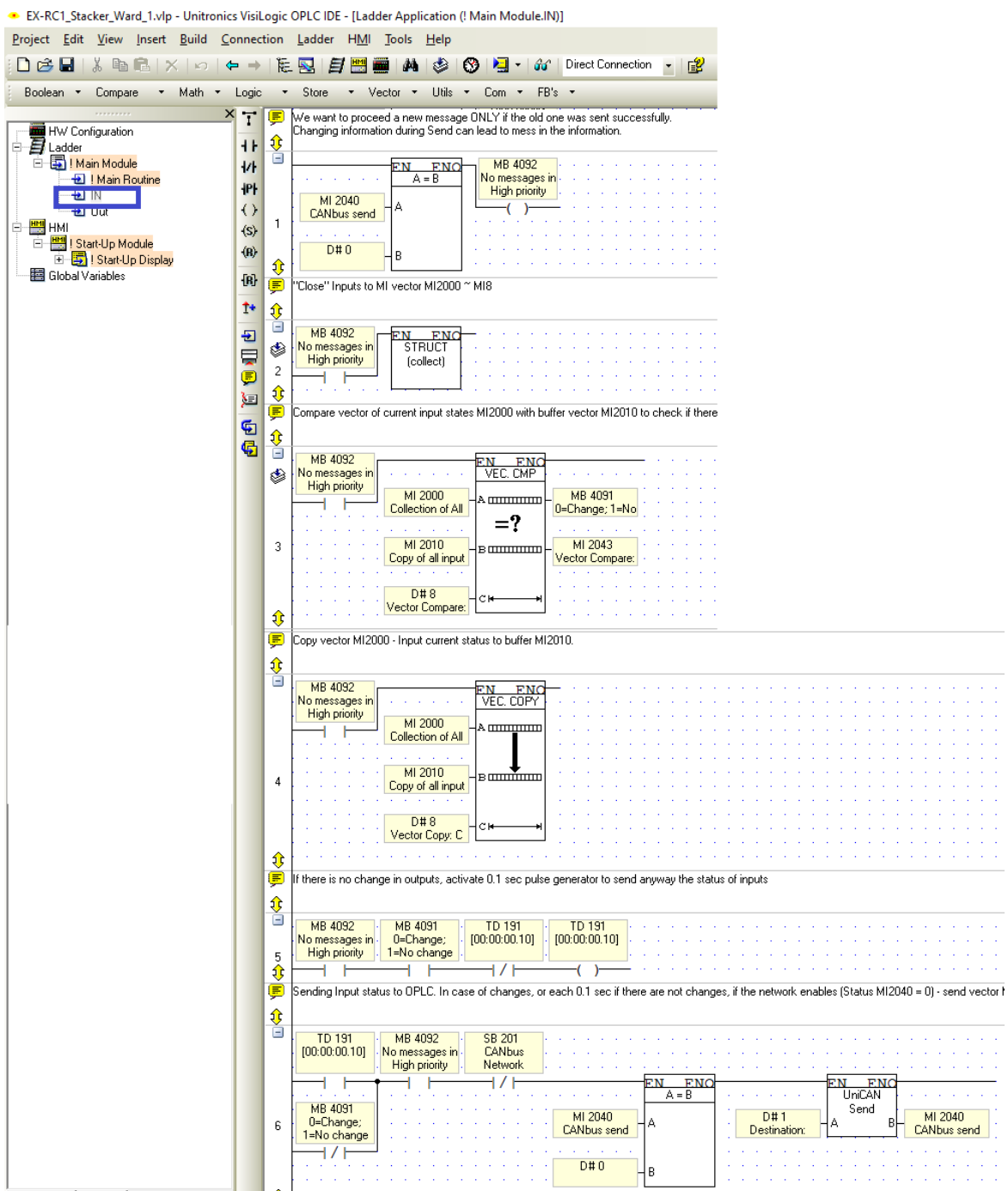


Figura 39. Subrutina In (Envío de las entras al PLC V290). Fuente: Elaboración propia.

En la subrutina Out de la figura 40 se configuró el control de recepción de las salidas O32-63, desde el PLC V290 con la ID # 1, para los módulos de expansión IO-D16A3-RO16, a través del módulo remoto EX-RC1 con la ID #2.

Con el bloque UniCAN M.Arrived, cuando llegue un mensaje desde el OPLC (ID # 1), se activará MB3660, el OPLC envía el estado de las salidas "cerradas" en el vector MI1990, el bloque STRUCT "abre" la información del vector MI1990 a las salidas físicas del dispositivo O32 a O159. El bloque UniCAN Check alive, verifica la comunicación con el PLC, si la comunicación es correcta, cada 0.5 segundos MB3661 aumenta para un escaneo, en caso de falla de comunicación, MB3661 no aumentará, después de 1.1 segundos se activará TD190, lo que significa "falla de comunicación".

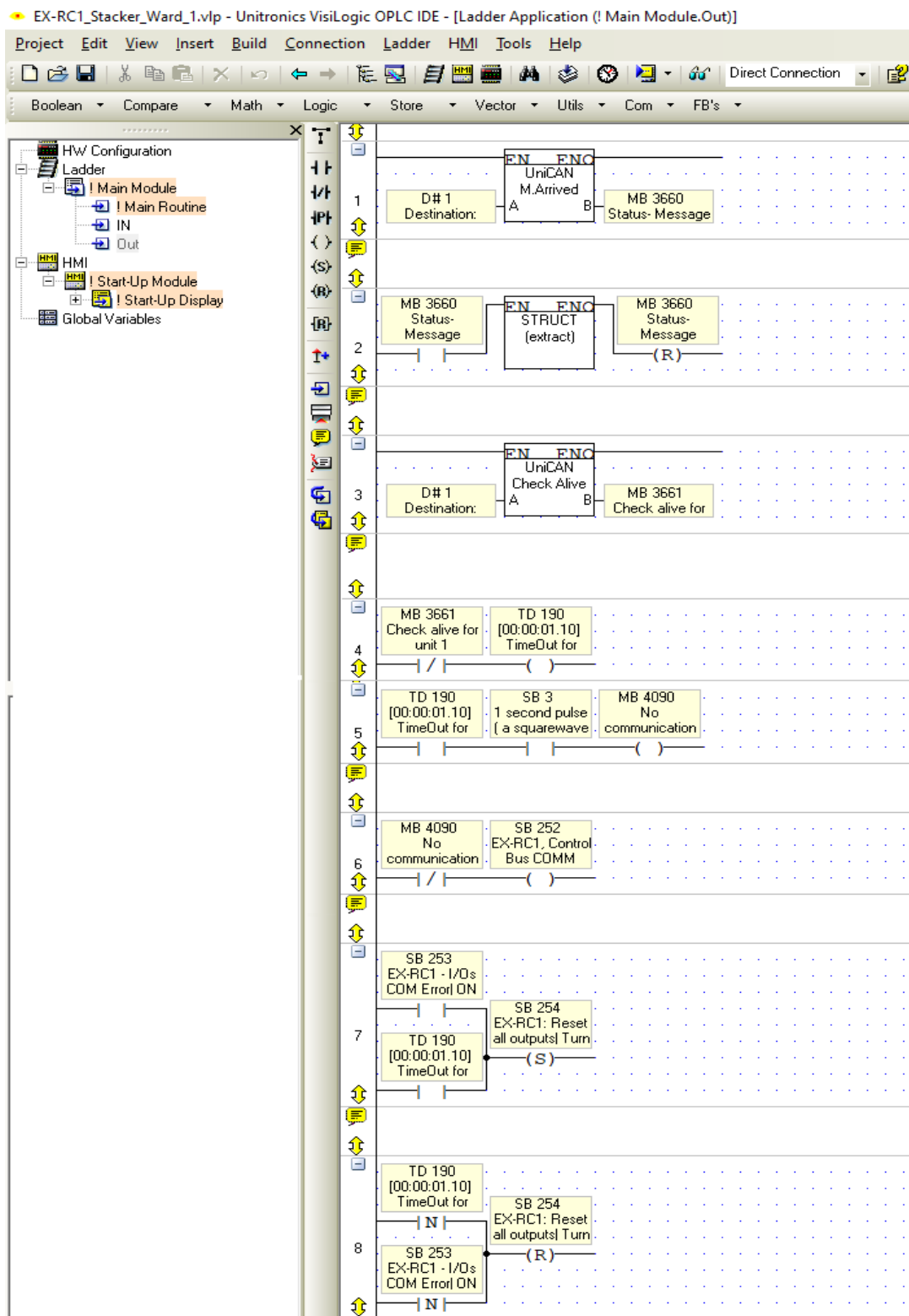


Figura 40. Subrutina Out (recepción de salidas desde el PLC V290). Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.5 Conexión Red CANbus entre PLC V290 y el módulo EX-RC1.

Para una red CANbus a través del protocolo de comunicación UniCAN, entre el OPLC V290 y el módulo EX-RC1, se utilizó un cable de par trenzado. DeviceNet® con blindaje grueso, recomendado por el fabricante Unitronics, únicamente una fuente de 24VDC se utilizó para la red CANbus, los hilos café (V+) y blanco (V-) son la alimentación de 24VDC, los hilos verde CAN alto (H) y amarillo CAN bajo (L) con una resistencia (R) en paralelo establecida en 1%,  $121 \Omega$ ,  $1 / 4W$ , son la señal de comunicación entre los dos dispositivos, Cuando el bus CAN está en modo inactivo, ambas líneas transportan 2.5V. Cuando se transmiten bits de datos, la línea (verde) alta CAN pasa a 3.75V y la baja CAN baja a 1.25V, generando un diferencial de 2.5V entre las líneas: cada una de las líneas CAN está referenciada a la otra, no a la tierra de la máquina. Dado que la comunicación se basa en un diferencial de voltaje entre las dos líneas de bus, el bus CAN no es sensible a picos inductivos. Esto hace que sea una red confiable en espacios donde se genera ruido o se ejerza movimiento en los equipos, en la figura 41, se muestra la conexión entre el PLC V290 y el módulo remoto EX-RC1 de la red CANbus implementada en este proyecto.



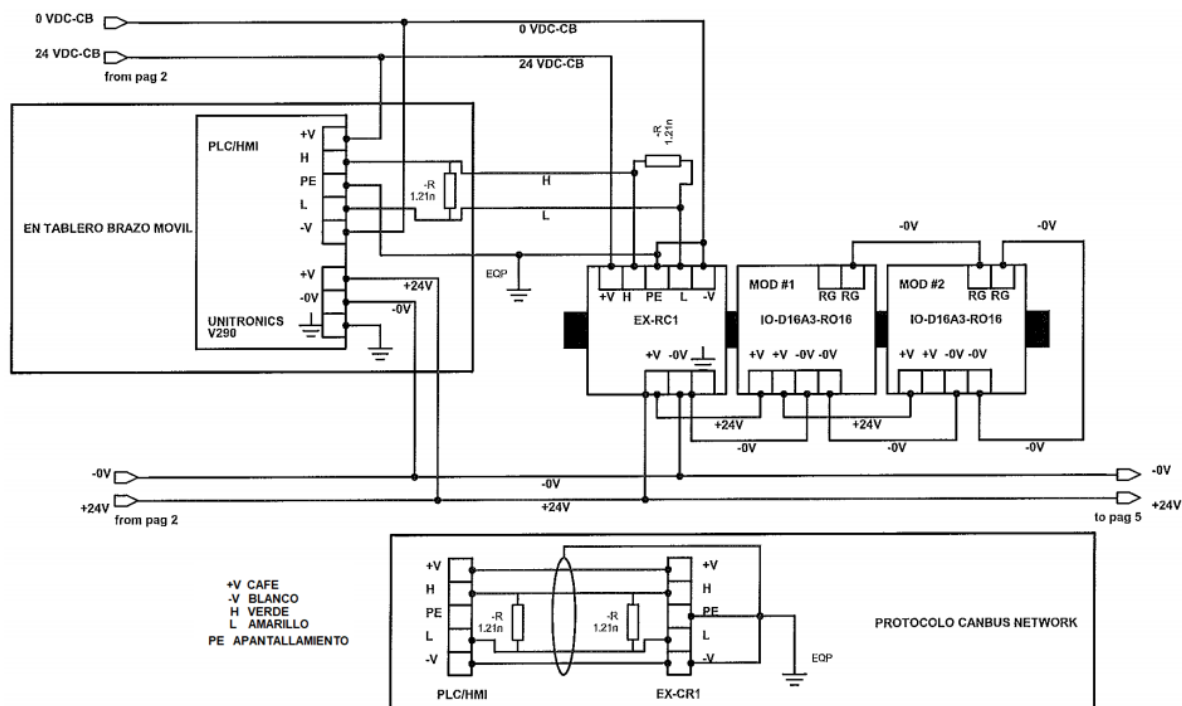


Figura 41. Conexión red CANbus entre PLC V290 y el módulo EX-RC1. Fuente:

Elaboración propia.

### 7.2.6 Programa en Visilogic del nuevo sistema implementado en el Stacker.

El proyecto uno nombrado como (PLC\_Stacker\_Ward\_1) es el proyecto principal perteneciente al PLC V290 donde se realizó todo el algoritmo de programación y lógica del funcionamiento del nuevo sistema. El entorno de programación para los OPLC Unitronics dentro del *Visilogic*, aunque tiene todo tipo de herramientas y funciones, consta de dos sesiones principales:

*Ladder* es la sesión donde se crea, por medio de redes, bloques, contactos y bobinas el algoritmo que se ejecutará para determinada función.

*HMI* es el entorno gráfico donde se crea la o las pantallas, botones y datos que se mostrarán

al usuario.

Para el caso específico de este proyecto y a través del diagnóstico y el análisis realizado, se establecieron y se definieron las señales de entradas y las señales de salida en el PLC y en los dos módulos de expansión IO-D16A3-RO16 comandados por el PLC a través del módulo remoto EX-RC1. En las tablas 4 y 5 se pueden ver las entradas y las salidas asignadas al módulo integrable Snap-in (V200-18-E2B) de E / S, en el PLC V290.

Tabla 4. Entradas en el Snap V200-18-E2B integrable al PLC V290.

Inputs	Opr.	Addr.	Use	Description
O Outputs	I	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Emergencia brazo movil (Colg)
T Timers	I	1	<input checked="" type="checkbox"/>	
MB Memory Bits	I	2	<input checked="" type="checkbox"/>	
MI Memory Integer	I	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Detener bandas transp, bandas policor, descar, sopladores (Colg)
ML Memory Long	I	4	<input checked="" type="checkbox"/>	Jog Bandas transporte, bandas policor y descartonador (Colg)
DW Double Word	I	5	<input checked="" type="checkbox"/>	Abrir (entra) mordazas (Colg)
MF Memory Float	I	6	<input checked="" type="checkbox"/>	Cerrar (sale) Mordazas (Colg)
SB System Bits	I	7	<input checked="" type="checkbox"/>	Subir Stacker (Colg)
SI System Integer	I	8	<input checked="" type="checkbox"/>	Bajar Stacker (Colg)
SL System Long	I	9	<input checked="" type="checkbox"/>	Avance conveyor banda negra (Colg)
SDW System Double Word	I	10	<input checked="" type="checkbox"/>	Retroceso conveyor banda negra (Colg)
C Counters	I	11	<input checked="" type="checkbox"/>	Deshabilitar alimentacion (Colg)
# Signed Constants	I	12	<input checked="" type="checkbox"/>	Timbre al cuerpo alimentador (Colg)
UnS# UnSigned Constants	I	13	<input checked="" type="checkbox"/>	
NET Network	I	14	<input checked="" type="checkbox"/>	
	I	15	<input checked="" type="checkbox"/>	

*Fuente:* Elaboración propia.

Tabla 5. Salidas en el Snap V200-18-E2B integrable al PLC V290.

Inputs	Opr.	Addr.	Use	Description
O Outputs	O	0	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador maquina Ready y Run (Colg)
T Timers	O	1	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador maquina fault pulso cada segundo (Colg)
MB Memory Bits	O	2	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador run bandas trans y bandas de policor (Colg)
MI Memory Integer	O	3	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador alimentacion (Colg)
ML Memory Long	O	4	<input checked="" type="checkbox"/>	Sirena preaviso run, bajada stacker, ciclo automatico en lamina (Colg)
DW Double Word	O	5	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador maquina flexo ward_1 en modo run (colg)
MF Memory Float	O	6	<input checked="" type="checkbox"/>	
SB System Bits	O	7	<input checked="" type="checkbox"/>	
SI System Integer	O	8	<input checked="" type="checkbox"/>	
SL System Long	O	9	<input checked="" type="checkbox"/>	
SDW System Double Word	O	10	<input checked="" type="checkbox"/>	
C Counters	O	11	<input checked="" type="checkbox"/>	
# Signed Constants	O	12	<input checked="" type="checkbox"/>	
UnS# UnSigned Constants	O	13	<input checked="" type="checkbox"/>	
NET Network	O	14	<input checked="" type="checkbox"/>	

*Fuente:* Elaboración propia.

En las tablas 6 y 7 se pueden ver las entradas y las salidas asignadas a los módulos de expansión IO-D16A3-RO16 comandados por el PLC a través del módulo remoto EX-RC1.

Tabla 6. Entradas en los módulos de expansión IO-D16A3-RO16.

Inputs	Opr.	Addr.	Use	Description
O Outputs	I	32	<input checked="" type="checkbox"/>	Emergencia tablero ppal
T Timers	I	33	<input checked="" type="checkbox"/>	Paro-maquina tablero
MB Memory Bits	I	34	<input checked="" type="checkbox"/>	Start-maquina tablero
MI Memory Integer	I	35	<input checked="" type="checkbox"/>	Detener bandas transp. bandas policor, descar, sopladores (Tab)
ML Memory Long	I	36	<input checked="" type="checkbox"/>	Jog Bandas transp. bandas policor y descartonador (Tab)
DW Double Word	I	37	<input checked="" type="checkbox"/>	FC- Contador de lamina
MF Memory Float	I	38	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal de start ward_1
SB System Bits	I	39	<input type="checkbox"/>	
SI System Integer	I	40	<input checked="" type="checkbox"/>	AUTO en laminas- Bajar stacker
SL System Long	I	41	<input checked="" type="checkbox"/>	Confirmacion flexo ward_1 en modo Run
SDW System Double Word	I	42	<input checked="" type="checkbox"/>	Deshabilitar alimentacion (Tab)
C Counters	I	43	<input checked="" type="checkbox"/>	FC- subida stacker AUTO
# Signed Constants	I	44	<input checked="" type="checkbox"/>	Emergencia lado motor
UnS# Unsigned Constants	I	45	<input checked="" type="checkbox"/>	Emergencia seccion bandas de policor
NET Network	I	46	<input checked="" type="checkbox"/>	MS- Elevador limite de subida liberacion de pila en auto (LS2)
	I	47	<input checked="" type="checkbox"/>	MS- Elevador limite de bajada en auto laminas (LS8)
	I	48	<input checked="" type="checkbox"/>	Dispositivo emergencias Ready
	I	49	<input checked="" type="checkbox"/>	Pressure switch line air
	I	50	<input checked="" type="checkbox"/>	Sensor nivel tanque de aceite
	I	51	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault variador bandas transportadoras
	I	52	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault variador bandas de policor
	I	53	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault motor bomba hidraulica
	I	54	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault motor desplazamiento Stacker
	I	55	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault motor soplador LM al acumulador
	I	56	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault motor soplador L OP en bandas policor
	I	57	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault motor soplador LM en bandas policor
	I	58	<input checked="" type="checkbox"/>	Fault motor descartonador
	I	59	<input checked="" type="checkbox"/>	MS- Elevador limit sup (LS1)
	I	60	<input checked="" type="checkbox"/>	MS- Elevador limit inf (LS9)
	I	61	<input checked="" type="checkbox"/>	MS- Elevador limite medio (LS6)
	I	62	<input checked="" type="checkbox"/>	Confirmacion Bomba Hidraulica ON-OFF
	I	63	<input checked="" type="checkbox"/>	Sws Colision Stacker LOP y LM (Safety)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Salidas en los módulos de expansión IO-D16A3-RO16.

Inputs	Opr.	Addr.	Use	Description
O Outputs	0	32	<input checked="" type="checkbox"/>	Emergencias Ready
T Timers	0	33	<input checked="" type="checkbox"/>	RI-Start- Run Stacker - Run Bomba hidraulica
MB Memory Bits	0	34	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal run variador bandas stacker
MI Memory Integer	0	35	<input checked="" type="checkbox"/>	Señal run variador bandas de policor
ML Memory Long	0	36	<input checked="" type="checkbox"/>	Valv - mordazas Acumulador
DW Double Word	0	37	<input checked="" type="checkbox"/>	Avance Conveyor Banda Negra
MF Memory Float	0	38	<input checked="" type="checkbox"/>	Motor soplador LM y LOP en bandas policor
SB System Bits	0	39	<input checked="" type="checkbox"/>	Motor soplador LM al acumulador
SI System Integer	0	40	<input checked="" type="checkbox"/>	Motor Descartonador derecha
SL System Long	0	41	<input checked="" type="checkbox"/>	Motor Descartonador izquierda
SDW System Double Word	0	42	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida intermitente emparejador
C Counters	0	43	<input checked="" type="checkbox"/>	Deshabilitar-aliment (CR5)
# Signed Constants	0	44	<input checked="" type="checkbox"/>	Valv- Subir Stacker
UnS# Unsigned Constants	0	45	<input checked="" type="checkbox"/>	Valv- Bajar Stacker
NET Network	0	46	<input checked="" type="checkbox"/>	Valv- Bloqueo Stacker FC
	0	47	<input checked="" type="checkbox"/>	Retroceso Conveyor Banda Negra
	0	48	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador de fault emergencias
	0	49	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador maquina Ready y Run (Tab)
	0	50	<input checked="" type="checkbox"/>	Indicador alimentacion ON (Tab)
	0	51	<input checked="" type="checkbox"/>	Sirena preaviso run, bajada stacker, ciclo automatico en lamina (Colg)
	0	52	<input checked="" type="checkbox"/>	Timbre hacia mesa cuerpo alimentacion
	0	53	<input type="checkbox"/>	
	0	54	<input type="checkbox"/>	
	0	55	<input type="checkbox"/>	
	0	56	<input type="checkbox"/>	
	0	57	<input type="checkbox"/>	
	0	58	<input type="checkbox"/>	
	0	59	<input type="checkbox"/>	
	0	60	<input type="checkbox"/>	
	0	61	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida de respaldo valvula subir stacker
	0	62	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida de respaldo valvula de bajar stacker
	0	63	<input checked="" type="checkbox"/>	Salida de respaldo valvula de bloqueo

Fuente: Elaboración propia.

Al tener las entradas y las salidas ya asignadas en el PLC se realizó el nuevo sistema de programación para un correcto funcionamiento del stacker. En el navegador del proyecto Ladder y sobre Main Module se añadieron siete nuevas subrutinas como se indica en la figura 42, cada una de estas son llamadas desde la rutina principal Main Routine cuando se requiera ser llamadas para ejecutar un respetivo proceso cuando sea necesario. Las subrutinas In y Out estas fueron utilizadas para la red CANbus, comunicación entre el PLC y el módulo EX-RC1 ya mencionadas en el apartado (7.2.4).

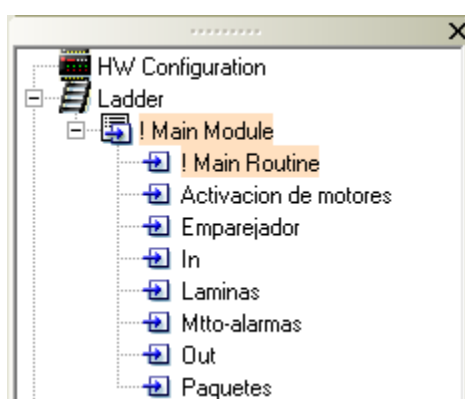


Figura 42. Subrutinas creadas en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.

#### *Subrutina Mtto-alarmas*

En la subrutina Mtto-alarmas, como se indica en la figura 43, se está comprobando todas condiciones normales en que se encuentra el Stacker, al no cumplirse alguna de estas condiciones el Stacker no entraría en operación.

Entre ellas está, que la comunicación del PLC y el módulo remoto EX-RC1 entre la red CANbus a través del protocolo UniCAN este bien. En el resto de la subrutina se pregunta por las demás condiciones como accionamientos de paros de emergencias en los diferentes puntos de la máquina, confirmación de energías como; aire, presión y nivel de aceite hidráulico, confirmación de fallas y alarmas en los diferente equipos en máquina, como señales de DEFAULT de los

variadores bandas del Stacker y disparos térmicos de los motores, se comprueba como condición primordial y principal de este programa la seguridad de la máquina ante el personal de operación que este alrededor de la máquina, en cuanto a guardas de seguridad, dispositivos de paro y de emergencias durante el proceso, accionamientos de Microswitches de algún atranque o estrellamiento de la máquina. Si todas estas condiciones se cumplen la subrutina Mtto-alarmas enviará un bit de memoria (MB 69) con un estado lógico a la rutina principal Main Routine para continuar el proceso, de lo contrario si alguna condición no se cumple no será posible iniciar el proceso de funcionamiento del Stacker.

PLC\_Stacker\_Ward\_1.vlp - Unitronics VisiLogic OPLC IDE - [Ladder Application (! Main Module.Mtto-alarmas)]

Project Edit View Insert Build Connection Ladder HMI Tools Help

Boolean Compare Math Logic Store Vector Strings Utils Data Tables Com

Se comprueba que la comunicacion entre el plc y el modulo remoto este OK.

1 MB 3002 Comm-error MB 72 Fault Comunicacion

Confirmacion visual de señales de Emergencias Accionadas en maquina

2 I 0 Emergencia brazo movil MB 51 Emerg colg Accionada

MB 232 Emergencia tablero ppal MB 55 Emerg tablero accionada

MB 244 Emergencia lado motor MB 56 Emerg LM accionada

MB 245 Emergencia seccion bandas MB 57 Emerg LO en bandas policor

Confirmacion de aire y nivel aceite hidraulico ok

3 MB 249 Pressure switch line air MB 43 Air (OK)

MB 250 Sensor nivel tanque de MB 46 Oil (OK)

Confirmacion señales de DEFAULT variadores bandas del stacker y bandas policor

4 MB 251 Fault variador bandas MB 58 Variador bandas stacker OK

MB 252 Fault variador bandas de MB 59 Variador bandas policor OK

5 MB 58 Variador bandas stacker OK MB 59 Variador bandas policor OK MB 60 Variadores bandas OK

Confirmacion señales de default, disparos termicos de los motores en maquina

MB 253 Fault motor bomba MB 61 Motor bomba OK

MB 254 Fault motor desplazamiento MB 62 Motor desplazamiento

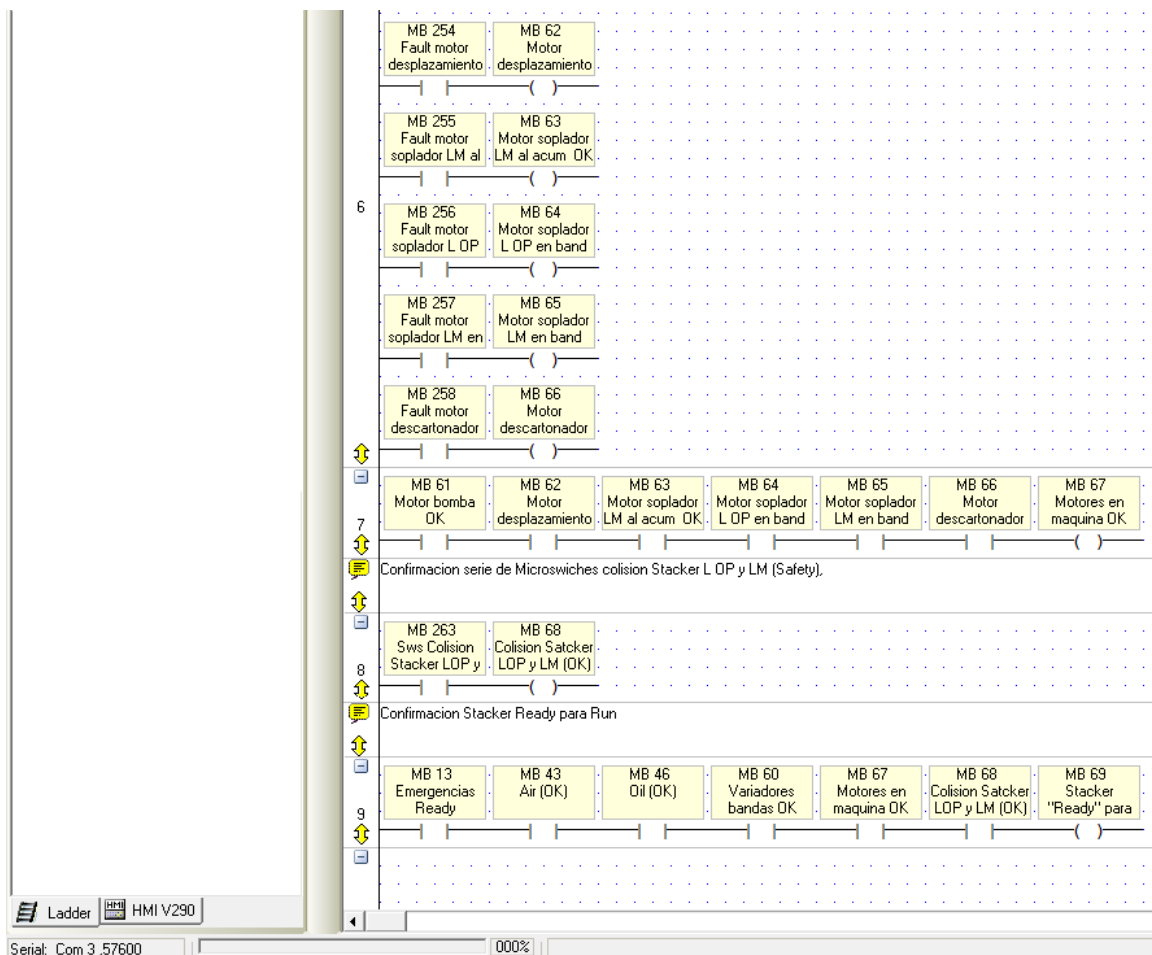


Figura 43. Subrutina Mtto-alarmas. Fuente: Elaboración propia.

### Subrutina Activación de motores

En esta subrutina cuando es llamada desde la rutina principal Main Routine, permite el encendido de los diferentes motores de la máquina según el operario lo conceda necesario a través de una interfaz HMI (pantalla) llamada “motores” (ver figura 53), al activar el encendido de cada uno de los motores dependerán de una condición, es decir el operario puede dar funcionamiento a los dos variadores pertenecientes a las bandas de transporte y a las bandas de policor a través del botón en pantalla con el bit de memoria (MB 76), al permitir el operario el funcionamiento de estos motores se activa un bit de memoria (MB 77) que permitirá activar los otros motores como el descartador. Los motores sopladores al lado operador y al lado motor, y el motor soplador a la

estación acumuladora, dependerán de la activación de los variadores de las bandas de transporte y de policor, seguidamente de la activación del motor descartador, si estas dos condiciones no se cumplen o una de ellas no la cumple no será posible que el operador pueda accionar estos motores desde la interfaz de usuario HMI. Dicha condición lógica se puede observar en la figura 44.

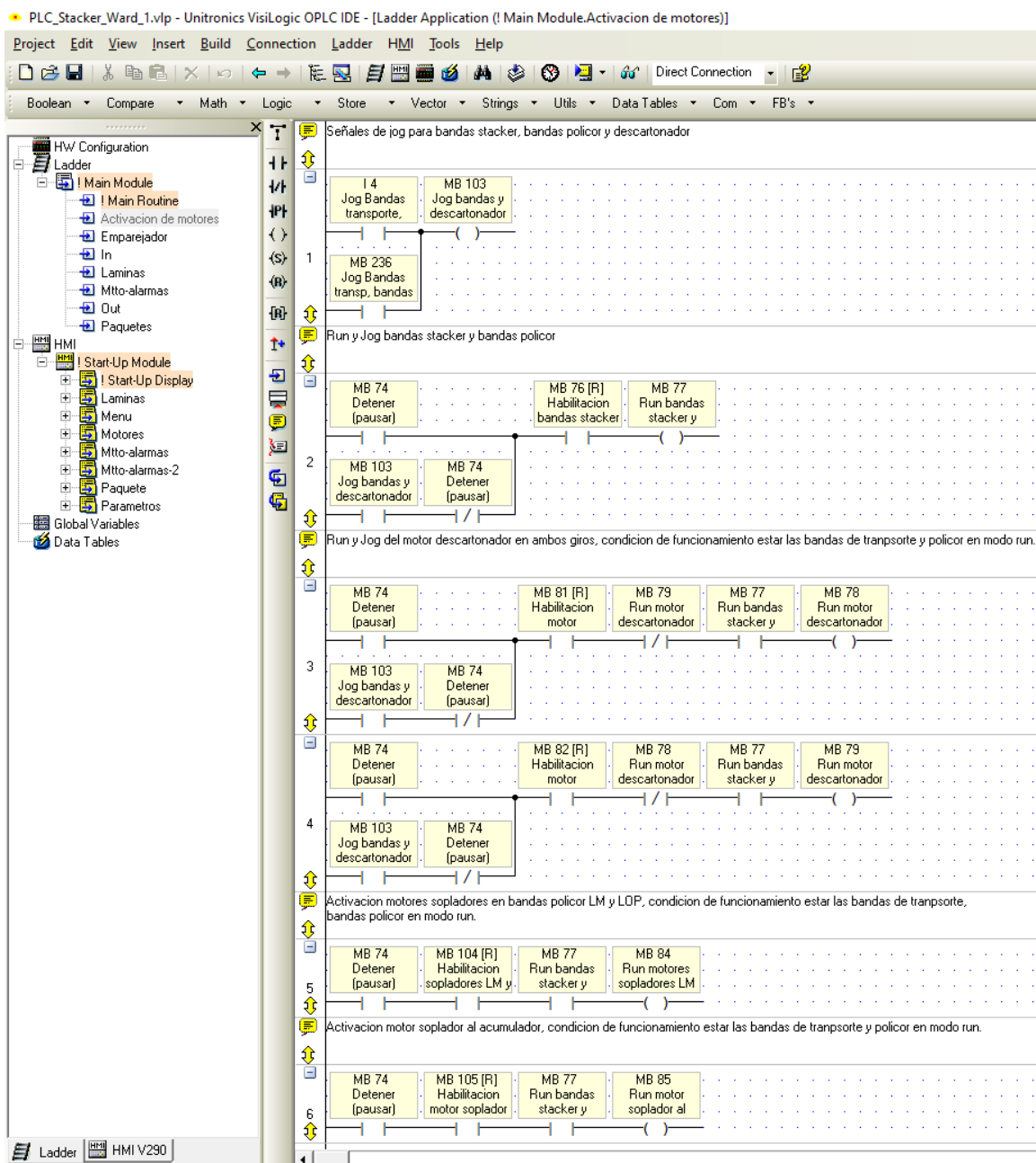


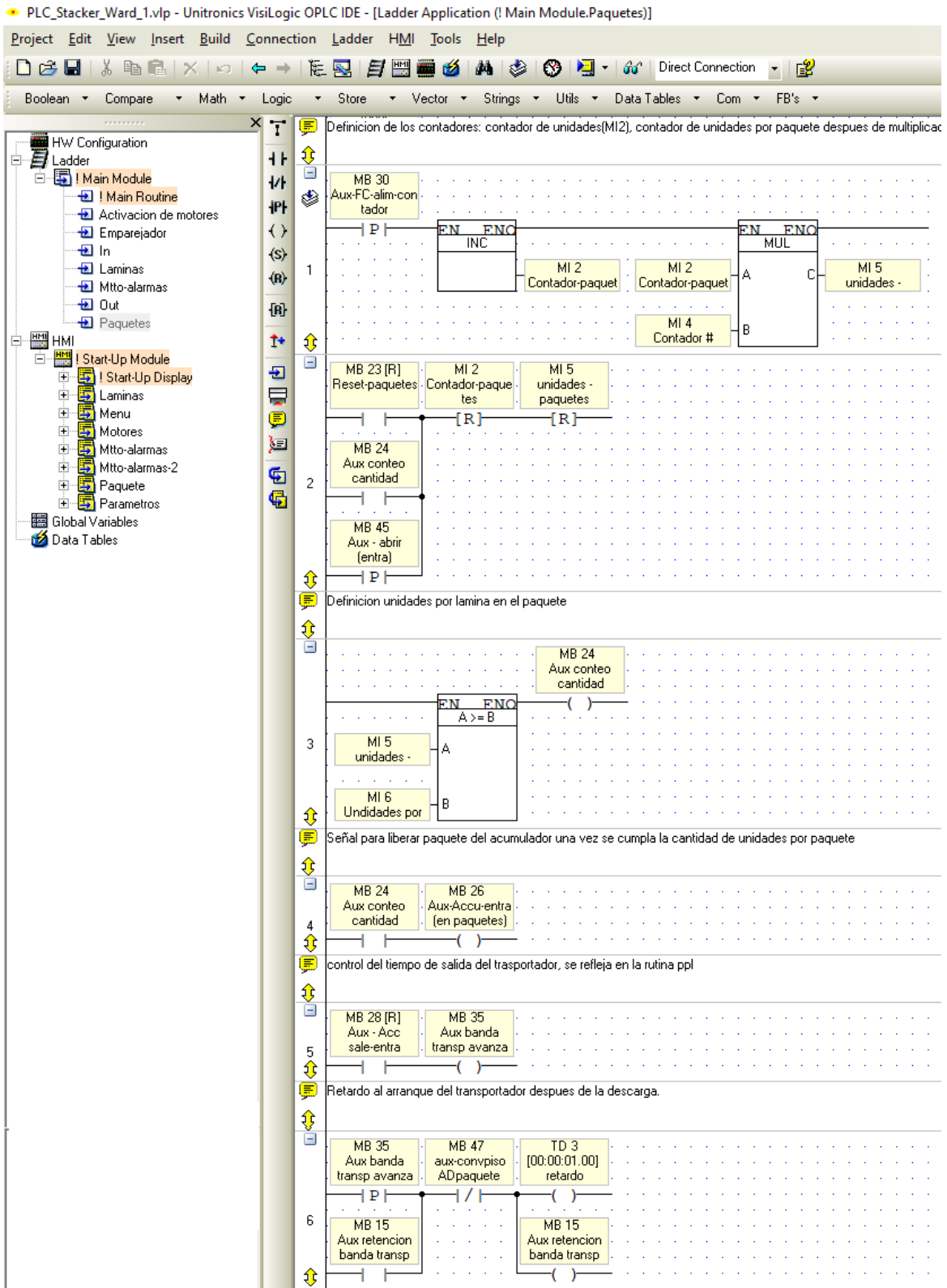
Figura 44. Subrutina activación de motores. Fuente: Elaboración propia.



### *Subrutina paquetes*

Cuando el operario ingresa a la pantalla, interfaz HMI llamada “paquete” (ver figura 55) desde esa misma pantalla se está llamando la subrutina paquetes, esta sección es la encargada de posicionar el stacker en un punto medio, entre la altura máxima que puede alcanzar el Stacker y la altura mínima, el operario no necesitara que el stacker haga algún movimiento de ascenso y descenso. El programa realiza un conteo de láminas a través de un bit de memoria MB 30 que guarda el estado de la entrada I 37 perteneciente a la señal de la fotocelda ubicada en el cuerpo alimentador de la máquina flexográfica Ward\_1.

El conteo es incrementado por un estado lógico de MB 30 obteniendo como salida una memoria de entero MI 2. El operario a través de la pantalla HMI “paquetes” indicara la cantidad de láminas que sale de la Ward\_1 en su sección de troquelado por cada golpe, esta cantidad se almacena en una memoria de entero MI 4 y es multiplicada por MI 2, obteniendo como salida MI 5 donde es comparada con la MI 6 que es la cantidad de láminas que el operario ingreso como requerimiento por paquete. Al obtenerse la cantidad por paquete se obtiene un estado lógico en MB 24, el cual permitirá la descarga del paquete permitiendo accionar el Bit de memoria MB 26 que activara la salida en la rutina principal perteneciente “abrir mordazas” para la liberación del paquete, seguidamente se activa la banda de transporte para evacuar el paquete, apenas es liberado el paquete se resetea el contador y vuelve a cerrasen las “mordazas” para recibir el nuevo paquete, el tiempo de accionamiento de la banda de transporte también es definida por el operario según sea la longitud del paquete, este valor es asignado y almacenado en un temporizador con retardo a la desconexión (TE 0) al cumplirse el tiempo estipulado por el operador la banda deja de funcionar. Esta subrutina es un ciclo cada que se cumpla la cantidad de láminas que el operario requiere por paquete. Dicha subrutina programada para la producción en paquetes en la sección Stacker se muestra en la figura 45.



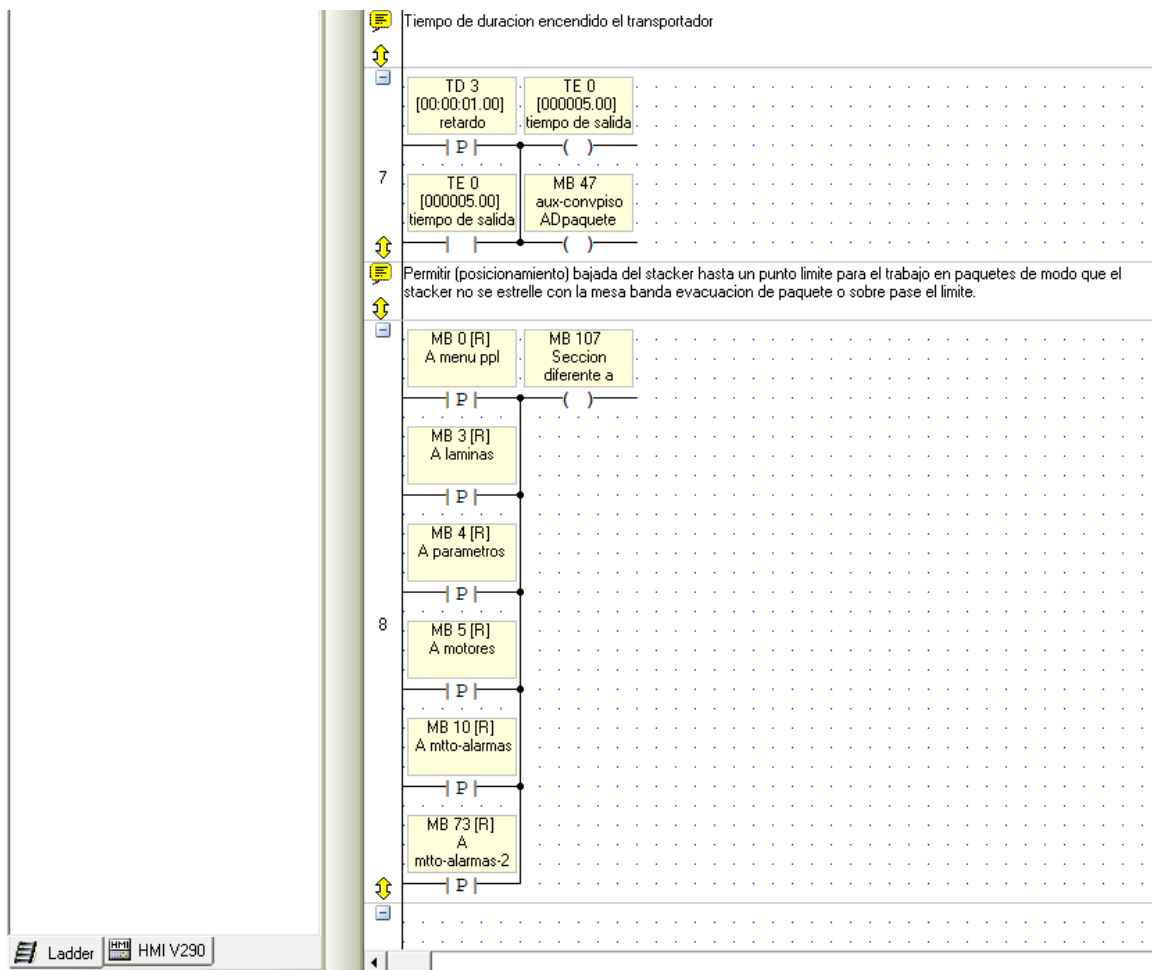


Figura 45. Subrutina paquetes. Fuente: Elaboración propia.

### Subrutina Láminas

Cuando el operario ingresa a la pantalla, interfaz HMI llamada “Láminas” (ver figura 54) desde esa misma pantalla se está llamando la subrutina Láminas, en esta sección el operario necesitara que el stacker realice movimientos de ascenso y descenso. El programa realiza un conteo de láminas a través de un bit de memoria MB 30 que guarda el estado de la entrada I 37 perteneciente a la señal de la fotocelda ubicada en el cuerpo alimentador de la máquina flexográfica Ward\_1.

El conteo es incrementado por un estado lógico de MB 30 obteniendo como salida una memoria de entero MI 3. El operario a través de la pantalla HMI “Láminas” indicará la cantidad

de láminas que requiere en apilamiento sobre la estiba, esta cantidad se almacena en una memoria de entero MI 8 y es comparada con MI 3, al cumplirse la cantidad requerida por el operario se obtiene como salida un bit de memoria MB 29.

Con un estado lógico de MB 29 se activa MB 40 que al retornar a la rutina principal este interrumpe la salida de alimentación de láminas en el cuerpo alimentador de la Ward\_1, el sistema a través del (TE 11) temporizador retardo a la desconexión, espera 5 segundos, al cumplirse este tiempo MB 101 contacto de transición negativo envía un pulso para iniciar la subida del Stacker para la liberación de la estiba con la cantidad de láminas deseadas, con el estado lógico de MB 29 incrementa MI 9 indicando la cantidad de estibas que sea ha producido, el tiempo de interrupción de alimentación es dada por el operario a través de (TE 4), pasado este tiempo la máquina comienza nuevamente alimentar, y las mordazas se cierran para recibir la nueva pila, seguidamente el operario define a través de (TD 9) temporizador con retardo a la conexión, el tiempo que demoraría el Stacker para empezar a descender, pasado el tiempo el Stacker empieza el descenso hasta llegar al Microswiche límite para descarga de la nueva pila, este tiempo de descarga lo define el operario a través de (TD 12) según el auxiliar se demore posicionando la estiba, el Stacker no empezara nuevamente el ascenso hasta no liberarse la descarga. Al cumplirse la cantidad de láminas deseadas por el operario y empieza el ciclo de ascenso y descenso del Stacker entraran sirenas luminosas alertando al personal que este alrededor que el Stacker está a punto de realizar el descenso. El operario o los auxiliares de máquina podrán interrumpir el proceso cuando lo crean necesario en caso de seguridad de este o falencias en el proceso, e iniciar nuevamente con el ciclo. Dicha subrutina se puede ver en la figura 46.

PLC\_Stacker\_Ward\_1.vlp - Unitrionics VisiLogic OPLC IDE - [Ladder Application (! Main Module.Laminas)]

Project Edit View Insert Build Connection Ladder HMI Tools Help

Boolean Compare Math Logic Store Vector Strings Utilis Data Tables Com FB's

SECCION TRABAJO EN PILA (LAMINAS)

Señal de entrada de fotocelda subida automatico del stacker

MB 243 FC-subida stacker AUTO MB 36 [R] FC\_subida auto stacker MB 31 Aux\_FC\_subida auto stacker

Definición del contador de laminas y estibas apiladas

MB 30 Aux-FC-alm-con-tador

MI 3 Contador laminas

Reset del contador de laminas en pila desde Hmi laminas y MB 29 cantidad de laminas producidas igual a lo solicitado por el operador a traves de MI 8

MB 25 [R] Reset contador laminas en pila MI 3 Contador laminas en pila

MB 29 Aux laminas deseadas igual

Se compara MI 3 laminas producidas con MI 8 laminas deseadas por el operador

MI 3 Contador laminas A

MI 8 Laminas B

MB 29 Aux laminas deseadas igual

EN FNC A >= B

Contador de numero de estibas producidas a corde a la cantidad de laminas por pila

MB 29 Aux laminas deseadas igual

MI 9 Contador # de

MB 21 [R] Reset-control produccion MI 9 Contador # de pilas producidas

Se crea un bit de memoria para interrumpir alimentacion y ordenar salida (cierre) de mordazas en el acumulador despues de un tiempo especificado por el operado

MB 29 Aux laminas deseadas igual MB 40 Aux conteo total laminas

Se fija un tiempo de 5 segundos de espera en TE 11 para empezar a subir el stacker para la liberacion de la pila, en este tiempo la ultima lamina de la pila debe estar en el acumulador.

MB 40 Aux conteo total laminas TE 11 [00:00:05.00] Espera de

TE 11 [00:00:05.00] Espera de MB 101 Iniciar subida stacker

Subida del apilador para despejar la estiba al iniciar el timer TE 4 "interrup de aliment" programado por el operador Activando MB 44

MB 101 Iniciar subida stacker TE 4 [00:00:04.00] tiempo interrup

TE 4 [00:00:04.00] tiempo interrup MB 44 Aux-intrup-alm y tiempo subida

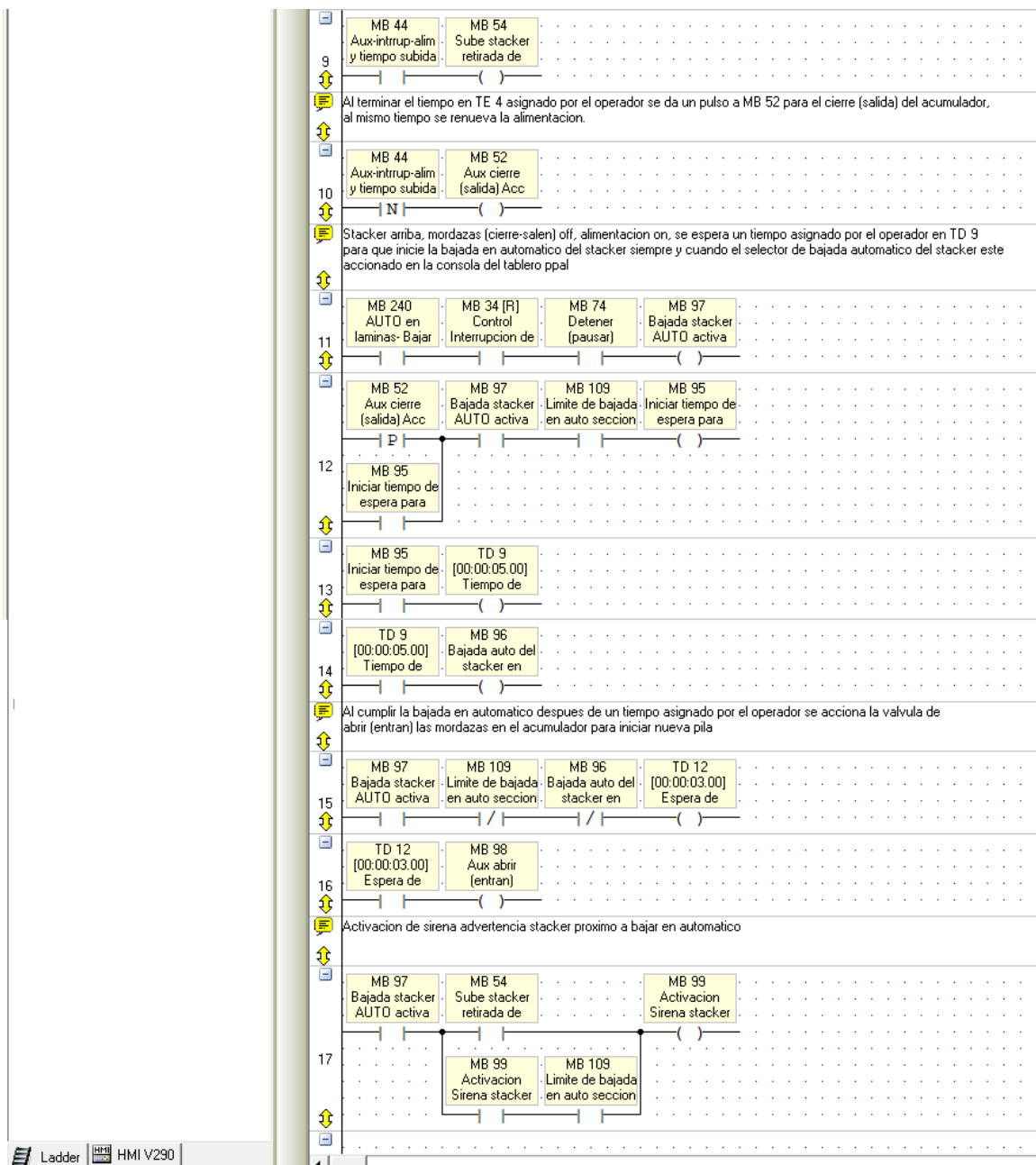


Figura 46. Subrutina Láminas. Fuente: Elaboración propia.

### Subrutina Emparejador

La subrutina emparejador de la figura 47 es llamada desde la rutina principal main routine, en cualquiera de los procesos en producción; sea en sección trabajo en paquetes o en sección trabajo en láminas siempre y cuando el operario la active en la interfaz de láminas o de parámetros. Esto

con el objetivo que el apilamiento en láminas y en paquetes sea parejo a través de dos cilindros neumáticos con retorno por resorte. A los 50 milisegundos de dar iniciar se activa el emparejador 30 milisegundos a través de TD 6 para emparejar, pasados los 30 milisegundos el sistema retorna nuevamente, el tiempo de espera para activar de nuevo el accionamiento es asignada por el operador a través del TD 7. Este proceso es un ciclo hasta que el operario lo desactive.

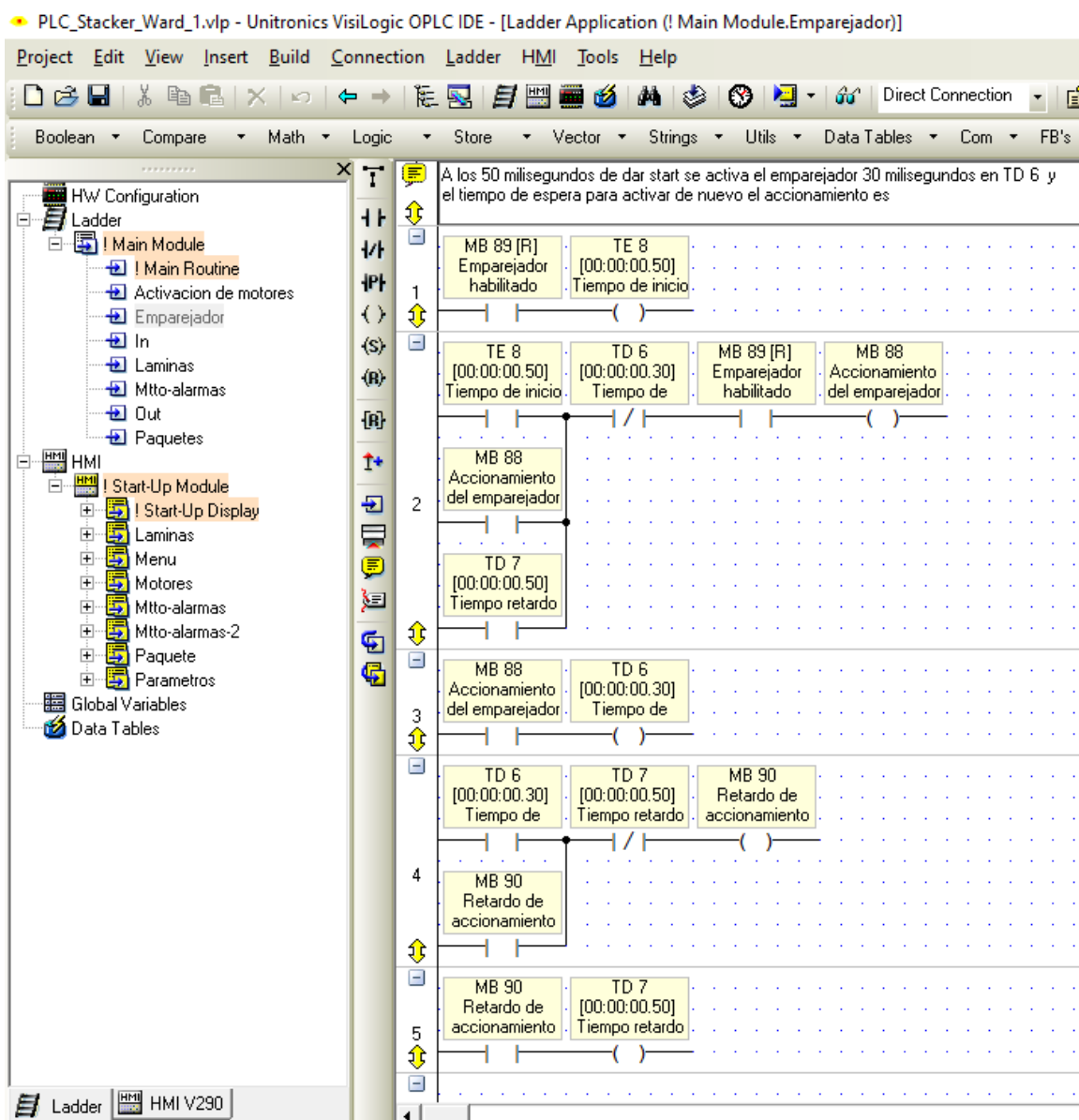


Figura 47. Subrutina Emparejador. Fuente: Elaboración propia.

### *Rutina principal Main Routine*

En el navegador del proyecto Ladder y sobre Main Module se encuentra la rutina principal Main Routine esta es la que se está ejecutando siempre durante el proceso y a través de ella se invocan las otras subrutinas cuando se requieran para ejecutar un respectivo proceso cuando sea necesario.

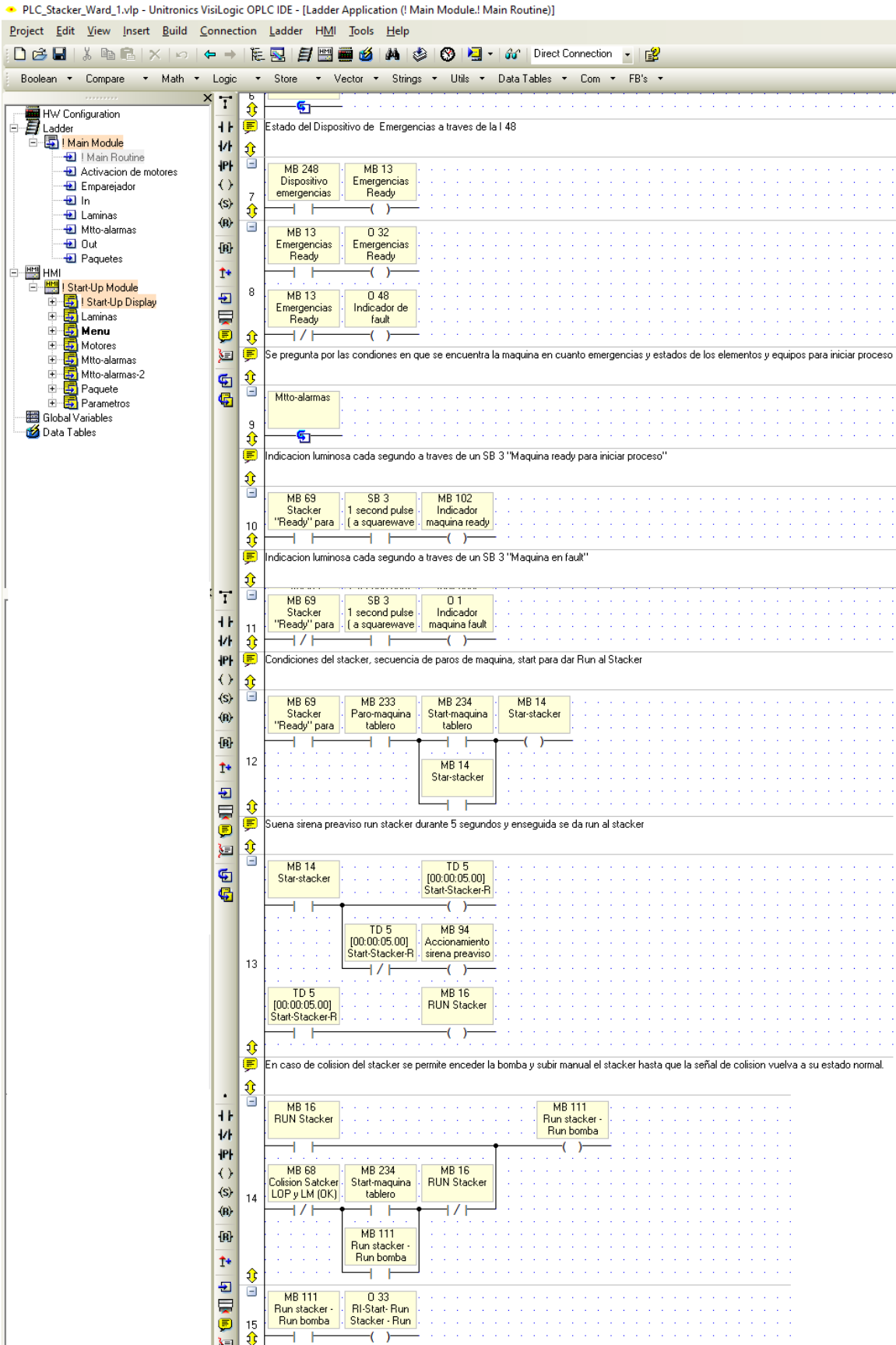
Inicialmente en esta rutina principal se verifica el estado de la entrada I 48 del dispositivo de emergencias almacenada en la MB 248 desde modulo EX-RC1, seguidamente se invoca la subrutina de Mtto- alarmas para verificar el estado de los equipos y dispositivos de la máquina, la subrutina Mtto-alarmas retorna un bit de memoria MB 69 indicando que el stacker está en condiciones para iniciar proceso, en caso contrario se activará una alarma de default, cuyas alarmas y fallas se podrán visualizar desde la interfaz HMI llamada “Mtto-alarmas y Mtto-alarmas 2”, (ver figuras 52).

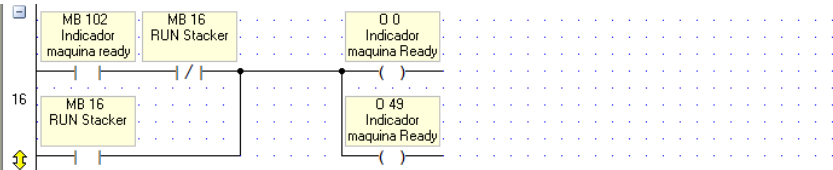
Al encontrarse el Stacker en condiciones se da run a través de la entrada I 34 almacenada en un bit de memoria MB 234 desde el EX-RC1, el sistema sacará una alerta a través de una bocina luminosa por 5 segundos, seguidamente entrará el Stacker en modo RUN, habilitando la señal de aire para la máquina y habilitando el funcionamiento del motor de la bomba hidráulica, continuamente se invocara la subrutina activación de motores donde el operario podrá ingresar a la interfaz HMI llamada “motores” y desde allí habilitar los motores que desee según la sección a trabajar; paquetes o láminas, dependiendo de la sección seleccionada en la interfaz HMI estará invocando la subrutina correspondiente a la sección que se desea trabajar, cada una de estas subrutinas retornará los estados de cada activación a través de un bit de memoria a la rutina principal desde allí se habilitarán las salidas correspondientes, siempre y cuando otras variables no estén influyendo en el proceso.

En esta rutina principal también se está controlando el control de producción por cada

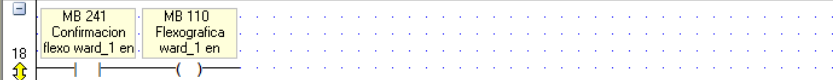


pedido y un totalizador en general de la cantidad de láminas producidas por turno, en el control de producción el operario indicará cuantas láminas deberá producir según el pedido, esta variable se registra en la MI 7 y es comparada con la MI 1 que es la que registra el control de producción, al completarse la cantidad de láminas requeridas por el operario según el pedido, se activa en un estado lógico el bit de memoria MB 22, este bit se encargara de accionar la salida para interrumpir la alimentación indicando que la cantidad de láminas por el pedido requerido ya ha terminado, el operario podrá ingresar la cantidad de láminas defectuosas y recuperarlas anexándolas al total del control de producción. La rutina principal se muestra en la figura 48.





Se confirma señal en modo run impresora flexografica ward\_1

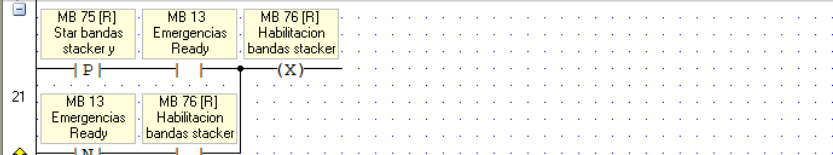


Permitir habilitar o deshabilitar motores, variadores y sopladores en display (motores), el operario seleccionara lo que desee habilitar, en caso de accionamiento de emergencia todos los estados se deshabilitaran.

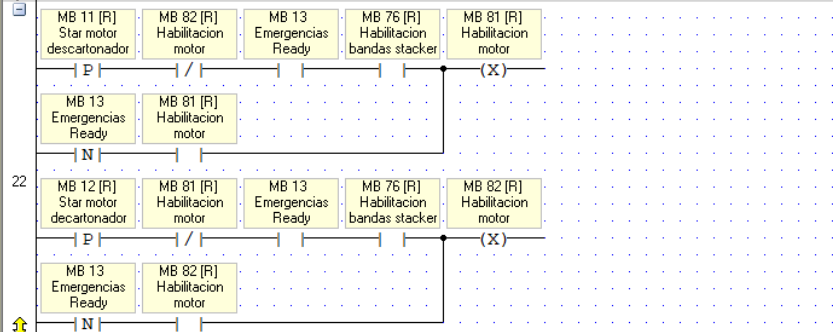
Interrupcion funcionamiento de motores (pausados)



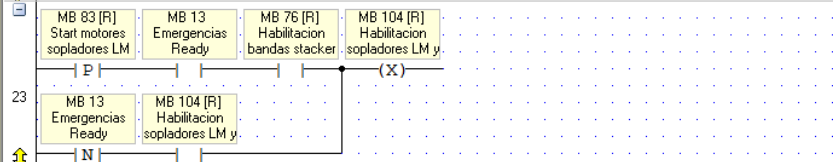
Habilitar o deshabilitar bandas del stacker y bandas policor



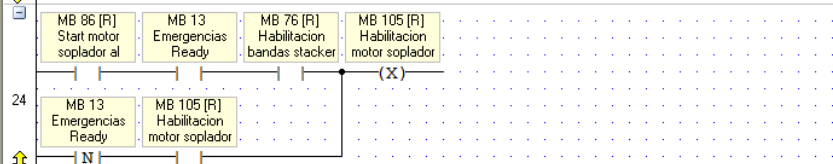
Habilitacion motor descartador derecha o izquierda

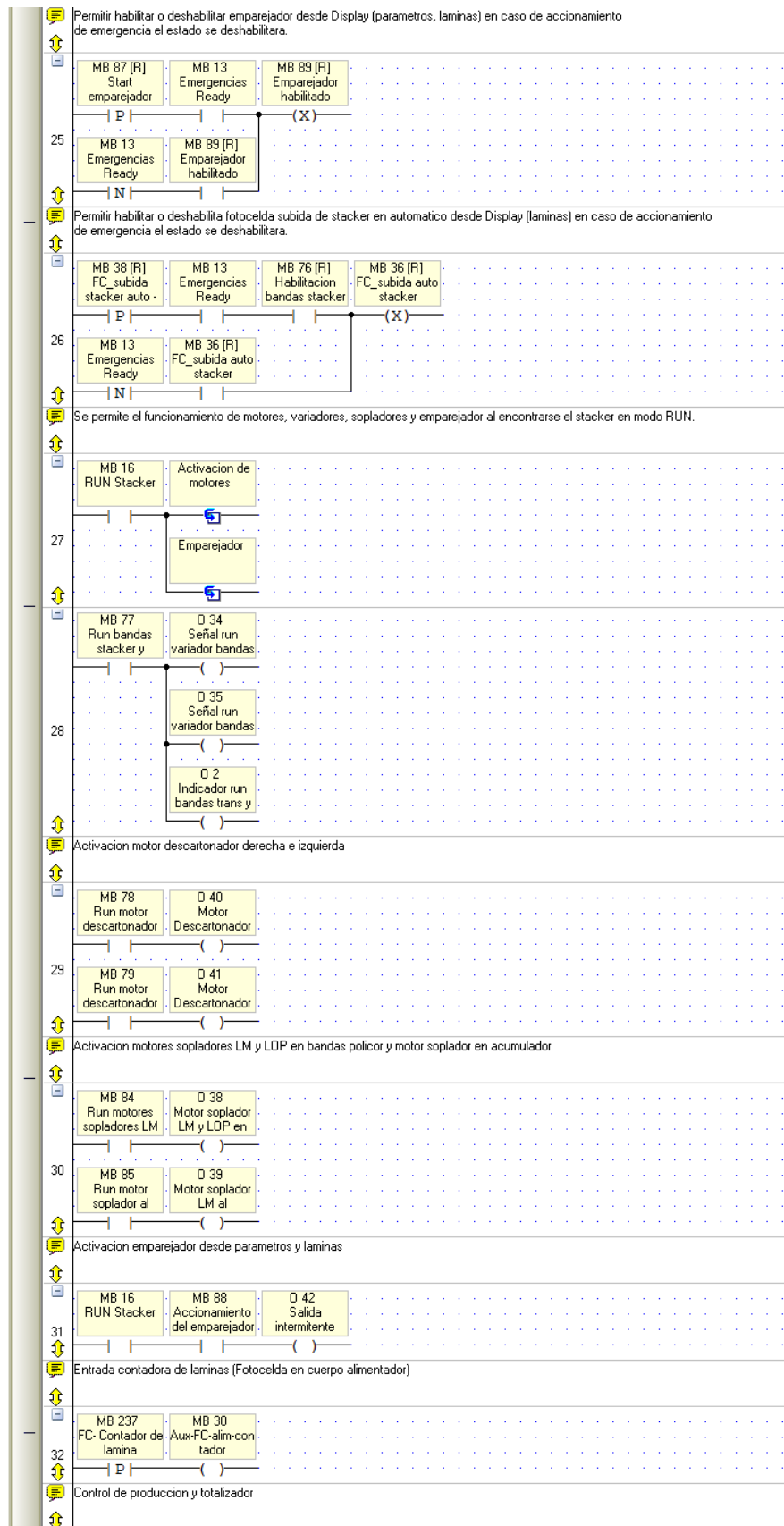


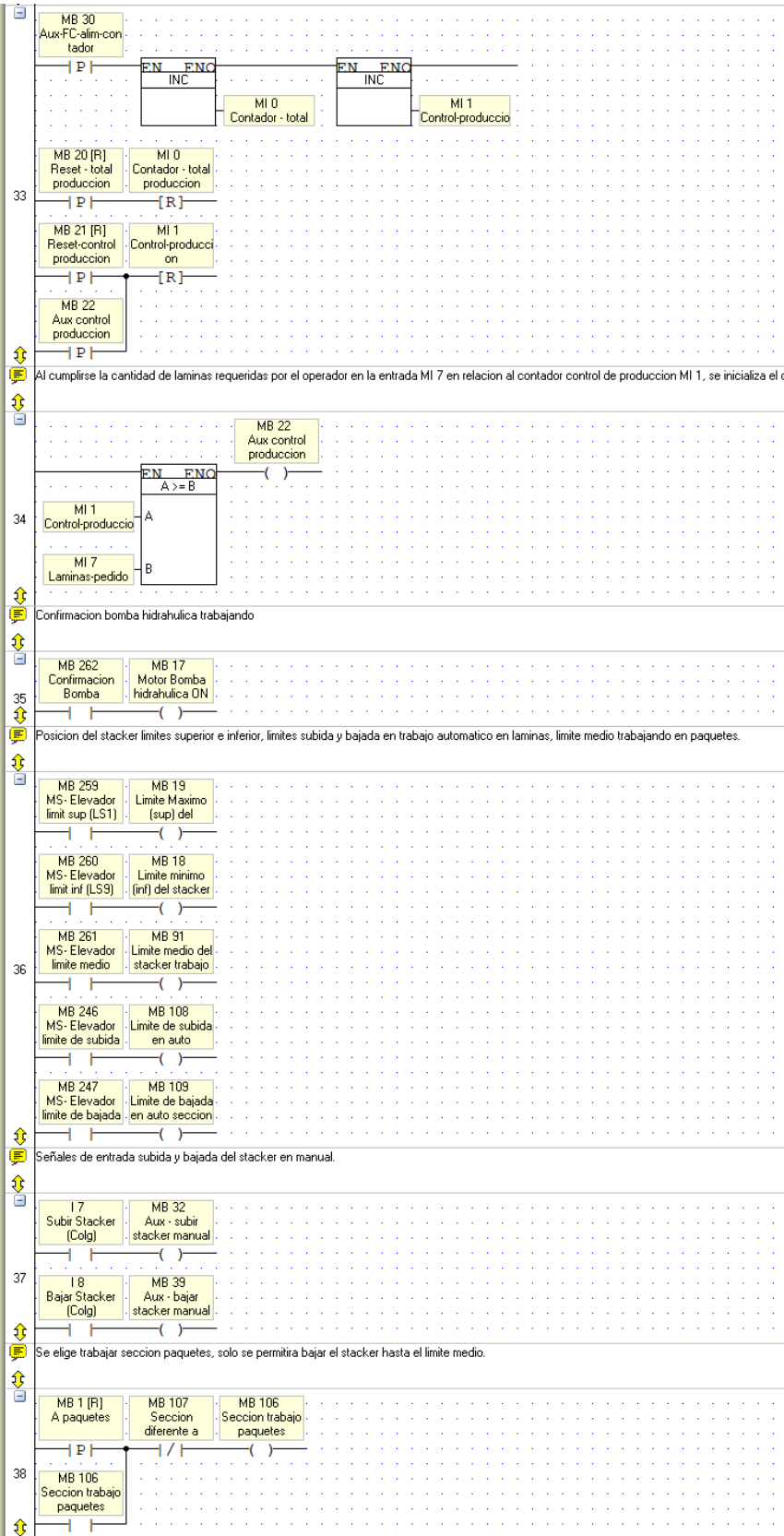
Habilitacion motores sopladores en bandas policor LM y LOP

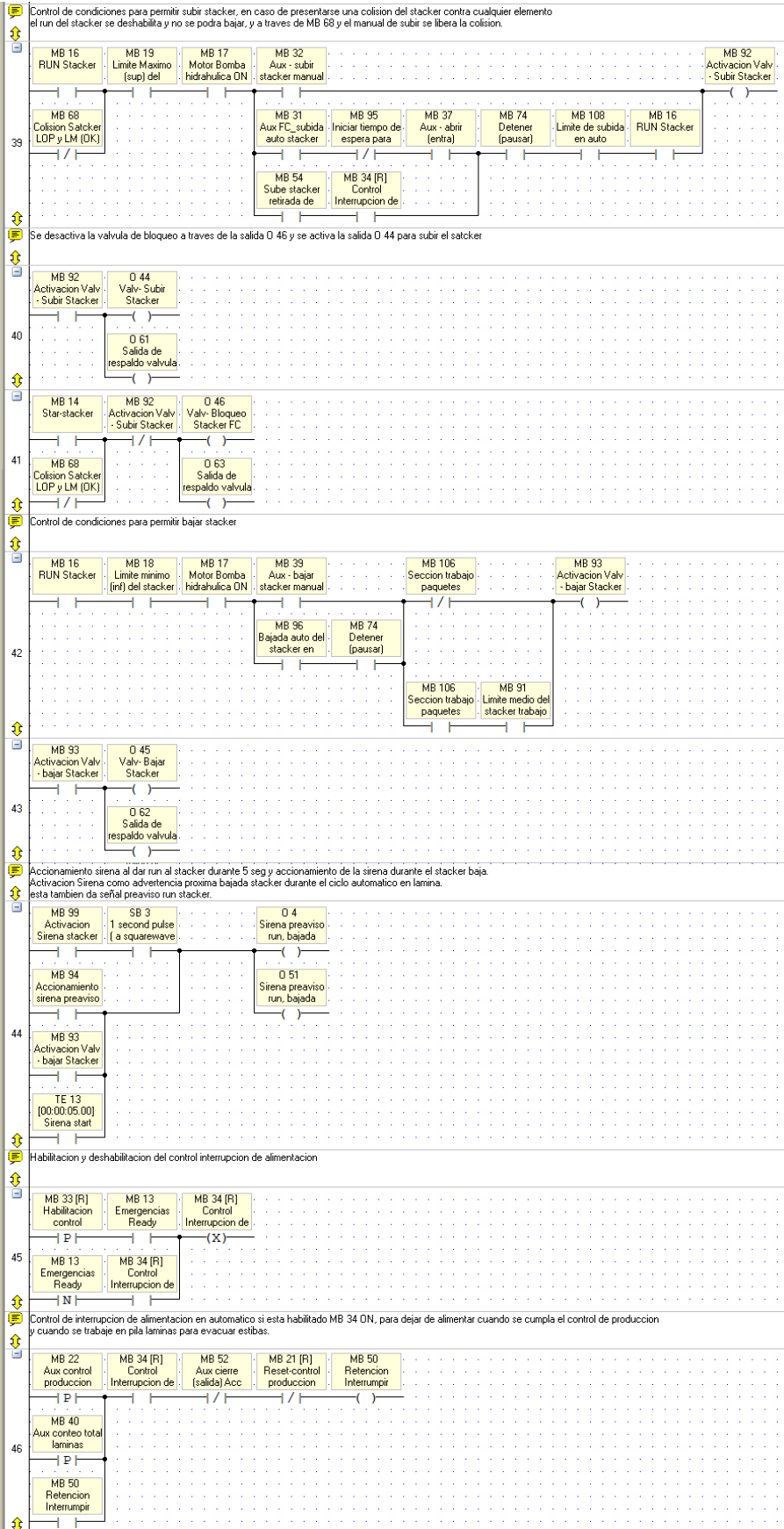


Activacion motor soplador al acumulador









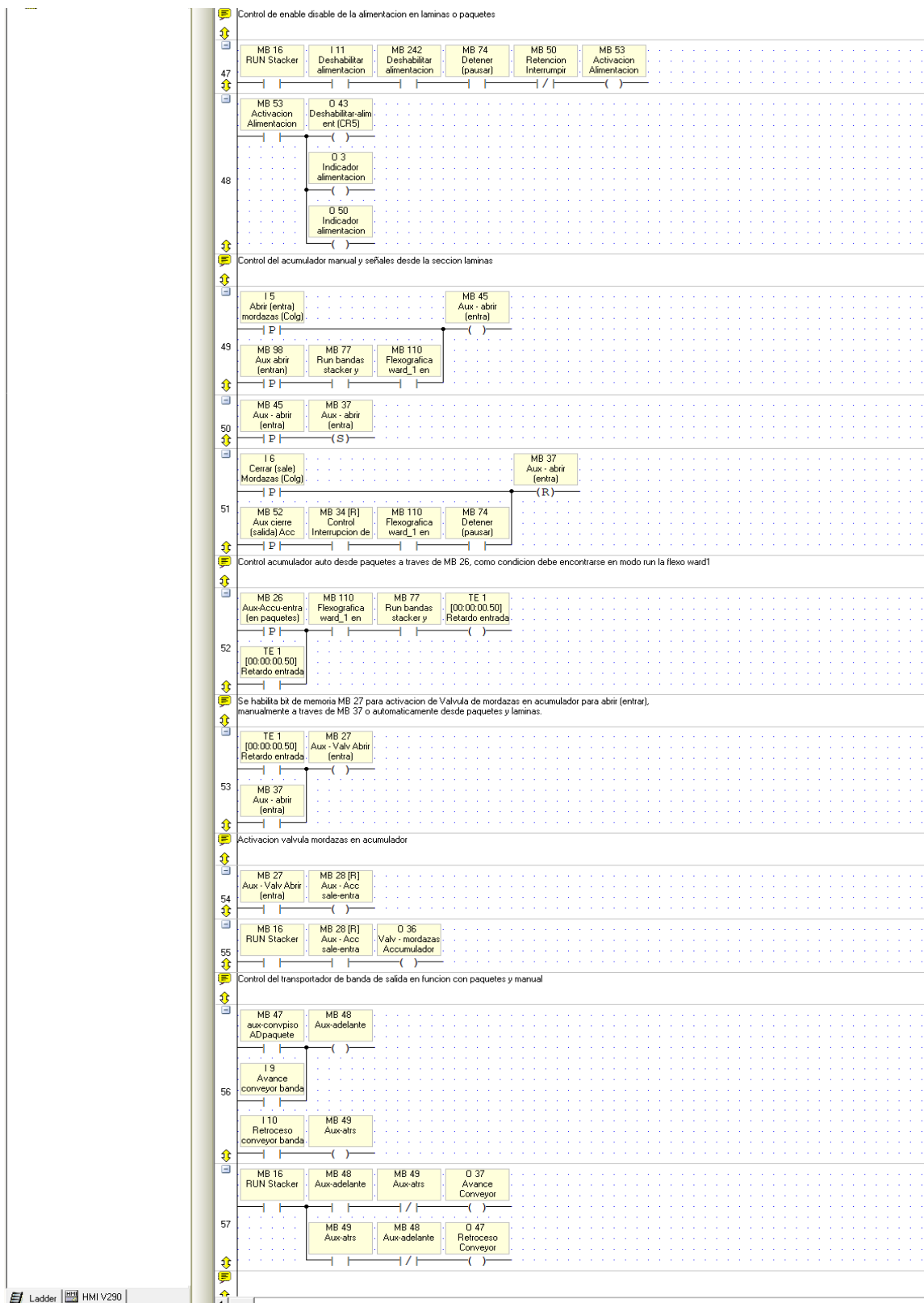


Figura 48. Rutina principal Main Routine. Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes imágenes pertenecen a las interfaces que se elaboraron para que el operario esté interactuando con ellas constantemente en el proceso. Al presentarse una combinación entre visualización y control de los procesos, se facilita al operario y al personal de mantenimiento la identificación de averías y fallas en la máquina, y el control sobre los equipos para cada trabajo de sección; paquetes o en láminas, en la figura 49 se muestra en el navegador principal las ventanas e interfaces HMI creadas para el usuario.

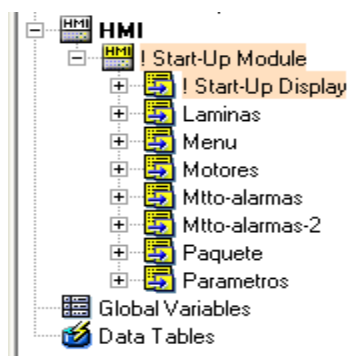


Figura 49. Pantallas HMI creadas. Fuente: Elaboración propia.

#### *Pantalla HMI; Start-up Display*

En la figura 50 se muestra la pantalla principal cuando el equipo (OPLC V290) es energizado, contiene un icono y el nombre del Stacker, nombre de la empresa y la hora. Para pasar a la siguiente pantalla “Menú” el operario deberá tocar el icono del Stacker.



Figura 50. Pantalla principal al energizar el OPLC V290. Fuente: Elaboración propia.



### Pantalla HMI; Menú

La figura 51 corresponde a la pantalla Menú donde el operario, puede interactuar con todas pantallas creadas, o devolverse a través del botón Propac a la pantalla principal.

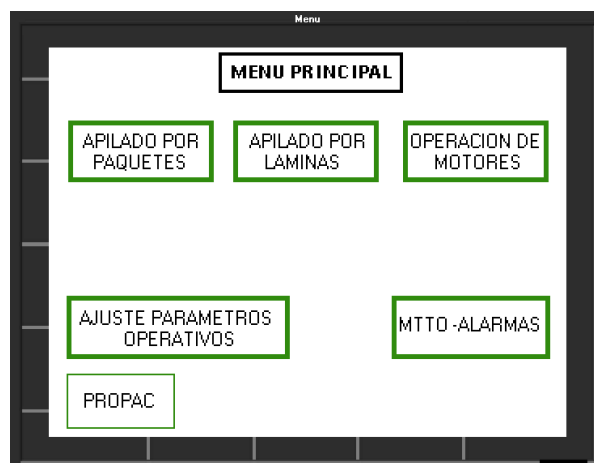


Figura 51. Pantalla Menú principal. Fuente: Elaboración propia.

### Pantalla HMI; Mtto-alarmas y Mtto-alarmas-2

El operario o el personal de mantenimiento al tocar el botón MTTO-ALARMAS en la pantalla Menú, los direcciona a las pantallas de la figura 52, las cuales permiten ver el estado de averías y alarmas correspondientes a los equipos del Stacker, si se presenta alguna avería se reflejará como “FAULT” de lo contrario el estado de la alarma o equipo se mantendrá en “OK”.

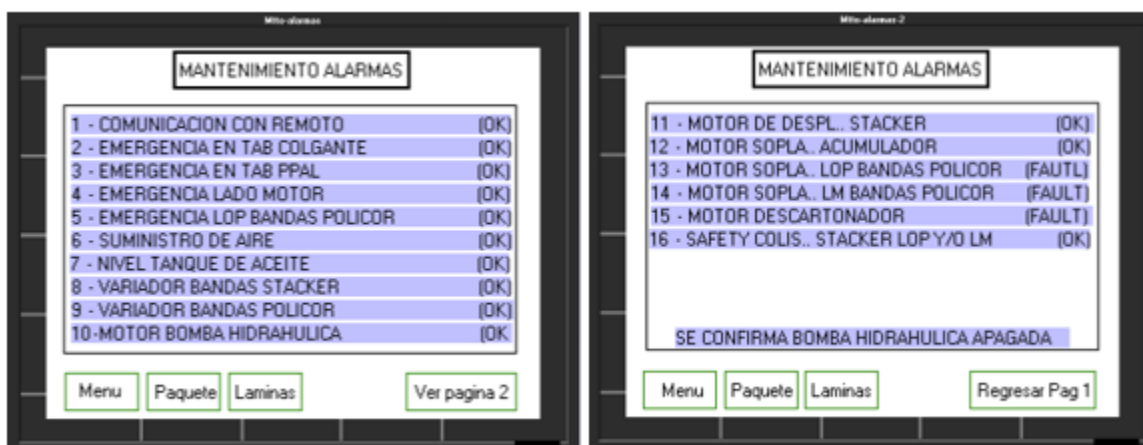
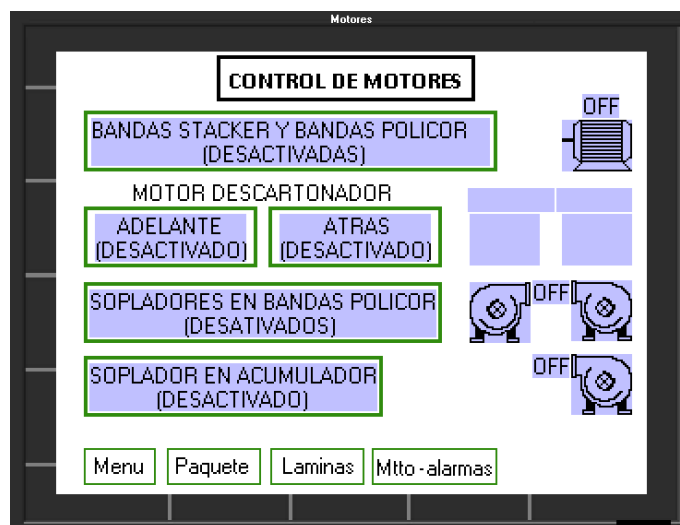


Figura 52. Pantallas Mantenimientos Alarmas. Fuente: Elaboración propia.

### *Pantalla HMI; Motores*

El operario al tocar el botón OPERACIÓN DE MOTORES en la pantalla Menú, lo direcciona a la pantalla de la figura 53, el operario podrá activar los motores apenas el Stacker este en RUN, como secuencia el operario deberá habilitar los motores bandas Stacker y bandas policor para que cualquiera de los otros motores se deje habilitar.



*Figura 53. Pantalla Control de Motores. Fuente: Elaboración propia.*

### *Pantalla HMI; Láminas*

El operario al tocar el botón APILADO POR LÁMINA en la pantalla Menú, lo direcciona a la pantalla de la figura 54, el operario selecciona esta pantalla cuando la sección de trabajo requiere que el stacker realice un movimiento de ascenso y descenso, el pedido a producir corresponde en apilado de lámina en estiba. En la pantalla se ingresará las unidades por pila y el total de láminas que se requiere en el pedido.

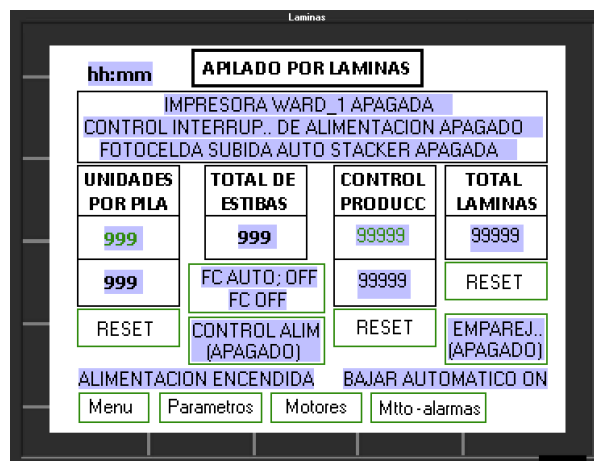


Figura 54. Pantalla Apilado por láminas. Fuente: Elaboración propia.

### Pantalla HMI; Paquete

El operario al tocar el botón APILADO POR PAQUETES en la pantalla Menú, lo direcciona a la pantalla de la figura 55, el operario selecciona esta pantalla cuando la sección de trabajo y el pedido a producir corresponde en apilado por paquetes, el cual solo se necesita que el Stacker se posicione en un punto medio, y se realicen descargas por paquete sobre la banda de transporte. En la pantalla se ingresará las unidades por paquete, unidades por golpe en el cuerpo para troquelar y el total de láminas que se requiere en el pedido.

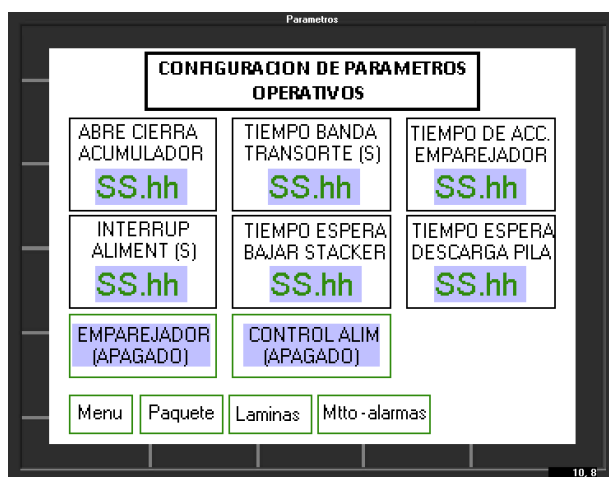


Figura 55. Pantalla Apilado por paquetes. Fuente: Elaboración propia.

### *Pantalla HMI; Parámetros*

El operario al tocar el botón AJUSTE PARÁMETROS OPERATIVOS en la pantalla Menú, lo direcciona a la pantalla de la figura 56, en esta pantalla se ingresan los parámetros acordes a la sección de trabajo; Apilado por paquetes o Apilado por láminas, se tiene el tiempo en que permanecerán las mordazas sin salir a recibir el paquete, un tiempo de run de la banda de transporte acorde a la longitud del paquete para ser evacuado, el ciclo de accionamiento del emparejador para el trabajo en láminas, el tiempo de interrupción de alimentación que el operario desea dejar de alimentar a penas se esté liberando la estiba en trabajo en láminas y por ultimo un tiempo de espera para realizar la descarga de la nueva pila y empezar de nuevo el apilamiento de láminas por estiba.

También el operario puede activar el funcionamiento del emparejador y habilitar el control de alimentación de esta pantalla para que se interrumpa la alimentación apenas se cumpla la cantidad de láminas por pila y el control de producción de láminas por pedido.



*Figura 56. Pantalla Configuración de parámetros operativos. Fuente: Elaboración propia.*

### 7.2.7 Implementación del sistema en el Stacker.

Para la implementación de este nuevo sistema, y dando cumplimiento al objetivo de este proyecto, se interviene la sección de Stacker de la máquina impresora flexográfica Ward\_1 modernizando el sistema de control eléctrico. Como se puede ver en la figura 57, el tablero de control eléctrico que tenía esta máquina se desmontó completamente hasta obtener el tablero con el espacio requerido para implementar el nuevo sistema de control.

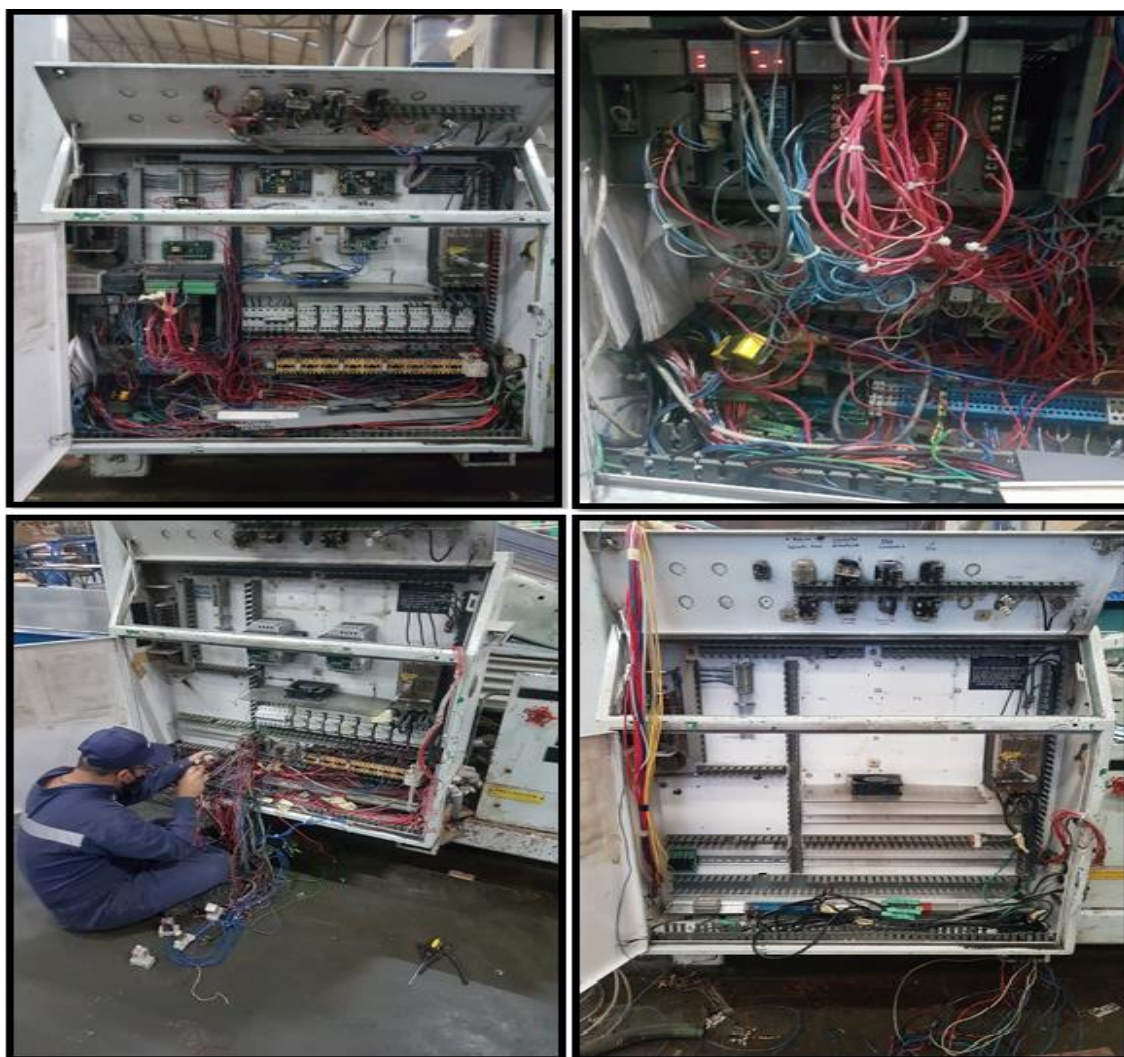


Figura 57. Desmontaje antiguo sistema control eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Al tener el sistema de control eléctrico antiguo desmontado se procedió a realizar el montaje del nuevo sistema como se observa en la figura 58. Se ubican los nuevos elementos y dispositivos requeridos en los puntos específicos de la máquina y en el tablero, cada uno con sus respectivas conexiones eléctricas siguiendo una lógica de cableado a través de los planos eléctricos elaborados acorde al nuevo sistema de programación en el OPLC V290 para el funcionamiento del Stacker.



Figura 58. Montaje nuevo sistema de control eléctrico. Fuente: Elaboración propia.

Las hojas de datos de los dispositivos, cotizaciones de equipos y elementos utilizados, como el nuevo diseño de los planos eléctricos pertenecientes al Stacker de la máquina flexográfica Ward\_1, se pueden ver a través de los links que se encuentran en la sección de anexos.

Una vez implementado el control eléctrico se procede con la descarga de los dos programas tanto en el PLC V290 como en el módulo EX-RC1, como se ve en la figura 59, se observa cómo se logra establecer comunicación con los dos dispositivos y se procede con la descarga en cada uno de ellos con su respectivo programa.



Figura 59. Comunicación y descarga de programas en los dispositivos OPLC V290 y EX-RC1. Fuente: Elaboración propia.

Al tener los programas en cada uno de los dispositivos, como se indica en la figura 60, se procede a realizar los chequeos y ajustes pertinentes tanto en el programa, como en el control eléctrico de la máquina, se empezó a dar movimiento paso a paso a la máquina y a través del programa en línea se chequeo la funcionalidad del programa y la lógica programada sobre ella, logrando obtener un funcionamiento óptimo y deseado que era el objetivo primordial de este proyecto.



Figura 60. Ajustes y chequeos pertinentes. Fuente: Elaboración propia.



### 7.3 OEE en la sección Stacker de la máquina Ward\_1

Finalmente, para evaluar la eficiencia del Stacker con el nuevo sistema, se realizó un estudio y un análisis comparativo donde se evidenció la eficiencia de esta sección por cada turno de producción de 8 horas, tanto en el proceso operativo, como en mantenimiento preventivo y correctivo eléctrico, implementando el OEE (Eficiencia General de los Equipos), indicador que mide la eficacia de la maquinaria industrial en disponibilidad, eficiencia y calidad, y que se utiliza como una herramienta clave dentro de la cultura de mejora continua.

El OEE dentro de la industria Propac S.A. se mide todos los días y por cada turno correspondiente a 8 horas, en cada una de sus maquinarias a través de la siguiente fórmula:

$$OEE = \%DISPONIBILIDAD * \%EFICIENCIA * \%CALIDAD$$

#### *Disponibilidad*

Mide las pérdidas del equipo debido a paros programados o no programados.

$$Disponibilidad = \frac{Tiempo\ disponible - Tiempo\ improductivo\ o\ paros}{Tiempo\ disponible} * (100\ \%)$$

#### *Eficiencia*

Mide las pérdidas causadas por el mal funcionamiento del equipo mientras produce unidades, pequeñas paradas, o micro paradas, las causadas por el no funcionamiento a la velocidad requerida.

$$Eficiencia = \frac{Unidades\ reales}{Tiempo\ efectivo\ o\ sin\ paros * velocidad\ standar} * (100\%)$$

### Calidad

Es el porcentaje de la producción total que se produce sin defectos.

$$Calidad = \frac{Unidades\ totales - unidades\ de\ producto\ no\ conforme}{Unidades\ totales} * (100\%)$$

El valor obtenido en el indicador OEE tiene una valoración cualitativa, esta valoración se puede ver en la tabla 8.

Tabla 8. Interpretación del OEE.

OEE	Valoración	Descripción
0% – 64%	Deficiente (Inaceptable).	Se producen importantes pérdidas económicas. Existe muy baja competitividad.
65% – 74%	Regular.	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora. Se producen pérdidas económicas. Existe baja competitividad.
75% – 84%	Aceptable.	Debe continuar la mejora para alcanzar una buena valoración. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.
85% – 94%	Buena.	Entra en valores de Clase Mundial. Buena competitividad.
95% – 100%	Excelente.	Valores de Clase Mundial. Alta competitividad.

Fuente: (López, 2019)

### Antes de la implementación del nuevo sistema

Al evaluar el OEE de un turno en la máquina flexográfica Ward\_1 en su sección del Stacker,

a través de la información de la tabla 9, brindado por el área de producción de la compañía antes de que se implementara el nuevo sistema en la máquina, se tiene que la meta es  $15000m^2$  en un turno de 8 horas, equivalente a  $1875m^2/hora$ .

Se calculó la disponibilidad de la máquina en 8 horas y, como indica la tabla 9, la máquina tuvo un tiempo muerto de 123 minutos equivalente a 2.05 horas, y al aplicar la fórmula se obtiene que la disponibilidad fue del 74.4%.

$$Disponibilidad = \frac{8 \text{ horas} - 2.05 \text{ horas}}{8 \text{ horas}} * (100 \%) = 74.4\%$$

Al calcular la eficiencia, los  $m^2$  reales producidos en el turno de 2 a 10 pm fueron  $9650m^2$ , el tiempo efectivo fue 5.95 horas, la velocidad estándar es  $1875m^2/hora$ , y al aplicar la fórmula se obtiene que la eficiencia fue del 86.5%.

$$Eficiencia = \frac{9650m^2}{5.95 \text{ hora} * \frac{1875m^2}{hora}} * (100\%) = 86.5\%$$

Por último, se calculó la calidad, el total de  $m^2$  fueron  $9650m^2$  y  $21m^2$  de producto no conforme, al aplicar la fórmula se obtiene que la calidad de producción fue del 99.8%.

$$Calidad = \frac{9650m^2 - 21m^2}{9650m^2} * (100\%) = 99.8\%$$

Al aplicar la fórmula general se obtiene que el OEE de la máquina impresora flexográfica

en su sección Stacker fue del 64.2% durante el turno de 8 horas.

$$OEE = \%DISPONIBILIDAD * \%EFICIENCIA * \%CALIDAD$$

$$OEE = 0.744 * 0.865 * 0.998 = 64.2\%$$

Tabla 9. Reporte rendimiento maquinaria antes de la implementación Propac S.A.

<b>REPORTE CONVERSIÓN (EMPACOR -PROPAC S.A)</b>									
<b>T1 = TURNO (6 am - 2 pm)</b>					<b>DES = Desperdicio en m<sup>2</sup> por turno.</b>				
<b>T2 = TURNO (2 pm - 10 pm)</b>					<b>DES/DÍA = Total m<sup>2</sup> en el día.</b>				
<b>T3 = TURNO (10 pm - 6 am)</b>									
<b>MÁQ.</b>	<b>m<sup>2</sup> META</b>	<b>m<sup>2</sup>/T3</b>	<b>DES</b>	<b>m<sup>2</sup>/T1</b>	<b>DES</b>	<b>m<sup>2</sup>/T2</b>	<b>DES</b>	<b>m<sup>2</sup>/DÍA</b>	<b>m<sup>2</sup> DES/ DÍA</b>
<b>WARD1</b>	<b>15,000</b>	<b>5,786</b>	<b>10</b>	<b>25,627</b>	<b>7</b>	<b>9,650</b>	<b>4</b>	<b>41,063</b>	<b>21</b>
<b>PAROS INACTIVOS DE MÁQUINA REPORTE ÚLTIMO TURNO (T2)</b>									
35 minutos ----- Se taquea filtro de la bomba hidráulica del Stacker.									
88 minutos ----- Se revienta cadena de sujeción de covers en bandas del Stacker.									
TOTAL: 123 minutos.									
<b>FECHA: 2-NOV-2020</b>									

Fuente: Elaboración propia.

*Después de la implementación del nuevo sistema*

Al evaluar el OEE de un turno en la máquina flexográfica Ward\_1 en su sección del Stacker,

a través de la información de la tabla 10, indicador brindado por el área de producción de la compañía después de que se implementó el nuevo sistema en la máquina, se tiene que la meta es  $15000m^2$  en un turno de 8 horas, equivalente a  $1875m^2/hora$ .

Si se calcula la disponibilidad de la máquina, se obtiene que el tiempo disponible de la máquina son 8 horas y, como indica la tabla 10, la máquina tuvo un tiempo muerto de 20 minutos equivalente a 0.33 horas. Al aplicar la fórmula se obtiene que la disponibilidad fue del 95.9%.

$$Disponibilidad = \frac{8 \text{ horas} - 0.33 \text{ horas}}{8 \text{ horas}} * (100\%) = 95.9\%$$

Al calcular la eficiencia los  $m^2$  reales producidos en el turno de 2 a 10 pm fueron  $14102m^2$ , el tiempo efectivo fue 7.67 horas, la velocidad estándar es  $1875m^2/hora$ , y al aplicar la fórmula se obtiene que la eficiencia fue del 98.1%.

$$Eficiencia = \frac{14102m^2}{7.67 \text{ hora} * \frac{1875m^2}{\text{hora}}} * (100\%) = 98.1\%$$

Por último, se calculó la calidad, en donde el total de  $m^2$  fue  $20840m^2$ ,  $18m^2$  de producto no conforme, y al aplicar la fórmula se obtiene que la calidad de producción fue del 99.8%.

$$Calidad = \frac{14102m^2 - 18m^2}{14102m^2} * (100\%) = 99.8\%$$

Aplicando la fórmula general se obtiene que el OEE de la máquina impresora flexográfica

en su sección Stacker fue del 94% durante el turno de 8 horas.

$$OEE = \%DISPONIBILIDAD * \%EFICIENCIA * \%CALIDAD$$

$$OEE = 0.959 * 0.981 * 0.999 = 94\%$$

Tabla 10. Reporte rendimiento maquinaria después de la implementación Propac S.A.

<b>REPORTE CONVERSIÓN (EMPACOR -PROPAC S.A)</b>									
<b>T1 = TURNO (6 am - 2 pm)</b>					<b>DES = Desperdicio en m<sup>2</sup> por turno.</b>				
<b>T2 = TURNO (2 pm - 10 pm)</b>					<b>DES/DÍA = Total m<sup>2</sup> en el día.</b>				
<b>T3 = TURNO (10 pm - 6 am)</b>									
	<b>m<sup>2</sup></b>								<b>m<sup>2</sup></b>
<b>MÁQ.</b>	<b>META</b>	<b>m<sup>2</sup>/T3</b>	<b>DES</b>	<b>m<sup>2</sup>/T1</b>	<b>DES</b>	<b>m<sup>2</sup>/T2</b>	<b>DES</b>	<b>m<sup>2</sup>/DÍA</b>	<b>DES/DÍA</b>
	<b>TURNO</b>								<b>DÍA</b>
<b>WARD1</b>	<b>15,000</b>	<b>22,815</b>	<b>6</b>	<b>16,235</b>	<b>9</b>	<b>14,102</b>	<b>3</b>	<b>59,889</b>	<b>18</b>
<b>PAROS INACTIVOS DE MÁQUINA REPORTE ÚLTIMO TURNO (T2)</b>									
20 minutos ----- Problemas con el elevador alarma bajo nivel de aceite.									
TOTAL: 20 minutos.									
<b>FECHA: 9-NOV-2020</b>									

Fuente: Elaboración propia.

La máquina flexográfica Ward\_1 en cuestión de paros de mantenimiento en la parte eléctrica y electrónica no influyeron en los tiempos de paro reportados durante los tres turnos, también se puede notar que en dos turnos la máquina ha superado la meta en  $m^2$  superando los  $15000m^2$  que se requieren producir por cada turno de 8 horas.

Al comparar los OEE de las tablas 9 y 10, se nota una diferencia de un 29,8% en un turno, esto representa y refleja en producción que la máquina se ha adaptado a un óptimo funcionamiento a través de un buen sistema de automatización industrial, logrando reducir tiempos muertos en producción, disminuyendo los mantenimientos correctivos eléctricos y electrónicos, y, además como valor agregado, se mejoró la seguridad de los operarios y las personas que rodean la máquina en el proceso.

## 8. CONCLUSIONES

Con la implementación de este proyecto en la sección del Stacker de la máquina flexográfica Ward\_1, se ha facilitado al operario un buen uso, garantizando así su seguridad y de sus auxiliares durante el proceso de operación, mejorando la producción por encima de un 30%; además, se ha facilitado la realización de los mantenimientos correctivos eléctricos y electrónicos, ante la generación de alguna avería o falla en los dispositivos de la máquina.

El implementar una serie de interfaces de usuario (HMI) hace que la persona que está controlando el proceso centre su atención sobre el proceso escogido, como el apilamiento de paquete o el apilamiento por láminas, optimizando el proceso operativo; permitiendo tomar el control de la máquina ante la habilitación o des habilitación de los diferentes dispositivos y equipos, con una gran facilidad de identificar averías o alarmas, evitando así que se produzcan posibles accidentes en las personas o daños en la máquina.

Con la modernización y actualización en tecnología del sistema de control de automatización de la sección Stacker de la máquina impresora flexográfica Ward\_1, se ha logrado obtener una mejora en cuanto a la calidad del producto, al tiempo de fabricación y el cumplimiento con las normas relacionadas con el medio ambiente, con la seguridad y salud de los trabajadores.

Como proyecto futuro, en la sección Stacker se piensa implementar el protocolo de comunicación Ethernet y los programas adecuados, que se requieren en cualquier PC, para realizar una supervisión de la sección en forma remota, conectando un computador a los puntos de red que se encuentran en los laboratorios de Ingeniería y Automatización Electrónica de la empresa.



## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCCSA. (2008). Corrugando. *Revista Oficial de la Asociación de Corrugadores del caribe, Centro y Sur América.*, <http://pdf.corrugando.com/CORRUGANDO-03.pdf>.
- ACCCSA. (2016). *Asociación de corrugadores del caribe, centro y sur américa*. Obtenido de <http://www.acccsa.org/About>
- Apunte \_PLC R.M.M. (s.f.). *Introducción a los controladores lógicos programables*. Digital I.
- AUTC. (2012). *Soluciones integrales en automatización y comunicación industrial*. Obtenido de *Automatización y control industrial S.A.C.* Obtenido de <http://www.autc.com.pe/index.php/component/content/article/60.html>
- AUTYCOM. (7 de Junio de 2019). *Autycom Innovación Inteligente*. Obtenido de <https://www.autycom.com/plc-siemens-automatas-programables/>
- COPADATA. (s.f.). Obtenido de <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-máquina-copa-data/>
- Delgado, R. (2019). Pasos a seguir para la integración de Sistemas de Automatización Industrial. *Revistadigital INESEM*.
- DIEEEC. (2011). *Controladores Lógicos Programables (PLC)*. UNED.
- Geo. M. Martin Company. (2017-2019). *Geo. M. Martin Company | diseño de Griffin Communications, Inc.* Obtenido de <https://www.geomartin.com/products/main/>
- Gigatecno. (s.f.). *Gigatecno*. Obtenido de <http://gigatecno.blogspot.com/2013/02/ventajas-y-desventajas-de-un-plc.html>
- International Society of Automation. (Julio/Agosto de 2012). *HMI integrado y PLC*. Obtenido de <https://isajobs.isa.org/standards-publications/isa-publications/intech-magazine/2012/august/cover-story-integrated-hmi-plc/>

López, B. S. (4 de Noviembre de 2019). *Eficiencia Global de los Equipos (OEE)*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/eficiencia-global-de-los-equipos-oeef/>

Maquiclick. (s.f.). *Fabricantes de maquinaria Industrial*. Obtenido de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/ventajas-y-desventajas-de-los-plc-controlador-logico-programable/>

POZI-STACK, G. M. (2005). *rotary die cut stacker operator`s manual*. California.

Productora De Papel y Cajas De Carton S.A. (s.f.). *Productora De Papel y Cajas De Carton S.A.*  
Obtenido de <http://www.propac.com.co/compania.htm>

Rengifo, C. E. (2017). *Diseño de un sistema automático para la recolección y organización de láminas en polipropileno provenientes de una troqueladora excéntrica de la empresa Confoplásticos S.A.S.* Santiago de cali.

Rockwell Automation . (Abril de 1996). *Controladores programables PLC-5 clásicos - Allen-Bradley (AB)*. Obtenido de [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um001\\_-es-p.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um001_-es-p.pdf)

SdiNews. (n.d). *Integracion HMI-PLC*.

Unitronics. (s.f.). Obtenido de <https://unitronicsplc.com/>

Vascones, M. A. (2016). *Diseño e implementación de un transelevador automático para almacenamiento de cajas controlado y monitoreado por un sistema SCADA*. Guayaquil.

## 10. ANEXOS

- Planos eléctricos diseñados para el Stacker de la máquina Ward\_1:

[https://drive.google.com/file/d/1AB8Q\\_7LPfmlsct0lNSUifaeibGPn\\_sjQ/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1AB8Q_7LPfmlsct0lNSUifaeibGPn_sjQ/view?usp=sharing)

- Hoja de datos módulo PLC V290-19-B20B:

<https://drive.google.com/file/d/1QBHwUmyDnLMn182TERH8R1UEaR2fLLZo/view?usp=sharing>

- Hoja de datos módulo SNAP V200-18-E2B:

<https://drive.google.com/file/d/1o-2yLobMyxBERBsOD7WdA8ITGnURmtaU/view?usp=sharing>

- Hoja de datos módulo de expansión remoto EX-RC1:

[https://drive.google.com/file/d/1R0nUulutw0uwE46T\\_JP\\_xC6HsFCbLnVV/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1R0nUulutw0uwE46T_JP_xC6HsFCbLnVV/view?usp=sharing)

- Hoja de datos módulos de expansión IO-D16A3-RO16:

[https://drive.google.com/file/d/19XKf9irkomjlcHbNWB3DM\\_TItu8Itp6s/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/19XKf9irkomjlcHbNWB3DM_TItu8Itp6s/view?usp=sharing)

- Cotización Módulos Unitronics:

[https://drive.google.com/file/d/1\\_WXjlZPQsTSMuJG31MS2d4r1N53HMUY9/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1_WXjlZPQsTSMuJG31MS2d4r1N53HMUY9/view?usp=sharing)

- Cotización elementos de montaje:

<https://drive.google.com/file/d/1x3RyerJn22RPCN81jyLYkzhPK3JLdO6w/view?usp=sharing>