



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Máster

CURSO 2016/17

Diseño e implementación de un sistema experto para el control de grúas de elevación de contenedores TEU's

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

ALUMNO

Alejandro Caridad Bouza

TUTOR

Dr. D. Javier Bouza Fernández

FECHA

JULIO 2017

1 TÍTULO Y RESUMEN

Español:

Título: Diseño e Implementación de un sistema experto para el control de grúas de elevación de contenedores TEU's.

Resumen:

En el mundo actual no se entiende el transporte marítimo sin el tráfico de buques portacontenedores, el cual se ha convertido en uno de los de mayor crecimiento en los últimos años, tanto en volumen de carga transportada como en volumen económico. Por lo que existe una necesidad de mejora continua de la logística, y por ello en este trabajo fin de máster se diseña y desarrolla un sistema experto para el control y supervisión de grúas de elevación de contenedores TEU's.

Además, el presente documento justifica la necesidad de una mayor automatización en los sistemas de carga y descarga de los puertos en base a datos de:

- Tráfico en número de contenedores transportados.
- Tráfico de contenedores en flete (\$/TEU). (En este análisis, al igual que en el anterior, solo se considerarán las rutas principales).
- Costes derivados de la estancia en puerto de los buques.

Por último, se muestran los resultados de la implementación y simulación realizada en el Laboratorio de sistemas hidráulicos y neumáticos de la Escuela Politécnica Superior empleando el software TIAPortal v13.

Galego:

Título: Deseño e implementación dun sistema experto para o control de grúas de elevación de contenedores TEU's.

Resumo:

No mundo actual non se entende o transporte marítimo sen o tráfico de buques portacontenedores, o cal se converteu nun dos de maior crecemento nos últimos anos, tanto en volumen de carga transportada como en volumen económico. Polo que existe una necesidade de mellora continua da logística, e por iso que neste traballo fin de máster se diseña e desenvolve un sistema experto para o control e supervisión de guindastres de elevación de contenedores TEU's

Ademais, o presente documento xustifica a necesidade dunha maior automatización nos sistemas de carga e descarga dos portos en base a datos de:

- Tráfico en número de contenedores transportados.
- Tráfico de contenedores en flete (\$/TEU). (Nesta análise, do mesmo xeito que no anterior, só se considerarán as rutas principais).
- Costes derivados da estancia en porto dos buques.

Para rematar, se mostran os resultados da implementación e simulación realizada no Laboratorio de sistemas hidráulicos e neumáticos da Escola Politécnica Superior empregando o software TIAPortal v13.

English:

Title: Design and implementation of an expert system for the control of quay container cranes.

Abstract:

In today's world, shipping is not understood without the traffic of container ships, which has become one of the fastest growing in recent years, both in volume of cargo transported and in economic volume. So there is a need for continuous improvement of logistics, and therefore in this master's degree project is designed and developed an expert system for the control and supervision of TEU's container lift cranes.

In addition, this document justifies the need for greater automation in port loading and unloading systems based on data from:

- Container traffic, in number of containers transported.
- Freight container traffic (\$/TEU) (In this analysis, as in the previous one, only the main routes will be considered).
- Costs derived from the ships' stay in port.

Finally, the results of the implementation and simulation performed in the laboratory of hydraulic and pneumatic systems of the Escuela Politécnica Superior using the software TIAPortal v13.



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
CURSO 2016/17**

Diseño e implementación de un sistema experto para el control de grúas de elevación de contenedores TEU'S

Máster en Ingeniería Naval y Oceánica

Documento

MEMORIA DEL TRABAJO

ÍNDICE

1 TÍTULO Y RESUMEN	2
2 INTRODUCCIÓN	12
3 OBJETIVOS	13
4 PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO	14
4.1 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO	14
5 ANÁLISIS PREVIO Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	19
5.1 REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVAS	19
5.2 ANÁLISIS PREVIO	25
5.2.1 ESTUDIOS DEL TRÁFICO DE CONTENEDORES	25
5.2.2 GRÚAS PORTACONTENEDORES	36
5.3 ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO	53
6 DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO	55
6.1 ESTUDIO DEL PROCESO DE CONTROL	55
6.2 SÍNTESIS: ALGORITMO DE CONTROL	59
6.2.1 SUBPROCESO DE POSICIONAMIENTO INICIAL	62
6.2.2 SUBPROCESO DE POSICIONAMIENTO LONGITUDINAL	63
6.2.3 SUBPROCESO DE AJUSTE DEL SPREADER	64
6.2.4 SUBPROCESO DE POSICIONAMIENTO TRANSVERSAL	65
6.2.5 SUBPROCESO DE DESCENSO/ASCENSO	65
6.2.6 SUBPROCESO DE CIERRE/LIBERACIÓN	66
6.2.7 SUBPROCESO DE FIN DE OPERACIÓN	67
6.2.8 SUBPROGRAMAS	68
6.2.9 CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LAS VARIABLES ANALÓGICAS	69
6.3 CODIFICACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL	70
6.3.1. PROGRAMA PRINCIPAL	70
6.3.2 POSICIONAMIENTO INICIAL	88

6.3.3 POSICIONAMIENTO FINAL	88
6.3.4 REMUNERACIÓN COLUMNAS DE 40 FT A 20 FT	88
6.3.5 REMUNERACIÓN Y AJUSTE COLUMNAS DE 20 FT A 40 FT	89
6.4 SISTEMA SCADA	90
7 IMPLEMENTACIÓN	92
7.1 PLC Y MÓDULOS DE EXPANSIÓN	92
7.1.1 GENERALIDADES	92
7.1.2 ENTRADAS	94
7.1.3 SALIDAS	96
7.1.4 ALIMENTACIÓN	97
7.1.5 CARACTERÍSTICAS DE COMUNICACIÓN	98
7.1.6 AMPLIACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS	98
7.1.7 INSTALACIÓN Y MONTAJE	98
7.1.8 SENSORES	108
8 SCADA DEL CONTROL	114
8.1 GENERALIDADES	114
8.2 ELEMENTOS A CONTROLAR	115
8.3 CONFIGURACIÓN HMI	116
8.4 PANELES HMI	118
8.4.1 PANTALLA DE CONTROL PRINCIPAL	120
8.4.2 PANTALLA DE MANTENIMIENTO	126
9 CONCLUSIONES	127
10. BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXO I: INFORMES	137
ANEXO II: GRAFCET	159

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: ORGANIGRAMA DE METODOLOGÍA DEL TRABAJO FIN DE MASTER	14
ILUSTRACIÓN 2: ORGANIGRAMA DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO	16
ILUSTRACIÓN 3: EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO MUNDIAL DE CONTENEDORES	25
ILUSTRACIÓN 4: RUTAS TRANSPACÍFICAS	26
ILUSTRACIÓN 5. RUTAS ASIA-EUROPA	27
ILUSTRACIÓN 6: RUTAS TRANSATLÁNTICAS	28
ILUSTRACIÓN 7: EVOLUCIÓN DE LA RUTAS	29
ILUSTRACIÓN 8: EVOLUCIÓN DE LOS BUQUES PORTACONTENEDORES	29
ILUSTRACIÓN 9: OFERTA VS DEMANDA	30
ILUSTRACIÓN 10: RUTAS ASIA-EUROPA	31
ILUSTRACIÓN 11: GRÚA PORTACONTENEDORES	36
ILUSTRACIÓN 12: EVOLUCIÓN DE LAS GRÚAS	37
ILUSTRACIÓN 13: DIMENSIONES GRÚAS FEEDER	38
ILUSTRACIÓN 14: DIMENSIONES GRÚAS PANAMAX	39
ILUSTRACIÓN 15: DIMENSIONES GRÚAS POST-PANAMAX	40
ILUSTRACIÓN 16: DIMENSIONES GRÚAS SUPER POST-PANAMAX	41
ILUSTRACIÓN 17: VIGA PRINCIPAL	42
ILUSTRACIÓN 18: ESTRUCTURA SUPERIOR	43
ILUSTRACIÓN 19: ESTRUCTURA INFERIOR	44
ILUSTRACIÓN 20: CARRO SIMPLE	45
ILUSTRACIÓN 21: CARRO GIRATORIO	46
ILUSTRACIÓN 22: COMPONENTES DE UN SPREADER	48
ILUSTRACIÓN 23: MOVIMIENTO DE LA PLUMA	55
ILUSTRACIÓN 24: DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL	56
ILUSTRACIÓN 25: AJUSTE SPREADER	56
ILUSTRACIÓN 26: DESPLAZAMIENTO DEL CARRO	57
ILUSTRACIÓN 27: MOVIMIENTO DEL SPREADER	57
ILUSTRACIÓN 28: SISTEMA DE CIERRE/LIBERACIÓN	58
ILUSTRACIÓN 29: GRAFCET POSICIONAMIENTO INICIAL	62
ILUSTRACIÓN 30: GRAFCET POSICIONAMIENTO LONGITUDINAL	63
ILUSTRACIÓN 31: GRAFCET POSICIONAMIENTO LONGITUDINAL 20 FT	63
ILUSTRACIÓN 32: GRAFCET AJUSTE	64
ILUSTRACIÓN 33: GRAFCET POSICIONAMIENTO TRANSVERSAL	65
ILUSTRACIÓN 34: GRAFCET DESCENSO	65

ILUSTRACIÓN 35: GRAFCET ASCENSO	65
ILUSTRACIÓN 36: GRAFCET CIERRE/LIBERACIÓN	66
ILUSTRACIÓN 37: GRAFCET FIN DE OPERACIÓN	67
ILUSTRACIÓN 38: SALIDAS	75
ILUSTRACIÓN 39: POSICIONAMIENTO INICIAL	75
ILUSTRACIÓN 40: BAJADA DE PLUMA	76
ILUSTRACIÓN 41: CAMBIO DE 20 FT A 40 FT	76
ILUSTRACIÓN 42: POSICIÓN RELATIVA RESPECTO COLUMNA DE CONTENEDORES	77
ILUSTRACIÓN 43: CONTADOR DE COLUMNAS Y AJUSTE	78
ILUSTRACIÓN 44: REDUCCIÓN DE 40 FT A 20 FT	78
ILUSTRACIÓN 45: RECOLOCACIÓN	79
ILUSTRACIÓN 46: REMUNERACIÓN DE COLUMNAS	79
ILUSTRACIÓN 47: POSICIÓN RELATIVA RESPECTO COLUMNA DE CONTENEDORES 20 FT	80
ILUSTRACIÓN 48: CONTADOR COLUMNAS 20 FT	80
ILUSTRACIÓN 49: POSICIÓN RELATIVA RESPECTO FILAS DE CONTENEDORES	81
ILUSTRACIÓN 50: CONTADOR DE FILAS	82
ILUSTRACIÓN 51: DESCENSO DEL SPREADER	82
ILUSTRACIÓN 52: SUJECIÓN DEL CONTENEDOR	83
ILUSTRACIÓN 53: ELEVACIÓN DE SPREADER	84
ILUSTRACIÓN 54: CARRO A CERO	85
ILUSTRACIÓN 55: ELEVACIÓN PLUMA	85
ILUSTRACIÓN 56: PARO	86
ILUSTRACIÓN 57: REARME	87
ILUSTRACIÓN 58: POSICIONAMIENTO INICIAL (TRANSFORMACIÓN DE SEÑAL)	88
ILUSTRACIÓN 59: POSICIONAMIENTO FINAL (TRANSFORMACIÓN DE SEÑAL)	88
ILUSTRACIÓN 60: REMUNERACIÓN COLUMNAS DE 40 FT A 20 FT	88
ILUSTRACIÓN 61: REMUNERACIÓN Y AJUSTE COLUMNAS DE 20 FT A 40 FT (1)	89
ILUSTRACIÓN 62: REMUNERACIÓN Y AJUSTE COLUMNAS DE 20 FT A 40 FT (2)	89
ILUSTRACIÓN 63: PLC S7-1200	92
ILUSTRACIÓN 64: DIMENSIONES DE MONTAJE	100
ILUSTRACIÓN 65: DIAGRAMA DE CABLEADO	101
ILUSTRACIÓN 66: PANTALLA DE INICIO	103
ILUSTRACIÓN 67: PANTALLA DE PROYECTO	103
ILUSTRACIÓN 68: CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVO	104
ILUSTRACIÓN 69: SELECCIÓN MODELO PLC	104
ILUSTRACIÓN 70: SELECCIÓN DE MÓDULOS	105
ILUSTRACIÓN 71: CONFIGURACIÓN IP	105
ILUSTRACIÓN 72: ESTABLECIMIENTO DE COMUNICACIÓN	106
ILUSTRACIÓN 73: COMANDO TSEND_C	107

ILUSTRACIÓN 74: COMANDO TRCV_C	107
ILUSTRACIÓN 75: SENSOR DE DISTANCIA	108
ILUSTRACIÓN 76: CARACTERÍSTICAS SENSOR DE DISTANCIA	109
ILUSTRACIÓN 77: ESCÁNERES	110
ILUSTRACIÓN 78: IMAGEN MOSTRADA POR UN ESCÁNER	110
ILUSTRACIÓN 79: LOCALIZACIÓN DE LOS SENSORES	111
ILUSTRACIÓN 80: SENSOR INDUCTIVO	111
ILUSTRACIÓN 81: SENSOR DE CONTENEDOR/ FIN DE CARRERA	112
ILUSTRACIÓN 82: SENSOR ALTURA MÁXIMA/ SENSOR FIN DE CARRERA	112
ILUSTRACIÓN 83: RESISTOR VARIABLE	113
ILUSTRACIÓN 84: CABINA DE CONTROL	115
ILUSTRACIÓN 85: SELECCIÓN HMI	116
ILUSTRACIÓN 86: CONFIGURACIÓN HMI	116
ILUSTRACIÓN 87: MÓDULO DE COMUNICACIÓN	117
ILUSTRACIÓN 88: CONFIGURACIÓN DE RED	117
ILUSTRACIÓN 89: PANTALLA HMI CONTROL PRINCIPAL	118
ILUSTRACIÓN 90: PANTALLA HMI MANTENIMIENTO	119
ILUSTRACIÓN 91: CONTROL POSICIONAMIENTO	120
ILUSTRACIÓN 92: CONTROL SPREADER Y GRÚA	121
ILUSTRACIÓN 93: CONTROL PLUMA	122
ILUSTRACIÓN 94: ESTADO DEL SISTEMA	123
ILUSTRACIÓN 95: LUZ DE PARO	124
ILUSTRACIÓN 96: CONTROLES PRINCIPALES	125
ILUSTRACIÓN 97: PANTALLA DE MANTENIMIENTO DESCRIPCIÓN	126

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: REPARTO DE LOS COSTES	33
TABLA 2: EJEMPLO REPARTO DE COSTES	34
TABLA 3: ESTANCIA EN PUERTO	35
TABLA 4: CARACTERÍSTICAS GRÚAS FEEDER	38
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS GRÚAS PANAMAX	39
TABLA 6: CARACTERÍSTICAS GRÚAS POST-PANAMAX	40
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS GRÚAS SUPER POST-PANAMAX	41
TABLA 8: TIPOS DE CARROS	47
TABLA 9: CARACTERÍSTICAS GRÚA SUPER POST-PANAMAX	53
TABLA 10: ENTRADAS DEL PROGRAMA	60
TABLA 11; SALIDAS DEL PROGRAMA	61
TABLA 12: MARCAS HMI	61
TABLA 13: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL AUTÓMATA	93
TABLA 14: CARACTERÍSTICAS ENTRADAS DIGITALES PLC-S7 1200	94
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS ENTRADAS ANALÓGICAS PLC-S7 1200	95
TABLA 16: CARACTERÍSTICAS SALIDAS ANALÓGICAS PLC-S7 1200	96
TABLA 17: CARACTERÍSTICAS ALIMENTACIÓN PLC-S7 1200	97
TABLA 18: CARACTERÍSTICAS COMUNICACIÓN PLC-S7 1200	98
TABLA 19: DIMENSIONES DE MONTAJE	100
TABLA 20: MANTENIMIENTO	126

2 INTRODUCCIÓN

La justificación del presente trabajo viene dada por una serie de factores o puntos de interés:

- El avance tecnológico se ha concentrado en el buque.
- Los buques portacontenedores pasan gran parte de su vida operativa en puerto.
- Casi la mitad de los costes de transporte se deben a la estancia en puerto.
- El aumento de tamaño de los buques trae consigo un aumento del tiempo de estancia en puerto.

Son estos factores, junto con otros, los que hacen necesario un enfoque centrado en aumentar la productividad portuaria. Así pues, este trabajo se centrará en la optimización de las grúas de carga/descarga de portacontenedores. Las cuales, a pesar de haber sufrido aumentos en tamaño y complejidad, siguen basando su sistema de control en operaciones semiautomáticas o de tipo manual, siendo el factor humano uno de los de mayor influencia en el riesgo de accidentes y en la productividad. Por tanto, el objetivo será controlar de forma experta, supervisando en todo momento la operación de carga/descarga y la seguridad humana. Todo ello repercutirá en:

- Un aumento de la productividad debido al mantenimiento de un ritmo constante de carga y descarga.
- Una reducción del tiempo en puerto lo cual influirá de forma positiva en la reducción de los costes de operación y en el aumento de la capacidad operativa del buque.
- Y en un aumento en la seguridad de las operaciones de carga y descarga lo que repercutirá en un menor número de accidentes.

Por último, indicar que en este trabajo se ha realizado un estudio previo de diferentes sistemas de carga/descarga de contenedores TEU's que se utilizan actualmente y que funcionan de forma semiautomática y con presencia permanente de varios operarios. Estos sistemas se caracterizan porque no solo las labores de control son realizadas por los operarios sino también las de vigilancia e inspección.

3 OBJETIVOS

El sistema experto a diseñar tiene por finalidad el control y la supervisión de forma eficiente y segura del proceso de carga y descarga de contenedores TEU's entre el buque y la terminal portuaria.

Los objetivos que se deben lograr, con el sistema experto, son:

1. Controlar el funcionamiento del sistema de transferencia de contenedores desde un único punto de control de forma segura. Es decir, reducir la presencia humana a un único operario que podrá realizar el control experto de la grúa desde una sala de control simultaneándolo con otras operaciones portuarias.
2. Sincronizar los distintos procesos a realizar en la carga y la descarga de los contenedores TEU's con objeto de mejorar la eficiencia del sistema, lo que disminuirá los costes de producción y mejorará la calidad obtenidos en el proceso.
3. Por último, minimizar los "errores humanos" implementando un algoritmo de control seguro y un sistema de supervisión en el que el operador disponga de toda la información de forma precisa y puntual. La finalidad de este objetivo es la de reducir al mínimo el riesgo de accidente y deterioro de la carga.

Para lograr los objetivos fijados:

- a) Se ha realizado un estudio de distintos sistemas de transferencia de contenedores desde dos aspectos: uno la efectividad y coste de los procedimientos en uso; y por otro el triángulo formado por el operador los procesos de control y los de supervisión. Este estudio permite además de establecer la filosofía de funcionamiento del sistema detectar aquellos puntos críticos a la hora de mejorar la efectividad del proceso.
- b) Se ha implementado un sistema de control, en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la escuela politécnica superior con objeto de probar y verificar el modelo del diseño desarrollado en este trabajo.

4 PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Objetivos y Metodología de Trabajo

En este trabajo fin de máster se ha utilizado la metodología de trabajo implantada y puesta en práctica en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol por el profesor Javier Bouza. El fundamento de la misma se puede resumir en la siguiente frase “una evolución desde el principio al acabado”, es decir, en primer lugar, se realizará una descripción aproximada del concepto de referencia para posteriormente ir perfeccionándolo hasta adquirir una descripción precisa. De esta forma, entendemos que es posible minimizar los riesgos inherentes a su realización técnica, utilización, el tiempo y el coste. A continuación, mediante el siguiente organigrama, detallamos, el procedimiento que se ha seguido.

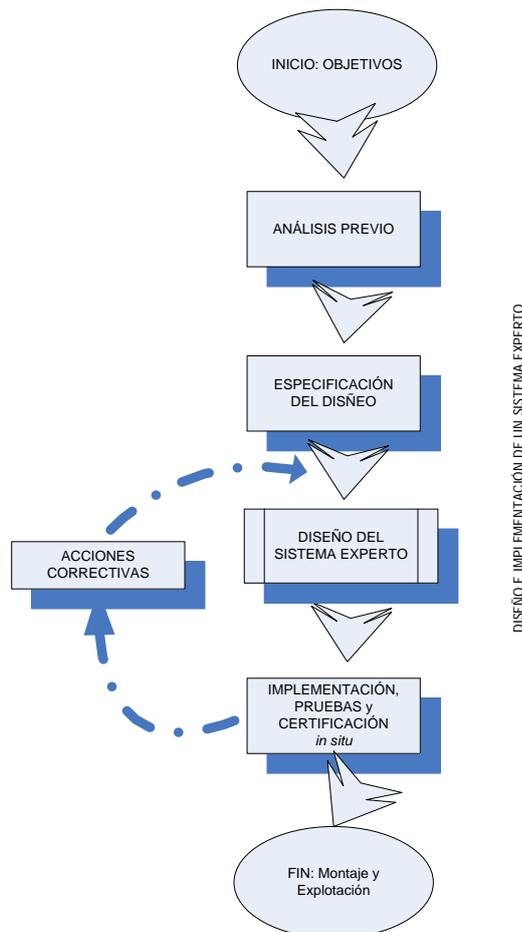


Ilustración 1: Organigrama de metodología del Trabajo Fin de Master

Partiendo del organigrama de la figura, se inicia el proyecto con la identificación y definición de "Objetivos" a lograr e implícitamente la "Metodología de Trabajo" a seguir. La palabra objetivo proviene de la raíz latín "ob-jactum" que significa "a donde se dirigen nuestras acciones" y aplicado a nuestro Trabajo Fin de Master, serán los enunciados escritos sobre "los resultados a ser alcanzados" en un periodo determinado. Como son puntos de llegada de nuestro trabajo, se requiere de una detenida reflexión que valore adecuadamente nuestras capacidades técnicas o de nuestro equipo de trabajo y de los recursos materiales disponibles para asegurar los objetivos pretendidos.

Los objetivos que se quieren alcanzar:

- Automatización de los movimientos de la grúa a lo largo de la terminal.
- Automatización de los movimientos del carro a lo largo de la pluma de la grúa.
- Automatización de los movimientos de elevación/descenso y sujeción/liberación del spreader.
- Memorización de la posición de la grúa y del carro a largo de la operación.

Una vez definido, los objetivos, se empieza una fase "Análisis previo" donde se estudia los procesos y sistemas existentes que se aproximen o cumplan nuestros objetivos. Este análisis previo sirve para definir el pilar sobre él que se debe sustentar el diseño a desarrollar que es la "Especificación de Diseño". Este documento técnico define la tecnología empleada y las prestaciones que debe presentar nuestro trabajo, y además servirá como indicador final para valorar la calidad de nuestro diseño.

Completadas todas estas etapas, empieza la fase propiamente de diseño que denominamos "Diseño e Implementación del Sistema Experto". A su vez la podemos desglosar en un conjunto secuencial de etapas que se muestran en el siguiente organigrama:

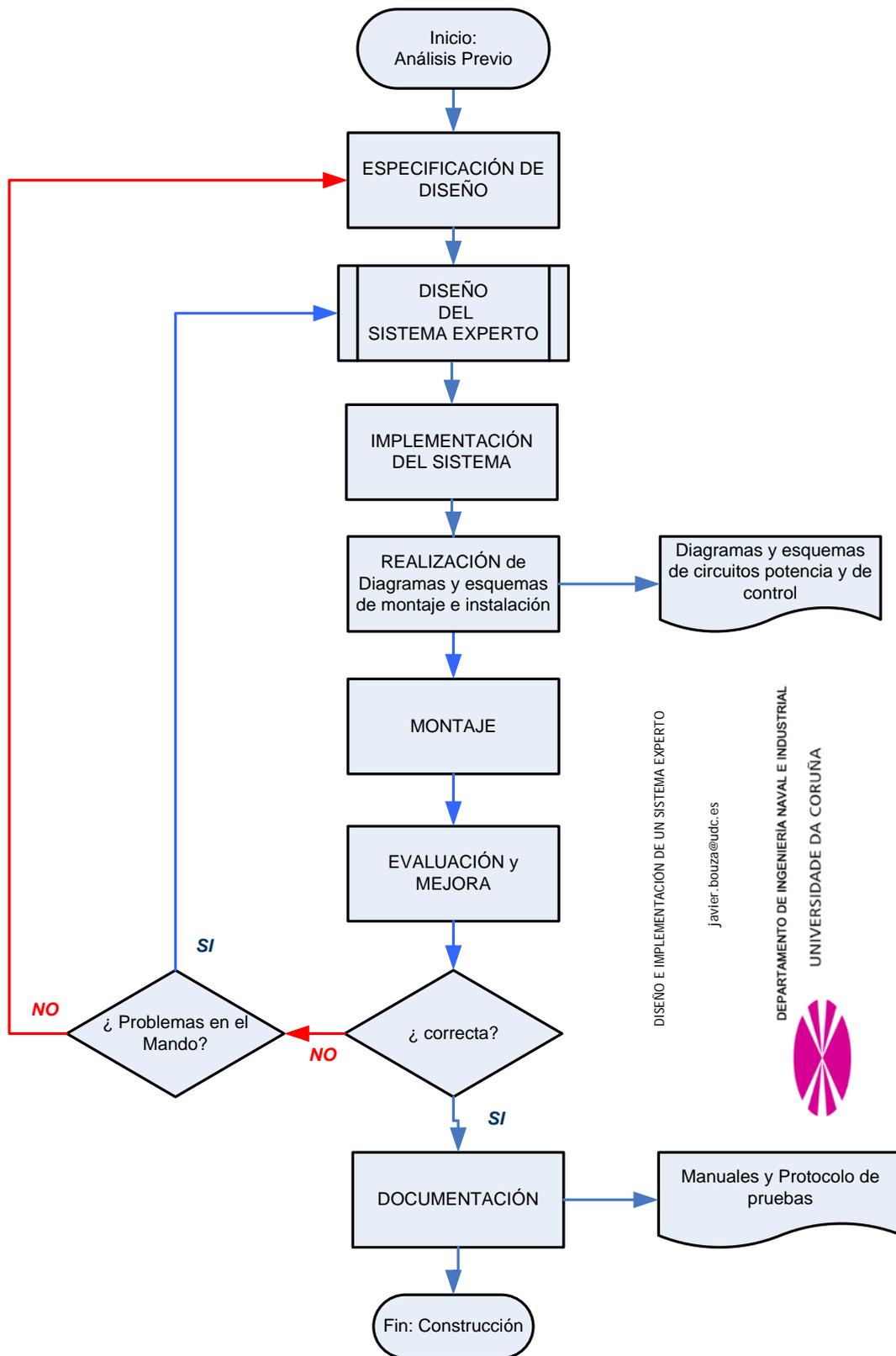


Ilustración 2: Organigrama del Procedimiento de diseño y desarrollo del sistema Experto

En el "Diseño del Sistema Experto" se parte del concepto de la "Cadena de Mando" empleado en la tecnología de la automatización. Este concepto se desglosa en cinco bloques, de los cuales cuatro constituyen el mando propiamente dicho (entrada de señales, procesamiento de señales, salida de señales e interfaces de usuario o HMI) y una la parte operativa del sistema. Son estos dos subsistemas: mando y operativo sobre los cuales se estructura la planificación del proceso de Diseño.

En lo concerniente al desarrollo del subsistema operativo o parte operativa del sistema experto es necesario un conocimiento de la tecnología o tecnologías empleadas. Al escoger como modelo de grúa la Super Post Panamax, los elementos a controlar no solo están perfectamente definidos, sino que, también están contrastados. En este sentido se han estudiado los mismos y se ha consultado con el fabricante. El menospreciar este hecho puede traer consigo no sólo pérdidas irreparables sino poner en riesgo la propia vida humana.

En cuanto al subsistema de mando se expone, a continuación, los aspectos a realizar:

1. Introducción a los equipos y software a emplear. Para conocer las posibilidades que ofrece el entorno de trabajo es necesario realizar pequeñas prácticas de montaje, in situ, y programación, de tal modo que antes de iniciar la programación del sistema experto objeto de este trabajo se haya interactuado con los distintos equipos y elementos que se utilizaran.
2. Finalizada la aproximación al entorno de trabajo se procede a realizar un esquema simple en el cual se dividen los objetivos en metas de menor nivel, de tal forma que se adquiera una mayor conciencia de lo que debe gobernar el programa.
3. Conocidos los objetivos de bajo nivel y antes de pasar a lenguaje KOP se realiza un listado de las funciones internas del programa y se recopilan aquellas que serán de utilidad (la existencia de una función específica simplifica de forma importante la tarea de programación).
4. Realizados los pasos anteriores se inicia la tarea de programación para lo cual se realiza en primer lugar la programación en papel de modo que sea más fácil encontrar errores y realizar modificaciones.
5. Es el momento de introducir el programa en el software (TIAPortal v13). Una vez introducido se realizan simulaciones, cuyo objetivo es detectar errores y optimizar el programa.
6. Finalizado el programa es momento de realizar las pantallas HMI para lo cual se realiza un listado de las tareas que se quieren mostrar. Finalizado el listado se procede, en papel, a dibujar un pequeño boceto de la/s pantalla/s a realizar.

7. Realizadas las pantallas se vinculan las variables del programa con el HMI para después realizar nuevas simulaciones para comprobar el correcto funcionamiento de todo el sistema experto.

En la fase de Implementación es donde se realiza la selección de los actuadores, fuentes y elementos de control y regulación del flujo de potencia. En esta labor, tiene un carácter vinculante la determinación de las magnitudes como la presión, el caudal, las fuerzas o pares, las velocidades, las condiciones de trabajo definidas en las etapas anteriores de la especificación y desarrollo del subsistema operativo. Todo ello, determinará el dimensionamiento y selección de los elementos a emplear

Una vez concluida la Implementación se realiza el montaje del sistema diseñado con toda labor e información generada en las etapas anteriores en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol. Para llevar a buen fin esta labor, es indispensable tener en cuenta algunas pautas fundamentales:

- Respetar las normas y recomendaciones de seguridad.
- Recurrir a los esquemas de distribución y asegurarse de que están a mano.
- Seguir reglas básicas para la instalación y conexión de componentes
- Proceder al montaje según orden previamente definidos
- Sólo después de haber revisado nuevamente el montaje y las conexiones de los elementos es recomendable poner en marcha el equipo.

La fase de "Evaluación y Mejora" se realiza una vez completado el "Montaje". En este punto, el objetivo fundamental es eliminar cualquier fallo en la instalación o error creado durante las fases anteriores. Consiste en realizar un control completo y exhaustivo del funcionamiento, de las condiciones operativas y de la seguridad del sistema diseñado

Por último, y no menos importante, la documentación que es un requisito previo esencial para facilitar el montaje, la puesta a punto y el mantenimiento del sistema diseñado in situ. En nuestro caso, al ver un claro objetivo educativo, se ha desarrollado una documentación a tal fin que está reflejada en este Trabajo Fin de Master.

5 ANÁLISIS PREVIO Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

5.1 Reglamentación y Normativas

- Reglamento de Contenedores, Decreto Supremo N° 09-95-EF del 06/01/95.
- Directiva CE 2006/95/CE (Directiva de baja tensión) "Material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión" – EN 61131-2:2007 Autómatas programables - Requisitos y ensayos de los equipos.
- Informe para el comité de seguridad marítima, publicado por la OMI. Subcomité de transporte de mercancías peligrosas, cargas sólidas y contenedores 11º periodo de sesiones, punto 19 del orden del día. 22 de septiembre de 2006.
- C152 Convenio sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios), 1979; publicado por Organización Internacional del Trabajo.
- Seguridad y salud en los puertos; publicado por la OIT.
- Guidance on container handling; Publicado por el Health and Safety Executive del Reino Unido.
- Convenio internacional sobre la seguridad de los contenedores (CSC); publicado por la Organización Marítima Internacional con fecha de aprobación: 2 de diciembre de 1972 y entrada en vigor: 6 de septiembre de 1977
- R160 Recomendación sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios), 1979; publicado por la Organización Internacional del Trabajo.
- Código de prácticas OMI/OIT/CEPE- Naciones Unidas sobre la arrumazón de las unidades de transporte. (CTU). Enero de 2014.
- Anexo I: Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo del RD 1215/1997.
- IEC 60617-12:1997 Graphical symbols for diagrams - Part 12: Binary logic elements.
- IEC 60848:2013 GRAFCET specification language for sequential function charts.
- IEC 61131-1:2003 Programmable controllers - Part 1: General information.
- IEC 61131-2:2007 Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests.

- IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages.
- IEC TR 61131-4:2004 Programmable controllers - Part 4: User guidelines.
- IEC 61131-5:2000 Programmable controllers - Part 5: Communications.
- IEC 61131-6:2012 Programmable controllers - Part 6: Functional safety.
- IEC 61131-7:2000 Programmable controllers - Part 7: Fuzzy control programming.
- IEC TR 61131-8:2003 Programmable controllers - Part 8: Guidelines for the application and implementation of programming languages.
- IEC 61131-9:2013 Programmable controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI).
- ISO 6403:1988 Hydraulic fluid power -- Valves controlling flow and pressure -- Test methods.
- ISO 1219-1:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications.
- ISO 1219-2:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 2: Circuit diagrams.
- ISO 4413:2010 Hydraulic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components.
- ISO 4414:2010 Pneumatic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components.
- ISO 20898:2008 Industrial trucks -- Electrical requirements.
- SO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design.
- ISO 13849-1:2006/Cor 1:2009.
- ISO 13849-2:2012 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 2: Validation.
- ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 2: Practical guidance and examples of methods.
- ISO/TR 17529:2014 Machine tools -- Practical guidance and example of risk assessment on electro-discharge machines.

- ISO/TR 22100-1:2015 Safety of machinery ISO 12100:2010 Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction.
- ISO/TR 22100-2:2013 Safety of machinery -- Relationship with ISO 12100 -- Part 2: How ISO 12100 relates to ISO 13849-1.
- EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
- EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
- UNE 101-149-86 "Transmisiones hidráulicas y neumáticas. Símbolos gráficos".
- EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
- EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
- UNE-EN 60204-1:2007/A1:2009 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).
- UNE-EN 60204-1:2007 CORR:2010 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 60947-1:2008 Aparata de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.
- UNE-EN 60947-2:2007 Aparata de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos. (IEC 60947-2:2006).
- UNE-EN 60947-3/A1:2002 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-3:2000 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-3:2000/A2:2006 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
- UNE-EN 60947-3:2009 Aparata de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.

- UNE-EN 60947-4-1/A1:2003 Aparata de baja tensión. Parte 4-1: Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.
- UNE-EN 60947-4-3:2002/A1:2007 Aparata de baja tensión. Parte 4-3: Contactores y arrancadores de motor. Reguladores y contactores semiconductores para cargas, distintas de los motores, de corriente alterna. (IEC 60947-4-3:1999/A1:2006).
- UNE-EN 60947-5-1:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
- UNE-EN 60947-5-1:2005/A1:2009 Aparata de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
- UNE-EN 60947-5-2/A1:2000 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2000 Aparatos de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2000/A2:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2002 ERRATUM Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-2:2008 Aparata de baja tensión. Parte 5-2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.
- UNE-EN 60947-5-3:2000 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 3: Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDF).
- UNE-EN 60947-5-3:2000/A1:2006 Aparata de baja tensión. Parte 5-3: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDF).
- UNE-EN 60947-5-4:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-4: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Método de evaluación de la aptitud para la función de los contactos de baja energía. Ensayos especiales.

- UNE-EN 60947-5-5:1999 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparato de parada de emergencia eléctrico con enclavamiento mecánico.
- UNE-EN 60947-5-5:1999/A1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Dispositivos de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico.
- UNE-EN 60947-5-6:2001 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR).
- UNE-EN 60947-5-7:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para detectores de proximidad con salida analógica.
- UNE-EN 60947-5-8:2007 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-8: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interruptores de mando de validación de tres posiciones. (IEC 60947-5-8:2006).
- UNE-EN 60947-5-9:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-9: Aparatos de control de circuitos y elementos de conmutación. Detectores de caudal.
- UNE-EN 60947-6-1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-1: Equipos de funciones múltiples. Equipos de conexión de transferencia automática (IEC 60947-6-1:2005)
- UNE-EN 60947-6-2:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP).
- UNE-EN 60947-6-2:2005/A1:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP). (IEC 60947-6-2:2002/A1:2007).
- UNE-EN 60947-7-1:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
- UNE-EN 60947-7-1:2003 ERRATUM:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
- UNE-EN 60947-7-2:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-2: Equipos auxiliares. Bloques de conexión de conductores de protección para conductores de cobre.
- UNE-EN 60947-7-2:2010 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-2: Equipos auxiliares. Bloques de conexión de conductores de protección para conductores de cobre.

- UNE-EN 60947-7-3:2005 Aparata de baja tensión. Parte 7-3: Equipos auxiliares. Requisitos de seguridad para bloques de conexión fusibles.
- VDI 3260 Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen.
- VDI/VDE 3684 "Manufacturer-independent configuration of drive systems - Description of event-driven motion processes with functional diagrams".

5.2 Análisis Previo

5.2.1 Estudios del Tráfico de Contenedores

En los últimos años el transporte marítimo de contenedores a experimentando un ritmo de crecimiento extremadamente alto, el cual se hace patente tanto en el número de TEU's transportados (pasando de los 224.774.536 del año 2.000 hasta los 800.000.000 esperados en 2.017) como en el gran ritmo de crecimiento de los buques portacontenedores los cuales han pasado, en una década, de los 5.000-8.000 contenedores a más de 18.000.

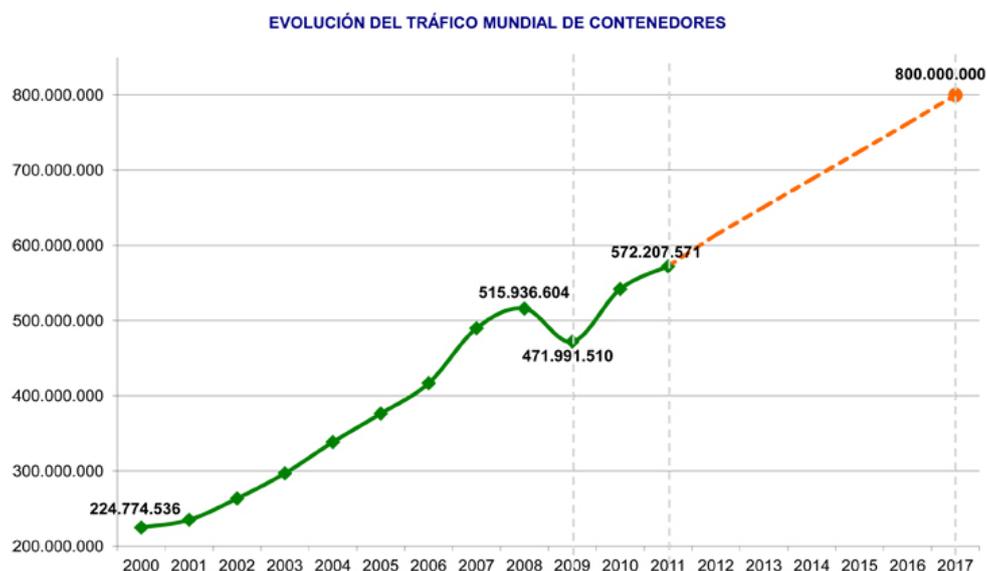


Ilustración 3: Evolución del Tráfico Mundial de Contenedores

El ritmo de crecimiento existente, innecesario, pues la oferta, actualmente, ya supera a la demanda (se estima un excedente de oferta de entorno a un 10%), es resultado de las estrategias comerciales de las navieras, a fin de:

- Reducir la competencia en el sector: Una oferta tan elevada fuerza a disminuir los fletes y por tanto a una reducción en los beneficios, pudiendo llegar a operar en pérdida.
- Aplicar en la máxima medida posible el concepto de economía de escala.

Aunque las estrategias seguidas por las navieras no son relevantes desde el punto de vista económico si lo son desde el punto de vista de sus efectos, pues estas implican, una necesaria mejora y evolución de los sistemas de carga/descarga existentes en los puertos a fin adaptar los sistemas a los nuevos buques a fin de mantener o minimizar los tiempos en puerto de los mismos.

Las mejoras de estos sistemas portuarios han de realizarse no solo en las principales terminales de contenedores pues, la entrega de nuevos buques, más grandes, destinados a las principales rutas de transporte supone una derivación de los buques antiguos a las líneas secundarias, lo cual implica a su vez un aumento de tamaño de los buques que operan en dichas rutas, por lo que la necesidad de implementar las mejoras será global.

5.2.1.1 Estudio del Tráfico de Contenedores en Número

El número de contenedores transportados a lo largo de los años ha sufrido un gran crecimiento elevándose desde los 100 millones de unidades transportadas en 2.004 hasta los 175 millones en 2.015.

Con el objetivo de analizar la evolución del tráfico de contenedores a lo largo de un periodo de 12 años se realizará un estudio de la evolución de las diferentes rutas este-oeste, por ser las de mayor importancia.

- **Rutas Transpacíficas:** Este tráfico aumento desde los 14,67 millones de TEU's en 2.004 hasta los 24 millones en 2.015. El tráfico predominante, que duplica al realizado en el sentido opuesto, se produce en la dirección este-oeste. La disparidad anterior supone un desequilibrio en el tráfico de contenedores lo cual implica la necesidad de reposicionar los contenedores vacíos, lo cual es una de las mayores preocupaciones de los transportistas

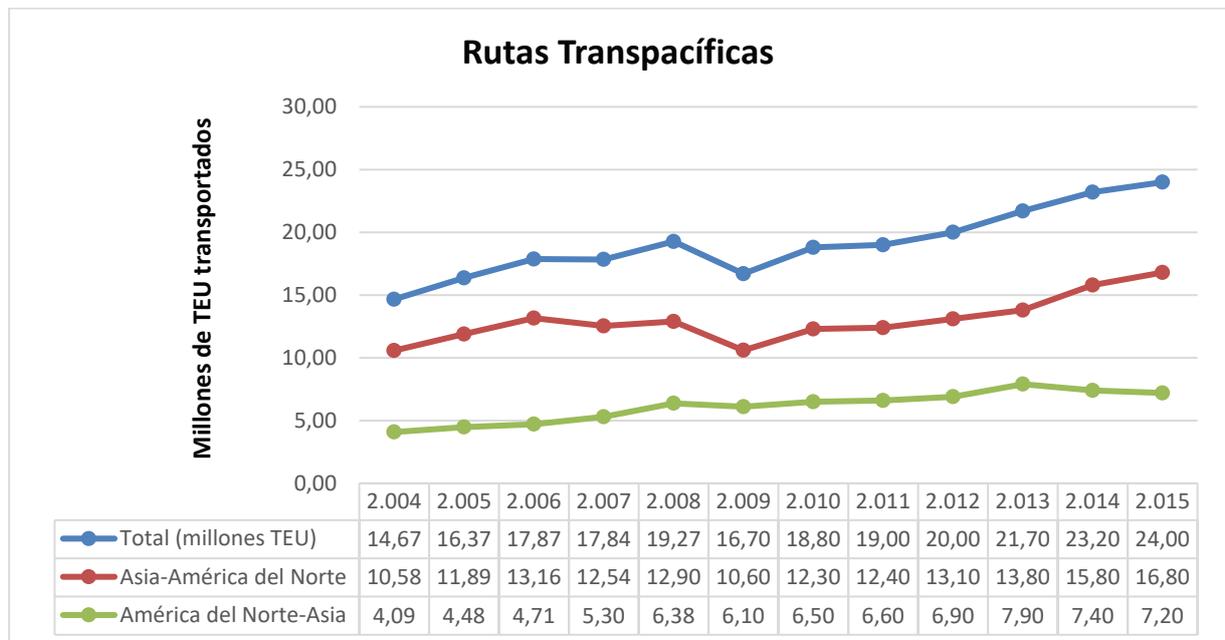


Ilustración 4: Rutas Transpacíficas

- Rutas Asia – Europa:** El incremento del tráfico de contenedores también fue muy elevado pasando en estas rutas elevándose desde los 12,47 millones de TEU's en 2.004 a 21,70 millones en 2.015. Al igual que en la ruta transpacífica, también se produce un desequilibrio en el número de contenedores transportados en una y otra dirección, de media el tráfico en dirección oeste supero en 7,04 millones de contenedores al tráfico en sentido opuesta. Aunque este desequilibrio es menor que el sufrido en las rutas transpacíficas.

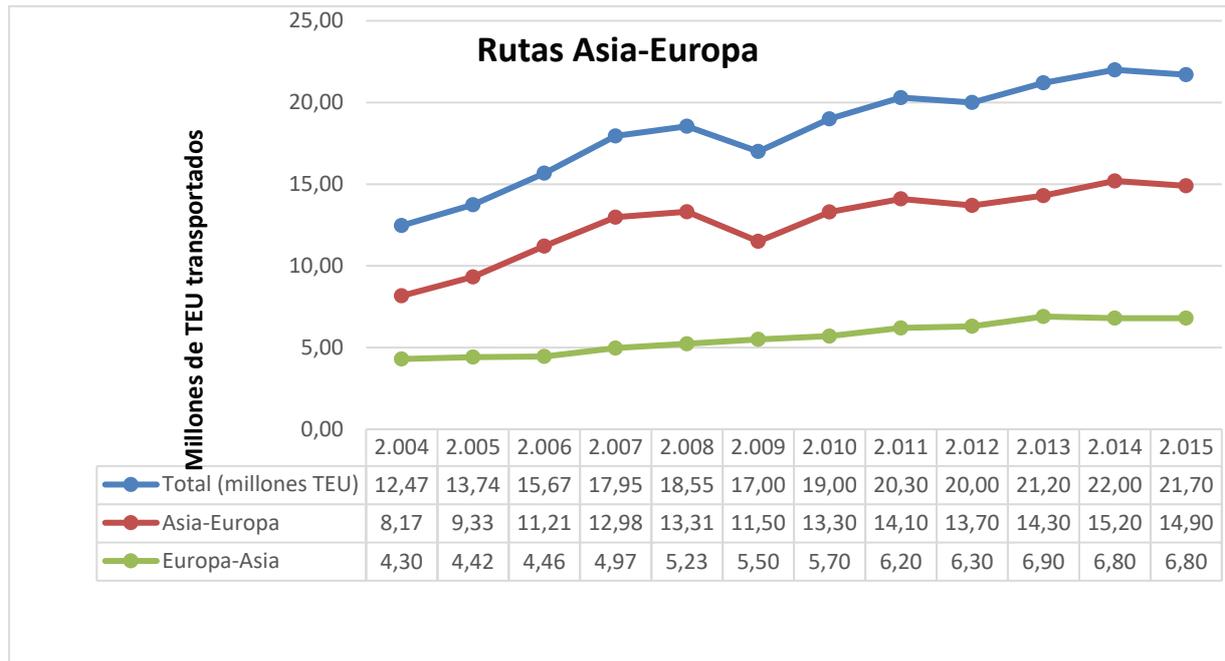


Ilustración 5. Rutas Asia-Europa

- Rutas transatlánticas:** En estas rutas el tráfico experimento un incremento del 26 % en el periodo considerado, pasando de 5,41 millones de TEU's en 2.004 a 6,80 millones en 2.015. El desequilibrio debido a la predominancia de la ruta en sentido oeste fue la menos acusada de todas las rutas estudiadas.

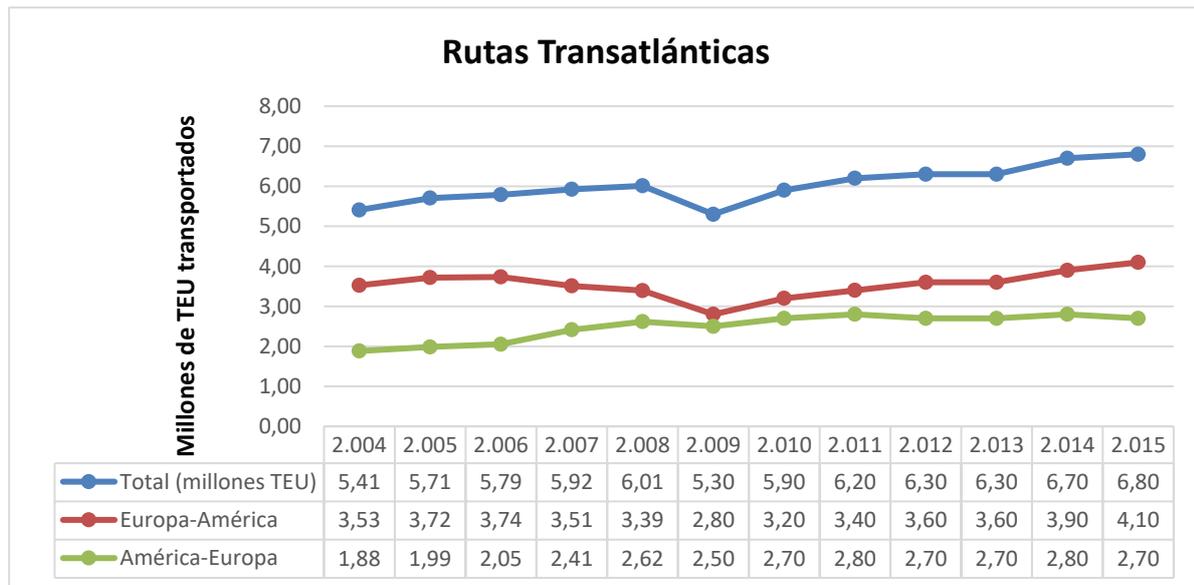


Ilustración 6: Rutas Transatlánticas

Presentada la evolución de las diferentes rutas será de interés representar, de forma conjunta, la variación interanual de las mismas frente a la variación del P.I.B. mundial en el lapso de tiempo considerado. Realizando esta representación se puede apreciar de forma muy clara la gran relación existente entre el transporte marítimo de contenedores y la situación económica mundial, ejemplo de lo cual es la gran caída del transporte que tuvo lugar en 2.009 a raíz de la crisis económica. Como se puede apreciar en la Tabla 4: "Evolución de las rutas". la caída del transporte es del orden de:

- 4,62 veces la caída del P.I.B. en las rutas transpacíficas.
- 2,88 veces la caída del P.I.B. en las Asia-Europa.
- 4,12 veces la caída del P.I.B. en las rutas transatlánticas.

A partir de estos datos se puede concluir que: El transporte marítimo de contenedores es muy sensible a las condiciones económica existentes y que las rutas que unen Asia con Europa fueron las que menor disminución presentaron, echo que tiene su explicación en diversos factores como pueden ser los menores aranceles a la importación de mercancías existentes en Europa en comparación con los de América, Estados Unidos, y al tipo de productos importados, los productos importados a Europa suelen ser generalmente de menor valor que los que se importan a América, por ejemplo: En Estados Unidos muchos de los fabricantes tecnológicos fabrican en Asia para después enviar sus productos a América, así pues, al tratarse de productos de un elevado coste y al estar inmersos en una crisis financiera los consumidores optan por alargar la vida útil de sus productos lo mayor posible entre otras medidas. Por el contrario en Europa se importan productos como ropa (Zara), de bajo precio y buena calidad por lo que su demanda puede llegar a aumentar, consumidores que adquirirían una marca de mayor coste se pasan a una de menor por necesidad o para aumentar sus ahorros. Este acontecimiento, entre otros, es lo que produce que la caída del transporte entre Asia y Europa sea mucho menor que en las otras rutas.

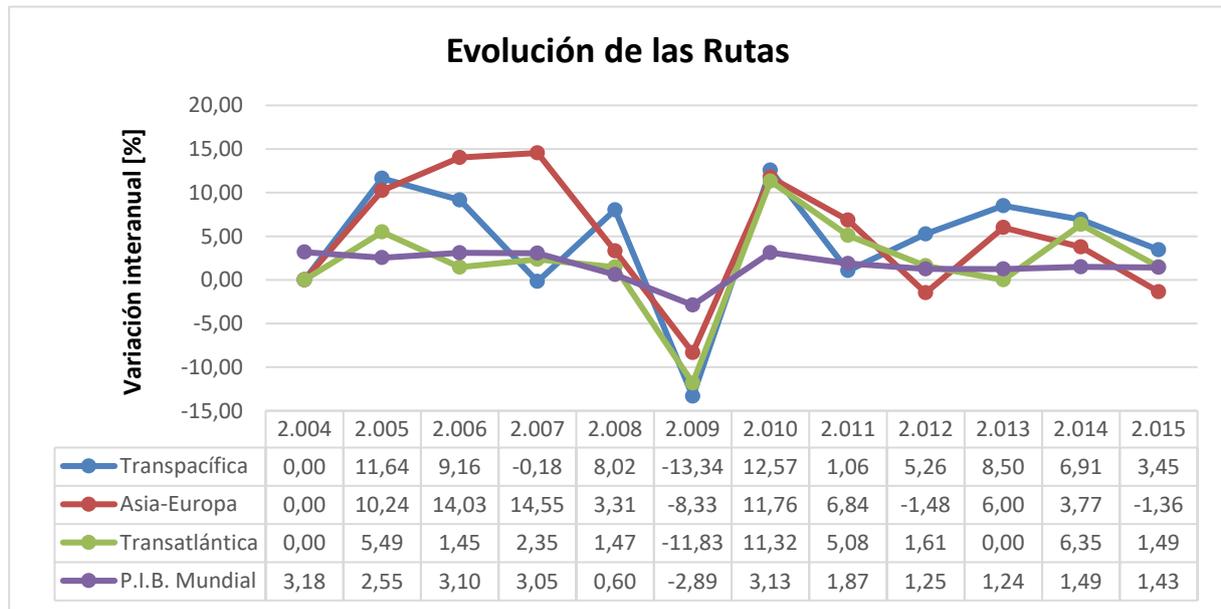


Ilustración 7: Evolución de la Rutas

5.2.1.2 Tráfico de Contenedores en Flete

El primer aspecto a tratar dentro de este apartado será la determinación de los problemas que están afectando negativamente al mercado de contenedores:

- Tendencias globales divergentes.
- Persistente desequilibrio entre la oferta y la demanda.
- Empleo desmedido de las economías de escala (construcción de buques de mayor tamaño) en una situación en la que la oferta supera a la demanda.

Esta situación problemática del mercado se espera que continúe en el futuro pues, entre otros acontecimientos, ya está prevista la entrega de nuevos de buques con una capacidad de hasta 21.000 TEU's.

Generación	Tipo	Capacidad (TEU)	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)
1ª 1956-1970		500-800	135-200	32,2	9
2ª 1970-1980		1.000-2.500	215	30	10
3ª 1980-1988		3.000-4.000	250-290	32	11-12
4ª 1988-2000		4.000-5.000	275-305	40	11-13
5ª 2000-2005		5.000-8.000	335	42	13-14
6ª 2006		11.000-14.500	397	56	15,5
7ª 2013		18.000	458	60	20

Ilustración 8: Evolución de los Buques Portacontenedores

Por su parte los fletes de contenedores mantuvieron una tendencia a la baja, alcanzando mínimos record, debido a factores como la disminución de la demanda y la entrada, en 2.015, de nuevos buques portacontenedores de mayor tamaño que causaron un aumento de la oferta.

El aumento de la oferta que se produjo en 2.015 se contabilizó en 1,70 millones de TEU's (con un aumento del 87 % en el rango de portacontenedores de más de 8.000 TEU's). Las razones que impulsan a las navieras a aumentar el tamaño de los buques de una manera tan agresiva, en un tiempo en el que la oferta supera a la demanda, son:

- Conseguir una mayor eficiencia.
- Cumplir con los requisitos del Tier III de la O.M.I. relativos a óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno.
- Potenciar el concepto de economía de escala. (A mayor tamaño de buque menor coste unitario).
- Disminuir la competencia y aumentar pues las empresas de mayor tamaño y diversificadas, pueden compensar las pérdidas, producidas por la situación de fletes bajo, con los beneficios procedentes de otras áreas de explotación (las pequeñas no pueden soportar una situación de pérdidas durante un tiempo prolongado y desaparecen).

Este aumento de la oferta, derivado del gran aumento de flota, será difícil de gestionar debido a que la mayoría de las rutas ya se encontraban en una situación de exceso de tonelaje y a una situación de desaceleración del comercio. Otro efecto de la gran capacidad existente es aumento producido en el espacio libre existente en los buques el cual se elevó hasta el 6,80 % de la capacidad total, valor elevado pero muy inferior al 11,60% registrado en 2.009.

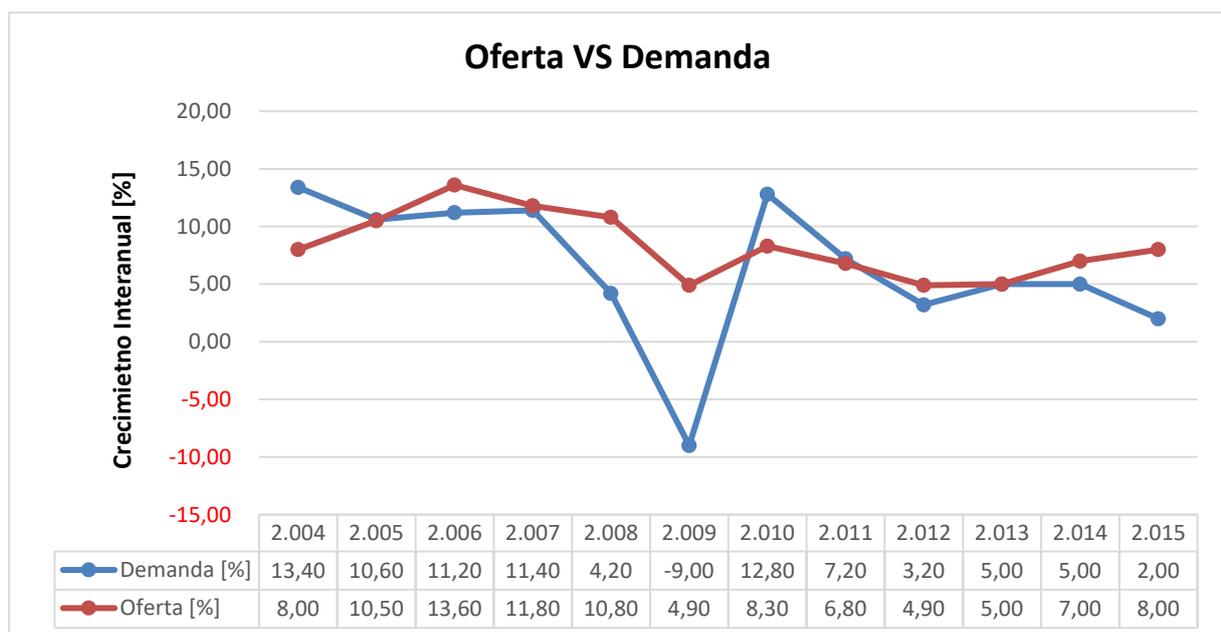


Ilustración 9: Oferta vs Demanda

Al aumento de la oferta se le suma una situación de caída de la demanda causada por una serie de factores entre los que se encuentran:

- La debilidad de la demanda europea.
- Disminución del comercio entre Asia y Europa.
- Los bajos precios de las materias primas, en particular de mineral de hierro y petróleo crudo.

Esta caída afectó especialmente a las importaciones de productos básicos por parte de los países en desarrollo (África y América Latina).

Otros factores que también contribuyeron a esta situación de desequilibrio fue la disminución de la actividad económica China, lo cual tuvo un impacto en el crecimiento del comercio intra-asiático.

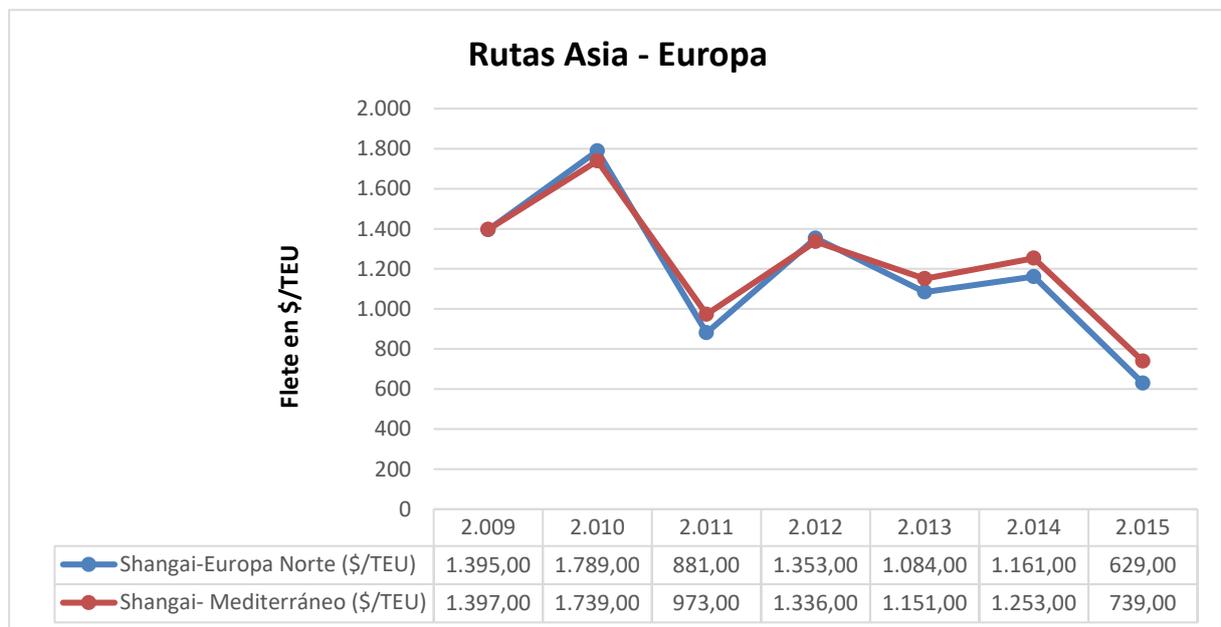


Ilustración 10: Rutas Asia-Europa

Como medida para recuperar el equilibrio entre la oferta y la demanda y aumentar los beneficios se tomaron varias medidas, algunas de las cuales necesitaron de un acuerdo entre las mismas, como las diversas subidas generalizadas de los fletes a lo largo de 2.015, sin éxito. Otras medidas, orientadas a la reducción de los costes fueron:

- Disminuir la velocidad del buque a fin de ahorrar combustible.
- Reducir la frecuencia de viajes.
- Optimizar la operación de los buques de mayor tamaño aumentando su tasa de ocupación.

- Desguace de buques (En 2.015 se desguazaron buques 201.000 TEUs, cifra que representa el 11,60 % de las nuevas entregas).

Gracias a las medidas anteriores junto a una situación de bajos precios de combustible las navieras pudieron reducir los costes operativos y las pérdidas en las que habían incurrido a causa de la caída de los fletes. Sin embargo, los beneficios derivados de esta situación de bajos precios (llegando a los 140 \$/tn, precio más bajo en 10 años) que en un principio permitieron a las navieras mantener los costes unitarios por debajo de los ingresos unitarios fue solo un acontecimiento temporal debido a la constante caída de los fletes a lo largo de 2.015, prueba de esto es la caída de un 82 % de los beneficios netos de Maerks en 2.015.

A nivel empresas la crisis provocó la búsqueda de una mayor consolidación cuyos objetivos eran: Aumentar la eficacia en la gestión del tonelaje actual y futuro, una mayor aplicación de las economías de escala para disminuir los costes... Parte de esta consolidación también se produjo mediante las alianzas entre empresas como las que tuvieron lugar entre finales de 2.014 y 2.015, algunas de las cuales son:

- Fusión, en diciembre de 2.014, de las compañías Sud America de Vapores y Hapag-Lloyd.
- Adquisición de la Compañía Chilena de Navegación Interoceánica por Hamburg Süd en marzo 2.015.
- Fusión de China Ocean Shipping Company y China Ocean Shipping Container Lines.
- Alianza 2M (Maerks y Mediterranean Shipping Company) a la cual se quiere unir Hyundai.
- Alianza Ocean Three (CMA CGM, China Shipping Container Lines y United Arab Shipping Company).

Estas transacciones provocaron que las compañías más grandes se hicieran todavía mayores. Por ejemplo:

- CMA CGM reforzó su posición como líder, 11,7 % de cuota de mercado y una capacidad de transporte de 2,35 millones de TEU's (540 buques).
- Se espera que las cinco mayores compañías posean una cuota de mercado del 50 %, frente al 23 % de 1.996.

Sin embargo, a pesar del creciente nivel de concentración y consolidación la industria no equilibrar la oferta y la demanda ni frenar la fuerte caída de los fletes.

Una vez tratado el asunto desde el punto de vista de las navieras y los buques es el turno de abordar el tema desde el punto de vista portuario pues sus infraestructuras se enfrentan a grandes retos derivados del rápido aumento del tamaño de los buques pues las infraestructuras portuarias necesitan expandir su hinterland y mejorar su conectividad para adaptarse a los buques de mayor tamaño. Esto implicará grandes inversiones en infraestructura derivados de la realización de obras a fin de aumentar el calado, adaptar los equipos de carga/descarga.... Se estima que los costes derivados de esta adaptación aumenten hasta los 400 millones de dólares por año y su reparto será:

- Un tercio para el equipo extra.
- Un tercio para el dragado.

Estos nuevos costes fomentarán la cooperación y la consolidación entre las diversas navieras, a fin seguir siendo competitivos.

Un inconveniente de esta nueva estructura de mercado es la presión que se ejerce sobre las pequeñas navieras, la cuales al dejar de ser competitivas desaparecerán y darán lugar a uno oligopolio.

5.2.1.3 Costes Portuarios

El último estudio a realizar será aquel que sirva para la exponer la importancia de los costes de la operación de carga y descarga a la hora de la fijación de flete en el tráfico de contenedores. Para reflejar dicha importancia se realizará un ejemplo a partir del flete actual de un contenedor en la ruta que une Shanghai con Europa del Norte, además de su desglose en las diferentes partidas que los constituyen.

El primer paso será conocer el precio del flete en la ruta seleccionada (Shanghai-Europa del Norte). Si se acude a los informes de la UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development) sobre transporte marítimo se encuentra que el flete medio, en 2.015, de transportar un contenedor, TEU, en esta ruta fue de 629 Euros.

Una vez conocido el flete será necesario conocer el porcentaje que representan las diferentes partidas que incluye. Estos porcentajes se presentan en la siguiente tabla

<i>Concepto</i>	<i>Reparto de Costes [%]</i>
Gastos Navegación	39-80
Gastos portuarios	6-10
Gastos relacionados con C/D	0-30
Parte Correspondiente de Costes Capital	14-21

Tabla 1: Reparto de los Costes

Como se puede apreciar el reparto de los costes es muy variable, echo que depende de diferentes factores de los cuales el de mayor importancia es aquel que hace referencia a la inclusión o no del proceso de carga/descarga en el flete. En régimen TRAMP este coste no está contemplado en el flete, pero en Línea Regular, de la cual el tráfico de contenedores es su mayor referente, si lo está.

Una vez indicado que los gastos relacionados con la carga descarga no son cero, se tomarán valores medios de los porcentajes de reparto a fin de ser lo menos parcial posible.

Conocidos todos los datos necesarios se procede a la realización de los cálculos pertinentes:

$$\text{Flete [€]} = 629 \text{ €}$$

$$\text{Gastos Navegación} = n \text{ [€]} = 629 * 59,50 \% = 374,26 \text{ €}$$

$$\text{Gastos portuarios [€]} = 629 * 8 \% = 50,32 \text{ €}$$

$$\text{Gastos } \frac{\text{Carga}}{\text{Descarga}} \text{ [€]} = 629 * 15 \% = 94,35 \text{ €}$$

$$\text{CAPEX Puerto [€]} = 629 * 17,50 \% = 110,08 \text{ €}$$

Concepto	Reparto Costes [%]	Reparto Costes [€]
Gastos Navegación	59,50	374,26
Gastos portuarios	8	50,32
Gastos relacionados con C/D	15	94,35
Costes Capital	17,50	110,08
Total	100	629

Tabla 2: Ejemplo Reparto de Costes

Como se puede apreciar dentro de los costes de puerto, los de carga/descarga representan los mayores costes de operación, puesto que, los costes de capital son costes financieros.

Si a la situación anterior se le añade que los buques portacontenedores en Línea Regular pueden pasar hasta un 39% de su vida operativa en puerto la importancia de los costes de carga/descarga aumenta.

<i>Tipo de Buque</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Viaje (Millas)</i>	<i>Escalas</i>	<i>% Estancia en puerto</i>
Bulkcarrier Grande	110.000 GT	10.000	2	23
Bulkcarrier Pequeño	25.000 GT	11.000	4	31
Ro-Ro	90 Remolques	800	2	33
Portacontenedores	2.300 TEU	12.000	6	29
Costero	3.000 GT	1.400	2	45

Tabla 3: Estancia en Puerto

Queda así demostrado que dentro del costes producidos por la estancia en puerto de los buques portacontenedores los derivados de la carga/descarga de los contenedores son los de mayor importancia.

5.2.1.4 Conclusiones

De los estudios anteriormente presentados se pueden extraer los siguientes factores a favor de la automatización del control de las grúas de contenedores:

- Rápido aumento del número de contenedores transportados que hará necesario una mejora de los sistemas de carga/descarga a fin de mantener o mejorar la productividad.
- Los bajos fletes harán necesario llevar a cabo medidas, tanto en la fase portuaria como en la de navegación, a fin de reducir los diferentes costes para que se puedan producir beneficios.
- La entrega de buques cada vez más grandes y el efecto caScada pro-siguiente hacen necesarias mejoras en todas las terminales de contenedores y no solo en las de las rutas principales.
- El aumento de tamaño de los buques implica un aumento del tiempo de carga/descarga por lo que habrá que buscar soluciones a fin de reducirlo.

5.2.2 Grúas Portacontenedores

Las grúas portacontenedores, también llamadas STS (Ship to Shore), son maquinaria de grandes dimensiones situadas en las terminales portuarias y cuya misión es la carga y descarga de contenedores (operan entre el puerto y el buque). Habitualmente se desplazan sobre carriles situados a lo largo de toda su zona de operación y es accionada mediante una toma de corriente externa. El sistema de sujeción del que disponen este tipo de grúas, el cual está específicamente diseñado para el manejo de contenedores, se denomina spreader y es una de los elementos más representativos de este tipo de grúas.

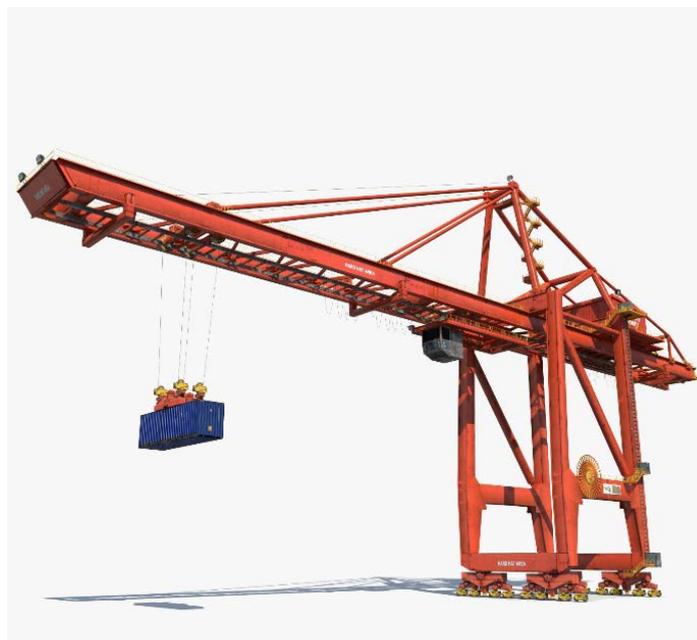


Ilustración 11: Grúa Portacontenedores

Estas grúas son un elemento clave de en las operaciones portuarias de contenedores pues su velocidad, precisión y control garantizan un elevado rendimiento en la operación de TEU's, Además, permiten:

- Un total control en la manipulación de la mercancía.
- Gran velocidad para la carga y descarga.
- Sencillez a la hora de controlar el manejo de los contenedores.

El tipo y tamaño de las grúas se definen en base a las siguientes características: el mayor buque que se espere operar, las del muelle (mareas), viento (carga), la longitud de la pluma, el tipo de carro, la estructura, la automatización implementada...

Este tipo de grúas están diseñadas para llevar a cabo las siguientes operaciones:

- Trasbordo de contenedores desde el buque al muelle y viceversa.
- Desplazamiento a lo largo de su camino de rodadura con la pluma elevada o bajada.
- Desplazar el carro con o sin carga.
- Elevar o descender la pluma estando detenidos los demás movimientos.

En un comienzo estas grúas no poseían ninguna clasificación y estaban diseñadas para operar con buques de hasta diez filas de contenedores. Actualmente se clasifican en función de su capacidad de carga y del tamaño de los buques a los que prestan servicio.

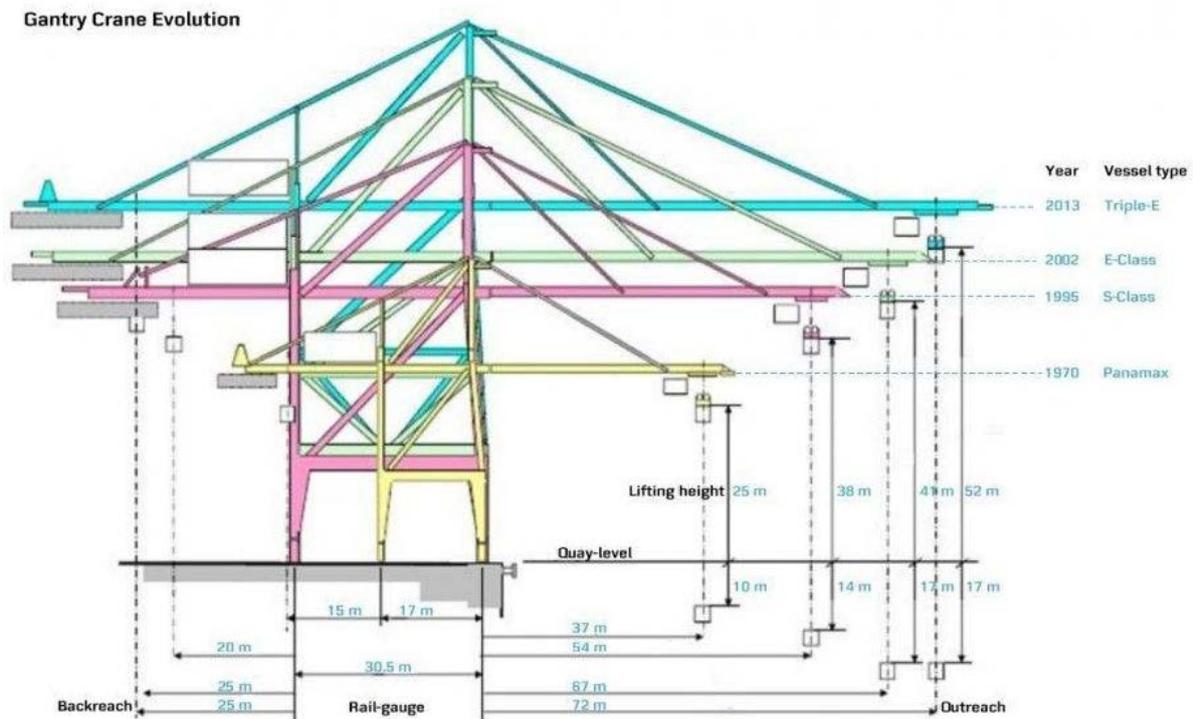


Ilustración 12: Evolución de las Grúas

5.2.2.1 Tipos de Grúas Portacontenedores

Feeder: Son las grúas de menor tamaño y poseen una capacidad de operación, en manga de solo 10 contenedores.

Grúa Feeder	
<i>Dimensiones Principales</i>	
Alcance delantero	hasta 29 m.
Alcance trasero	hasta 10 m.
Distancia entre ejes	hasta 32 m.
Altura bajo spreader	hasta 25 m.
Carga nominal	(32-40) tn.
Spreader	(20-40-45) ft.
<i>Velocidades</i>	
Pórtico	(40-45) m/min.
Elevación con carga	(45-60) m/min.
Elevación sin carga	(90-120) m/min.
Carro	(100-120) m/min.

Tabla 4: Características Grúas Feeder

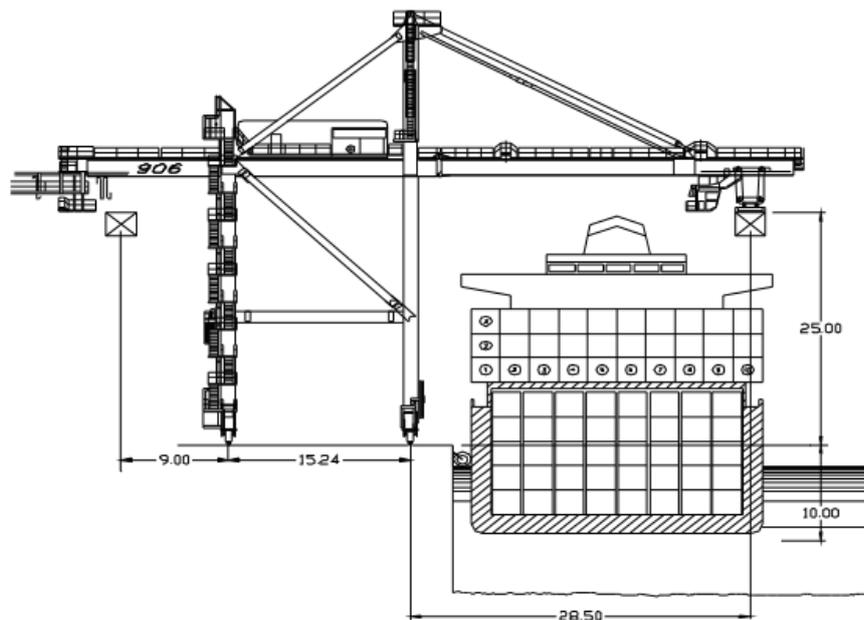


Ilustración 13: Dimensiones Grúas Feeder

Panamax: Pertenecen a esta categoría aquellas grúas con capacidad para cargar y descargar completamente un buque portacontenedores de la clase Panamax (aquel capaz de pasar por el canal de Panamá).

Grúa Panamax	
<i>Dimensiones Principales</i>	
Alcance delantero	hasta 43 m.
Alcance trasero	hasta 15 m.
Distancia entre ejes	hasta 32 m.
Altura bajo spreader	hasta 31 m.
Carga nominal	(40-50) tn.
Spreader	(20-40-45) ft.
<i>Velocidades</i>	
Pórtico	45 m/min.
Elevación con carga	(75-85) m/min.
Elevación sin carga	(150-170) m/min.
Carro	(150-180) m/min.

Tabla 5: Características Grúas Panamax

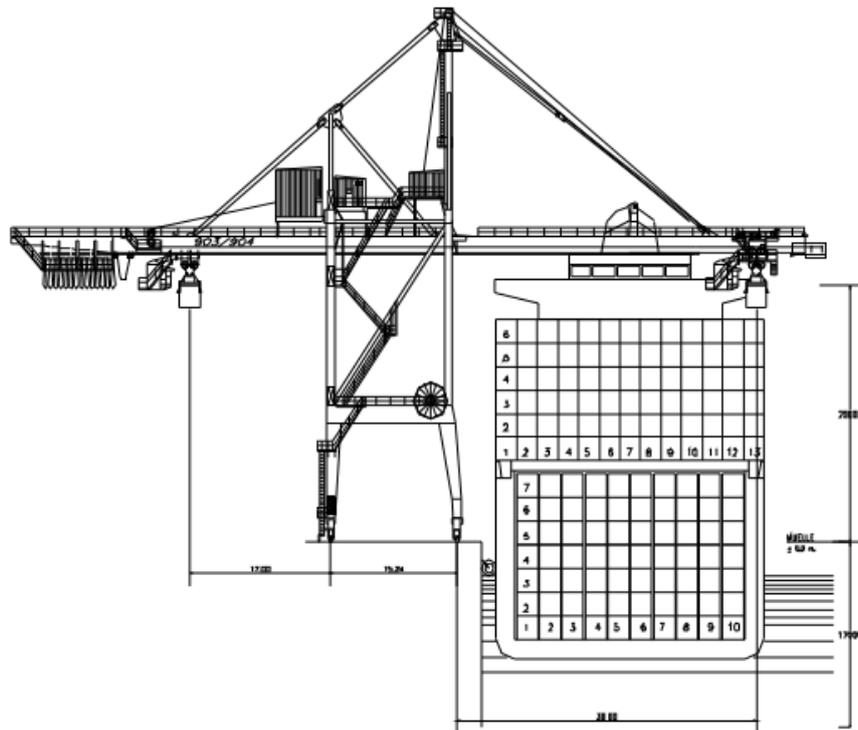


Ilustración 14: Dimensiones Grúas Panamax

Post-Panamax: Estas grúas operan con buques que no pueden atravesar el canal de Panamá debido a sus dimensiones. Poseen un peso aproximado de entre 800 y 900 toneladas y el portacontenedores más común con el que operan posee una manga con capacidad para 18 contenedores.

Grúa Post-Panamax	
Dimensiones Principales	
Alcance delantero	hasta 47 m.
Alcance trasero	hasta 25 m.
Distancia entre ejes	hasta 32 m.
Altura bajo spreader	hasta 33 m.
Carga nominal	(40-50-65) tn.
Spreader	(20-40-45) ft.
Velocidades	
Pórtico	45 m/min.
Elevación con carga	(75-85) m/min.
Elevación sin carga	(150-170) m/min.
Carro	(150-210) m/min.

Tabla 6: Características Grúas Post-Panamax

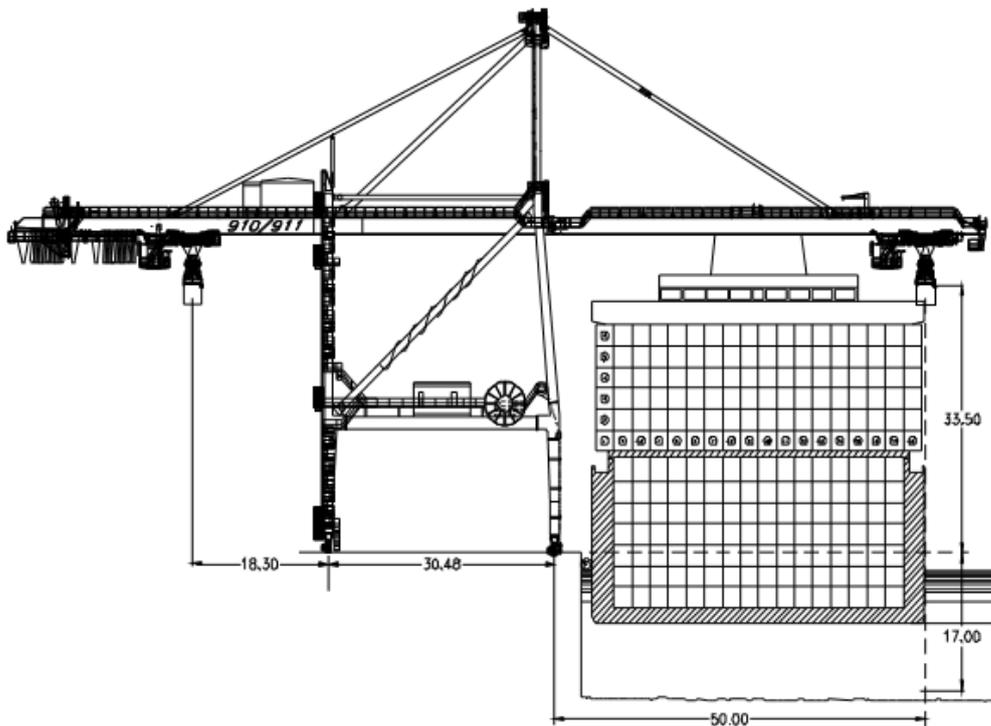


Ilustración 15: Dimensiones Grúas Post-Panamax

Super-Post-Panamax: En esta categoría se encuentran las grúas de mayor tamaño, con un peso de entre 1.600 y 2.000 toneladas y son capaces de prestar servicio a buques con una manga con capacidad para 22 contenedores o más.

Grúa Super Post-Panamax	
Dimensiones Principales	
Alcance delantero	hasta 61 m.
Alcance trasero	hasta 25 m.
Distancia entre ejes	hasta 32 m.
Altura bajo spreader	hasta 40 m.
Carga nominal	(50-65) tn.
Spreader	(20-40-45) ft.
Velocidades	
Pórtico	45 m/min.
Elevación con carga	(80-100) m/min.
Elevación sin carga	(160-200) m/min.
Carro	(180-240) m/min.

Tabla 7: Características Grúas Super Post-Panamax

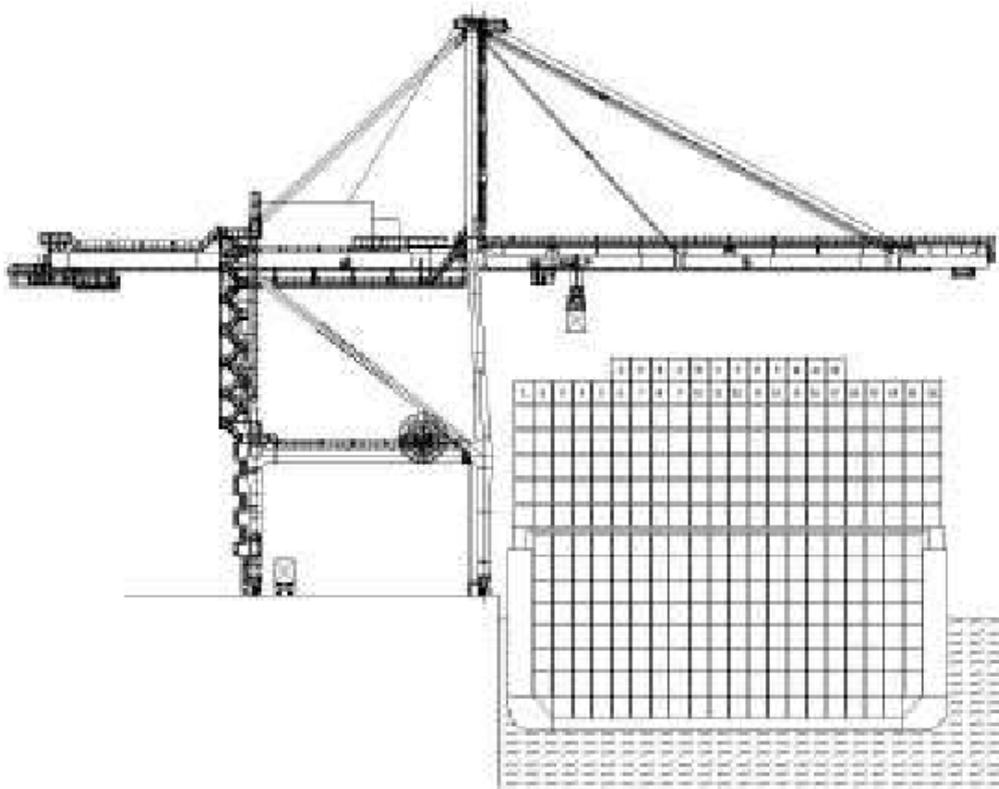


Ilustración 16: Dimensiones Grúas Super Post-Panamax

5.2.2.2 Estructura de las Grúas Portacontenedores

La estructura de las grúas estudiadas se puede dividir en:

- **Viga principal:** Consistente en una viga metálica de grandes dimensiones y rigidizada interiormente mediante el uso de hormigón armado. Esta viga, desde el punto de vista de la resistencia, se considera como una viga bi-apoyada en las dos traviesas existentes con dos voladizos los cuales se extienden a ambos lados de las traviesas de apoyo. El voladizo de mayor luz (denominado pluma) es aquel que se orienta hacia el agua que además se encuentra articulado, permitiendo operaciones de elevación y descenso a fin de facilitar las operaciones portuarias.

De forma genérica, la estructura de la pluma se constituye de un sistema de doble viga cajón, lo cual otorga un muy buen control en las operaciones twin-lift. Esta estructura también facilita el acceso al carro.

En la actualidad existen diferentes tipos de plumas, pudiéndose encontrar desde modelos completamente cerrados hasta modelos de celosía.

Como consecuencia de la disposición de la grúa se hace necesaria una estructura superior a fin de soportar el voladizo de mayor luz y disminuir las flechas en el extremo.



Ilustración 17: Viga Principal

- **Estructura Superior:** Generalmente está formada diferentes tirantes cuya misión es estabilizar la zona superior de la grúa en cualquier condición de operación (para cualquier posición de carro). Otra de sus funciones es la de transferir los esfuerzos transversales a los postes.

Las tensiones de las vigas se pueden modificar a través de distintas disposiciones de los tirantes.



Ilustración 18: Estructura Superior

- **Estructura Inferior:** Los esfuerzos generados en la parte superior de la grúa descienden a través de los postes y son distribuidos de forma equitativa mediante las diagonales. Otra función de las diagonales en la de estabilizar la torre formada por los cuatro postes.

Las vigas testeras, evitan que la estructura se abra en la parte inferior y confieren la estabilidad necesaria al sistema de rodadura. Cabe destacar que en el interior de la viga que se encuentra en el lado de tierra existe un contrapeso de hormigón a fin de equilibrar la estructura.

En la actualidad existe una tendencia a que la estructura de la pluma (voladizo de la viga principal que se proyecta por encima del agua) sea de celosía. Este tipo de estructura, aunque es más complicada de elaborar, aporta un peso mucho más reducido que el de otros tipos lo cual es de gran importancia debido a su disposición en voladizo.

Como apunte se mencionarán a continuación distintos factores a tener en cuenta a la hora de calcular la estructura de una grúa portacontenedores:

- Peso propio de la grúa.
- Viento en dirección longitudinal.
- Viento en dirección transversal.
- Carro al final de la pluma.
- Carro entre traviesas.
- Carro en el extremo de tierra.
- Aceleración del carro.
- Aceleración de la grúa.



Ilustración 19: Estructura Inferior

5.2.2.3 Carros y Tipos

El tipo de carro es importante pues a la hora de diseñar la estructura el principal factor a tener en cuenta es el peso del carro ya que se puede triplicar de unos modelos a otros (el carro con maquinaria integrada pesa tres veces más que el que no la tiene). Esta importancia se deriva del efecto que ejerce sobre el efecto de fatiga de los materiales pues elegir un carro de mayor peso supone incrementar esta fatiga en un 65% respecto al de menor peso, o lo que es lo mismo incrementar el factor de seguridad de 3 a 5.

- **Carro Simple:** Debido al gran peso de los carros, existen versiones aligeradas las cuales se componen únicamente de una estructura con cuatro rodillos de giro y cuatro poleas para el envío de cable al spreader. A causa de este elevado grado de aligeramiento el sistema de traslación del carro y el tambor de elevación se sitúan en un espacio en la viga principal, el cual suele disponerse en el centro de las traviesas o sobre la traviesa del lado de tierra.

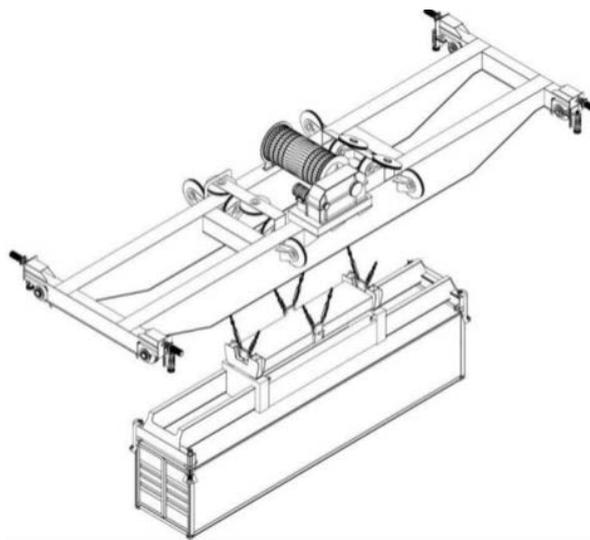


Ilustración 20: Carro Simple

La transmisión entre el espacio en el que se encuentran los sistemas de elevación y traslación y el carro se realiza mediante un cable y un sistema de poleas que mantienen el spreader en posición vertical.

Una desventaja de los carros aligerados es que si se modifica la orientación de la carga es necesario proceder al ajuste del spreader de manera manual. Por otra parte, el bajo peso disminuye la resistencia de rodadura del carro por lo que también se reduce la potencia necesaria para su traslación.

- **Carro Giratorio:** Este tipo de carro se compone de dos subestructuras:
 - Una superior compuesta por:
 - Los elementos de rodadura sobre la viga principal.
 - El mecanismo de traslación formado
 - 4 postes
 - Una placa horizontal donde se encuentra un gran rodamiento de bolas.
 - Una inferior conectada a la superior a través de un rodamiento. Esta subestructura crea un espacio cerrado en el cual se encuentran los mecanismos de giro del carro y de elevación de la carga. Esta estructura tiene como finalidad la posibilidad de adaptar el spreader a cualquier orientación de la carga.

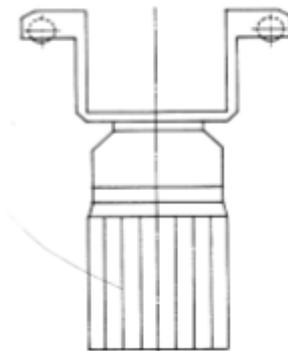


Ilustración 21: Carro Giratorio

Los diferentes movimientos son accionados mediante motores eléctricos de corriente continua. Para transformar la corriente alterna del suministro del puerto a corriente alterna se dispone un equipo de transformación en una zona elevada.

Otra posible clasificación de los carros es aquella que los clasifica en:

- “Machineryontrolley”
- “Ropetowedtrolley”

Esta clasificación se establece en función de si la maquinaria está situada en el carro o en una caseta independiente, respectivamente.

	Ropetowedtrolley	Machineryontrolley
Peso del trolley (con dispositivo electrónico anti-balanceo)	20, 40 Tm	63,50 Tm
Carga en movimiento (trolley spreader elevador de la pluma, 50 tm del contenedor más impacto)	104 Tm	152 Tm
Carga en movimiento para el cálculo de fatiga	68 Tm	114 Tm
Daño por fatiga de los materiales	1	4,63
Peso total de las grúas post-Panamax con 30,50 m. de separación entre los railes	1050 Tm	1200 Tm
Carga en los trenes de ruedas	49 Tm/m	57 Tm/m

Tabla 8: Tipos de Carros

Para concluir este apartado se hablará del carro auxiliar El cual facilita el transporte del cable eléctrico desde el extremo de tierra de la viga principal hasta la cabina del operador, este sistema reduce la posibilidad de roturas a la hora de estirar el cable y el encallamiento de los elementos que lo transportan.

El carro se constituye por una plataforma rectangular de acero y puede situarse tanto delante como detrás del carro principal en función del tipo de grúa y entre dos grupos dispositivos de transporte del cable eléctrico. La traslación del carro auxiliar empleará cables accionados por un tambor situado en la cámara de máquinas y se será accionado por el operario.

5.2.2.4 Spreader

Es el equipo encargado de mover los contenedores desde un punto a otro. Dado que, la estructura de los contenedores solo permite su manipulación por los vértices este equipo tuvo que ser específicamente diseñado para este y consta de los siguientes componentes:

1. Estructura
2. Aparejo de Elevación.
3. Cable de Mando.
4. Headblock.
5. Mecanismo de giro de twist-lock.
6. Mecanismo de guiado
7. Mecanismo de telescopaje
8. Twist-lock.

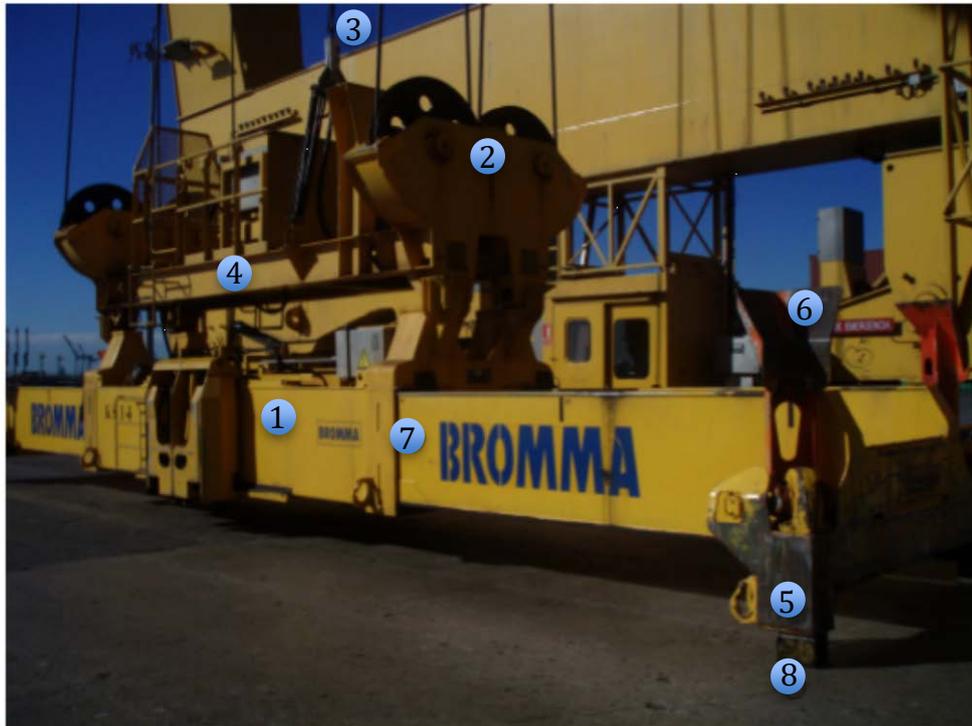


Ilustración 22: Componentes de un Spreader

De forma general un spreader realiza tres movimientos, los cuales son gobernados por el cable de mando

- **Movimiento telescópico de los largueros:** este movimiento se realiza en los spreaders capaces de operar contenedores de 20, 35, 40 y 45 pies. El movimiento se realiza mediante un accionamiento hidráulico a través de poleas y cables o cadenas.
- **Giro del mecanismo de guiado:** este movimiento permite incorporar en las cuatro esquinas del contenedor unas guías metálicas formadas por delgadas placas plagadas a noventa grados. Se denominan flippers y su accionamiento puede ser eléctrico o hidráulico.

La función de los flippers es guiar al spreader a situarse de forma adecuada sobre el contenedor. Cada uno es actuado independientemente por un motor hidráulico. Los flippers pueden operarse de manera tanto individualmente como de forma colectiva.

- **Giro de twist-lock:** el twist-lock es una uña, de acero de alta resistencia, situada en los extremos del spreader que se introduce en los comers del contenedor. Su función es agarrar los cuatro vértices superiores de contenedor de forma que este y el spreader queden sólidamente unidos. La sujeción o liberación se realiza mediante un giro de 90° de las uñas.

Para ayudar a la operación y seguridad cuentan con palpadores, de tipo inductivo, que detectan en contacto entre el spreader y el contenedor.

5.2.2.4.1 Tipos de Spreaders

Actualmente existen tres tipos de spreaders:

1. **Spraders simples:** Concebidos para operar suspendidos, mediante cuatro poleas, del gancho de una grúa. Se emplean en la operación ocasional de contenedores.

A diferencia de otros modelos más complejos, este tipo de spreader tiene unas dimensiones, generalmente, adaptadas a contenedores de 20 ft. Tampoco disponen de sistema de guiado, existiendo únicamente el sistema de twist-locks, el cual puede ser accionado de modo:

- **Manual:** En este caso, el sistema es accionado de forma mecánica mediante una palanca situada en la parte central del spreader.
- **Semiautomático:** El funcionamiento de este sistema es el siguiente: al elevarse el gancho, éste tensa el cable de mando lo que provoca el cierre de los twist-lock. Cuando el gancho desciende el cable de mando se destensa y los anclajes se abren.

Cuando se requiera operar con un contenedor de dimensiones distintas a las establecidas (20 ft) no es necesario sustituir el spreader, sino que, al existente se le acopla otro con los twist-locks adaptados a las nuevas dimensiones.

2. **Spreaders para grúas portac contenedores:** Estos equipos se diseñan para conseguir la mayor estabilidad posible a la hora de manipular los contenedores, lo cual, se consigue mediante un sistema de cuatro poleas que generan un rectángulo de estabilidad que permite compensar cierto grado de movimientos y giros. Su uso principal es para grandes operaciones con contenedores. Además, de manera general, presentan los siguientes tres movimientos:

- Telescopaje de largueros
- Giro del mecanismo de guiado
- Giro del twist-lock

El spreader también puede incluir:

- Movimiento de giro respecto a un eje vertical.
- Mecanismos de anti-balanceo.

Estos movimientos pueden ser accionados mediante medios hidráulicos o eléctricos.

3. **Spreaders puntuales automáticos:** Estos equipos combinan la sencillez del spreader simple con los sofisticados movimientos del de grúas para portacontenedores. Se sustituye el sistema de sujeción del spreader simple por una torre piramidal aligerada a fin de que la unión de éste con el gancho sea inmediata. Además la inestabilidad por movimiento del centro de inercia se soluciona mediante la translación de la torre al punto de estabilidad.

El accionamiento al igual que en el caso anterior puede ser hidráulico o eléctrico.

5.2.2.4.2 Elementos de un Spreader

- **Cable de mando:** El spreader va equipado con una centralita hidráulica que acciona los twist-locks, los flippers y el mecanismo telescópico de éste.

El control total del spreader se consigue desde la consola de mando en cabina. Por el cable umbilical se envían las órdenes a través de sus distintos conductores eléctricos internos, pilotando la centralita hidráulica y las electroválvulas correspondientes. Así mismo se recibe en cabina la posición de los twist-locks y el estado de los palpadores.

- **Central hidráulica:** La central hidráulica consta de diferentes elementos como son:
 - El tanque de aceite hidráulico el cual sirve para almacenar el aceite y proporcionar refrigeración al mismo. El aceite bombeado y dirigido para efectuar alguna operación vuelve al tanque sin presión.
 - Las válvulas de control gobiernan el flujo de aceite al spreader llevándolo a los actuadores requeridos.
 - La bomba de caudal variable gira con una velocidad constante. El caudal varía según la necesidad de operación. Cuando una válvula de control de una operación se abre, aumenta el caudal, que atraviesa la bomba.
 - Motor eléctrico generalmente es de corriente alterna trifásica a 1.500 rpm y 340/380.

Los distintos elementos de la central hidráulica accionan algunos de los equipos del spreader como son:

- Los twist-locks son movidos por un cilindro hidráulico. Son alimentados por una válvula en cada brazo por lo que funcionan en parejas
 - Los flippers: pueden ser operados de manera individual y son accionados por un motor hidráulico.
 - Los brazos telescópicos son movidos por dos motores hidráulicos. El movimiento del motor es llevado a los brazos telescópicos a través de un mecanismo piñon/cremallera. Los brazos quedan bloqueados en sus distintas posiciones por dos bulones hidráulicos.
 - Los bulones de bloqueo de los brazos telescópicos son actuados por cilindros hidráulicos, que aprietan los bulones en orificios en la estructura del spreader según la longitud demandada por el operario.
- **Estructura:** La estructura suele estar formada por:
 - Un cuerpo de central.
 - Cuatro brazos que pueden ser extensibles o no, que parten del cuerpo central y que están unidos por parejas mediante vigas testeras

Las dimensiones vienen determinadas por las distintas normativas (SEA, ISO, LAND).

- **Mecanismo de seguridad:** Para prevenir una mala sujeción de la carga los spreader cuentan con distintos elementos de seguridad, como son:
 - Twist-locks cerrados/abiertos.
 - Detectores.
 - Palpadores.
 - Posición de los telescópicos.
 - Posición de los bulones de bloqueo de los brazos telescópicos.

Estos sistemas de seguridad, los cuales siempre se encuentran representados en la pantalla mediante un indicador de luz. Además, suelen estar conectados al propio sistema de elevación de forma que si uno de los sistemas detecta una situación de peligro no permita la elevación del contenedor.

- **Sistema anti-balanceo:** Con el incremento del tamaño de las grúas se ha hecho necesaria la instalación de un sistema anti-balanceo que reduzca en la medida de lo posible los movimientos pendulares los spreader. Estos sistemas se encuentran en continua evolución la cual, es fomentada por el continuo incremento del tamaño de los buques portacontenedores y por tanto de los movimientos de péndulo (mayor tamaño de buque significa mayor tamaño de grúa).

Los sistemas anti-balance tienen como función, la reducción de los movimientos de péndulo a fin de aumentar la productividad de las operaciones. Estos sistemas son especialmente útiles en aquellos casos en que los operadores cambien con frecuencia pues si un operador trabaja durante un periodo de tiempo lo suficientemente prolongado llegará a ser capaz de controlar estos movimientos. En la optimización, objeto del presente estudio, se empleará este sistema pues ante la falta de operador será necesario que la propia grúa controle estos movimientos

5.3 Especificación de Diseño

Para este Trabajo Fin de Master se ha escogido una grúa Super-Post-Panamax, la grúa de mayor tamaño. Este modelo de grúa ha sido seleccionado por ser el que tiene una mayor vida útil y también por ser de interés en las nuevas líneas de comercio que busca Puertos del Estado (en este sentido buscar el interés industrial del proyecto). Se ha procedido analizar con detenimiento los procesos necesarios en la descarga de portacontenedores, a fin de llegar una solución totalmente automatizada que combine el algoritmo de control junto con un Scada para la supervisión y gestión. Esto hará posible conocer en tiempo real información sobre el estado del proceso, lo cual permitirá desarrollar funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico.

Grúa Super Post-Panamax	
Dimensiones Principales	
Alcance delantero	hasta 61 m.
Alcance trasero	hasta 25 m.
Distancia entre ejes	hasta 32 m.
Altura bajo spreader	hasta 40 m.
Carga nominal	(50-65) tn.
Spreader	(20-40) ft.
Velocidades	
Pórtico	45 m/min.
Elevación con carga	(80-100) m/min.
Elevación sin carga	(160-200) m/min.
Carro	(180-240) m/min.

Tabla 9: Características Grúa Super Post-Panamax

Los requisitos establecidos, desde el punto vista tecnológico son los siguientes:

- Todos los elementos de actuación de la grúa han de ser supervisados y controlados de forma eficiente por el sistema experto
- Existirán distintos programas en función de la condición de operación en la que se encuentre la grúa, a saber: funcionamiento diario, emergencia y mantenimiento.

- La información de estado del sistema se ha de presentar de manera clara y concisa de forma que sirvan para apoyar las decisiones del sistema y si fuese necesario faciliten la toma de decisiones por parte del operador.

A raíz de los requisitos fijados y teniendo en cuenta la relación coste-versatilidad, se han tomado las siguientes decisiones:

1. El diseño del algoritmo de control se basa en lógica programable, aunque también se han estudiado otras opciones como son:
 - Lógica cableada: descartada por falta de flexibilidad.
 - Lógica difusa: esta lógica se ha descartado por no adecuarse al planteamiento que se ha realizado desde la concepción del sistema.
2. Para realizar la implementación del sistema experto se ha escogido un PLC o autómatas programables industriales de la serie Siemens S7-1200 pues este modelo cubre los requisitos técnicos del sistema y responde a los estándares de la programación lógica y de comunicación.
3. El Scada y el Interface hombre-máquina (HMI) se han desarrollado con el software "WinCC Flexible Advance" de Siemens, el cual es completamente compatible con el software del PLC y otros elementos empleados.
4. Se realizarán las modificaciones necesarias a fin de obtener el mayor grado de eficiencia para lo cual se analizan las distintas problemáticas existentes.

6 DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO

6.1 Estudio del Proceso de Control

- 1- **Posicionamiento inicial:** cuando la grúa no se encuentre en operación, durante un periodo considerable de tiempo, estará estibada, con la pluma izada, en el extremo de estribor de la terminal de contenedores, por lo que el primer movimiento a realizar será su posicionamiento en un punto determinado. Este proceso incluirá el descenso de la pluma y el avance del carro a la posición del primer contenedor.

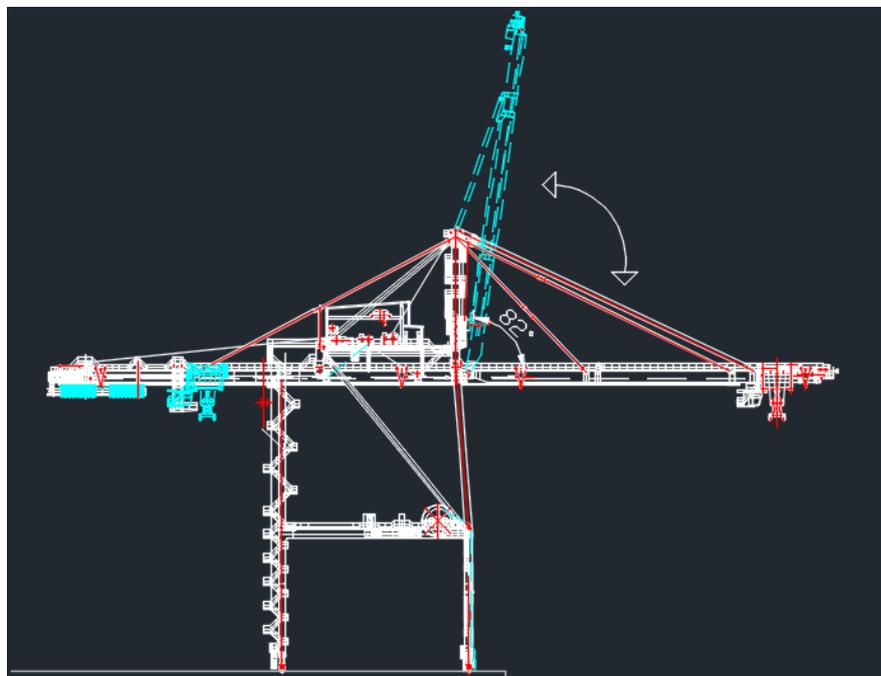


Ilustración 23: Movimiento de la Pluma

- 2- **Posicionamiento longitudinal:** con la pluma bajada se procederá al movimiento de la grúa a la columna seleccionada. Será un requisito que el programa memorice la posición de la grúa bajada

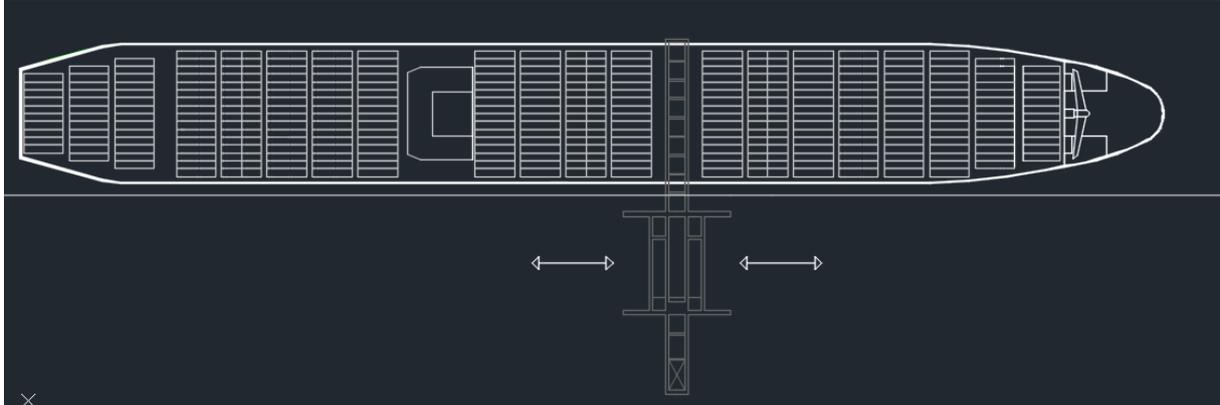


Ilustración 24: Desplazamiento Longitudinal

- 3- **Ajuste del Spreader:** con el spreader en la columna y fila destino se realizará el ajuste de carro al tamaño del contenedor a deslaza existiendo dos posibilidades:
 - a- Contenedor de 40 ft o 2 de 20 ft: en este caso no será necesario realizar un ajuste del carro pues el estado inicial del spreader es el de posición extendida (apto para contenedores de 40 ft o para 2 de 20 ft).
 - b- Contenedor de 20 ft: en esta opción si será necesario adaptar el carro a la posición reducida y la recolocación de la grúa en la nueva fila, pues como se verá más adelante al pasar de un contenedor de 40 ft a otro de 20 ft se realizará una remuneración de las columnas a fin de que el programa conozca la posición de la grúa en cada momento.



Ilustración 25: Ajuste Spreader

- 4- **Posicionamiento transversal:** una vez la grúa se sitúe en la columna destino será momento de que el carro se desplace a la fila destino.

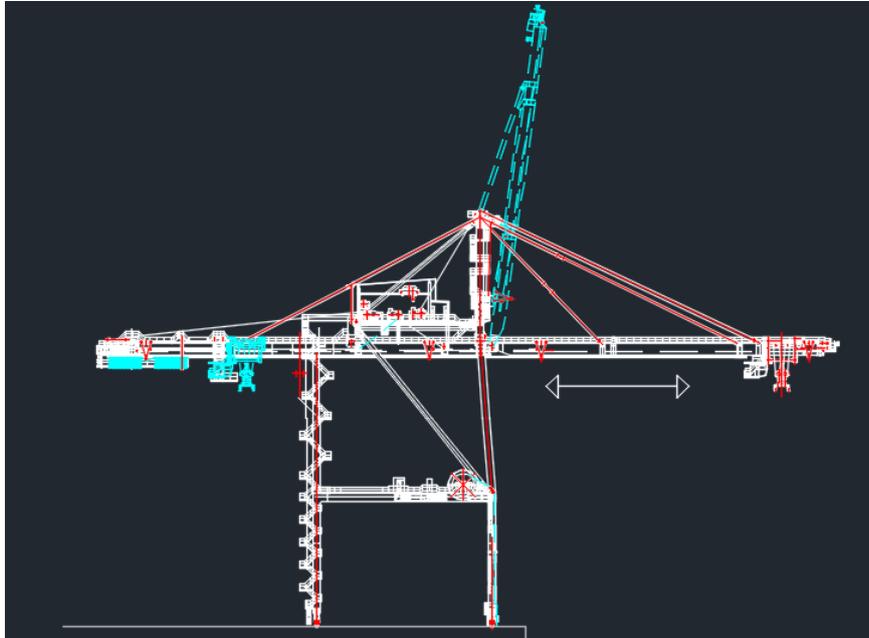


Ilustración 26: Desplazamiento del Carro

- 5- **Descenso/Ascenso:** este proceso consistirá en el descenso del spreader hasta el contenedor seleccionado y su posterior elevación.

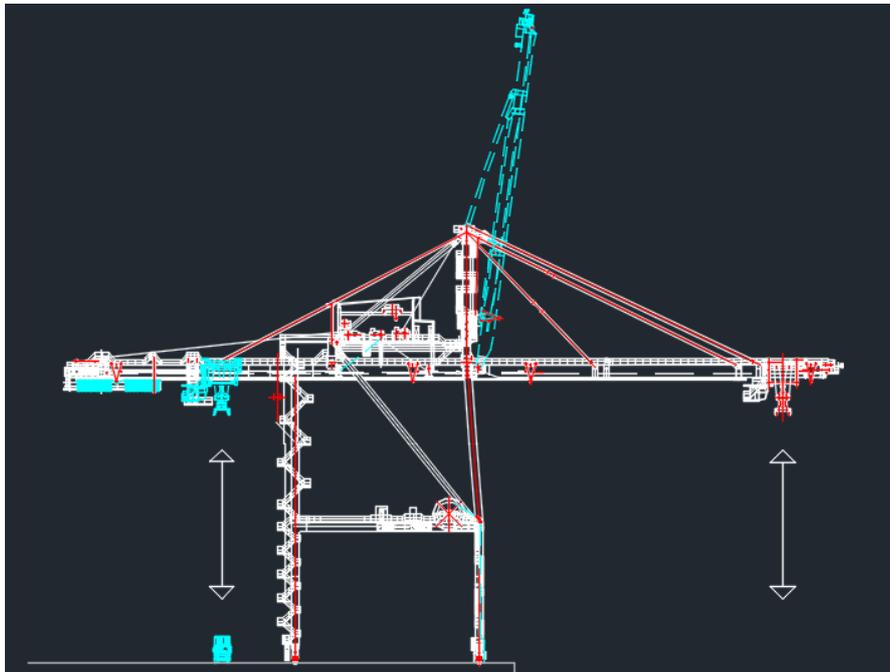


Ilustración 27: Movimiento del Spreader

- 6- **Cierre/Liberación:** entre el descenso y el ascenso se producirá el cierre o apertura de las uñas de sujeción.



Ilustración 28: Sistema de Cierre/Liberación

- 7- **Fin de operaciones:** finalizado el periodo de operación la grúa retornará a la zona de estiba de forma automática.

Las operaciones de descarga y la de elevación de la pluma no se considerarán de forma independiente pues son modificaciones de las operaciones expuestas con anterioridad

6.2 Síntesis: Algoritmo de Control

El sistema experto a desarrollar además de gobernar de forma automática y eficiente los procesos que engloba la descarga del contenedor, también, debe supervisar el correcto y seguro funcionamiento. Para alcanzar estos objetivos será necesario que el algoritmo lleve implícito la supervisión del proceso (información sobre el seguimiento de las acciones a realizar).

Las especificaciones establecidas para diseño del algoritmo de control son:

- El sistema experto operará de forma automática siguiendo los distintos programas de funcionamiento.
- Debe englobar todas las funciones y secuencias estándares.
- Debe establecer procedimientos y señalizaciones para casos de fallo o emergencia.
- La estructura debe facilitar modificaciones y ampliaciones futuras.
- Debe existir comunicación bidireccional con el Scada.
- Debe llevar a cabo la lectura e interpretación de todas las señales ya sean digitales o analógicas, además del acondicionamiento de las mismas.
- La supervisión realizada por el sistema sobre los actuadores y elementos ha de ser continua.

Presentadas las diferentes especificaciones y del algoritmo se procederá a realizar la programación de mismo.

El diseño del algoritmo se ha dividido en 7 subprocesos los cuales se llevan a cabo de forma secuencial, creando un proceso continuo y estructurado. Esta metodología hace más sencillo resolver el algoritmo de control como la síntesis de un conjunto de subprogramas con lo cual se ahorra tiempo y complejidad.

El algoritmo será representado mediante un Grafcet, el cual constituye el modo de representación adecuado a sistemas de evolución secuencial. Además, permite imponer un modo riguroso y seguro de funcionamiento que evita incoherencias, bloqueos o conflictos en las acciones. Una ventaja de este modelo de representación es que permite estructurar el programa en módulos que pueden ser tratados de forma independiente.

Tanto las acciones como las receptividades de Grafcet, asociadas a las etapas las primeras y a las transiciones las segundas se describen a dos niveles:

- **Nivel 1:** en este nivel no se consideran los elementos tecnológicos del órgano operativo y solo se consideran las especificaciones de tipo funcional (se describen las funciones del sistema).

- **Nivel 2:** es en este nivel en el cual se tratan los aspectos tecnológicos del órgano operativo y de su entorno, al igual que sus especificaciones operacionales.

A continuación, se muestran las variables de entrada y salida del algoritmo de control:

<i>Entradas</i>	<i>Tipo</i>	<i>Dirección</i>
Condición de Marcha	Bool	%I0.0
Sensor de Pluma Bajada	Bool	%I0.1
Contenedor de 40ft	Bool	%I0.2
Contenedor de 20ft	Bool	%I0.3
Sensor de Proa	Bool	%I0.4
Sensor de Popa	Bool	%I0.5
Sensor Spreader Reducido	Bool	%I0.6
Centrado a Proa	Bool	%I0.7
Centrado a Popa	Bool	%I1.0
Sensor de Altura	Bool	%I1.1
Sensor de Estribor	Bool	%I1.2
Sensor de Babor	Bool	%I1.3
Sensor de Tensión	Bool	%I1.4
Sensor se Sujeción	Bool	%I1.5
Sensor de Liberación	Bool	%I1.6
Sensor de Pluma Elevada	Bool	%I1.7
Fin de Carrera	Bool	%I2.0
Tareas de Mantenimiento	Bool	%I2.1
Rearme	Bool	%I2.2
Paro de Emergencia	Bool	%I2.3
Señal de Entrada Inicial	Real	%ID10
Señal de Entrada Final	Real	%ID20
Columna Destino 40ft	Int	%IW15
Columna Destino 20ft	Int	%IW20
Fila Destino	int	%IW30

Tabla 10: Entradas del Programa

Salidas	Tipo	Dirección
Avance Hacia Proa	Bool	%Q0.0
Descenso de Pluma	Bool	%Q0.1
Avance Hacia Popa	Bool	%Q0.2
Reducción Carro	Bool	%Q0.3
Avance Estribor	Bool	%Q0.4
Avance Babor	Bool	%Q0.5
Descenso de Spreader	Bool	%Q0.6
Sujeción	Bool	%Q0.7
Liberación	Bool	%Q1.0
Elevación	Bool	%Q1.1
Elevación Pluma	Bool	%Q1.2
Ampliación del Spreader	Bool	%Q1.3

Tabla 11; Salidas del Programa

Marcas HMI	Tipo	Dirección
Condición de Marcha HMI	Bool	%M0.1
Tareas de Mantenimiento HMI	Bool	%M0.2
Rearme HMI	Bool	%M0.3
Paro HMI	Bool	%M0.4

Tabla 12: Marcas HMI

La codificación del algoritmo control se realiza a través del software de programación del PLC. En este caso se ha seleccionado el lenguaje de diagrama de contactos. Este es un lenguaje de programación universal que permite ser implementado en cualquier PLC del mercado.

En el Anexo II "Grafcet", se presenta el Grafcet de 1º Nivel. En él se muestran 7 subprocesos que son secuenciales entre si y que se pueden tratar de forma independiente entre si.

6.2.1 Subproceso de Posicionamiento Inicial

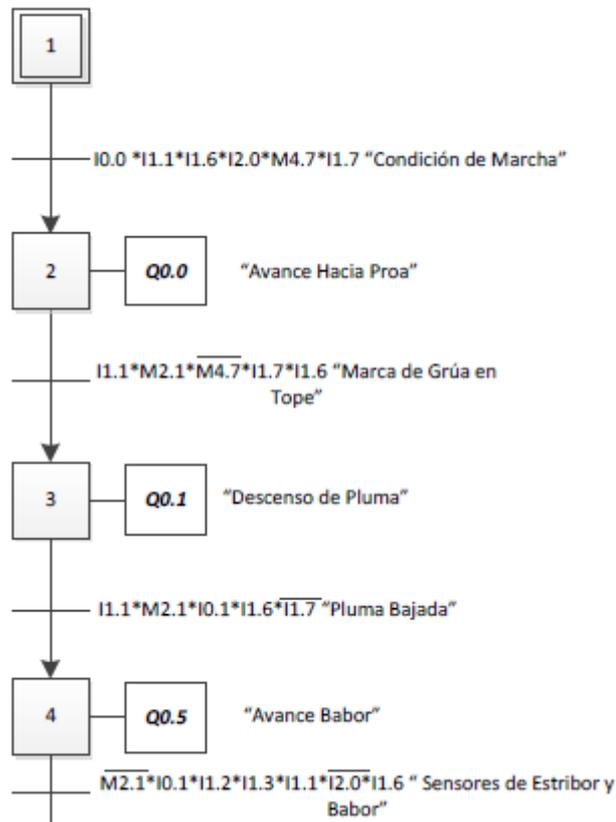


Ilustración 29: Grafset Posicionamiento Inicial

El primer subprograma lo constituye el referente al posicionamiento inicial de la grúa. Este proceso se inicia cuando se activa la condición de marcha del programa (I0.0 ó M0.0). Activada esta condición y mediante los sensores de distancia, correspondientes a las marcas MD11 y MD21, la grúa avanza hasta posicionarse a 5 metros del tope, el cual es situado por los operarios, e indica el límite de la zona de trabajo, (la marca M2.1 "Marca de Grúa en Tope" indica que la grúa se sitúa a 5 metros del tope). Por la configuración realizada el posicionamiento siempre implica un desplazamiento hacia estribor (corresponde con la activación de la salida Q0.0 "Avance hacia Proa").

Una vez la grúa se encuentra en posición, se inicia el descenso de la pluma mediante la activación de la salida Q0.1 "Descenso de Pluma" hasta que, a través del sensor I0.1 "Pluma bajada", se indique que la pluma se encuentra en la posición deseada.

Para concluir con este posicionamiento el carro avanzará (activación de la salida Q0.5 "Avance Babor") hasta detectar el primer contenedor (el contador de filas ha de indicar la posición 1), posición que se detecta mediante la activación simultánea de los sensores de estribor y babor I1.2 e I1.3 respectivamente.

6.2.2 Subproceso de Posicionamiento Longitudinal

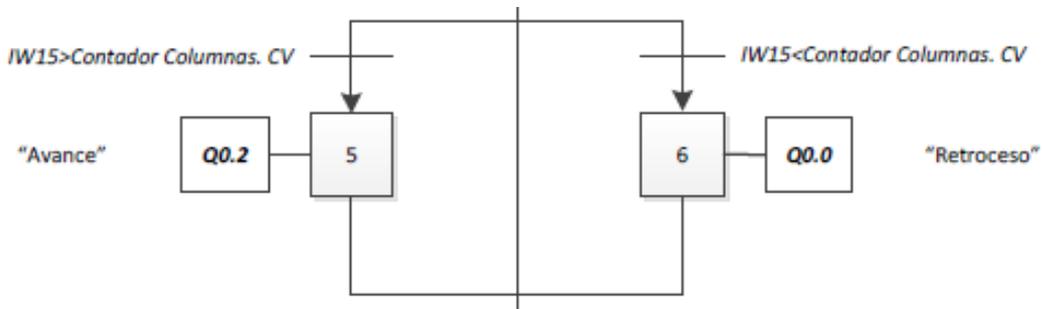


Ilustración 30: Grafset Posicionamiento longitudinal

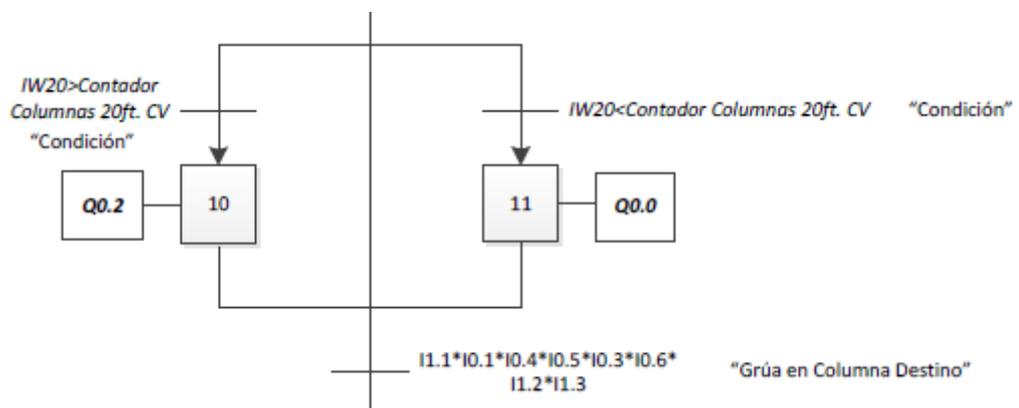


Ilustración 31: Grafset Posicionamiento longitudinal 20 ft

Una vez situada la grúa en las condiciones iniciales será el momento de empezar con las operaciones de transferencia de contenedores entre el buque y la terminal. El primer paso consiste en el posicionamiento longitudinal de la grúa en la columna de contenedores elegida, para lo cual se dispone de dos sensores (uno a proa I0.4 y otra popa I0.5) que cuando se activan de manera simultánea identifican la posición de un contenedor debajo del spreader. Con estos sensores y con la ayuda de un contador (ascendente/descendente) que modifique su valor cada vez que los sensores se activen se determina la posición, en columnas, de la grúa a lo largo de la eslora del buque.

Si la columna en la que se encuentra la grúa es menor a la columna destino se activa la salida Q0.2 "Avance Hacia Popa" en caso contrario se activa la salida Q0.0 "Avance Hacia Proa).

6.2.3 Subproceso de Ajuste del Spreader

Debido que la condición de operación estándar del spreader es aquella que corresponde a la configuración para contenedores de 40 ft se deberá de realizar un ajuste del mismo cuando se desee operar con contenedores de 20 ft. Se consideran las dos posibles opciones a la hora de realizar este ajuste.

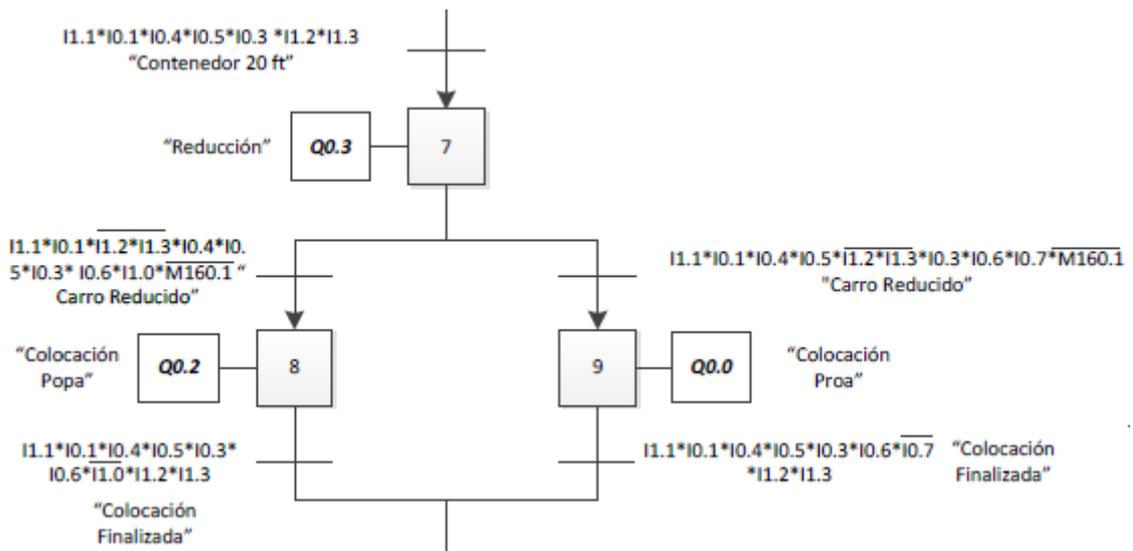


Ilustración 32: Grafect Ajuste

1. Tránsito de operar con contenedores 40 ft a 20 ft (Activación "Contenedor de 20 ft" I0.2): En esta opción lo que se produce una reducción del spreader hasta que se active el "Sensor de Carro Reducido" I0.6. Una vez finalizada la reducción se procede a un nuevo posicionamiento de la grúa en la columna de contenedores (este movimiento de la grúa está relacionado con las salidas Q0.0 Y Q0.2), el cual se debe a que en la posición en donde se encuentra un contenedor de 40 ft se sitúan dos de 20 ft, por lo que según se active la opción de contenedor a popa, ("Centrado a Popa" I1.0) ó a proa ("Centrado a Proa" I0.7) la grúa avanzará o retrocederá hasta situarse de nuevo en posición, lo cual viene indicado por la activación simultanea de los sensores de proa (I0.4) y popa (I0.5).
2. Tránsito de operar contenedores de 20 ft a 40 ft (Desactivación de I0.2 y activación de "Contenedor de 40 ft" I0.2): El proceso seguido en esta opción es exactamente el opuesto al del caso anterior.

Cabe mencionar que en ambas opciones se realiza una remuneración de las columnas de contenedores, pues una columna de contenedores de 40 ft se corresponde con dos columnas de contenedores de 20 ft.

6.2.4 Subproceso de Posicionamiento Transversal

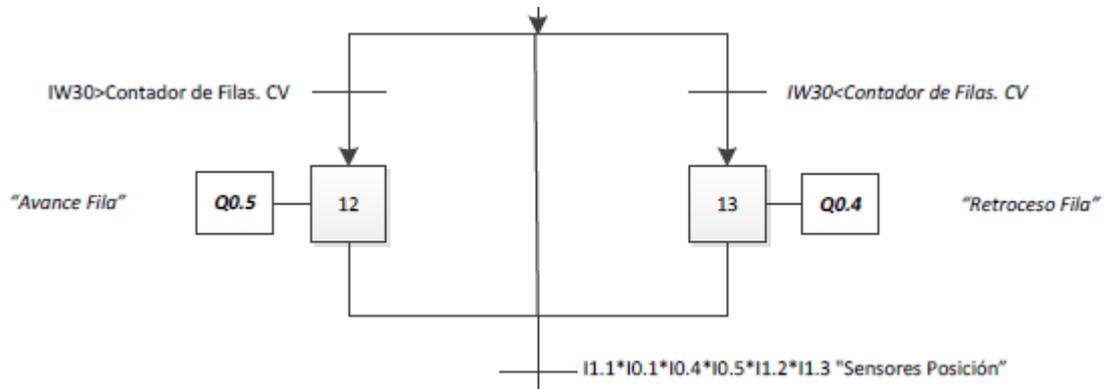


Ilustración 33: Grafcet Posicionamiento Transversal

Una vez ajustado el spreader se procede a su avance hasta la fila de contenedores seleccionada, ya sea de 40 ft o de 20ft. Para determinar la posición de las filas se emplea el mismo procedimiento empleado para las columnas con la diferencia de que en este caso los sensores que definen la posición son los "Sensor de Estribo" I1.2 y "Sensor de Babor" I1.3. Si la posición actual del spreader es inferior, en fila, a la posición destino se activa la salida Q0.5 "Avance Babor" si la situación es la opuesta se activa la salida Q0.4 "Avance Estribo".

6.2.5 Subproceso de Descenso/Ascenso

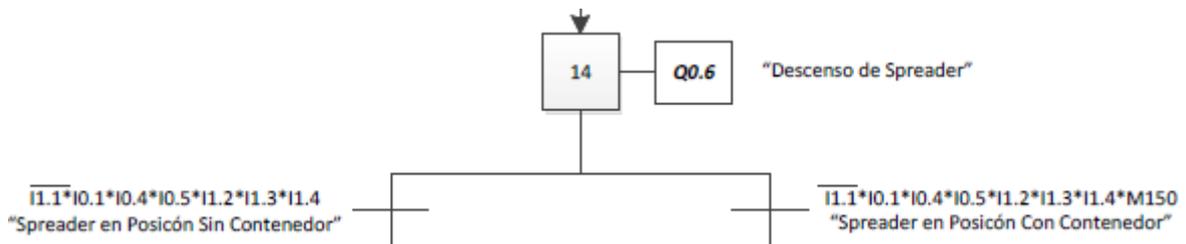


Ilustración 34: Grafcet Descenso

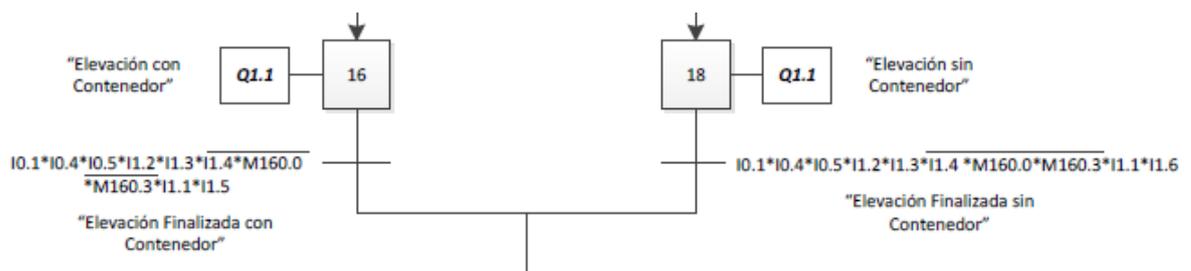


Ilustración 35: Grafcet Ascenso

Para que se realice cualquiera de estos dos procesos los cuatro sensores que definen la posición del spreader (I0.4, I0.5, I1.2 e I1.3) deben estar activados. El movimiento se realiza entre el sensor que indica la posición de máxima altura ("Sensor de Altura" I1.1) y el que detecta el contacto entre el spreader y el contenedor, I1.4 "Sensor de Tensión".

Los movimientos de ascenso y descenso son controlados por las salidas Q1.1 "Elevación" y Q0.6 "Descenso" respectivamente.

6.2.6 Subproceso de Cierre/Liberación



Ilustración 36: Grafcet Cierre/Liberación

Cuando el sensor de tensión, I1.4 que identifica que el spreader está apoyado está activado se procede a la sujeción la cual activa la salida "Sujeción" Q0.7 hasta que se active el "Sensor de Sujeción" I1.5. Si por el contrario lo que se lleva a cabo es la liberación del contenedor la salida a activar es la Q1.0 "Liberación", permaneciendo activada hasta que se active el "Sensor de Liberación" I1.6.

Para determinar que acción se debe realizar se empleará una marca de programa que indicará la existencia o no de un contenedor en el spreader M.150.0 "Marca de Diferenciación".

6.2.7 Subproceso de Fin de Operación

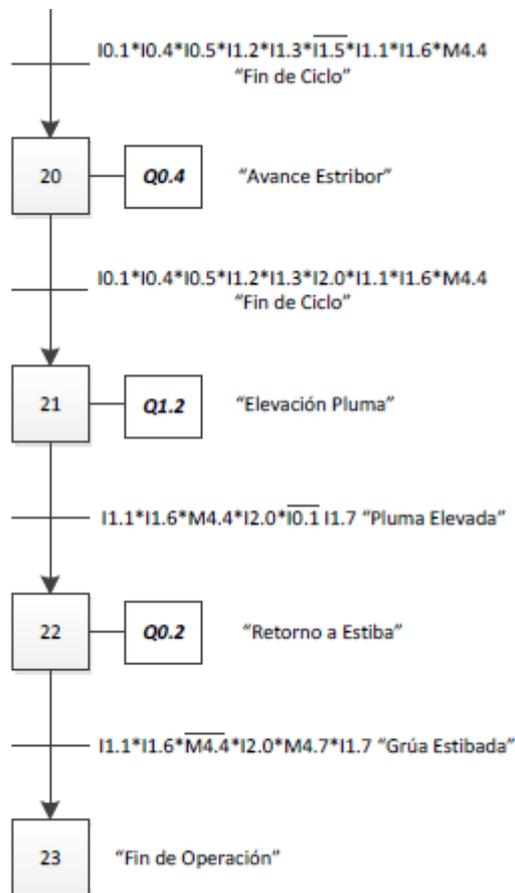


Ilustración 37: Grafcet Fin de Operación

Cuando las operaciones finalizan se procede a la estiba de la grúa para lo cual los distintos elementos retornan a sus posiciones iniciales de operación. El proceso consiste en:

Elevación de carro hasta que el "Sensor de Altura" I1.1 esté activado.

Retorno del carro a la posición inicial, posición indicada por la activación del sensor "Fin de Carrera" I2.0.

Elevación de la pluma mediante la activación de la salida Q1.2 "Elevación Pluma" hasta que se active el "Sensor de Pluma Elevada".

Por último, una vez la pluma esté elevada la grúa retorna a su posición de estiba. La grúa avanza hasta que la señal proporcionada por las Marcas MD11 y MD21, que miden las distancias respecto a los puntos de referencia indique que se está en la posición indicada.

6.2.8 Subprogramas

Además, de los subprocesos que conforman el programa principal de operación del sistema experto también se cuenta con distintos subprogramas como son:

6.2.8.1 Subprograma de Mantenimiento

Para la implementación de este subprograma, el cual se activa al pulsar la entrada I2.1 "Tareas de Mantenimiento" o la marca equivalente del HMI (M0.2), se ha considerado que ha de operar de forma independiente al proceso de operación en condiciones estándar y que además ha de permitir la operación independiente de todos los equipos que formen parte del proceso de carga/descarga de contenedores.

Los requisitos establecidos para la realización de este subprograma se basan en facilitar las tareas de mantenimiento a fin de reducir los tiempos y costes del mantenimiento, con lo que se pretende aumentar la productividad de las operaciones.

6.2.8.2 Subprograma de Rearme

Este subprograma controla el rearme de la máquina y posiciona todos los elementos en sus condiciones iniciales de operación.

Para que el rearme se realice será necesario pulsar uno de los dos pulsadores existentes (M0.3 ó I2.2), ya sea el físico o el del HMI. Esta condición se puede activar bien cuando la máquina se encuentra en la condición de operación normal y por alguna razón se produce una situación en la que se requiera rearmar la máquina o bien cuando se a realizado una parada y en vez de continuar la operación cuando se desactive la condición de parada, lo cual es posible debido a la programación realizada se prefiera rearmar la máquina.

6.2.8.3 Subprograma Parada de Emergencia

En el desarrollo del subprograma de paro, el cual se activa al pulsar cualquiera de los pulsadores dispuestos, físico (I2.3) ó HMI (M0.4), se ha considerado que el sistema funciona en un ciclo durante un periodo de tiempo sin especificar, que el control de las operaciones se realiza desde un único punto y que existen diferentes medidas de protección como pueden ser sensores y barreras físicas. Por todas estas razones se ha tomado la decisión de unir en un solo mando el paro general y el de emergencia.

Para aumentar el grado de protección ante un posible fallo del autómatas, lo cual es poco probable debido al alto nivel de protección con el que cuenta, se dispondrán sistemas de paro manual en todos los elementos.

Gracias a la programación implementada el programa experto permite que al desactivar la condición de para las operaciones continúen en el punto en el que se interrumpieron o bien rearmar la máquina devolviendo a esta a las condiciones iniciales.

6.2.9 Control y supervisión de las variables analógicas

Uno de los factores clave en la operación del sistema es la determinación de la posición de la grúa a lo largo del muelle para lo cual se utilizan distanciómetros laser de gran alcance. Estos sensores proporcionan señales de intensidad la cuales recibe el autómatas, mediante su entrada analógica, para posteriormente transfórmalas en señales digitales. El problema de este tipo de señal reside en el acondicionamiento adecuado de estas señales al sistema experto, pues esta influirá de manera significativa en la calidad del mismo.

A continuación, se expone el modelo de adecuación de las señales analógicas:

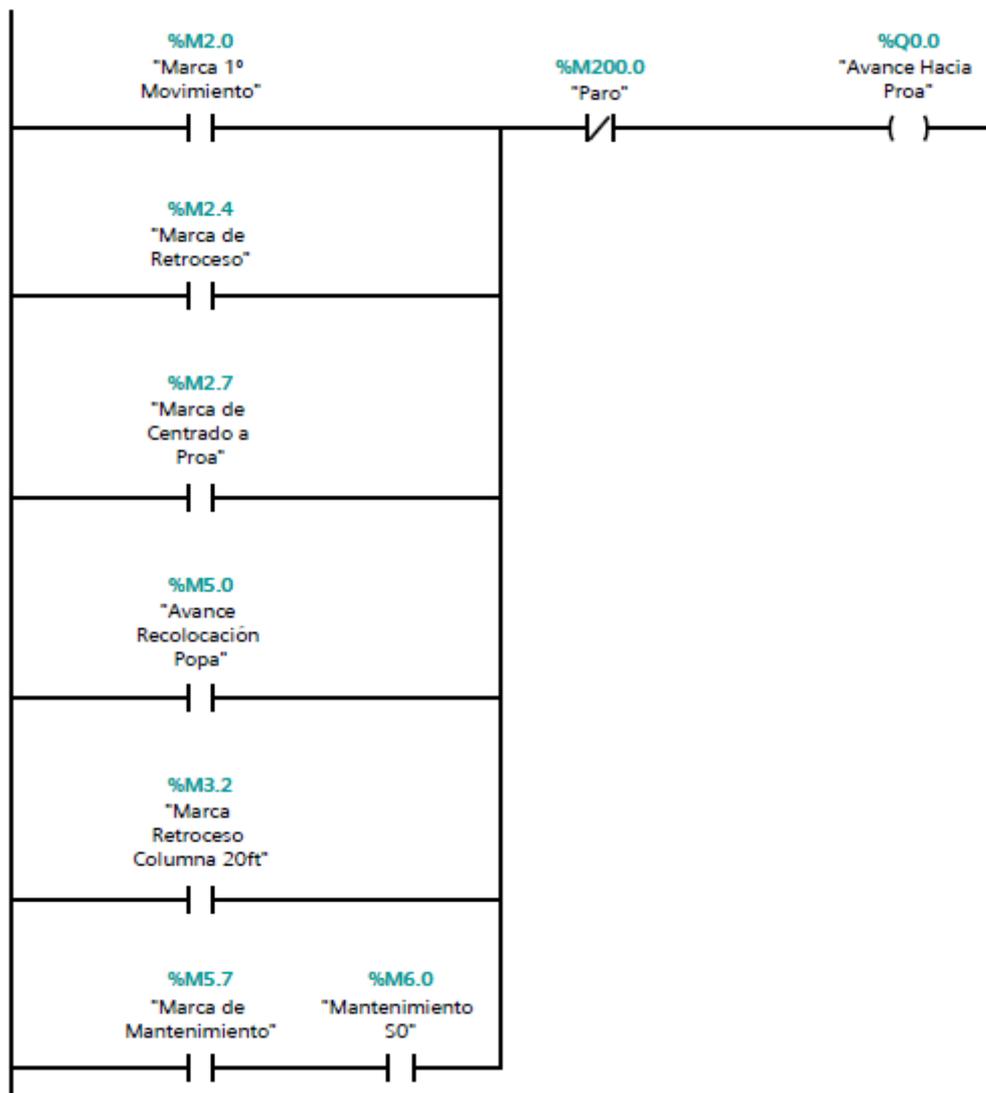
- El sensor de distancia, el cual se comporta generalmente de manera lineal, proporciona valores entre 4 y 20 mA. según la ecuación:

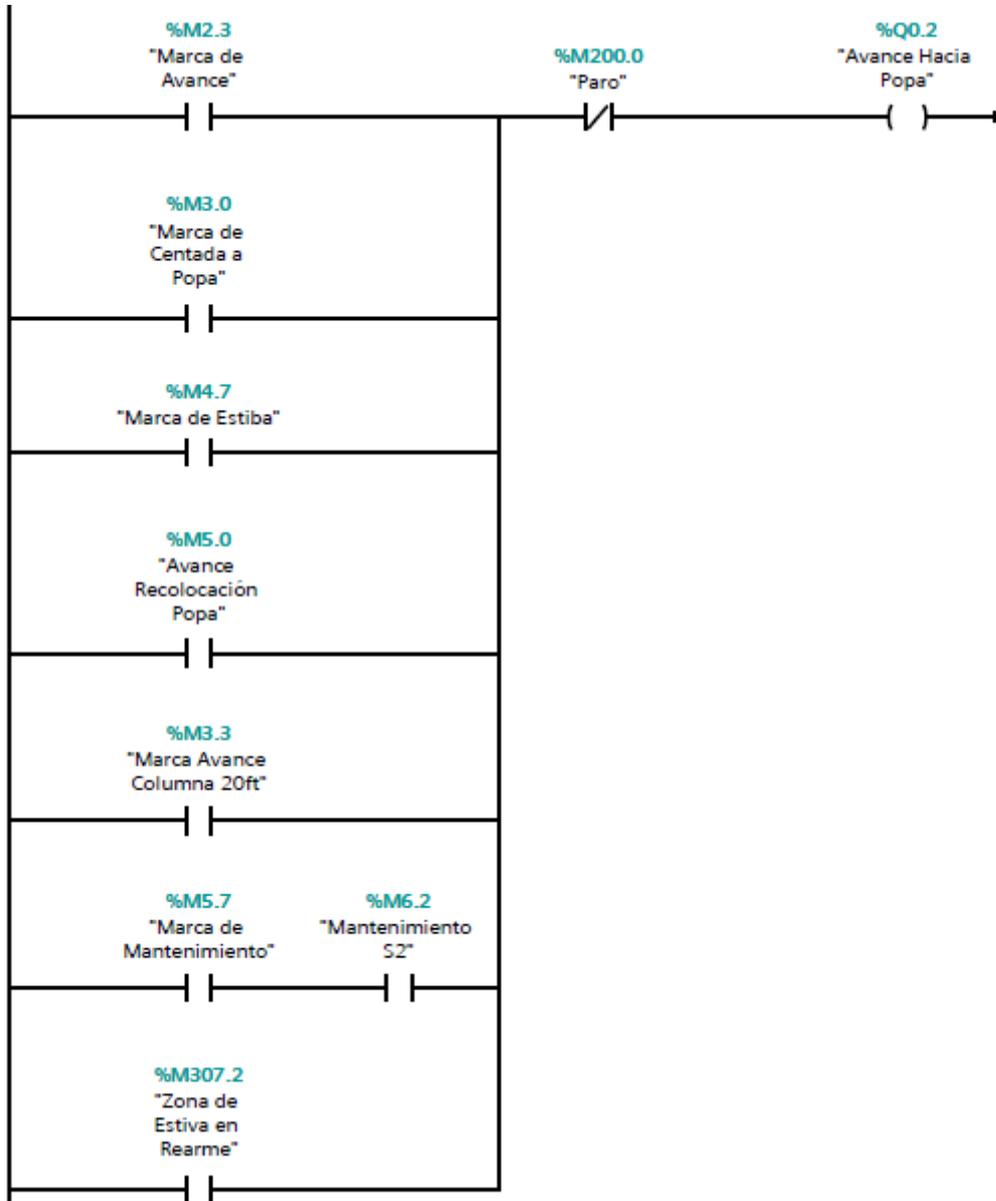
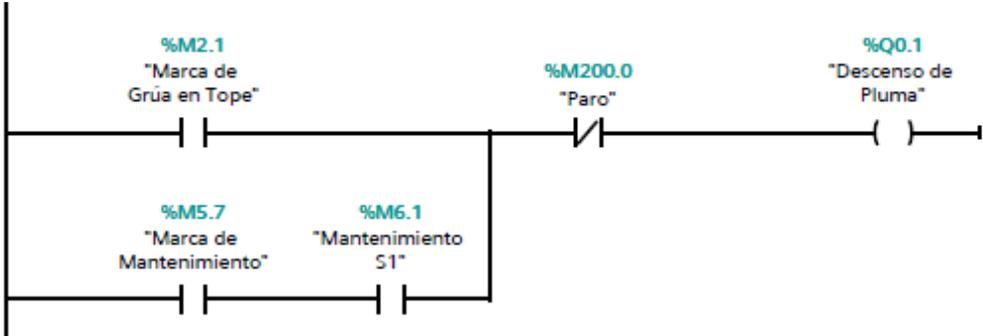
$$m = \frac{500}{20 - 4} = 31,25 \rightarrow 500 - dist. = 31,25 * (20 - I) \rightarrow I(mA) = 20 - \frac{(500 - dist.)}{31,25}$$

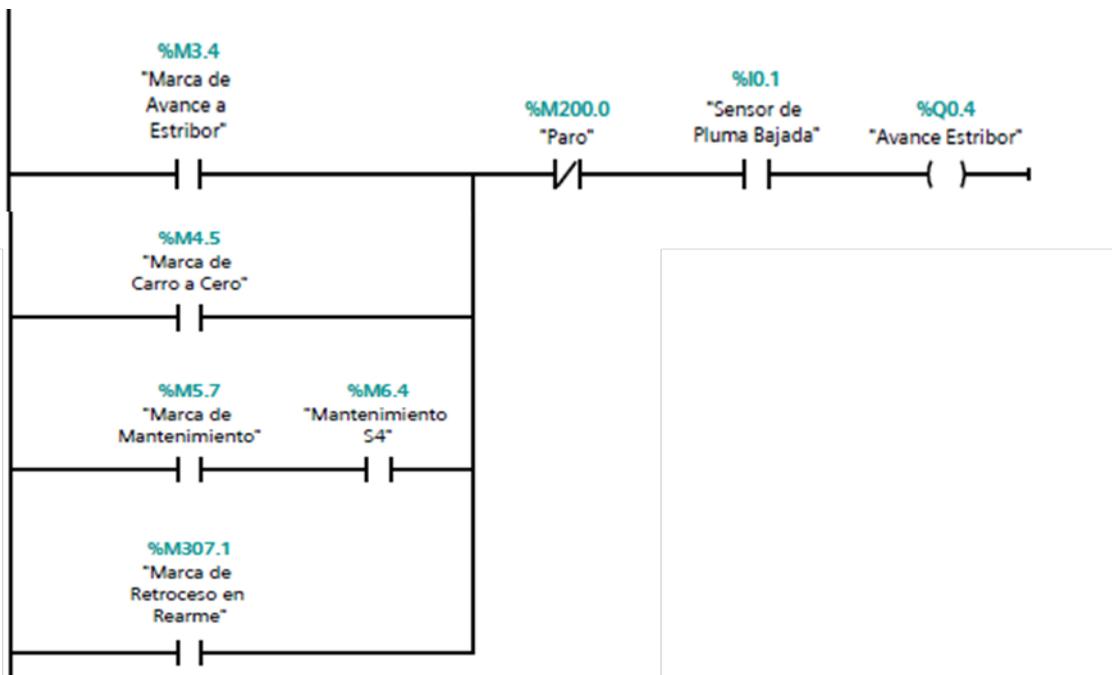
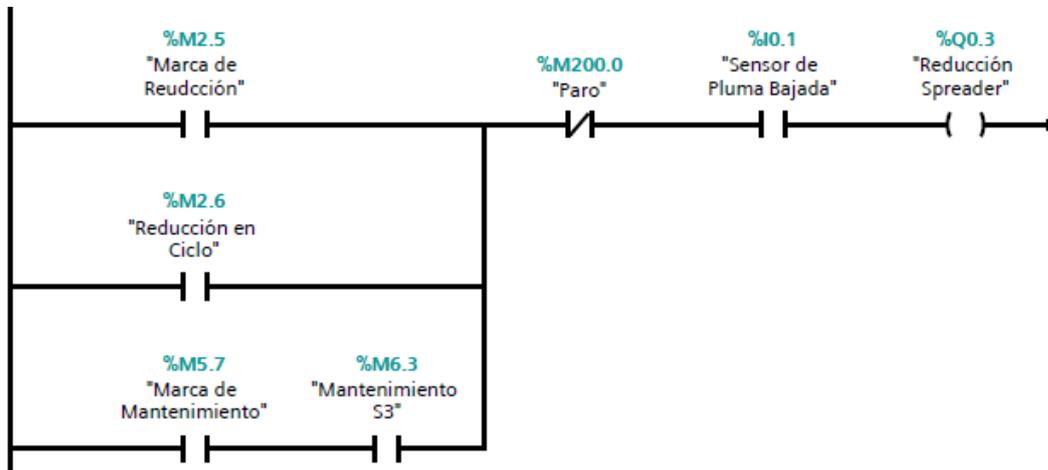
6.3 Codificación del Algoritmo de Control

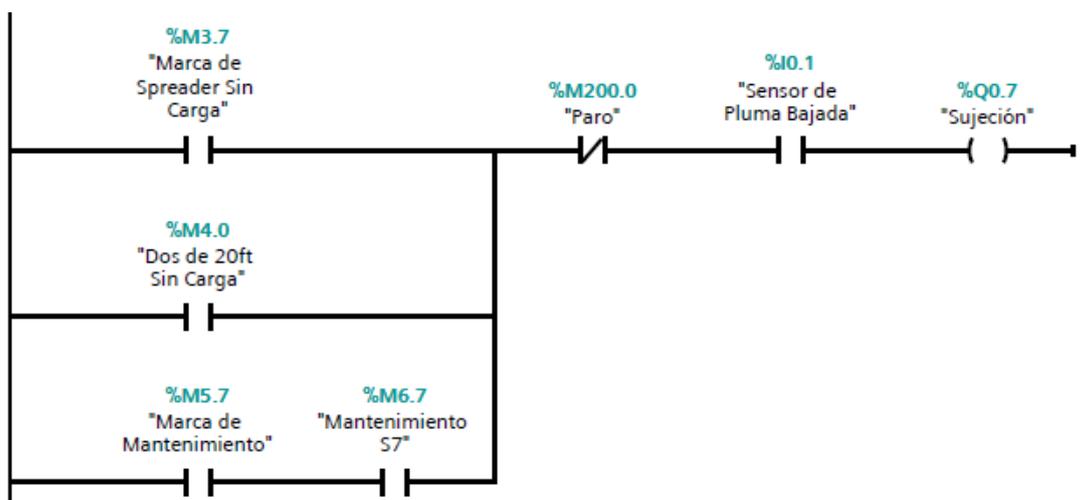
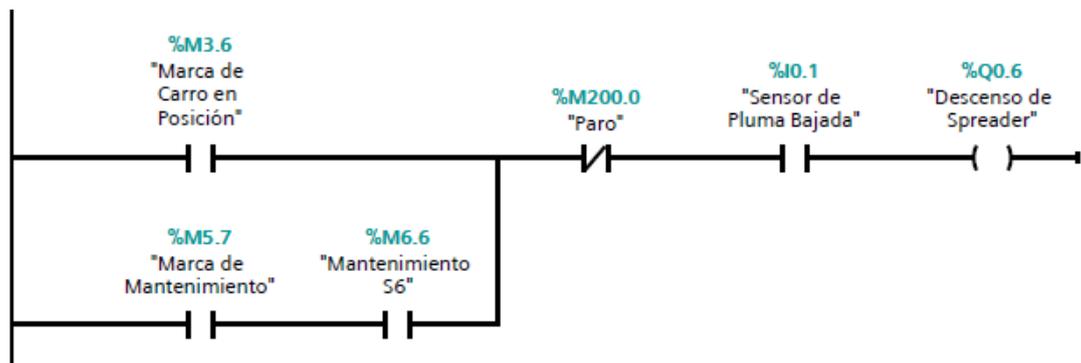
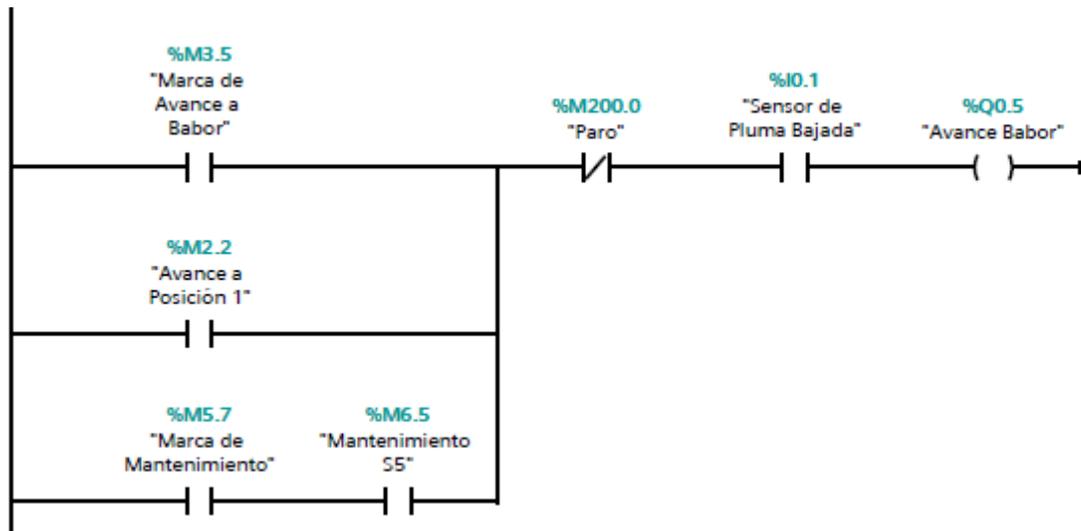
En este apartado se desarrolla el algoritmo de control el cual será programado en el PLC. Este algoritmo es el resultado de transformar el lenguaje obtenido en el Grafcet de segundo nivel y de los subprogramas existentes a Lenguaje Diagrama de Contactos. (El informe que proporciona el programa puede verse en el Anexo I "Informes").

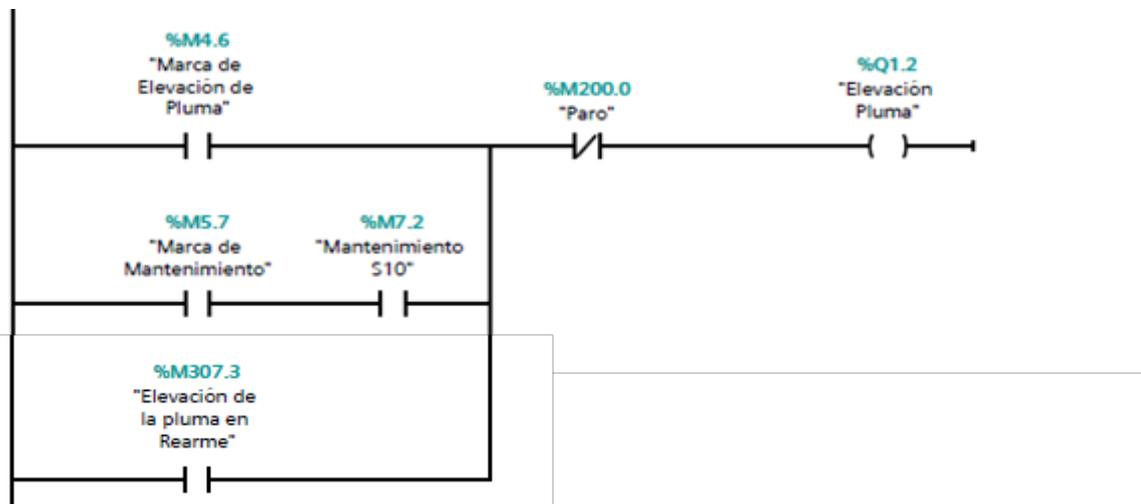
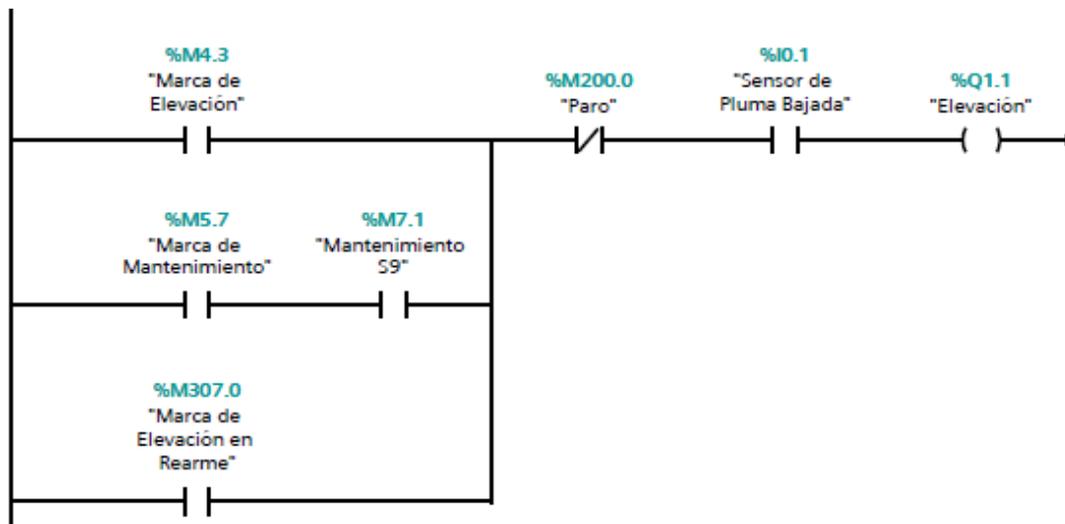
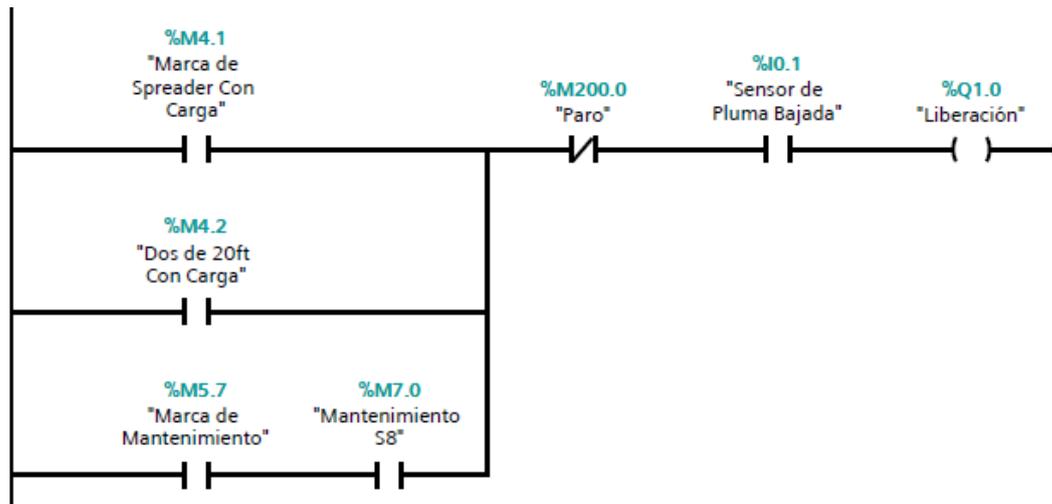
6.3.1. Programa Principal











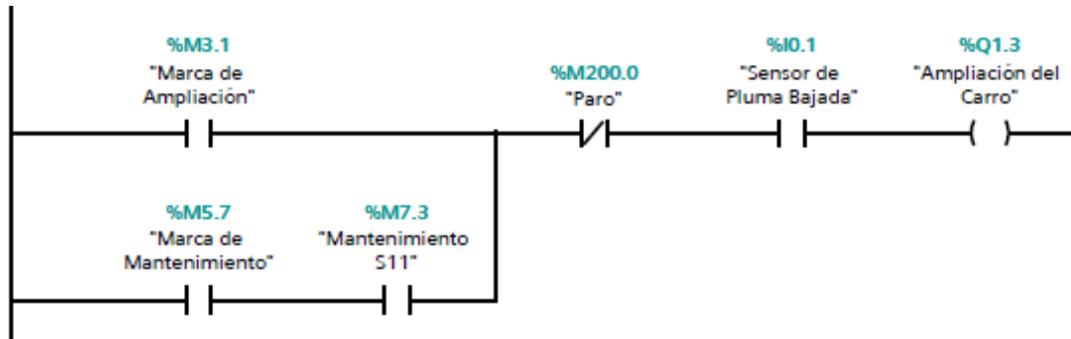


Ilustración 38: Salidas

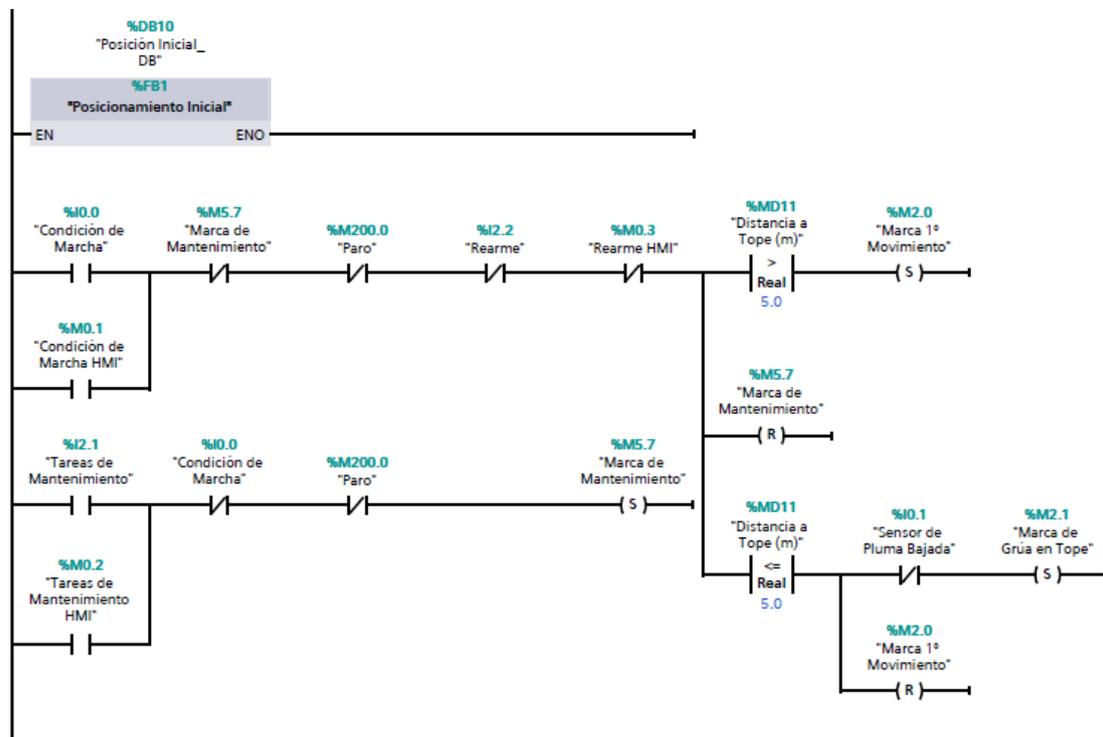


Ilustración 39: Posicionamiento Inicial

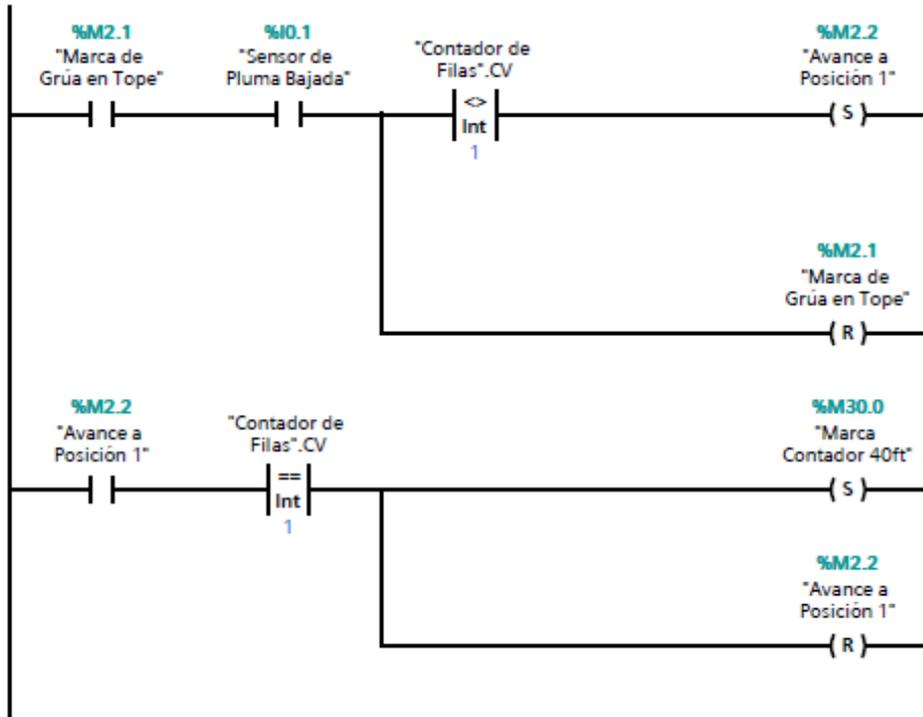


Ilustración 40: Bajada de Pluma

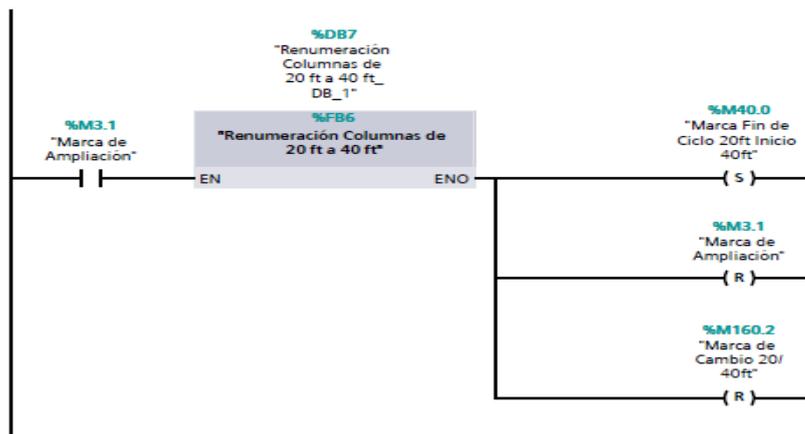


Ilustración 41: Cambio de 20 ft a 40 ft

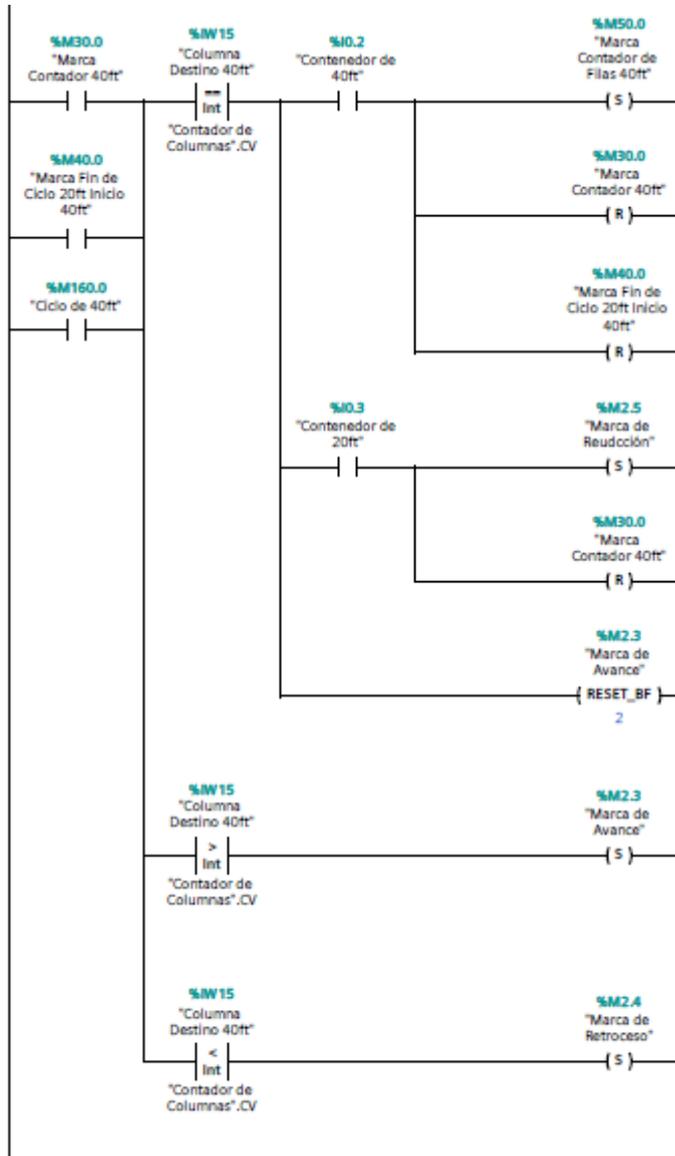


Ilustración 42: Posición Relativa Respecto Columna de Contenedores

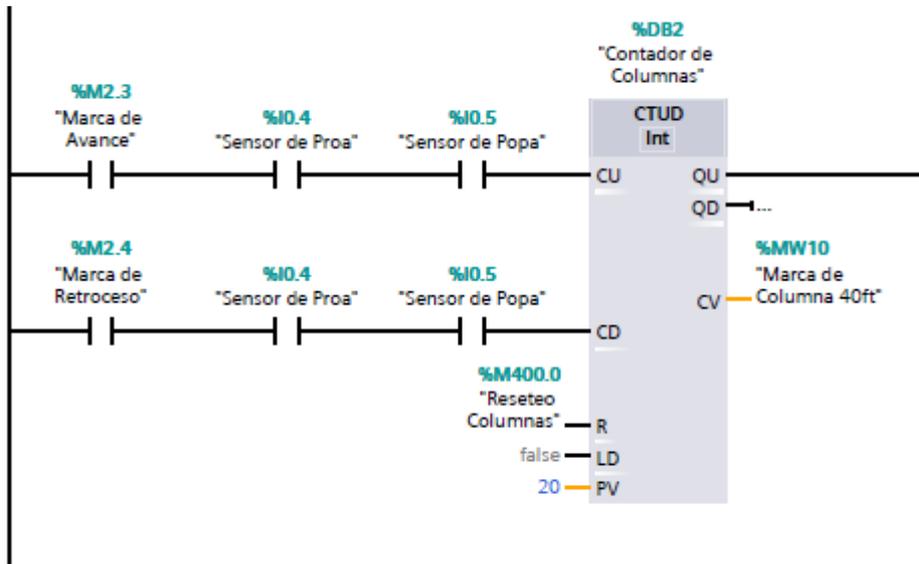


Ilustración 43: Contador de Columnas y Ajuste

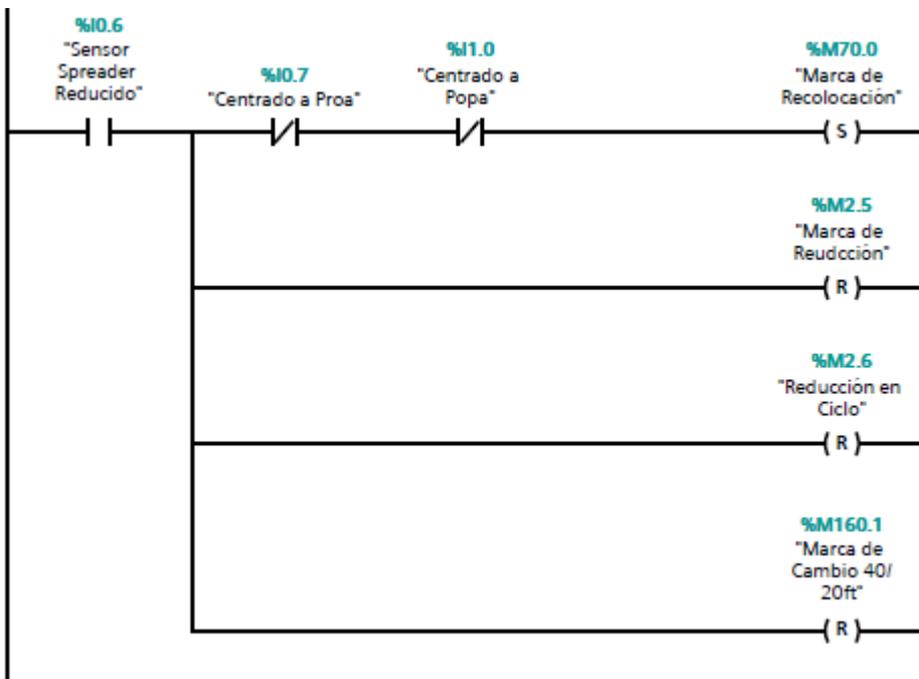


Ilustración 44: Reducción de 40 ft a 20 ft

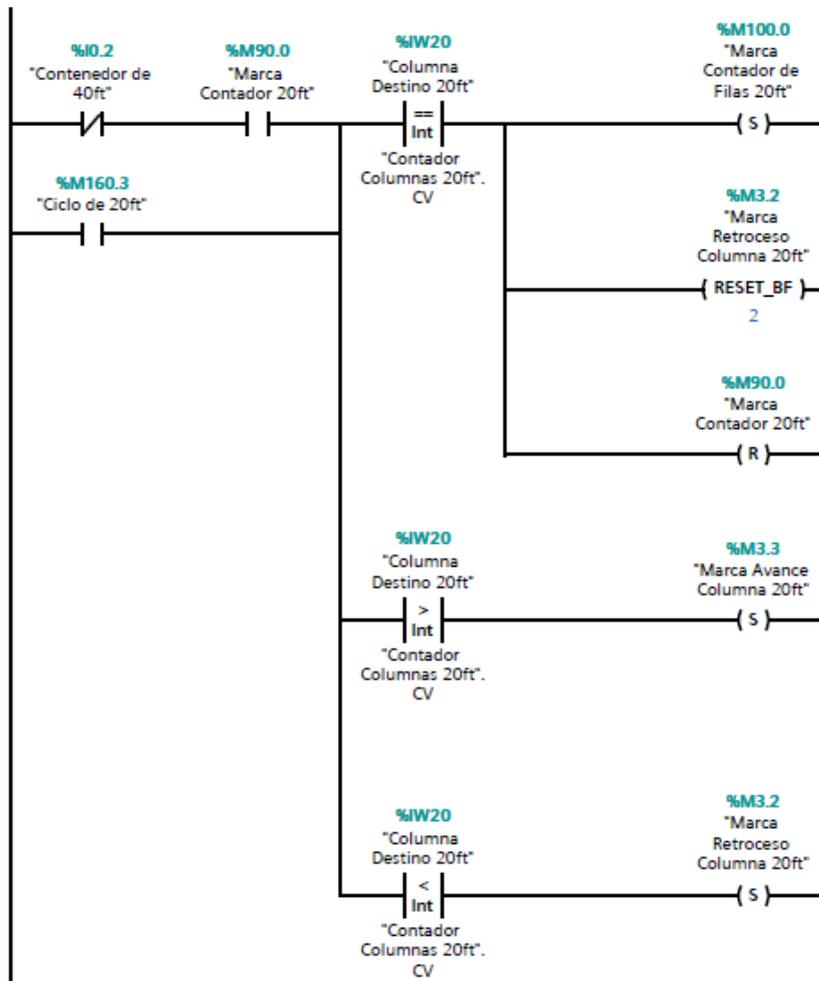


Ilustración 47: Posición Relativa Respecto Columna de Contenedores 20 ft

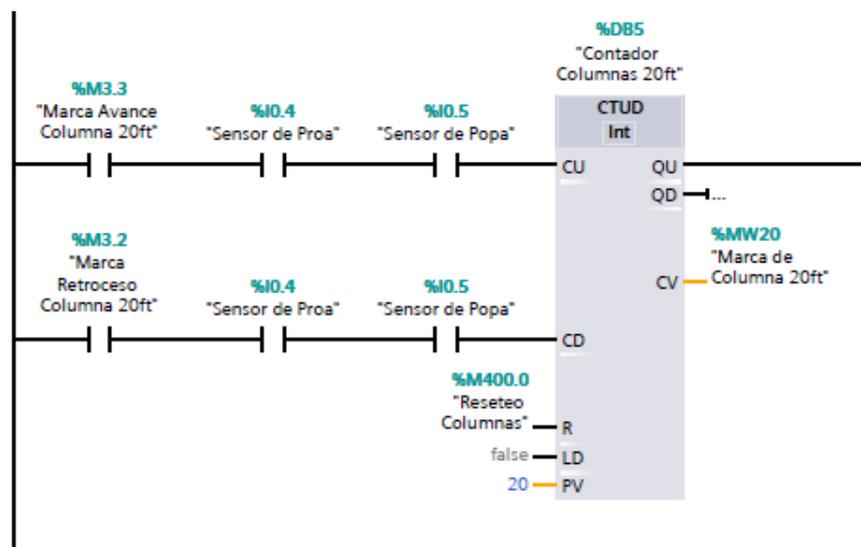


Ilustración 48: Contador Columnas 20 ft

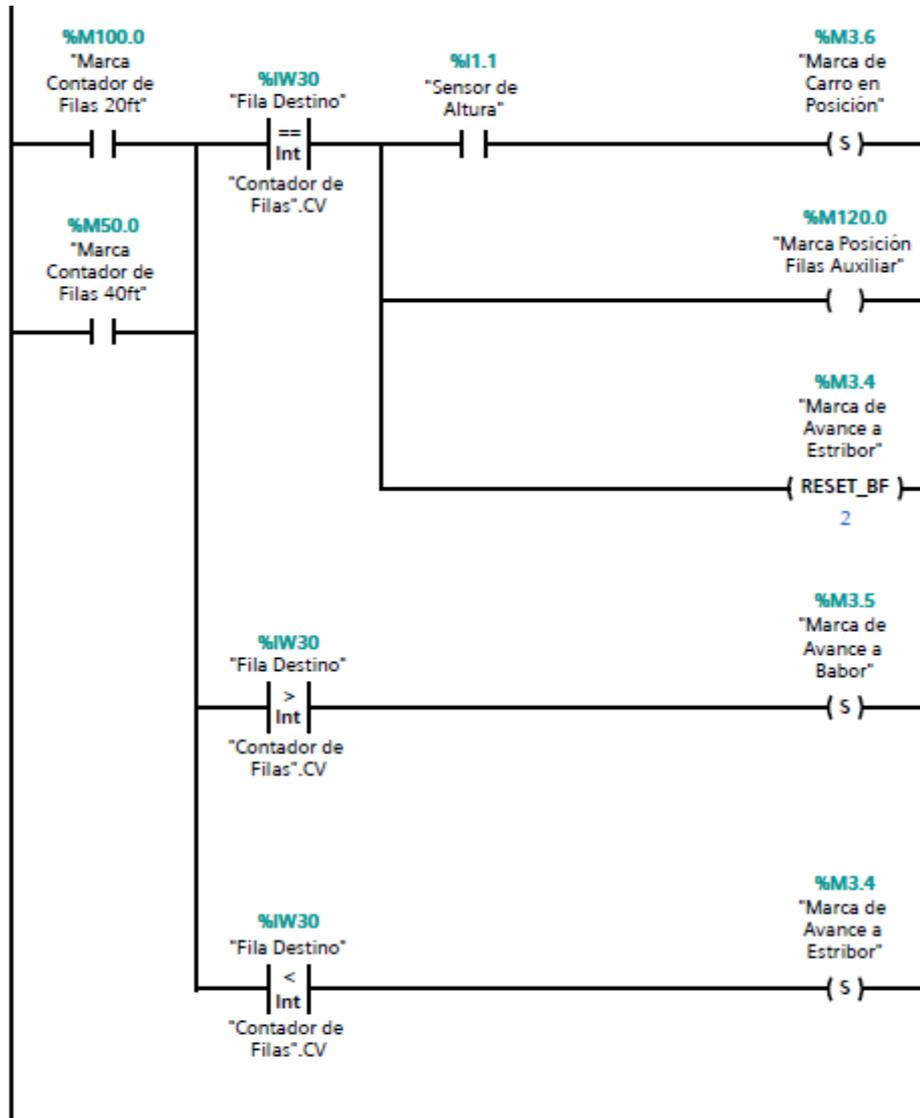


Ilustración 49: Posición Relativa Respecto Filas de Contenedores

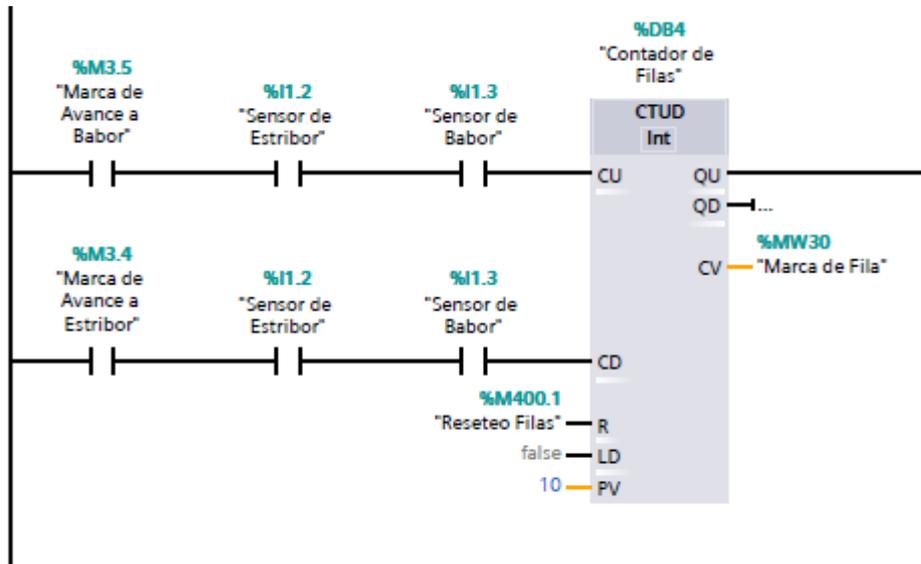


Ilustración 50: Contador de Filas

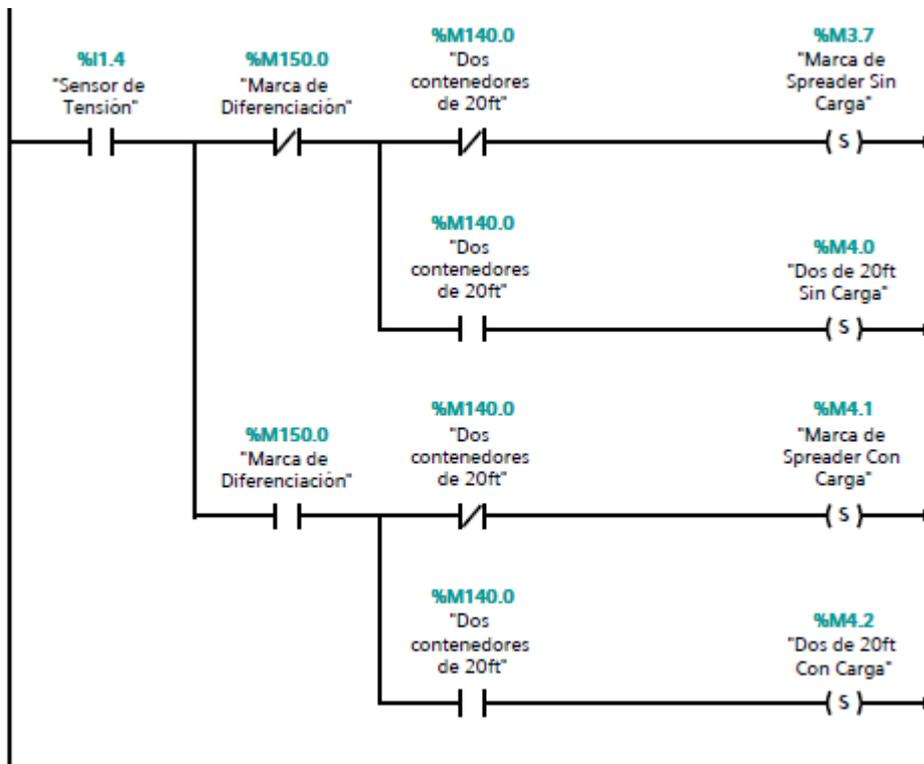


Ilustración 51: Descenso del Spreader

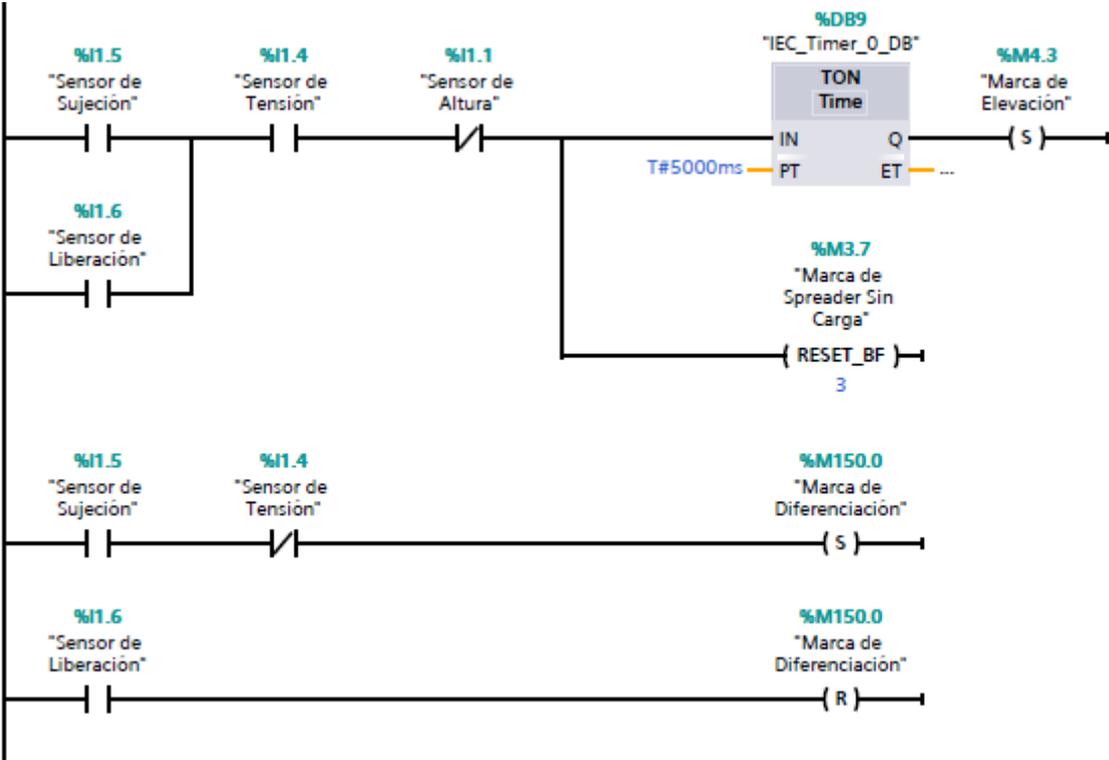


Ilustración 52: Sujeción del Contenedor

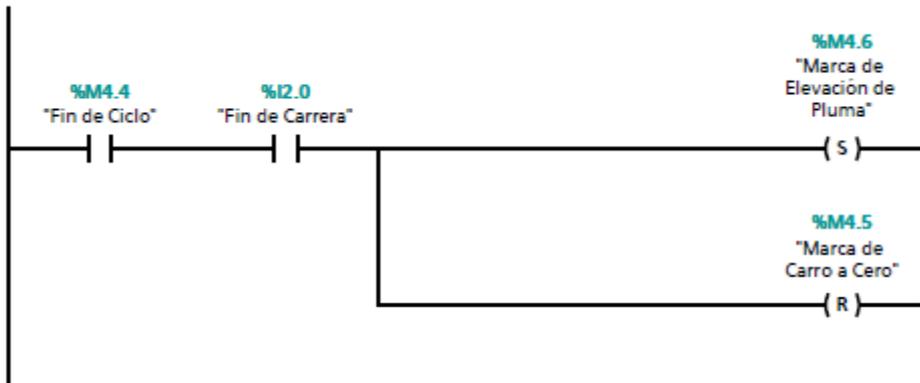


Ilustración 54: Carro a Cero

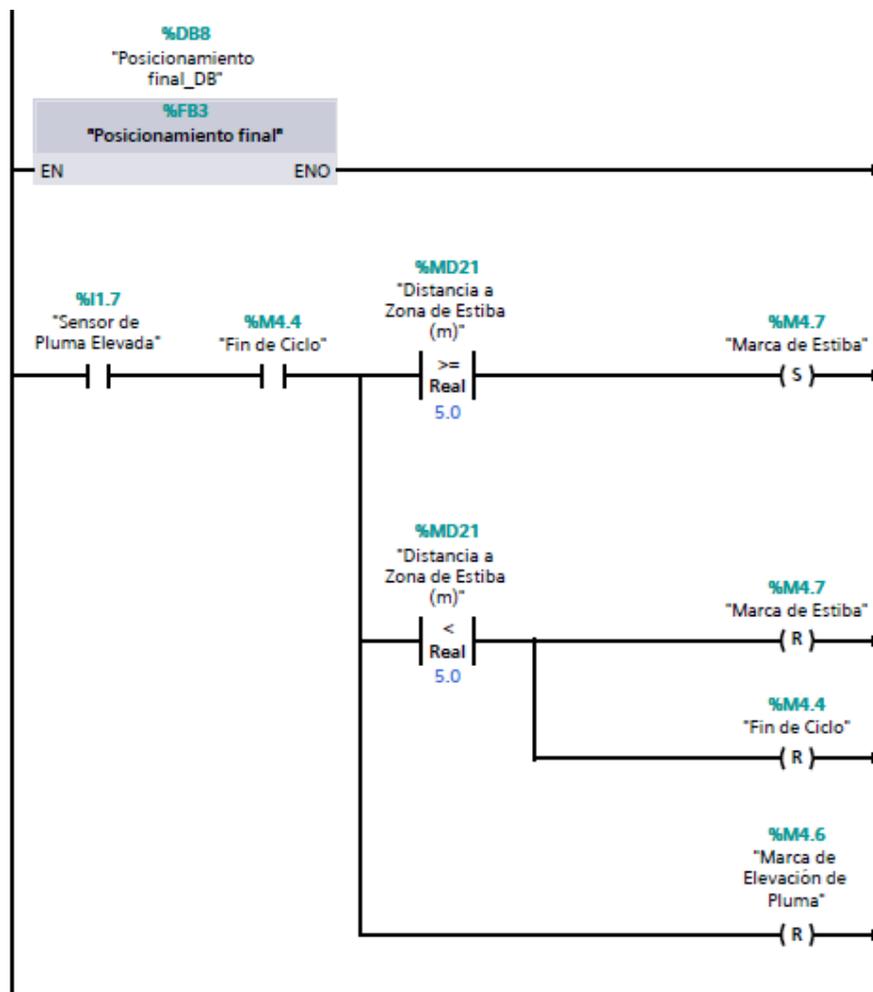


Ilustración 55: Elevación Pluma

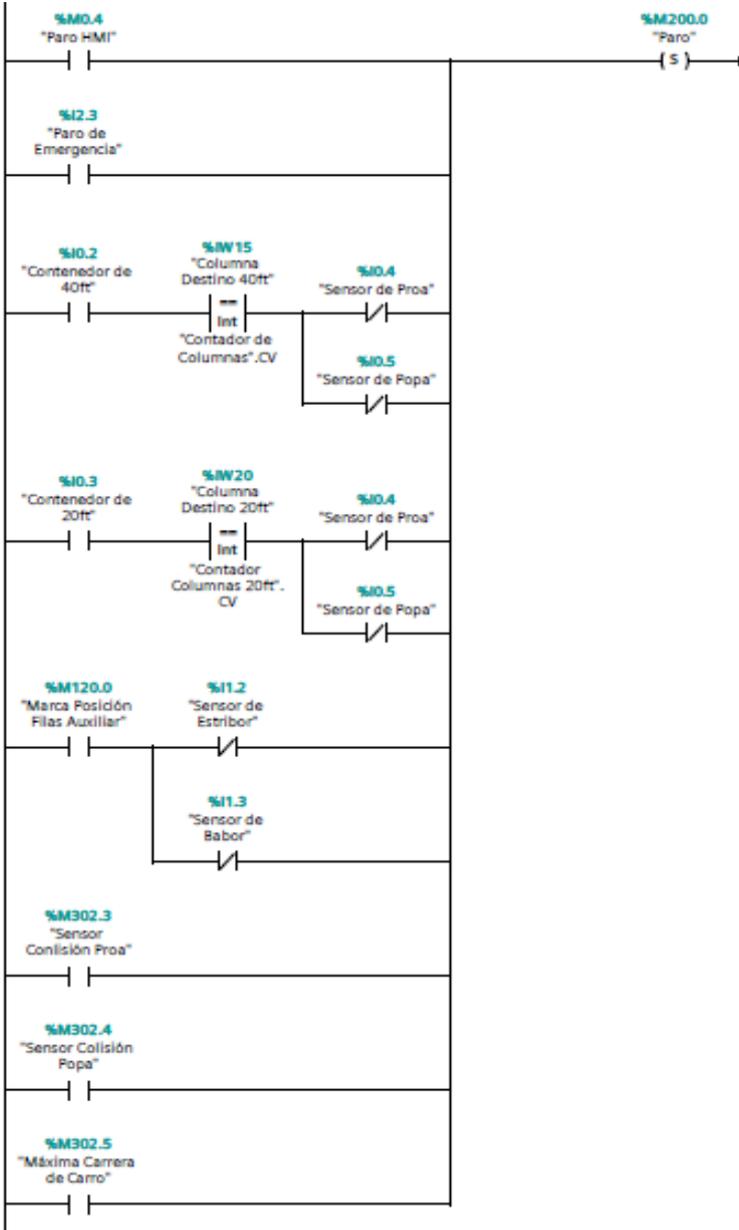


Ilustración 56: Paro

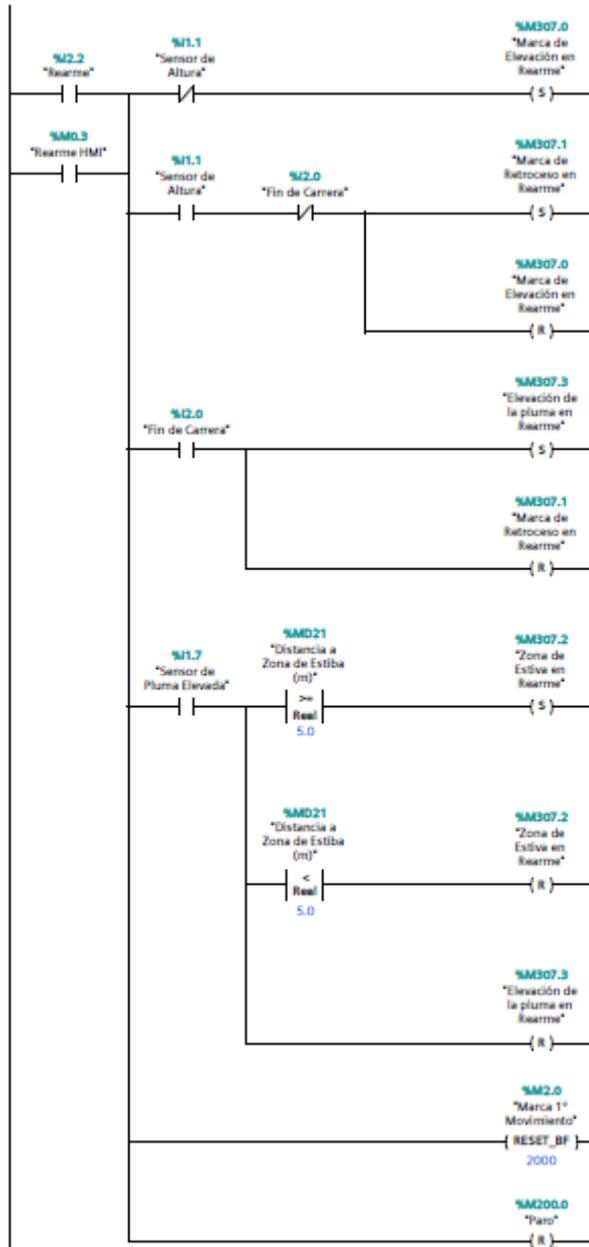


Ilustración 57: Rearme

6.3.2 Posicionamiento Inicial



Ilustración 58: Posicionamiento Inicial (Transformación de señal)

6.3.3 Posicionamiento Final



Ilustración 59: Posicionamiento Final (Transformación de señal)

6.3.4 Remuneración Columnas de 40 ft a 20 ft

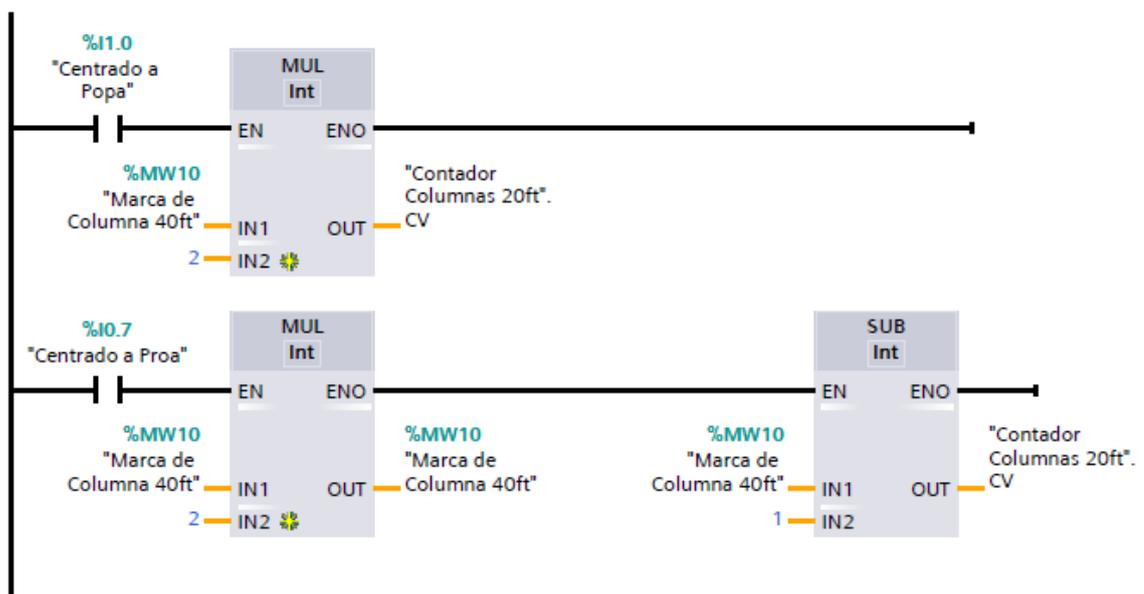


Ilustración 60: Remuneración Columnas de 40 ft a 20 ft

6.3.5 Remuneración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft

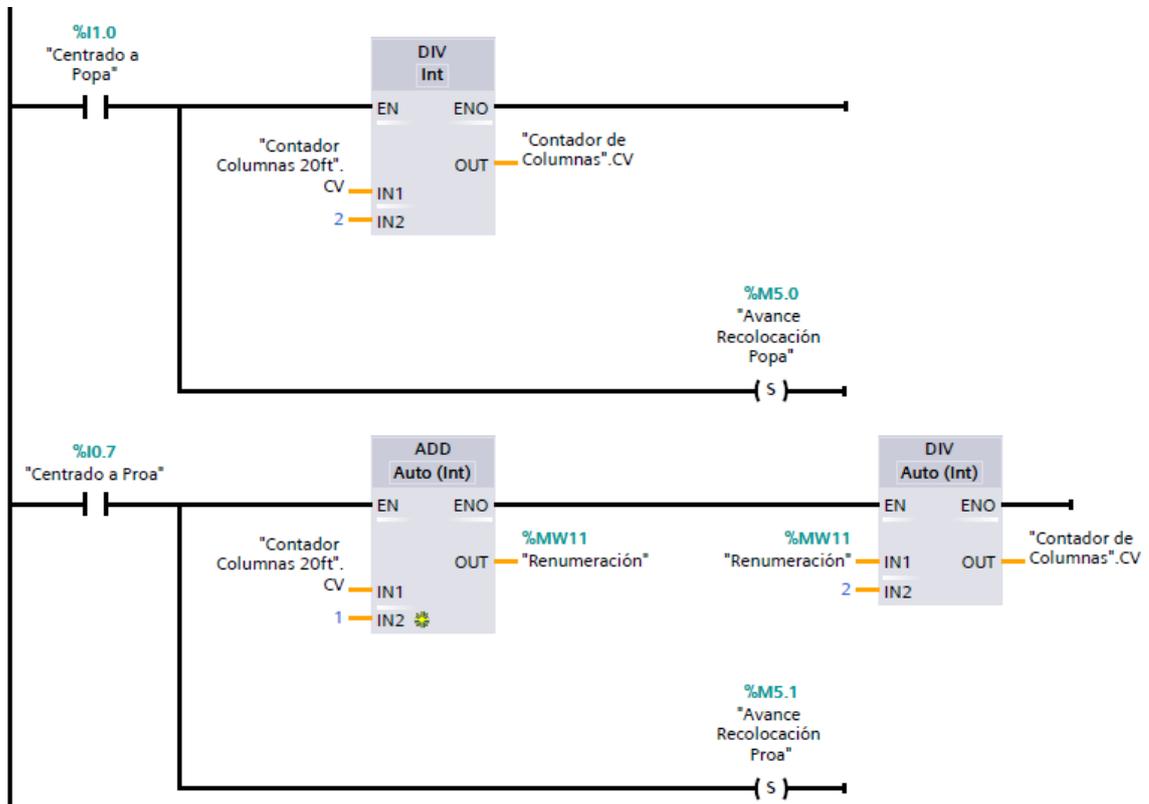


Ilustración 61: Remuneración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft (1)

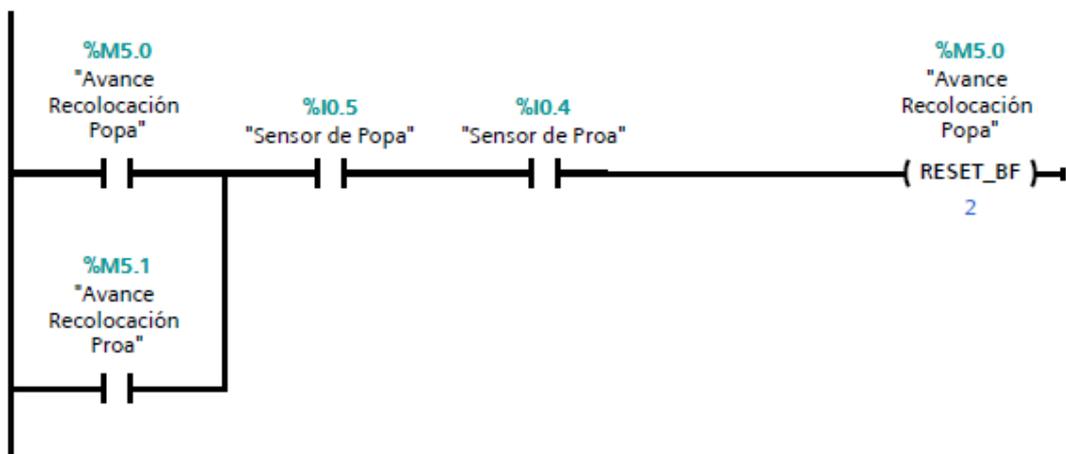


Ilustración 62: Remuneración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft (2)

6.4 Sistema Scada

Solventado el algoritmo de control es el momento de diseñar un HMI (Human Machine Interface) para gobernar y supervisar el adecuado funcionamiento de todos los procesos desde un único punto. El HMI desarrollado será un Scada el cual permitirá el control y supervisión automática, en tiempo real del proceso de carga/descarga. La utilización de un sistema Scada aportará un control dinámico del proceso y por tanto mejorará la eficiencia y seguridad del sistema.

Las especificaciones del Scada serán:

- Visualización y gestión del proceso en tiempo real.
- Visualización de alarmas y avisos.
- Visualización de los históricos de alarmas y avisos.
- Control de Calidad (supervisando de manera automatizada los rangos y tolerancias de las variables a medir, ejemplo distancias).
- Fiabilidad y rapidez en la comunicación con el PLC empleado.
- Guiar e informar al operador del protocolo a seguir para cada alarma o aviso activado.

En resumen, el Scada diseñado no solo gobierna y supervisa el funcionamiento de la grúa sino que también permite al operador tomar las decisiones guiadas para situaciones especiales o anómalas.

Para la implementación del Scada se emplea el software "Scada WinCC Flexible Advance" de Siemens, el cual está integrada con el software de programación del PLC en la plataforma TIAPortal v13. Este software permite:

- **Representar procesos:** el proceso se representa en el panel de operador. Cualquier modificación de estado del proceso provocará una modificación en el panel del operador.
- **Controlar procesos:** el control por parte del operador se realizará desde la interface gráfica del usuario. Por ejemplo, el operador puede forzar un valor o activar un equipo.
- **Emitir avisos:** cuando tenga lugar un estado crítico en el proceso se proporcionará un aviso de tal situación al operador. (por ejemplo, fallo de un sensor).
- **Documentar valores de proceso y avisos:** el HMI también permite crear informes en los cuales se visualicen distintos avisos y valores del proceso.

- **Administrar parámetros de proceso y parámetros de máquina:** el sistema presente la posibilidad de almacenar parámetros del proceso y de la máquina en Recetas. Estos parámetros se pueden transferir desde el panel del operador al autómata en un solo paso de trabajo.
- **Archivar valores de proceso y avisos:** el sistema HMI permitirá mediante avisos y valor documentar el transcurso del proceso y también permitirá el acceder a un histórico de datos.

7 IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se presentan las características técnicas de todos los elementos empleados en el modelo del sistema experto desarrollado en el Laboratorio, incluyendo su montaje y ajuste.

7.1 PLC y módulos de expansión

7.1.1 Generalidades

La gama de PLC S7-1200 de Siemens está formada por pequeños autómatas lógicos programables los cuales poseen un gran campo de posibilidades dentro del ámbito industrial.

Las diferentes prestaciones que presentan estos autómatas: diseño, bajo precio, gran capacidad de procesamiento... convierten a estos PLC en la mejor opción a la hora del desarrollo de programas secuenciales, en los cuales las operaciones de cálculo no son de gran complejidad. Todas estas prestaciones, a las que hay que sumar su rápida respuesta en tiempo real y su disponibilidad (tanto de PLC's como de módulos de expansión) proporcionan la flexibilidad necesaria para implementar el sistema experto propuesto en este Trabajo Fin de Master.



Ilustración 63: PLC S7-1200

Las características principales del autómata 1214C-AC/DC/Rly, son las siguientes:

<i>Paquete de programación</i>	<i>STEP 7 V11.0 SP2 o superior</i>
Dimensiones	110x100x75
Peso	475 g
Disipación de potencia	14 W
Intensidad disponible (SM y bus CM)	1600 mA máx. (5V DC)
Intensidad disponible (24 V DC)	400 mA máx. (alimentación de sensores)
Consumo de corriente de las entradas digitales	4 mA/ entrada utilizada
Memoria de usuario	50 KB de memoria de trabajo / 2 MB de memoria de carga / 2 KB de memoria remanente
E/S digitales integradas	14 entradas / 10 salidas
E/S digitales integradas	2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes de entradas (I) / 1024 bytes de salidas (Q)
Área de marcas (M)	8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	8 SMs máx.
Ampliación con Signal Boards	1 SB máx.
Ampliación con módulos de comunicación	3 CMs máx.
Contadores rápidos	6 en total Fase simple: 3 a 100 kHz y 3 a 30 kHz de frecuencia de reloj. Fase en cuadratura: 3 a 80 Hz y 3 a 20 Hz de frecuencia de reloj.
Salidas de impulsos	2
Entradas de captura de impulsos	14
Alarmas de retardo/cíclicas	4 en total con resolución de 1 ms
Alarmas de flanco	12 ascendentes y 12 descendentes (14 y 14 con Signal Board opcional)
Memory Card	SYSTEMATIC Memory Card (opcional)
Precisión de reloj en tiempo real	+/- 60 segundos/mes
Tiempo de respaldo de reloj en tiempo real	10 días típ./6 días mín. a 40°C (condensador de alto rendimiento sin mantenimiento)

Tabla 13: Características Principales del Autómata

7.1.2 Entradas

Las entradas digitales son de 24V DC y serán cableadas como entradas sumidero (tipo 1 IEC).

Característica de Entradas Digitales PLC-S7 1200	
Número de entradas	14
Tipo	Sumidero/fuente (tipo 1 IEC sumidero)
Tensión nominal	24 V DC a 4mA, nominal
Tensión continua admisible	30 V DC, máx.
Sobretensión transitoria	35 V DC durante 0,5 seg.
Señal 1 lógico (mín.)	15 V DC a 2,5 mA
Señal 0 lógico (mín.)	5 V DC a 1mA
Aislamiento (campo lógica)	500 V AC durante 1 minuto
Grupos de aislamiento	1
Tiempos de filtro	0,2, 0,4, 0,8, 1,6, 3,2, 6,4 y 12,8 ms (seleccionable en grupos de 4)
Frecuencias de entrada de reloj HSC (máx.) (Señal 1 lógica = 15 a 26 V DC)	Fase simple: 100 KHz (Ia.0 a Ia.5) y 30 KHz (Ia.6 a Ib.5) Fase cuadratura: 80 KHz (Ia. 0 a Ia .5) y 20 KHz (Ia.6 a Ib.5)
Número de entradas ON simultáneamente	14
Longitud de cable (metros)	500 apantallado, 300 no apantallado, 50 apantallado para entradas HSC

Tabla 14: Características Entradas Digitales PLC-S7 1200

Las entradas analógicas operan en un rango de entre 0 y 10 V y su tensión es de tipo asimétrico:

Característica de Entradas Analógicas PLC-S7 1200	
Número de entradas	2
Tipo	Tensión (asimétrica)
Rango	0 a 10 V
Rango total (palabra de datos)	0 a 27648
Rango de sobre-impulso (palabra de datos)	27.649 a 32511
Desbordamiento	32512 a 32767
Resolución	10 bits
Tensión de resistencia al choque máxima	35 V DC
Aislamiento	Ninguno, débil, medio o fuerte
Rechazo de interferencias	10, 50 ó 60 Hz
Impedancia	$\geq 100\ k\Omega$
Aislamiento (campo a lógica)	Ninguno
Precisión (25°C 7 0 a 55°C)	3,0% / 3,5% de rango máximo
Rechazo en modo común	40 dB, DC a 60 Hz
Rango de señales operativo	La tensión de señal más la tensión en modo común debe ser menor que +12 V y mayor que -12 V
Longitud de cable (metros)	10 trenzado y apantallado

Tabla 15: Características Entradas Analógicas PLC-S7 1200

7.1.3 Salidas

El rango de operación de las salidas (digitales) es función de tipo de corriente, alterna o continua.

Característica de Salidas Analógicas PLC-S7 1200	
Número de salidas	10
Tipo	Relé, contacto seco
Rango de tensión	5 a 30 V DC ó 5 a 250 V AC
Señal 1 lógica a intensidad máx.	---
Señal 0 lógica con carga de 10 kΩ	---
Intensidad (máx.)	2,0 A
Carga de lámparas	30 W DC/200 W AC
Resistencia en estado ON	Máx.. 0,2 Ω (si son nuevas)
Corriente de fuga por salida	---
Sobre-corriente momentánea	7 A si están cerrados los contactos
Protección contra sobrecargas	No
Aislamiento (campo a lógica)	1500 V AC durante 1 minuto (bobina a contacto) Ninguno (bobina a lógica)
Resistencia de aislamiento	100 M Ω mín. si son nuevas
Aislamiento entre contactos abiertos	750 V AC durante 1 minuto
Grupos de aislamiento	2
Tensión de bloque inductiva	---
Retardo de conmutación (Qa.0 a Qa.3)	10 ms máx.
Retardo de conmutación (Qa.4 a Qb.1)	10 ms máx.
Frecuencia de tren de impulsos (Qa.0 a Qa.2)	No recomendado
Vida útil mecánica (sin carga)	10.000.000 ciclos abiertos/cerrados
Vida útil de los contactos bajo carga nominal	100.000 ciclos abiertos/cerrados
Reacción al cambiar de RUN a STOP	Último valor o valor sustitutivo (valor predeterminado 0)
Número de salidas ON simultáneamente	10
Longitud de cable (metros)	500 apantallados, 150 no apantallado

Tabla 16: Características Salidas Analógicas PLC-S7 1200

7.1.4 Alimentación

La alimentación de la PLC escogido, CPU 1214C AC/DC/Rly, tiene que ser de 24V DC con variaciones admisibles de 20.4 a 28.8V y la corriente máxima de entrada no puede exceder de 300mA. La corriente máxima destinada por la fuente del autómatas para la alimentación de sensores es de 180mA.

Característica de la Alimentación PLC-S7 1200	
Rango de tensión	85 a 264 V AC
Frecuencia de línea	47 a 63 Hz
Intensidad de entrada CPU sólo a carga máx. CPU con todos los accesorios de ampliación a carga máx.	100 mA a 120 V AV 50 mA a 240 V AC 300 mA a 120 V AC 150 mA a 240 V AC
Corriente de irrupción (máx.)	20 A a 264 V AC
Aislamiento (potencia de entrada a lógica)	1500 V AC
Corriente de fuga a tierra, línea AC a tierra funcional	0,5 mA máx.
Tiempo de mantenimiento (pérdida de potencia)	20 ms a 120 V AC 80 ms a 240 V AC
Fusible interno, no reemplazable por el usuario)	3 A, 250 V, de la acción lenta

Tabla 17: Características Alimentación PLC-S7 1200

7.1.5 Características de Comunicación

La comunicación se realiza mediante comunicación profinet.

Características del Profinet	
Tipo	Ethernet
Transferencia de datos	100 Mb/s
Tipo de Cable	CAT5e

Tabla 18: Características Comunicación PLC-S7 1200

7.1.6 Ampliación de Entradas y Salidas

El autómatas empleado, Siemens S7-1214, cuenta con 14 entradas y 10 salidas, lo cual es insuficiente para el programa de control de la grúa. La solución de este problema sería añadir un módulo de expansión, el cual al conectarse a este ampliaría tanto el número de entradas como de salidas.

Debido a la falta de disponibilidad de dicho modulo en el Laboratorio se ha optado por comunicar dos autómatas entre si con objeto de ampliar el número de entradas y salidas. Esta solución además permite disponer de un PLC de respaldo o dividir la capacidad de cálculo entre sendos PLC's

7.1.7 Instalación y Montaje

Si bien los sistemas de automatización S7-1200 se caracterizan por su fácil montaje, se deben seguir con rigurosidad ciertas reglas y prescripciones para realizarlo de forma correcta y segura. En nuestro proyecto el sistema de automatización S7-1200 consta dos CPU's 1214C AC/DC/Rly. Es interesante, reseñar el ahorro de espacio que supone este sistema en comparación con otro tipo de soluciones (automatismos de lógica cableada o por relés).

7.1.7.1 Disposición del autómata

En este trabajo Fin de Máster, las CPU's 1214C AC/DC/Rly S7-1200 se montan en horizontal en un armario eléctrico, utilizando un raíl normalizado (DIN) y usando los ganchos de retención que disponen para tal efecto.

Para montar las CPU's en el perfil DIN se procede del siguiente modo:

- Se monta el perfil DIN atornillándolo al panel de montaje teniendo la precaución de disponer un espacio de al menos 75 mm entre tornillo y tornillo.
- Enganchar la CPU por la parte superior del perfil.
- Extraer el clip de fijación situado en el lado inferior de la CPU de tal modo que asume por encima del perfil.
- Girar la CPU hacia abajo a fin de posicionarla adecuadamente en el perfil.
- Oprimir los clips para que la CPU encaje de manera correcta.

7.1.7.2 Disposiciones para el armario eléctrico

A continuación, se presentan las cotas de la CPU para su montaje en el armario eléctrico:

Dimensiones de montaje (mm)

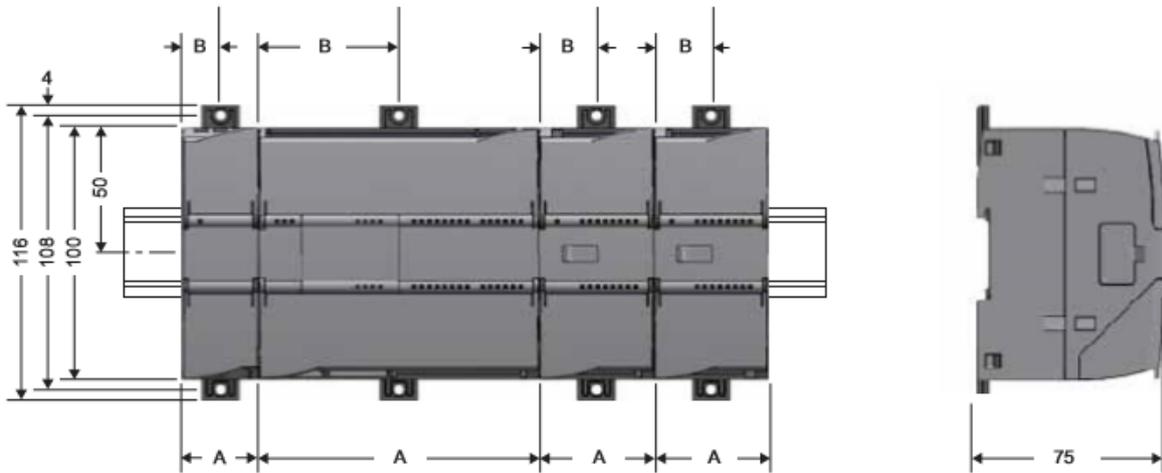


Ilustración 64: Dimensiones de montaje

Dispositivos S7-1200		Ancho A	Ancho B
CPUs:	CPU 1211C y CPU 1212C	90 mm	45 mm
	CPU 1214C	110 mm	55 mm
Módulos de señales:	8 y 16 E/S, DC y relé (8I, 16I, 8Q, 16Q, 8I/8Q) Analógicos (4AI, 8AI, 4AI/4AQ, 2AQ, 4AQ)	45 mm	22,5 mm
	16I/16Q relé (16I/16Q)	70 mm	35 mm
Módulos de comunicación:	CM 1241 RS232 y CM 1241 RS485	30 mm	15 mm

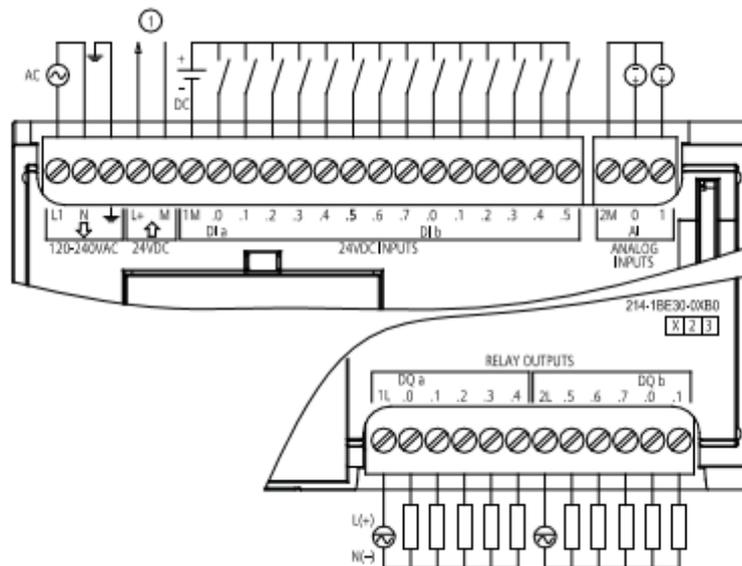
Tabla 19: Dimensiones de montaje

7.1.7.3 Instalación y cableado

Una parte importante a la hora de trabajar con equipos eléctricos es la referente a su cableado y puesta a tierra, pues estos son fundamentales para garantizar un correcto funcionamiento y protección.

La primera acción a realizar, aunque parezca trivial, será comprobar que la alimentación, de todos los equipos conectados, se encuentra desconectada.

Hecha la comprobación anterior se realiza el cableado de los equipos (en este caso el PLC S7-1200) siguiendo el manual de instrucciones proporcionado por el fabricante del equipo, de tal modo, que, se respeten todos los reglamentos que sean de aplicación para el caso en cuestión. El equipo se debe montar y operar de acuerdo a toda la normativa nacional e internacional vigente (en caso de duda el propio fabricante recomienda contactar con las autoridades locales).



① Alimentación de sensores 24 V DC

Ilustración 65: Diagrama de cableado

Siempre que se opere con equipos eléctricos se debe configurar una toma a tierra a fin de cumplir con los máximos criterios de seguridad, dado que, los dispositivos de control pueden presentar fallos y causar consecuencias inesperadas de los equipos que dependen de éste. El fabricante recomienda que las medidas de seguridad del equipo de control sean independientes.

Para cablear el S7-1200 el fabricante proporciona las siguientes directrices:

- Prever un interruptor unipolar que corte de forma simultánea la alimentación de la CPU de todos los circuitos eléctricos de entrada y de salida.

- Prever dispositivos de protección por sobre intensidad. Para conseguir un alto grado de protección se puede disponer de un fusible u otro limitador en los circuitos de salida.
- Utilizar dispositivos de supresión de sobretensiones adecuados a las posibles perturbaciones atmosféricas.
- Separar las señales de baja tensión y los cables de comunicación en la misma canalización de los cables AC y lo DC de alta energía y conmutación rápida.
- El cableado se deberá realizar por pares con el cable neutro o común combinado con el hilo caliente o de señal.
- Utilizar cables apantallados a fin de lograr una óptima protección contra interferencias. Los mejores resultados se suelen obtener poniendo a tierra la pantalla del S7-1200.
- Si se cablean circuitos de entrada alimentados mediante una fuente externa, se aconseja disponer de dispositivos protectores contra sobre-corriente de éstos. La protección externa no será necesaria en los circuitos alimentados por la alimentación del S7-1200, puesto que ya está protegida contra sobre-corriente.
- Para evitar conexiones flojas, se comprobará que el conector encaja de la manera correcta y que el cable se encuentra insertado de forma segura en el conector. No se recomienda un exceso de apriete de los tornillos, pues un exceso provocaría un deterioro del conector.
- A la hora de realizar el cableado del sistema es necesario tener en cuenta los límites del aislamiento galvánico (este aislamiento evita la presencia de corrientes indeseadas).

7.1.7.4 Configuración de red y de comunicaciones

El primer paso, previo al inicio de la programación, es la creación del proyecto y la configuración del PLC y de la pantalla HMI. Esta configuración consta de los siguientes pasos:

- 1- En la pantalla de inicio, dado que, se comienza un proyecto desde cero, se seleccionará la opción de crear proyecto. Para inicios sucesivos se seleccionará el nombre del proyecto que sea de aplicación en la tabla existente.

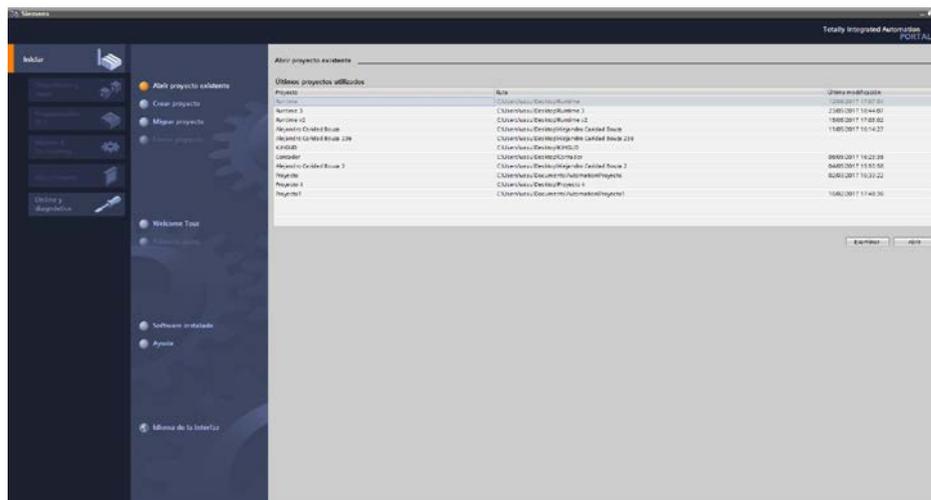


Ilustración 66: Pantalla de Inicio

- 2- Una vez elegida la opción de crear, se requerirán diferentes datos sobre el proyecto como son: nombre del proyecto, autor... Una vez indicada esta información se pulsará el botón crear.

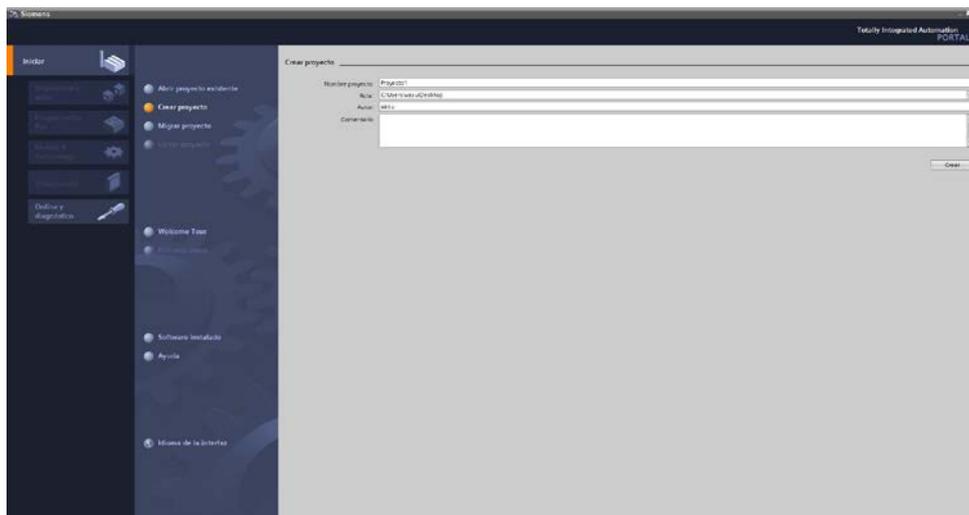


Ilustración 67: Pantalla de Proyecto

- 3- Pulsado el botón crear aparecerá la “Vista Portal” donde aparece preseleccionada la opción de primeros pasos. Aquí se presentan las siguientes opciones: configurar un dispositivo, crear programa PLC y configurar imagen HMI

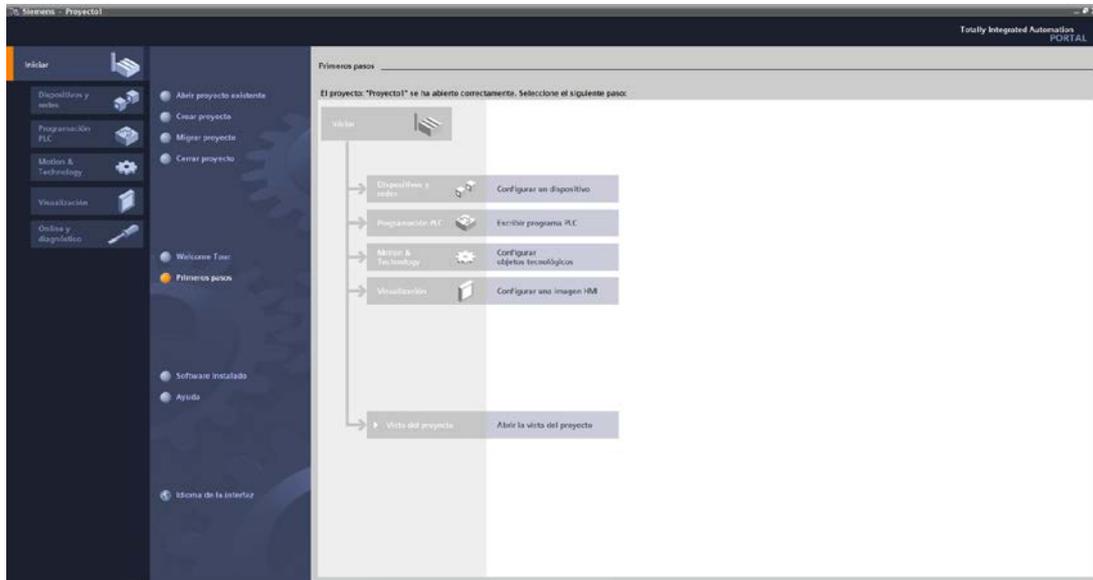


Ilustración 68: Configuración de Dispositivo

- 4- Para configurar un dispositivo se seleccionará la opción agregar dispositivo y de las dos opciones presentes, PLC o Panel HMI, se elegirá la opción de PLC lo cual hará que en la ventana de la derecha aparezcan todas las CPU disponibles, se seleccionará aquella con la que contamos. Posteriormente se pulsará la opción Agregar.

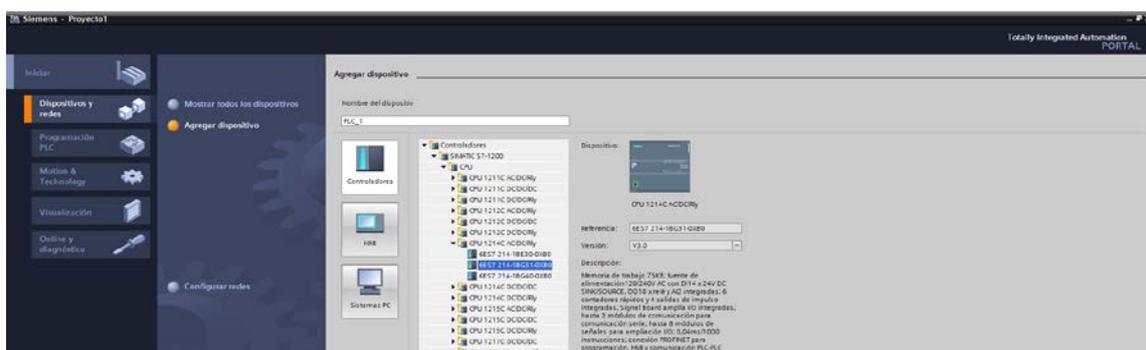


Ilustración 69: Selección Modelo PLC

- 5- Una vez agregado el PLC se realizará la configuración del mismo. En este paso lo que hay que hacer es introducir los diferentes módulos de los que se dispone: módulos de I/O, módulos de comunicación... Para esto se seleccionará del catálogo de la derecha los módulos correspondientes, los cuales se arrastrarán y soltarán en la posición correcta.

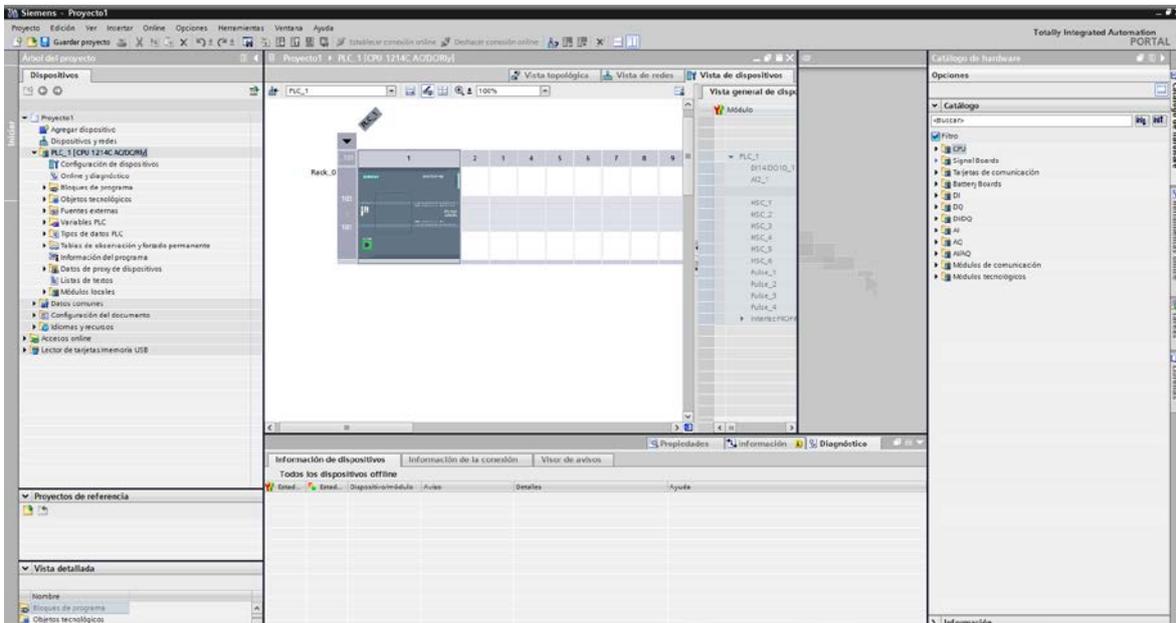


Ilustración 70: Selección de Módulos

- 6- Introducidos los módulos requeridos se procede a la transferir la configuración para lo cual se selecciona la CPU para que se habilite la opción de cargar. Antes de proceder se comprobarán las direcciones IP del PLC y del PC.

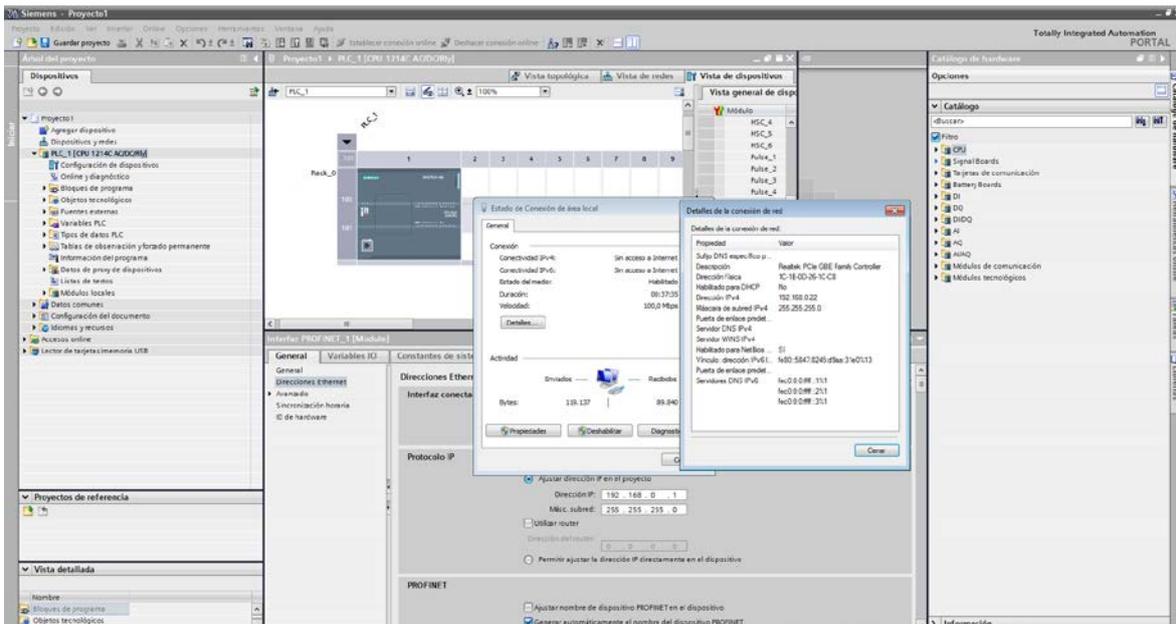


Ilustración 71: Configuración IP

En la IP del PC se introduce cualquier IP que este dentro de rango (El rango, generalmente es 192.168.0.XXX) y que no coincida con la IP del PLN ni con la pantalla.

En el PLC, la dirección IP se introduce dentro de la ventana de propiedades, situada en la parte inferior, dentro de la opción PROFINET interface, a la cual se entra seleccionando la CPU. Será en esta ventana donde se introduzcan la IP y la máscara de subred del PLC.

- 7- Una vez introducidas las IP se pulsará el botón transferir (para lo cual la CPU debe estar seleccionada, pues en caso contrario este botón aparecerá deshabilitado) lo que hará que aparezca la siguiente pantalla donde se seleccionará la interface de comunicación. Una vez seleccionada la interface aparecerá la opción cargar. Al elegir esta opción se lleva a cabo una compilación del proyecto para comprobar que todo es correcto y si este es el caso se selecciona nuevamente la opción cargar y si todo está bien se presentará la siguiente ventana.

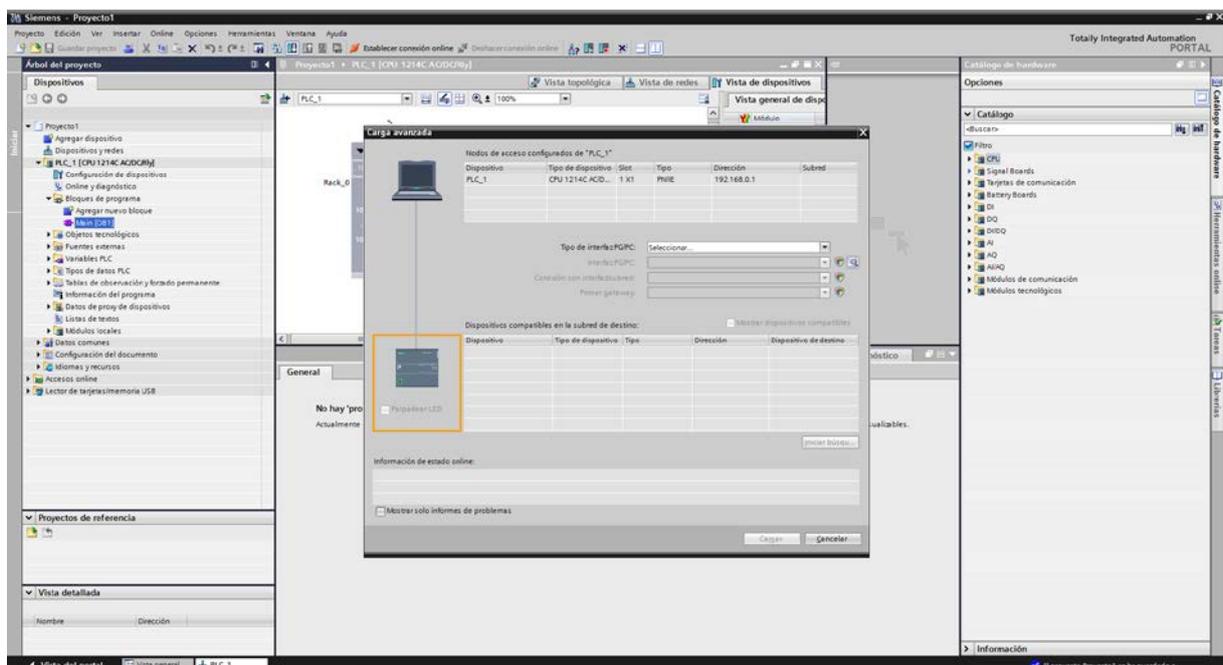


Ilustración 72: Establecimiento de Comunicación

7.1.7.5 Comunicación entre autómatas

El autómata 1 será el que actúe como principal y por tanto gobernará al otro autómata. Este autómata es el que requiere un mayor número de entradas y salidas y necesitará acudir al autómata 2 para utilizar sus entradas y salidas.

En lo relacionado con las salidas, el autómata principal tendrá que enviar sus salidas virtuales (de las que no dispone) al otro autómata de tal forma que éste ejecute las órdenes que dicte el principal. Este comando se realiza mediante el comando TSEND_C. En el programa del autómata 2 habrá unos comandos similares que recogen las salidas del autómata 1 y las transfieren a sus salidas físicas. Para este fin se emplea el comando TRCV_C.

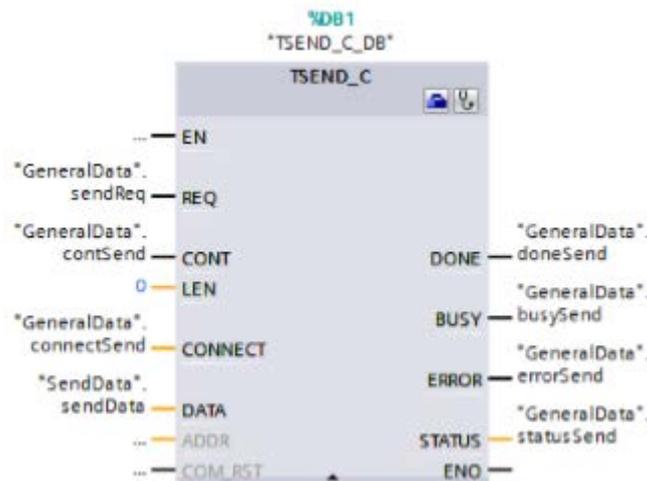


Ilustración 73: Comando TSEND_C

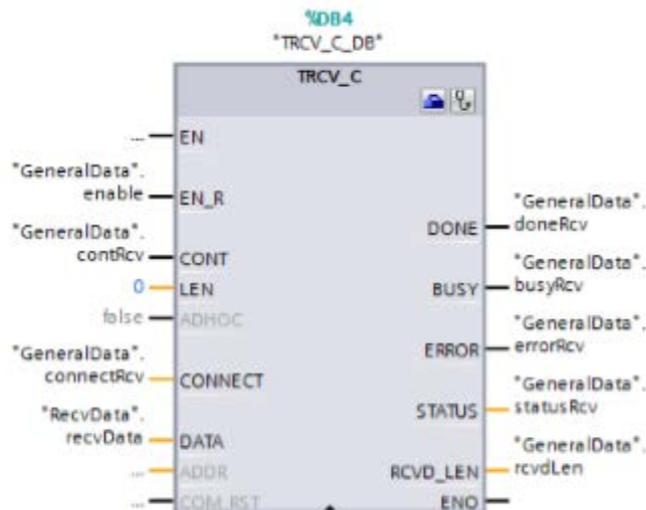


Ilustración 74: Comando TRCV_C

7.1.8 Sensores

7.1.8.1 Sensores de Distancia

Se emplearán para determinar la posición de la grúa respecto a unos puntos de referencia situados en:

- La zona de estiba.
- El tope situado en la posición determinada por el operador.

Si se dispone de grúas situadas a babor o estribor de la grúa automatizada los puntos de referencia pasarán a ser éstas pues al operar las grúas sobre el mismo rail es necesario conocer su posición relativa.

El sensor de distancia escogido para realizar la función de medición pertenece a la gama FLS-C:

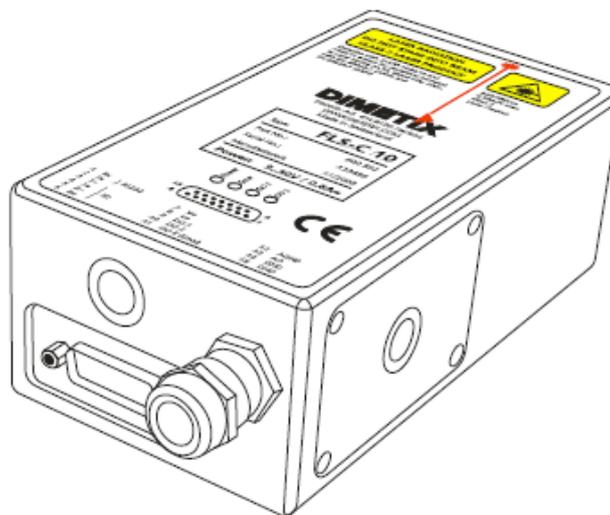


Ilustración 75: Sensor de Distancia

Este modelo de sensor fue seleccionado entre otros factores por su amplio rango de medida, de 0,05 a 500 metros, así como, por contar con una salida analógica la cual opera entre 0 a 20 Ma, aunque por seguridad se operará entre 4 y 20 Ma pues de esta forma se asegura que el sensor se encuentra operativo, pues en el caso de operar en el rango de 0 a 20 Ma aun estando rota la conexión se seguirá recibiendo una señal.

A continuación, se presentan las especificaciones del sensor.

Typical measuring accuracy for DLS-C 15 / DLS-CH 15 ¹⁾ DLS-C 30 / DLS-CH 30 ¹⁾ FLS-C 10 / FLS-CH 10 ^{1),2)} FLS-C 30 / FLS-CH 30 ^{1),2)}	± 1.5 mm @ 2σ ± 3.0 mm @ 2σ ± 1.0 mm @ 2σ ± 3.0 mm @ 2σ
Accuracy of the analog output DLS-C(H) FLS-C(H)	(9.3.6 Set/Get analog output distance range (SNv) on page 36) 0.2% programmed span (12 Bit) 0.1% programmed span (12 Bit)
Typical repeatability for DLS-C 15 / DLS-CH 15 ¹⁾ DLS-C 30 / DLS-CH 30 ¹⁾ FLS-C 10 / FLS-CH 10 ¹⁾ FLS-C 30 / FLS-CH 30 ¹⁾	± 0.4 mm @ 2σ ± 0.5 mm @ 2σ ± 0.3 mm @ 2σ ± 0.5 mm @ 2σ
Smallest unit displayed	0.1 mm
Measuring range on natural surfaces	0.05 m to approx. 65 m (80m on natural surface characteristic ³⁾)
Measuring range on orange (reflective) target plate DLS-C(H) FLS-C(H)	Approx. 25 m to 150 m Approx. 0.5 m to 500 m
Measuring reference	from front edge (See 7 Physical dimensions)
Typical diameter of laser spot at target at a distance of ⁴⁾ (diffraction rings)	4mm @ 5m; 8mm @ 10m; 15mm @ 30m
Time for a measurement Single measurement: DLS-C(H) / FLS-C(H) ⁵⁾ Tracking: DLS-C(H) ⁶⁾ FLS-C(H) ⁷⁾	Typical: 0.3 s to 4 s Typical: 0.15 s to 4 s Typical: 4 ms to 4 s
Max target speed while moving target characteristic is active	Typical: 10m/s up to 150m 7m/s up to 500m/s
Light source	Laser diode 620-690 nm (red) Beam divergence: 0.16 x 0.6 mrad IEC 60825-1:2007; Class 2 Pulse duration: 0.45x10 ⁻⁹ s FDA 21CFR 1040.10 and 1040.11 Maximum radiant power: 0.95 mW
Laser Life Time	typical 50'000h @ 20°C (See 4.1.4 Laser Life time consideration on page 17)
ESD	IEC 61000-4-2
EMC	EN 61000-6-4 EN 61000-6-2
Power supply	9 ... 30V DC 0.6A for DLS-C / FLS-C 24 ... 30V DC 2.5A for DLS-CH / FLS-CH(Heating option)
Dimensions	150 x 80 x 55 mm
Temperature range during operation ⁸⁾ DLS-C 15 / DLS-C 30 / FLS-C 10 / FLS-C 30 DLS-CH 15 / DLS-CH 30 / FLS-CH 10 / FLS-CH 30	-10 °C to +50 °C -40 °C to +50 °C
Temperature range during storage	-40 °C to +70 °C
Degree of Protection	IP65; IEC60529 (protected against ingress of dust and water)
Weight	DLS-C, FLS-C: 690 g DLS-CH, FLS-CH: 720 g
Standard interface	1 serial asynchronous interface RS-232 1 serial asynchronous interface RS-422 1 SSI (only FLS-C(H)) 1 programmable analog output 0/4 .. 20mA 2 programmable digital outputs 1 programmable digital input 1 digital output for error status

Ilustración 76: Características Sensor de Distancia

Aunque no se dispone de este sensor de distancia, ni de otros modelos, en las instalaciones empleadas, la señal será simulada mediante la opción que posee el software usado para el desarrollo del programa experto.

7.1.8.2 Sensores de Posición

Para esta finalidad lo más apropiado sería el empleo de escáneres los cual permiten determinar la posición de los contenedores de forma precisa.



Ilustración 77: Escáneres

La versatilidad que ofrecen estos escáneres es muy amplia pues, en función de modelo escogido, se podría instalar tanto en el carro (de forma que según se mueve este equipo el escáner realiza un barrido), como en la pluma (de forma que el escáner localiza la posición de los distintos contenedores, así como, la posición relativa del spreader respecto al contenedor que se desea transferir).

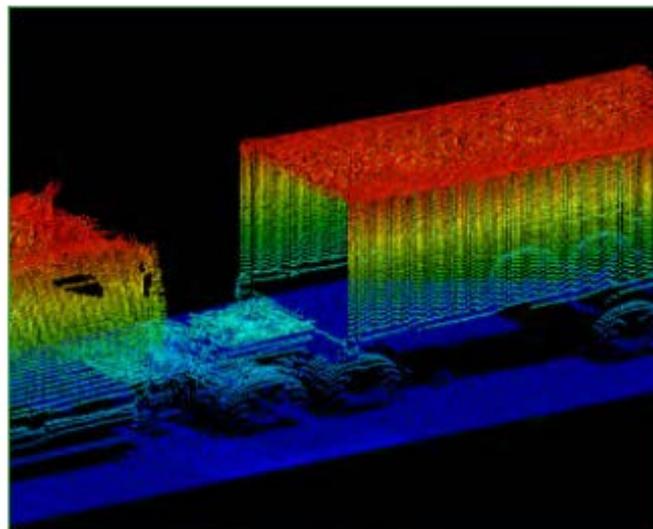


Ilustración 78: Imagen mostrada por un escáner

Dado que no se dispone de estos equipos ni de su software de control el cual permitiría su comunicación con el PLC empleado se ha optado por simular su funcionamiento mediante el uso de sensores de presencia más simples de los cuales si se dispone. Empleados estos equipos se requieren:

- 2 sensores situados en los extremos de proa y popa del spreader para el movimiento de la grúa a lo largo de la terminal de tal forma que éstos determinen la posición longitudinal del contenedor.
- 2 sensores situados en los extremos de estribor y babor del spreader para el movimiento del carro a lo largo de la manga del buque de tal forma que éstos determinen la posición transversal del contenedor.



Ilustración 79: Localización de los sensores

7.1.8.3 Sensor de Contendor

Para la detección del carro la mejor opción sería la de emplear un sensor inductivo del tipo y las características que se muestran a continuación:



Ilustración 80: Sensor Inductivo

Pero dado que no se dispone del mismo, para la simulación se decide emplear un sensor de posición como el que se muestra a continuación:



Ilustración 81: Sensor de contenedor/ Fin de Carrera

Para este fin se usa un sensor de posición situado en los extremos del spreader (se cuenta con 4 sensores) que se activan cuando el spreader se apoya sobre en contenedor. Para que la operación prosiga los cuatro sensores deben estar activos, pues esto indica que el spreader está correctamente situado y sirve de redundancia al resto de sensores que determinar la posición.

7.1.8.4 Sensor de Altura Máxima/ Sensor Fin de Carrera



Ilustración 82: Sensor Altura Máxima/ Sensor Fin de Carrera

Para detectar la posición de máxima altura (si la grúa no dispone previamente de uno) del spreader y las de mínima y máxima carga del carro a lo largo de la pluma de la grúa se puede emplear el mismo sensor que el empleado en la detección del contenedor.

Estos sensores se activan cuando el spreader alcance su altura máxima. La utilización de sensores del mismo tipo para procesos distintos permite:

- Cuanto mayor sea el número de elementos de un mismo tipo adquirido mayor será la capacidad de negociación.
- Cuanto menor sea el número de equipos diferentes las tareas de mantenimiento serán más sencillas pues se contará con equipos que requieran idénticas actuaciones de mantenimiento.

7.1.8.5 Otros sensores

Los sensores correspondientes a las funciones de elevación y descenso de la pluma, así como a los de sujeción y liberación de los contenedores serán aquellos con lo que cuenta la grúa antes del inicio de la automatización.

En caso de no disponer de alguno de estos sensores se emplearán resistores variables los cuales modificarán su valor en función de grado de giro existente (tanto el movimiento de la pluma como el de las uñas de agarre son realizados mediante movimientos de giro).

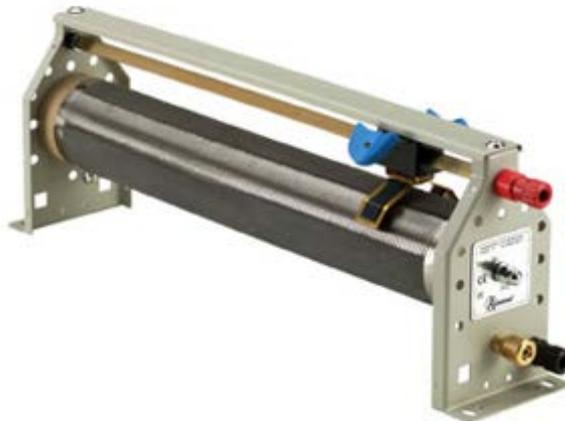


Ilustración 83: Resistor Variable

8 SCADA DEL CONTROL

8.1 Generalidades

El software Scada empleado para el desarrollo (WinCC Flexible Advanced) cuenta con las siguientes prestaciones:

1. Sinópticos y alarmas configurables que señalizan e informan de manera precisa y en tiempo real.
2. Almacenamiento y registro de datos. No solo se memorizan estados y acciones del sistema, sino que, también permite realizar un análisis predictivo.
3. Capacidad para acondicionar o forzar el programa de control del PLC. Esto podrá ser empleado para operaciones de ajuste o mantenimiento del sistema.
4. Capacidad para delegar los cálculos aritméticos al ordenador de forma que se libere la CPU del PLC. Lo que en algunos casos mejora los tiempos de respuesta.

Además, el software permite la posibilidad de realizar diferentes tareas como pueden ser: análisis de señales, envío de resultados a discos e impresora, etc. También cuenta con librerías de funciones de uso general que permiten una gran personalización de las pantallas de control.

El software Scada WinCC debe funcionar bajo un sistema operativo fiable como puede ser Windows 7, 8 y 10.

8.2 Elementos a Controlar

Al escoger como modelo de grúa la Super Post Panamax, los elementos a controlar no solo están perfectamente definidos, sino que, también están contrastados. En este sentido se han estudiado los mismos y se ha consultado con el fabricante.

A raíz de lo expuesto en el párrafo anterior no se realizarán modificaciones en las señales de operación, solo en su generación, por lo que no habrá que realizar modificaciones en los actuadores o sistemas ya instalados. (La señal generada por el movimiento del joystick de control por el operador pasará generarse de forma automática por el propio programa de control.



Ilustración 84: Cabina de Control

8.3 Configuración HMI

- 1- Para iniciar este proceso se selecciona la opción agregar dispositivo, una vez elegida esta opción en la ventana de la derecha se pulsará la opción Sistema PC.

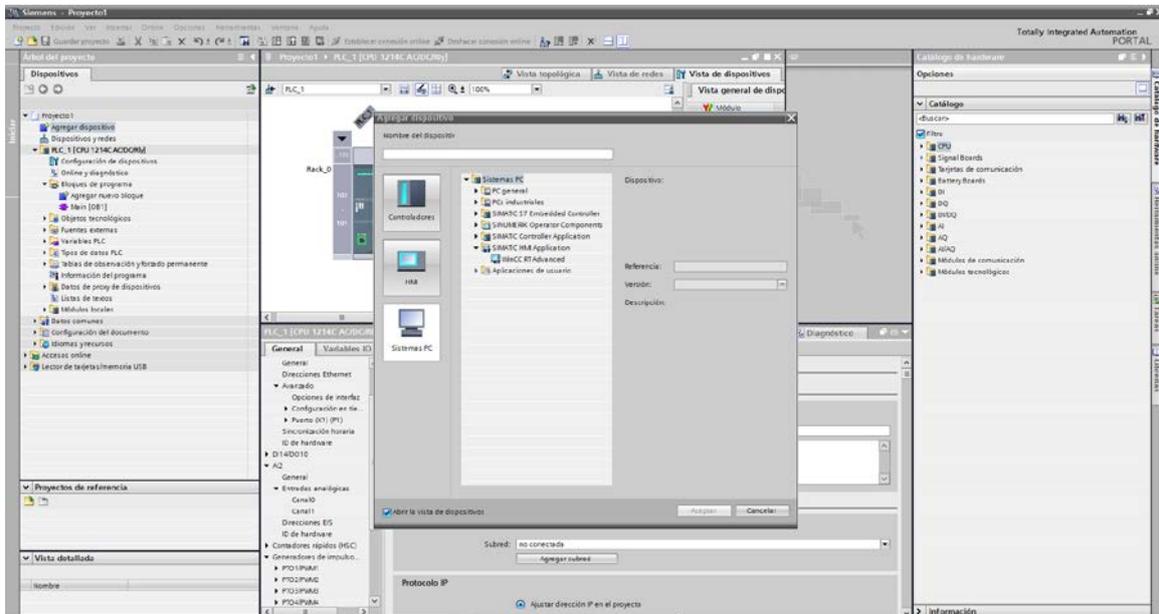


Ilustración 85: Selección HMI

- 2- Una vez dentro de Sistema PC se despliega la carpeta SIAMATIC HMI Application y se selecciona la opción WinCC RT Advance y se pulsa aceptar.

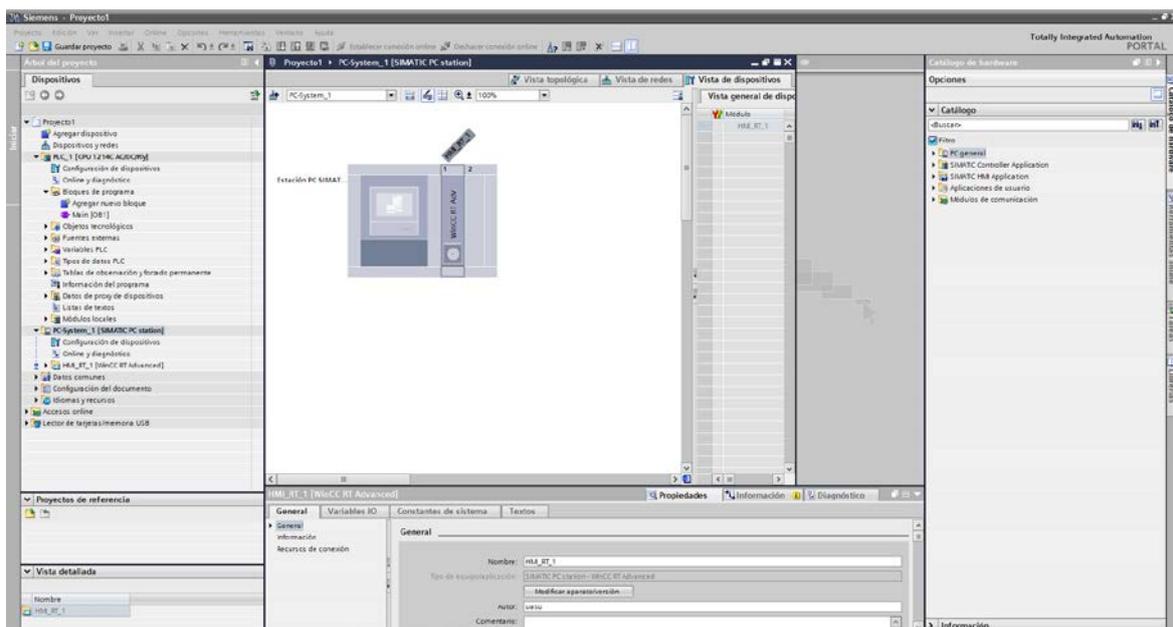


Ilustración 86: Configuración HMI

- Para establecer la comunicación entre el PLC 1200 y el HMI por vía Ethernet será necesario añadir un módulo de comunicación Ethernet, el método de añadir este módulo es similar al de los módulos del PLC.

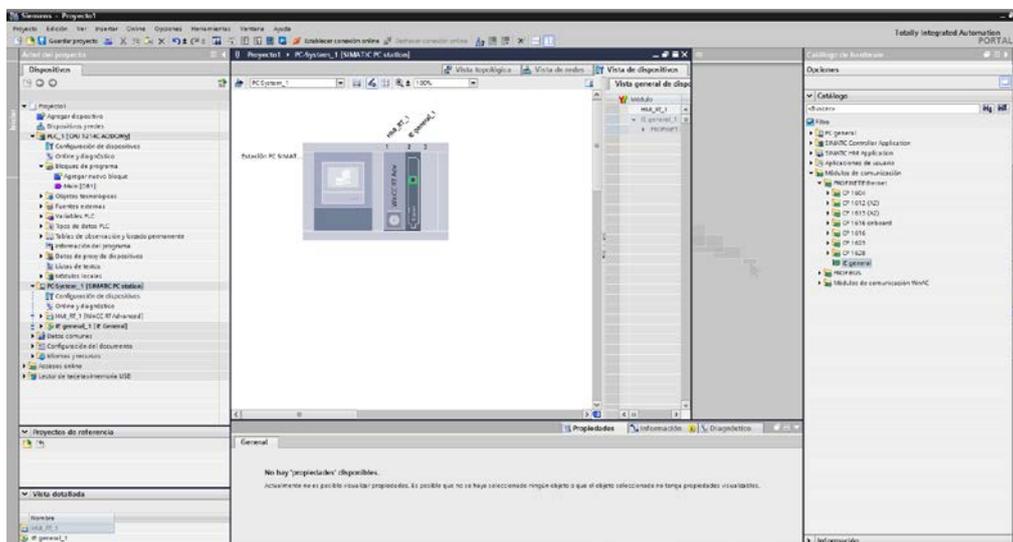


Ilustración 87: Módulo de Comunicación

- Introducido el módulo de comunicación será el momento de configurar la red. En primer lugar, se comprobará que la IP del HMI, al igual que ocurría en el caso del PLC, se encuentra dentro de rango. En el caso del PLC se trabajaba con las IP del PC y del propio PLC, mientras que, en este caso se trabaja con la del PLC y la del HMI. Luego se acude a la ventana "vista de redes" en donde se selecciona la opción conexiones HMI y se realiza la unión entre ambos dispositivos. Para evitar posibles problemas se activa la función sincronizar.

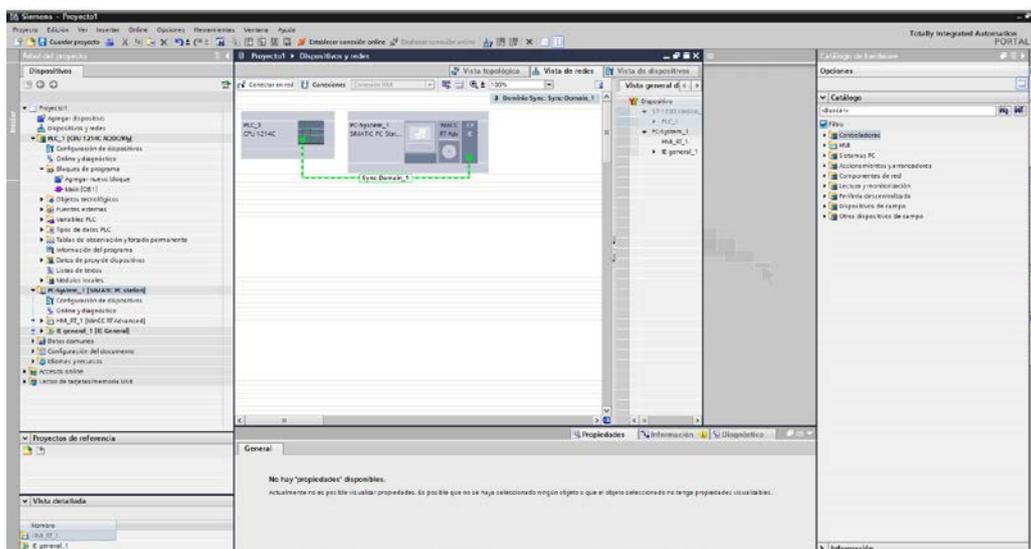


Ilustración 88: Configuración de Red

8.4 Paneles HMI

El sistema HMI consta de 2 pantallas que incluyen gráficos sinópticos de los procesos de carga/descarga, y de mantenimiento.

Se establece para esta interface una estructura de navegación jerárquica a través de los dos paneles: el primer nivel será el Panel de "Control Principal", mientras que, la pantalla de "Mantenimiento" constituirá el segundo nivel. Cada panel está perfectamente identificado y la señalización por texto se complementa con imágenes con efectos visuales (colores e intermitencias). Todo esto pretende evitar que el operador acceda a los vínculos y a la información de forma errática.

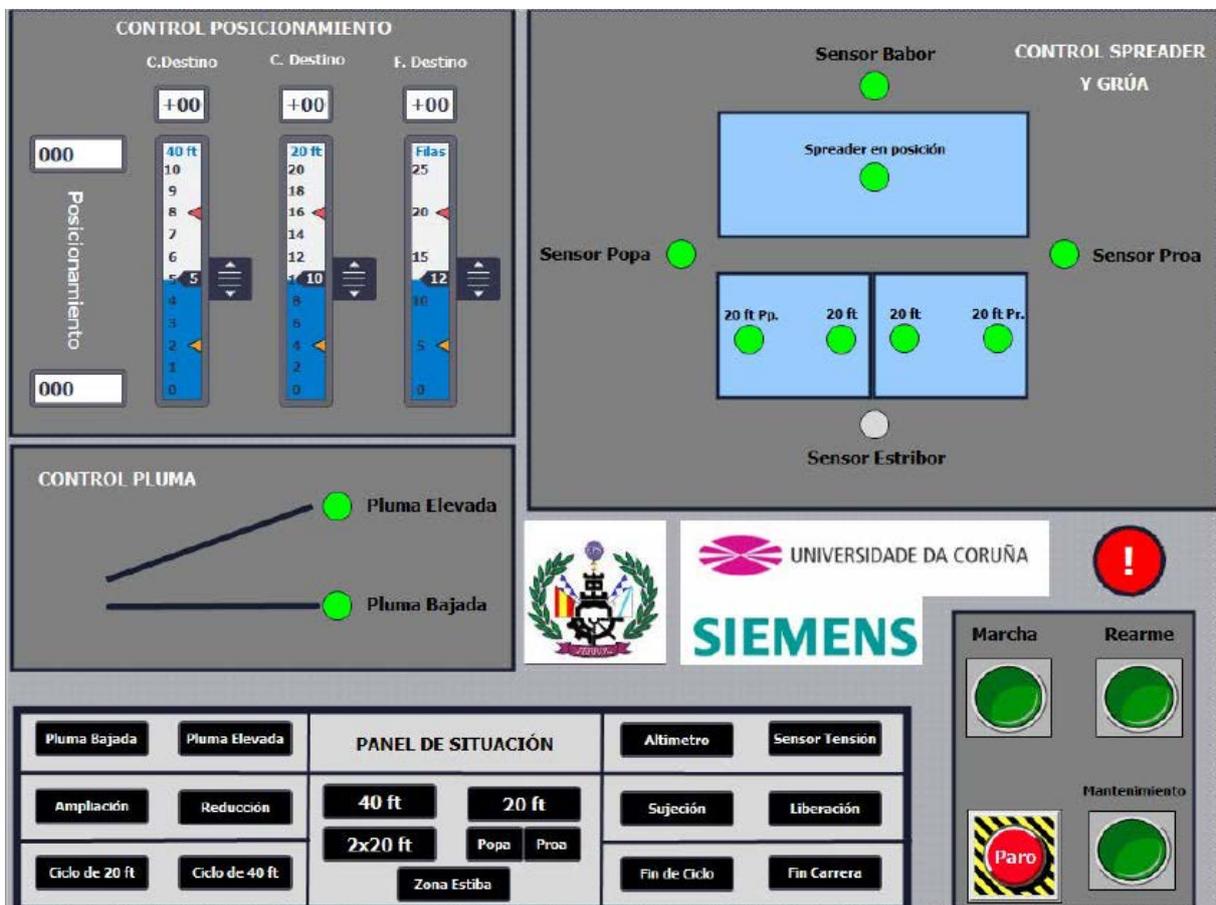


Ilustración 89: Pantalla HMI Control Principal

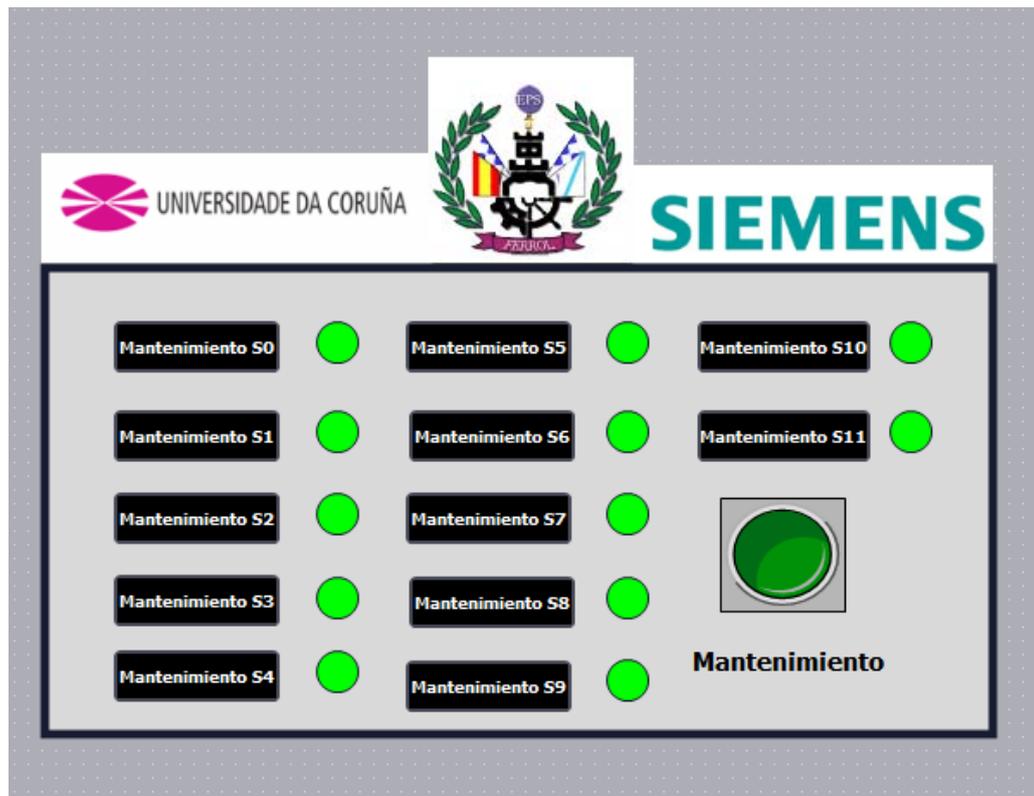


Ilustración 90: Pantalla HMI Mantenimiento

Las pantallas del HMI permiten al operador tres modos distintos de operación:

- Manual: mediante el panel de mantenimiento el operador puede actuar de manera individual cualquiera de los equipos que forman el proceso de carga/descarga. Este modo de operación puede resultar interesante en condiciones no estándar, por ejemplo, cuando un contenedor no se encuentra estibado de la forma correcta.
- Automático: en este modo de operación pueden darse dos situaciones distintas:
 - Es el operador quien de forma manual introduce en el programa las variables de todos los contenedores a cargar y descargar.
 - Al operador de la sala de control de las grúas llegan dos bases de datos con las variables ya introducidas, una correspondiente a los contenedores a descargar y recolocar y otra con la información de los contenedores a cargar.

La segunda situación sería la de mayor productividad pues el operario solo tendría que cargar la base de datos junto con la propia del puerto (contenedores a cargar) para que la grúa realice de forma totalmente automática todas las operaciones. Aunque esta posibilidad hoy en día no está implementada, dado que, sería necesaria una modificación en la forma de tratar la información tanto por el buque como por el puerto.

8.4.1 Pantalla de Control Principal

Esta pantalla se compone de 5 partes diferenciadas:

1. "Control Posicionamiento".
2. "Control Spreader y Grúa".
3. "Control Pluma".
4. "Panel de Situación".
5. "Controles Principales".

Las características de estas partes se presentan a continuación de forma detallada a fin de conocer la información que facilita cada una de ellas.

8.4.1.1 "Control Posicionamiento"

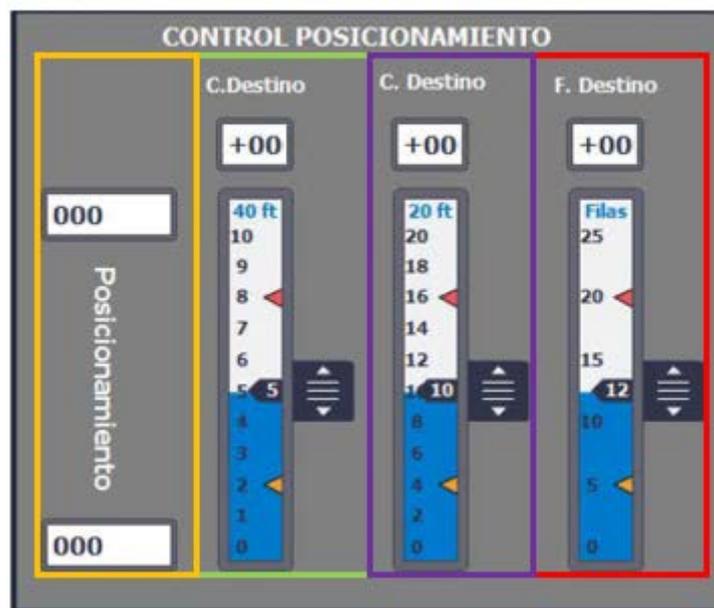


Ilustración 91: Control Posicionamiento

Esta parte de la pantalla de control proporciona la información correspondiente a:

- Naranja: la distancia a la que se encuentra la grúa del tope posicionado por los operarios (ventana superior) y la distancia de la grúa a la zona de estiba (ventana inferior). Si se dispone de otra grúa en operación la distancia medida es la distancia existente entre las grúas ya sea a babor o estribor.

- Verde: esta sección se compone de dos elementos: el primero (ventana) indica la columna de contenedores de 40 ft a la cual se desea acudir, mientras que, el segundo elemento (barra) indica la columna en la que se encuentra la grúa y su avance hasta la situación indicada.
- Morado: esta sección se compone de dos elementos: el primero (ventana) indica la columna de contenedores de 20 ft a la cual se desea acudir, mientras que, el segundo elemento (barra) indica la columna en la que se encuentra la grúa y su avance hasta la situación indicada.
- Rojo: esta sección se compone de dos elementos: el primero (ventana) indica la fila de contenedores, ya sean de 20 o 40 ft, a la cual se desea acudir, mientras que, el segundo elemento (barra) indica la fila en la que se encuentra el carro y su avance hasta la situación indicada. El límite de filas de operación de la grúa viene dado por el tipo de la misma.

Como se aprecia en la ilustración 89 "Control Posicionamiento" el número de columnas de 20 ft es el doble del de 40 ft lo cual se debe a que en el espacio en el que se estiba un contenedor de 40 ft se pueden estibar 2 de 20 ft.

8.4.1.2 "Control Spreader y Grúa"

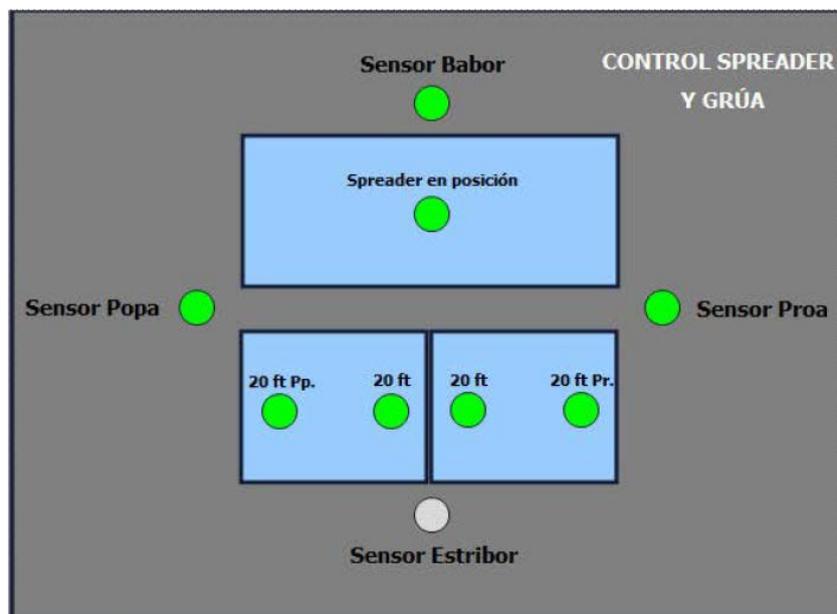


Ilustración 92: Control Spreader y Grúa

Esta parte de la pantalla de control permite conocer a través de lo indicado en los sensores (blanco indica OFF y verde indica ON) la siguiente información:

- **Posición del spreader respecto al contenedor seleccionado:** la información se presenta mediante los siguientes sensores:
 - Indicador de Proa: la puesta en ON de este sensor indica que el spreader está alineado con el lado de proa del contenedor.
 - Indicador de Popa: cuando está activado indica que el spreader está alineado con la cara de popa del contenedor.
 - Indicador de Estribor: la activación de este sensor indica la alineación entre el spreader y el lado de estribor de contenedor.
 - Indicador de Babor: muestra la alineación entre el spreader y el lado de babor de contenedor.
- **Tipo de contenedor a operar:** los indicadores de esta parte solo se activan si se opera con contenedores de 20 ft pues se considera que la operación con contenedores 40 ft se corresponde con la operación estándar.
 - **Indicador de 20 ft:** Se activa cuando el contenedor a operar es de 20 ft.
 - **Indicador 20 ft Pp.:** Se pone a uno cuando el contenedor de 20 ft se encuentra a popa (en la columna).
 - **Indicador 20 ft Pr:** Se pone a uno cuando el contenedor de 20 ft se encuentra a proa (en la columna).

8.4.1.3 “Control Pluma”

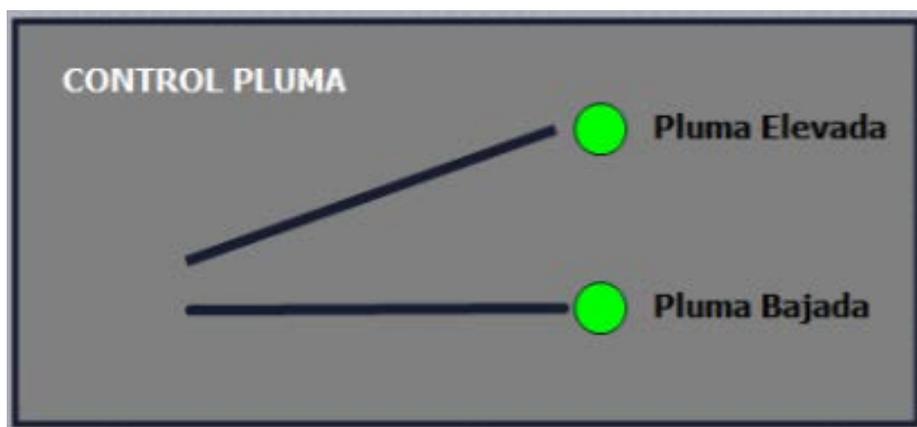


Ilustración 93: Control Pluma

Esta parte proporciona información sobre la posición de la grúa mediante los indicadores de:

- Pluma Elevada: el cual se activa cuando la pluma se encuentra en su posición más elevada.
- Pluma Bajada: se activa cuando la pluma se sitúa en su posición más baja y alineada con el resto de la viga principal.

8.4.1.4 “Panel de Situación”



Ilustración 94: Estado del Sistema

Esta pantalla permite conocer en que condición se encuentra el sistema a través de los siguientes indicadores:

- **Pluma Elevada:** se activa cuando la pluma se encuentra en su posición más elevada.
- **Pluma Bajada:** se activa cuando la pluma se sitúa en su posición más baja y alineada con el resto de la viga principal.
- **Ampliación:** se ilumina cuando los brazos telescópicos de spreader se están expandiendo para operar con contenedores de 40 ft (tránsito entre operación con contenedores de 20 ft y 40 ft).
- **Reducción:** los brazos telescópicos de spreader se están retrayendo para operar con contenedores de 20 ft (tránsito entre operación con contenedores de 40 ft y 40 ft)
- **Ciclo de 20 ft:** se pone a uno cuando se opera de forma repetitiva con contenedores de 20 ft.
- **Ciclo de 40 ft:** se pone a uno cuando se opera de forma repetitiva con contenedores de 40 ft.
- **40 ft:** muestra que el contenedor que se manipula es de 40 ft.
- **20 ft:** muestra que el contenedor que se manipula es de 20 ft.

- **Popa.:** se pone a uno cuando el contenedor de 20 ft se encuentra a popa.
- **Proa:** se pone a uno cuando el contenedor de 20 ft se encuentra a proa.
- **2x20:** se pone a uno cuando se manipulan dos contenedores de 20 ft.
- **Zona de estiba:** muestra que la grúa se encuentra en la zona de estiba.
- **Altímetro:** se activa cuando el spreader se encuentra en su máxima altura.
- **Sensor de tensión:** se activa cuando el spreader se apoya sobre el contenedor
- **Sujeción:** se pone a uno cuando las uñas del spreader se han cerrado.
- **Liberación:** se pone a uno cuando las uñas del spreader se encuentran abiertas.
- **Fin de ciclo:** se activa cuando cambia el tamaño de contenedor.
- **Fin de carrera:** se pone a uno cuando el carro se encuentra en su posición de mínima carrera.

Como se puede apreciar algunos elementos de otras partes se encuentran dispuestos también en esta parte a fin de que, aunque este formato sea menos intuitivo que los encontrados en las partes específicas, el operario pueda con una simple mirada conocer la situación de operación de la grúa

8.4.1.5 “Luz Paro”

Por último (aunque no se considere como una parte del sistema pues no proporciona información sobre ningún subproceso) se encuentra la luz de paro la cual solo proporciona información sobre si la operación se encuentra en marcha o no.



Ilustración 95: Luz de Paro

8.4.1.6 “Controles Principales”



Ilustración 96: Controles Principales

En esta parte se encuentran los pulsadores principales:

- **Paro:** su activación detiene las operaciones de forma inmediata.
- **Rearme:** retorna la grúa a su condición inicial de operación.
- **Marcha:** su activación inicia las operaciones de la grúa. Para que la grúa se ponga en operación además de el pulsador de marcha han de cumplirse otras condiciones, por ejemplo, que el carro se encuentre en la posición de mínima carrera.
- **Mantenimiento:** este pulsador desactiva el programa principal de operación y activa el programa de mantenimiento en el cual, el operador puede de forma manual accionar los distintos equipos del proceso de forma individual.

También es la que permite acceder a la pantalla de mantenimiento, la cual se expone a continuación

8.4.2 Pantalla de Mantenimiento

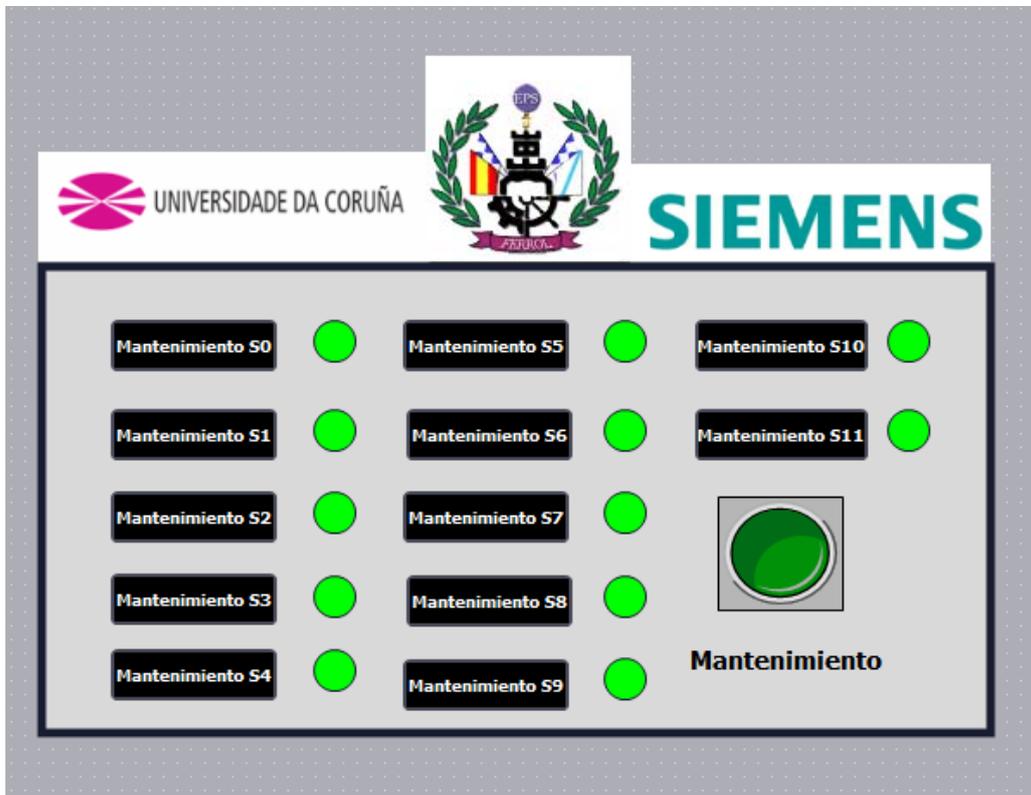


Ilustración 97: Pantalla de Mantenimiento Descripción

Esta pantalla a la cual se accede desde la principal permite que estando la operación detenida operar de forma independiente los distintos equipos que forman parte del proceso de transferencia a fin de comprobar su correcto funcionamiento. También cuenta con un botón que permite volver a la pantalla principal.

<i>Pulsadores Mantenimiento</i>	
<i>Pulsador</i>	<i>Acción</i>
Mantenimiento S0	Activa Avance Hacia Proa
Mantenimiento S1	Activa Descenso de Pluma
Mantenimiento S2	Activa Avance Hacia Popa
Mantenimiento S3	Activa Reducción Spreader
Mantenimiento S4	Activa Avance Estribor
Mantenimiento S5	Activa Avance Babor
Mantenimiento S6	Activa Descenso de Spreader
Mantenimiento S7	Activa Sujeción
Mantenimiento S8	Activa Liberación
Mantenimiento S9	Activa Elevación de Spreader
Mantenimiento S10	Activa Elevación Pluma
Mantenimiento S11	Activa Ampliación de Spreader

Tabla 20: Mantenimiento

9 CONCLUSIONES

En este Trabajo Fin de Master se ha diseñado e implementado la automatización de una grúa portacontenedores dedicada a la transferencia de contenedores entre el buque y la terminal portuaria.

Para llevar a cabo el proyecto se han estudiado los diferentes equipos, elementos y sistemas involucrados en la operación con el objetivo de optimizar y aumentar la seguridad. Además, también se ha introducido y probado una metodología de trabajo para el diseño y desarrollo de un sistema experto.

El diseño e implementación del sistema experto se ha realizado sobre una grúa Super Post-Panamax por ser actualmente la que suscita el mayor interés de implantación, por parte de Puertos del Estado, debido a sus prestaciones y flexibilidad de operación. Para ello, se ha realizado un análisis de este sistema de carga y descarga con el objetivo de diseñar el sistema experto de control y supervisión a fin de aumentar la seguridad del proceso y de la vida humana.

La solución propuesta en este trabajo no solo contempla el algoritmo de control y el Scada de supervisión y gestión, sino que, también su forma de implementación en la grúa.

El sistema experto utiliza un PLC como medio de control el cual garantiza un alto grado de interconectividad y compatibilidad con los diferentes actuadores y sensores a emplear. Por otro lado, la supervisión se realiza mediante Scada WinCC Flexible Advance que proporciona el conocimiento en tiempo real del estado de operación del proceso, lo que permite realizar funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico. Además, este Scada es totalmente compatible con el autómatas seleccionado lo que ha permitido optimizar los tiempos invertidos en el desarrollo del trabajo y evitar posibles problemas de comunicación.

La reducción del factor humano, a un único operario, situado en una sala de control, no va en perjuicio de la operatividad de las operaciones. Dado que, el sistema propuesto tiene por objetivo mejorar la calidad de trabajo del operador y minimizar los "errores humanos" todo lo cual aumenta la seguridad y productividad de la operación.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. El Transporte Marítimo en 2005. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2005. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 92-1-312321-3.
2. El Transporte Marítimo en 2006. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2006. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN-13 978-92-1-312329-4.
3. El Transporte Marítimo en 2007. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2007. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312338-6.
4. El Transporte Marítimo en 2008. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2008. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312352-2.
5. El Transporte Marítimo en 2009. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2009. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312357-7.
6. El Transporte Marítimo en 2010. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2010. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312379-9.
7. El Transporte Marítimo en 2011. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2011. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312384-3.
8. El Transporte Marítimo en 2012. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2012. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISSN 0252-5410.
9. El Transporte Marítimo en 2013. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2013. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312388-1. e-ISBN 978-92-1-054197-8.
10. El Transporte Marítimo en 2014. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2014. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312389-8. e-ISBN 978-92-1-05863-0.

11. El Transporte Marítimo en 2015. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. Nueva York y Ginebra, 2015. Publicaciones de las Naciones Unidas. ISBN 978-92-1-312391-1. e-ISBN 978-92-1-057412-9
12. Review of Maritime Transport 2016. United Nations Conference on Trade and Development. New York and Geneva, 2016. United Nations Publications. ISBN 978-92-1-112904-5. e-ISBN 978-92-1-058462-3.
13. Port Container Crane. TurboSquid. [En línea] 22-08-2012. [Acceso el 14-03-2017]. Disponible en:
<https://www.turbosquid.com/3d-models/3d-model-port-container-crane-industrial/689347>

Bigger Containerships Means Bigger Gantry Cranes. GCaptain. [En línea] 15-07-2013. [Acceso el 14-03-2017]. Disponible en:
<http://gcaptain.com/bigger-containerships-gantry-cranes/>
14. Size and Shape. ThinkDefence. [En línea]. [Acceso el 14-03-2017]. Disponible en:
<http://www.thinkdefence.co.uk/ship-to-shore-logistics/increment-2-pierhead/>
15. Carlos Javier Gómez Lemus. Grúas Portacontenedores. E.P.S.I. Sección de náutica, Máquinas y Radioelectrónica, Universidad de La Laguna [En línea]. [Acceso el 15-03-2017]. Disponible en:
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1962/GRUAS%20PORTA-CONTENEDORES.pdf;sequence=1>
16. Concentración empresarial en el tráfico de contenedores. La Estiba, Boletín de la coordinadora estatal de trabajadores del mar. [En línea]. [Acceso el 20-03-2017]. Disponible en:
<http://www.laestiba.info/numero02/concentracion-empresarial-en-el-trafico-de-mercancias-en-contenedor/>
17. Diana Fernández Pérez. Estudio técnico y mantenimiento de una grúa portacontenedores. Facultad de Náutica de Barcelona. [En línea] 2009. [Acceso el 29-03-2017]. Disponible en:
<http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6428>
18. S7 Controlador programableS7-1200. Manual de sistema. Siemens [En línea] 11-2009. [Acceso el 26-04-2017]. Disponible en:
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>
19. Variable Resistors. Ruhstrat, A Brand of the Elsenmann Group.S7. [En línea]. [Acceso el 27-04-2017]. Disponible en:
<https://www.ruhstrat.com/en/power-resistors/variable-resistors.htm>

20. Sensor inductivo Automation24 IM5163 – BasicLine. Automation24. [En línea]. [Acceso el 27-04-2017]. Disponible en:
<http://www.automation24.es/sensores-de-posicion/sensor-inductivo-automation24-im5163-basicline-i1-55-0.htm>
21. Distance Laser Sensor. Technical Reference Manual V5.02. Dimetix.
22. Manual LASE2000D-11x Series. LASE industrielle Lasertechnik GmbH
23. Manual LASE3000D-C3 Compact Laser SCANNER. LASE industrielle Lasertechnik GmbH
24. Manual LASE2000D-22x Series. LASE industrielle Lasertechnik GmbH
25. Pablo Morán Pereiro. Diseño e implementación de un sistema oleoneumático automatizado para embalaje industrial mediante atado por hilo de acero para mercancías pesadas. [En línea]. [Acceso el 28-04-2017]. Disponible en:
http://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/17881/MoranPereiro_Pablo_TFG_2016_01de02.pdf?sequence=2&isAllowed=y
26. Guidance on container handling. Health and Safety Executive (Reino Unido). [En línea]. [Acceso el 01-05-2017]. Disponible en:
<http://www.portskillsandsafety.co.uk/sites/default/files/2017-05/SIP003%20-%20Guidance%20on%20container%20handling%20-%20Issue%201.pdf>
27. Seguridad y salud en los puertos. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra. [En línea]. [Acceso el 02-05-2017]. Disponible en:
http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/normativeinstrument/wcms_112516.pdf
28. R160 Recomendación sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios), 1979. Organización Internacional del Trabajo. [En línea]. [Acceso el 02-05-2017]. Disponible en:
<https://www.prevencionintegral.com/documentacion/directrices-oit/r160-recomendacion-sobre-seguridad-higiene-trabajos-portuarios>
29. C152 Convenio sobre seguridad e higiene (trabajos portuarios), 1979. Organización Internacional del Trabajo. [En línea]. [Acceso el 02-05-2017]. Disponible en:
http://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C152
30. "Material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión" – EN 61131-2:2007 Autómatas programables - Requisitos y ensayos de los equipos. Directiva CE 2006/95/CE (Directiva de baja tensión). [En línea]. [Acceso el 02-05-2017]. Disponible en:
http://www.f2i2.net/Documentos/LSI/Dir_2006-095.pdf

31. Informe para el comité de seguridad marítima. Subcomité de transporte de mercancías peligrosas, cargas sólidas y contenedores. Organización Marítima Internacional. [En línea]. [Acceso el 02-05-2017]. Disponible en:
<http://docplayer.es/9334206-Informe-para-el-comite-de-seguridad-maritima-indice-1-generalidades-3-2-decisiones-de-otros-organos-de-la-omi-3.html>
32. Francisco Fernández Saiaín; David Soler Garcia "*Estiba y trincaje de mercancías en contenedor*". Colección Biblioteca de logística. ISBN-10 8415340788, ISBN 13 978-8415340782.
33. Guía Rápida Profinet. Ormon. . [En línea]. [Acceso el 03-05-2017]. Disponible en:
<http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profinetguiarapida.pdf>
34. Convenio sobre la Seguridad en Contenedores (CSC). Organización Marítima Internacional [En línea]. [Acceso el 03-05-2017]. Disponible en:
<http://proteo2.sre.gob.mx/tratados/ARCHIVOS/SEGURIDAD%20CONTENEDORES.pdf>
35. Código de prácticas OMI/OIT/CEPE- Naciones Unidad sobre la arrumazón de las unidades de transporte. (CTU) [En línea]. [Acceso el 03-05-2017]. Disponible en:
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2014/wp24/CTU_Code_Spanish.pdf
36. Puerto Cortes: Modernización y Expansión. Skyscrapercity.com, [En línea] 22-10-2013. [Acceso el 04-05-2017]. Disponible en:
<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1668057>
37. Infografía: La evolución de los Portacontenedores en estos 50 años. FULL AVANTE NEWS. [En línea] 26-03-2015. [Acceso el 20-05-2017]. Disponible en:
<http://fullavantenews.com/2015/03/26/infografia-la-evolucion-de-los-portacontenedores-en-estos-50-anos/>
38. Bloques para muelle de contenedores. Documentos de Arquitectura. [En línea] 15-05-2015. [Acceso el 21-05-2017]. Disponible en:
<http://documentos.arq.com.mx/>
40. Anexo I: Disposiciones mínimas aplicables a los equipos de trabajo del RD 1215/1997.
41. IEC 60617-12:1997 Graphical symbols for diagrams - Part 12: Binary logic elements.
42. IEC 60848:2013 GRAFCET specification language for sequential function charts.
43. IEC 61131-1:2003 Programmable controllers - Part 1: General information.
44. IEC 61131-2:2007 Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests.
45. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages.

46. IEC TR 61131-4:2004 Programmable controllers - Part 4: User guidelines.
47. IEC 61131-5:2000 Programmable controllers - Part 5: Communications.
48. IEC 61131-6:2012 Programmable controllers - Part 6: Functional safety.
49. IEC 61131-7:2000 Programmable controllers - Part 7: Fuzzy control programming.
50. IEC TR 61131-8:2003 Programmable controllers - Part 8: Guidelines for the application and implementation of programming languages.
51. IEC 61131-9:2013 Programmable controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI).
52. ISO 6403:1988 Hydraulic fluid power -- Valves controlling flow and pressure -- Test methods.
53. ISO 1219-1:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications.
54. ISO 1219-2:2012 Fluid power systems and components -- Graphical symbols and circuit diagrams -- Part 2: Circuit diagrams.
55. ISO 4413:2010 Hydraulic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components.
56. ISO 4414:2010 Pneumatic fluid power -- General rules and safety requirements for systems and their components.
57. ISO 20898:2008 Industrial trucks -- Electrical requirements.
58. ISO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design.
59. ISO 13849-1:2006/Cor 1:2009.
60. ISO 13849-2:2012 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 2: Validation.
61. ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 2: Practical guidance and examples of methods.
62. ISO/TR 17529:2014 Machine tools -- Practical guidance and example of risk assessment on electro-discharge machines.

63. ISO/TR 22100-1:2015 Safety of machinery ISO 12100:2010 Safety of machinery -- General principles for design -- Risk assessment and risk reduction.
64. ISO/TR 22100-2:2013 Safety of machinery -- Relationship with ISO 12100 -- Part 2: How ISO 12100 relates to ISO 13849-1.
65. EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
66. EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
67. UNE 101-149-86 "Transmisiones hidráulicas y neumáticas. Símbolos gráficos".
68. EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
69. EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
70. UNE-EN 60204-1:2007/A1:2009 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
71. UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).
72. UNE-EN 60204-1:2007 CORR:2010 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
73. UNE-EN 60947-1:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 1: Reglas generales.
74. UNE-EN 60947-2:2007 Aparamenta de baja tensión. Parte 2: Interruptores automáticos. (IEC 60947-2:2006).
75. UNE-EN 60947-3/A1:2002 Aparamenta de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
76. UNE-EN 60947-3:2000 Aparamenta de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
77. UNE-EN 60947-3:2000/A2:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.
78. UNE-EN 60947-3:2009 Aparamenta de baja tensión. Parte 3: Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.

79. UNE-EN 60947-4-1/A1:2003 Aparata de baja tensión. Parte 4-1: Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.
80. UNE-EN 60947-4-3:2002/A1:2007 Aparata de baja tensión. Parte 4-3: Contactores y arrancadores de motor. Reguladores y contactores semiconductores para cargas, distintas de los motores, de corriente alterna. (IEC 60947-4-3:1999/A1:2006).
81. UNE-EN 60947-5-1:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
82. UNE-EN 60947-5-1:2005/A1:2009 Aparata de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
83. UNE-EN 60947-5-2/A1:2000 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
84. UNE-EN 60947-5-2:2000 Aparatos de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
85. UNE-EN 60947-5-2:2000/A2:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
86. UNE-EN 60947-5-2:2002 ERRATUM Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
87. UNE-EN 60947-5-2:2008 Aparata de baja tensión. Parte 5-2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.
88. UNE-EN 60947-5-3:2000 Aparata de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 3: Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDF).
89. UNE-EN 60947-5-3:2000/A1:2006 Aparata de baja tensión. Parte 5-3: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDF).
90. UNE-EN 60947-5-4:2005 Aparata de baja tensión. Parte 5-4: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Método de evaluación de la aptitud para la función de los contactos de baja energía. Ensayos especiales

91. UNE-EN 60947-5-5:1999 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparato de parada de emergencia eléctrico con enclavamiento mecánico.
92. UNE-EN 60947-5-5:1999/A1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Dispositivos de parada de emergencia eléctrica con enclavamiento mecánico.
93. UNE-EN 60947-5-6:2001 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR).
94. UNE-EN 60947-5-7:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para detectores de proximidad con salida analógica.
95. UNE-EN 60947-5-8:2007 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-8: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interruptores de mando de validación de tres posiciones. (IEC 60947-5-8:2006).
96. UNE-EN 60947-5-9:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-9: Aparatos de control de circuitos y elementos de conmutación. Detectores de caudal.
97. UNE-EN 60947-6-1:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-1: Equipos de funciones múltiples. Equipos de conexión de transferencia automática (IEC 60947-6-1:2005)
98. UNE-EN 60947-6-2:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP).
99. UNE-EN 60947-6-2:2005/A1:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 6-2: Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP). (IEC 60947-6-2:2002/A1:2007).
100. UNE-EN 60947-7-1:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
101. UNE-EN 60947-7-1:2003 ERRATUM:2006 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-1: Equipos auxiliares. Bloques de conexión para conductores de cobre.
102. UNE-EN 60947-7-2:2003 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-2: Equipos auxiliares. Bloques de conexión de conductores de protección para conductores de cobre.
103. UNE-EN 60947-7-2:2010 Aparamenta de baja tensión. Parte 7-2: Equipos auxiliares. Bloques de conexión de conductores de protección para conductores de cobre.

104. UNE-EN 60947-7-3:2005 Aparata de baja tensión. Parte 7-3: Equipos auxiliares. Requisitos de seguridad para bloques de conexión fusibles.
105. VDI 3260 Funktionsdiagramme von Arbeitsmaschinen und Fertigungsanlagen.
106. VDI/VDE 3684 "Manufacturer-independent configuration of drive systems - Description of event-driven motion processes with functional diagrams".

ANEXO I

INFORMES

CARIDAD_BOUZA_ALEJANDRO / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Programa Principal [OB123]

Programa Principal Propiedades

General

Nombre	Programa Principal	Número	123	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración	automática						

Información

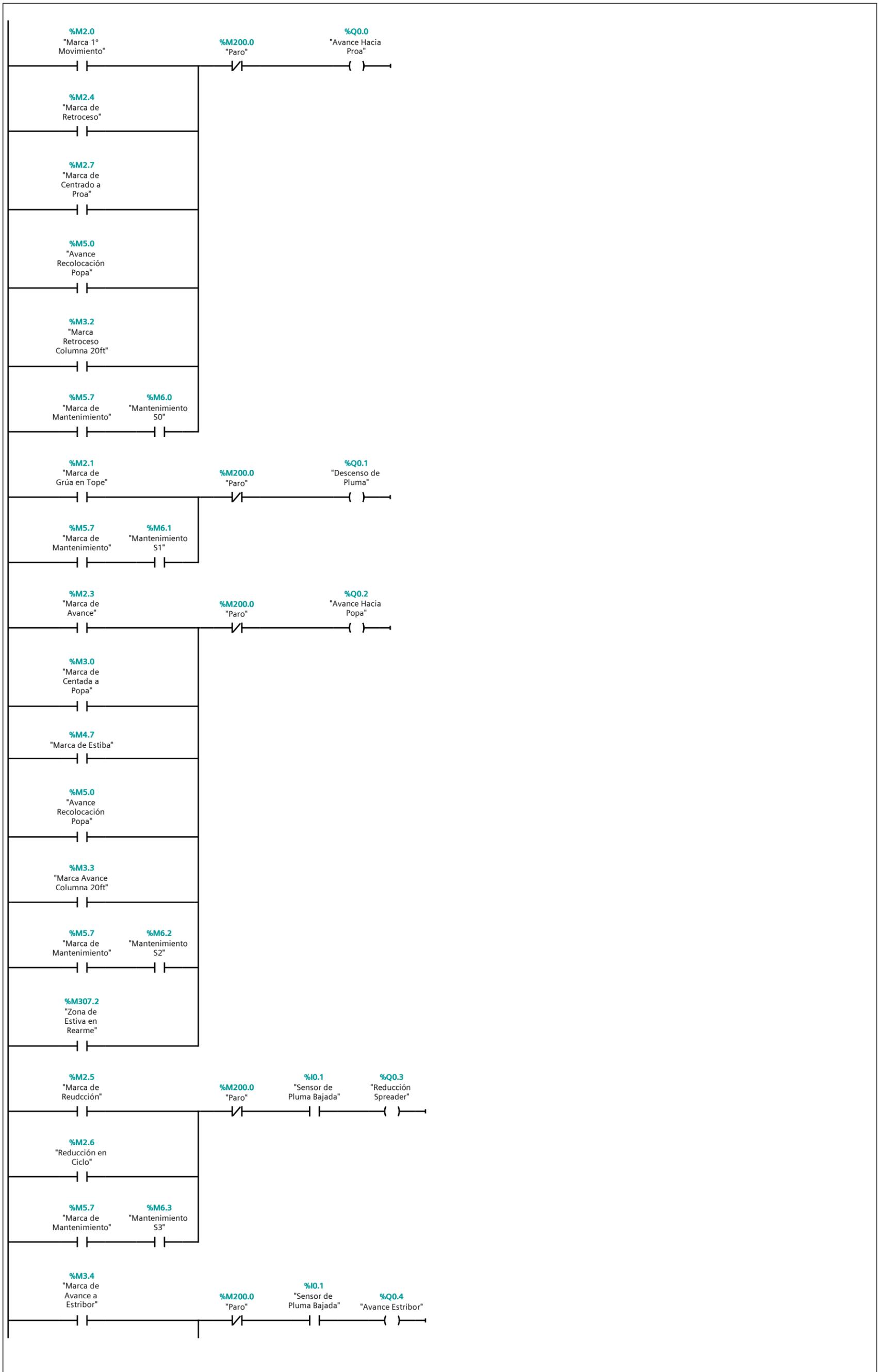
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Programa Principal

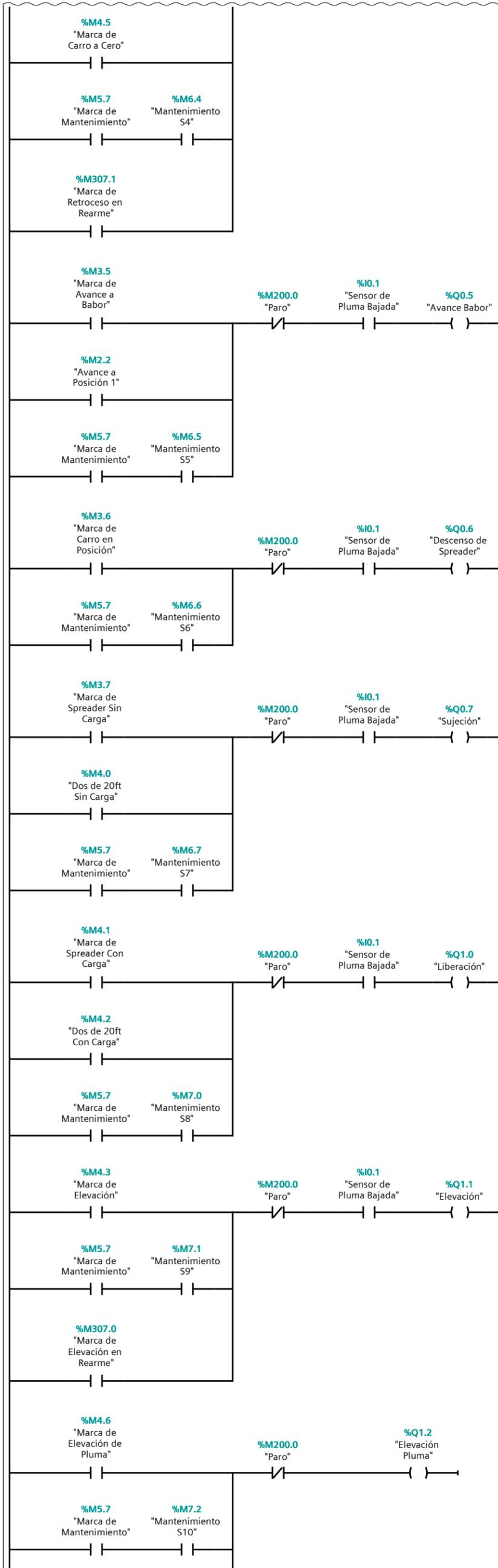
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario
Temp			
Constant			

Segmento 1: Salidas

Segmento 1: Salidas (1.1 / 3.1)

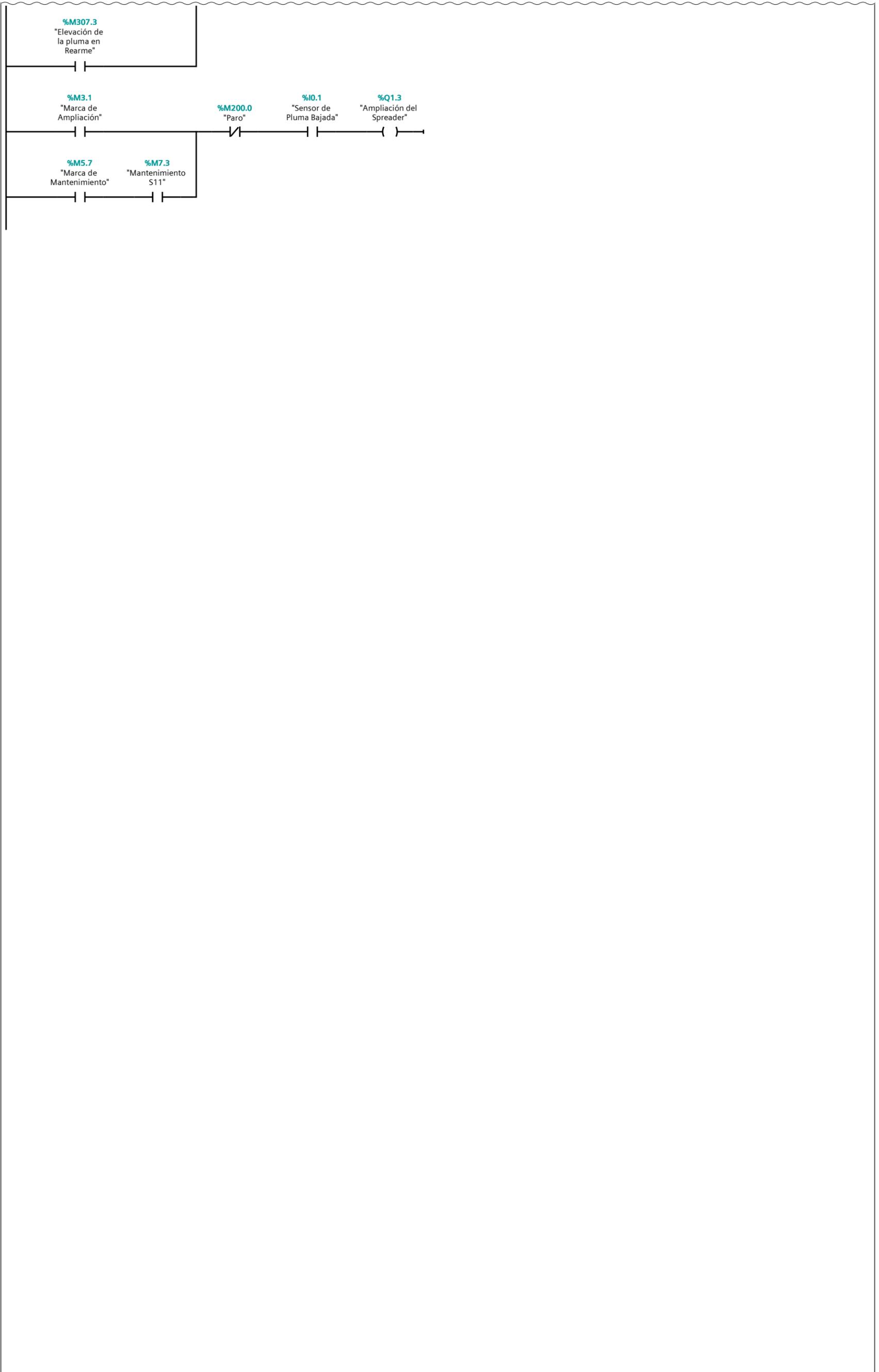


Segmento 1: Salidas (2.1 / 3.1)



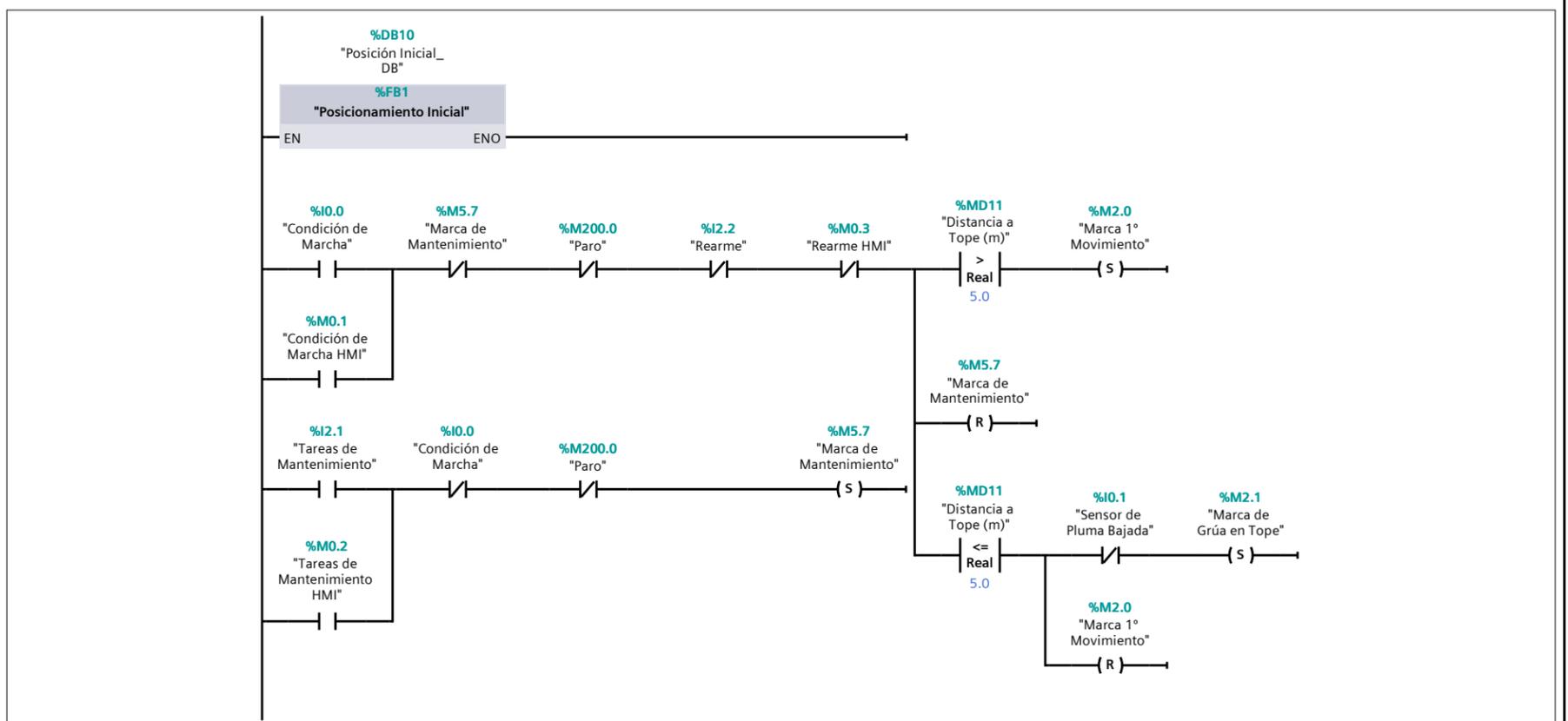
Segmento 1: Salidas (3.1 / 3.1)

2.1 (Página1 - 3)



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Ampliación del Spreader"	%Q1.3	Bool	
"Avance a Posición 1"	%M2.2	Bool	
"Avance Babor"	%Q0.5	Bool	
"Avance Estribor"	%Q0.4	Bool	
"Avance Hacia Popa"	%Q0.2	Bool	
"Avance Hacia Proa"	%Q0.0	Bool	
"Avance Recolocación Popa"	%M5.0	Bool	
"Descenso de Pluma"	%Q0.1	Bool	
"Descenso de Spreader"	%Q0.6	Bool	
"Dos de 20ft Con Carga"	%M4.2	Bool	
"Dos de 20ft Sin Carga"	%M4.0	Bool	
"Elevación de la pluma en Rearme"	%M307.3	Bool	
"Elevación Pluma"	%Q1.2	Bool	
"Elevación"	%Q1.1	Bool	
"Liberación"	%Q1.0	Bool	
"Mantenimiento S0"	%M6.0	Bool	
"Mantenimiento S1"	%M6.1	Bool	
"Mantenimiento S2"	%M6.2	Bool	
"Mantenimiento S3"	%M6.3	Bool	
"Mantenimiento S4"	%M6.4	Bool	
"Mantenimiento S5"	%M6.5	Bool	
"Mantenimiento S6"	%M6.6	Bool	
"Mantenimiento S7"	%M6.7	Bool	
"Mantenimiento S8"	%M7.0	Bool	
"Mantenimiento S9"	%M7.1	Bool	
"Mantenimiento S10"	%M7.2	Bool	
"Mantenimiento S11"	%M7.3	Bool	
"Marca 1º Movimiento"	%M2.0	Bool	
"Marca Avance Columna 20ft"	%M3.3	Bool	
"Marca de Ampliación"	%M3.1	Bool	
"Marca de Avance a Babor"	%M3.5	Bool	
"Marca de Avance a Estribor"	%M3.4	Bool	
"Marca de Avance"	%M2.3	Bool	
"Marca de Carro a Cero"	%M4.5	Bool	
"Marca de Carro en Posición"	%M3.6	Bool	
"Marca de Centada a Popa"	%M3.0	Bool	
"Marca de Centrado a Proa"	%M2.7	Bool	
"Marca de Elevación de Pluma"	%M4.6	Bool	
"Marca de Elevación en Rearme"	%M307.0	Bool	
"Marca de Elevación"	%M4.3	Bool	
"Marca de Estiba"	%M4.7	Bool	
"Marca de Grúa en Tope"	%M2.1	Bool	
"Marca de Mantenimiento"	%M5.7	Bool	
"Marca de Retroceso en Rearme"	%M307.1	Bool	
"Marca de Retroceso"	%M2.4	Bool	
"Marca de Reudcción"	%M2.5	Bool	
"Marca de Spreader Con Carga"	%M4.1	Bool	
"Marca de Spreader Sin Carga"	%M3.7	Bool	
"Marca Retroceso Columna 20ft"	%M3.2	Bool	
"Paro"	%M200.0	Bool	
"Reducción en Ciclo"	%M2.6	Bool	
"Reducción Spreader"	%Q0.3	Bool	
"Sensor de Pluma Bajada"	%I0.1	Bool	
"Sujeción"	%Q0.7	Bool	
"Zona de Estiva en Rearme"	%M307.2	Bool	

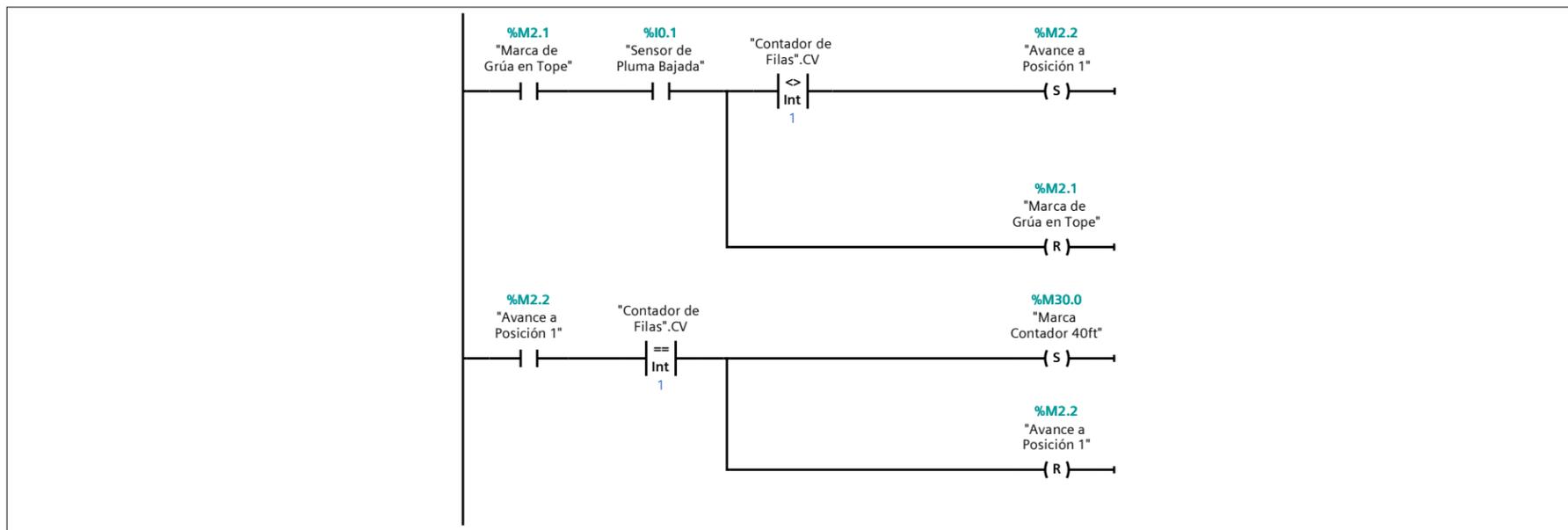
Segmento 2: Posicionamiento Inicial



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Condición de Marcha HMI"	%M0.1	Bool	

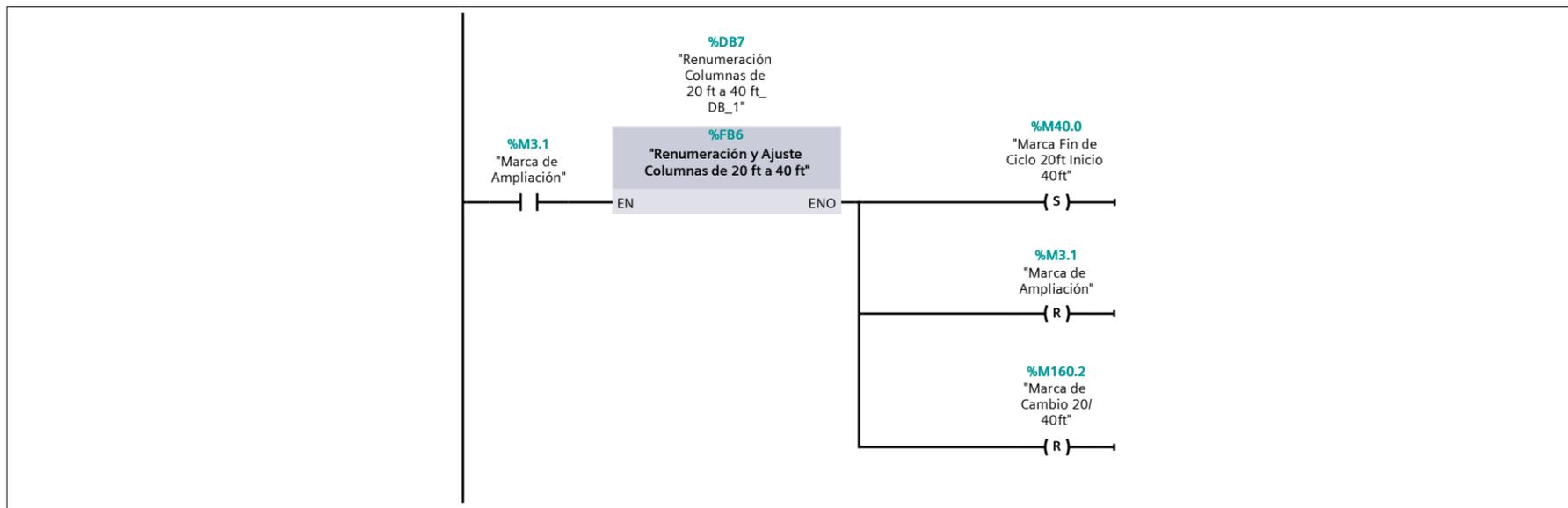
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Condición de Marcha"	%I0.0	Bool	
"Distancia a Tope (m)"	%MD11	Real	
"Marca 1° Movimiento"	%M2.0	Bool	
"Marca de Grúa en Tope"	%M2.1	Bool	
"Marca de Mantenimiento"	%M5.7	Bool	
"Paro"	%M200.0	Bool	
"Rearme HMI"	%M0.3	Bool	
"Rearme"	%I2.2	Bool	
"Sensor de Pluma Bajada"	%I0.1	Bool	
"Tareas de Mantenimiento HMI"	%M0.2	Bool	
"Tareas de Mantenimiento"	%I2.1	Bool	

Segmento 3: Bajada de Pluma



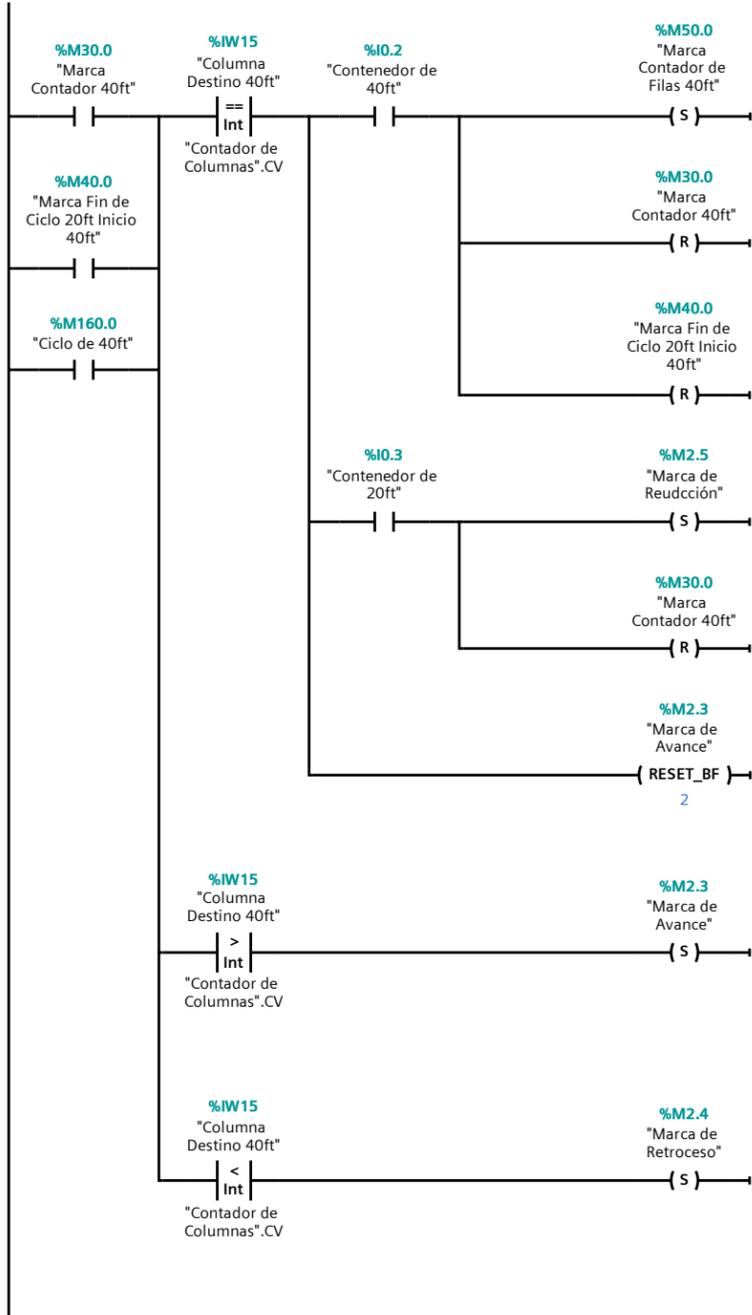
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Avance a Posición 1"	%M2.2	Bool	
"Contador de Filas".CV		Int	
"Marca Contador 40ft"	%M30.0	Bool	
"Marca de Grúa en Tope"	%M2.1	Bool	
"Sensor de Pluma Bajada"	%I0.1	Bool	

Segmento 4: Cambio 20 ft a 40 ft



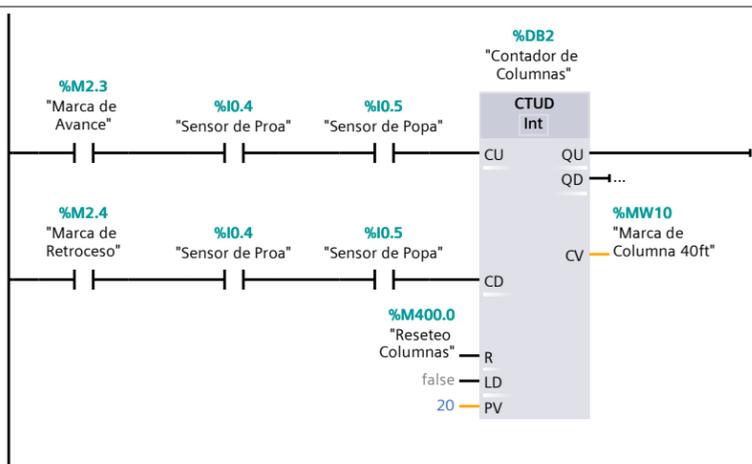
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca de Ampliación"	%M3.1	Bool	
"Marca de Cambio 20/40ft"	%M160.2	Bool	
"Marca Fin de Ciclo 20ft Inicio 40ft"	%M40.0	Bool	

Segmento 5: Posición relativa respecto Columna de Contenedores



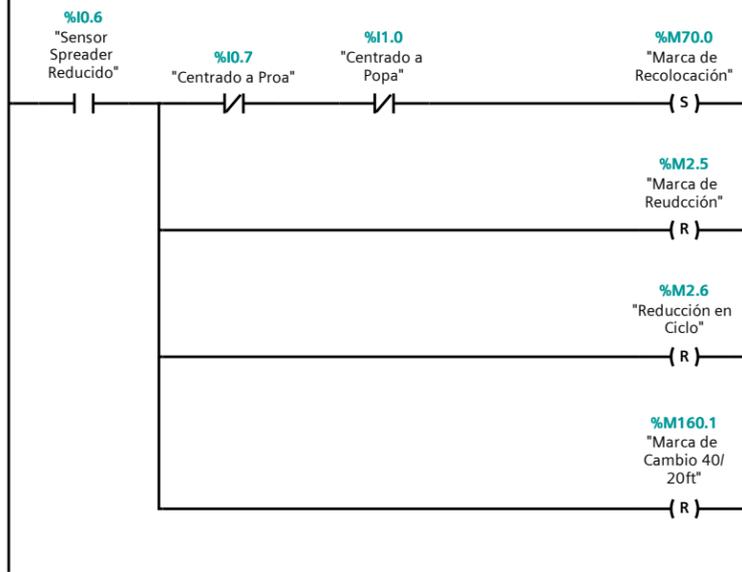
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Ciclo de 40ft"	%M160.0	Bool	
"Columna Destino 40ft"	%IW15	Int	
"Contador de Columnas".CV		Int	
"Contenedor de 20ft"	%IO.3	Bool	
"Contenedor de 40ft"	%IO.2	Bool	
"Marca Contador 40ft"	%M30.0	Bool	
"Marca Contador de Filas 40ft"	%M50.0	Bool	
"Marca de Avance"	%M2.3	Bool	
"Marca de Retroceso"	%M2.4	Bool	
"Marca de Reudcción"	%M2.5	Bool	
"Marca Fin de Ciclo 20ft Inicio 40ft"	%M40.0	Bool	

Segmento 6: Contador de Columnas y Ajuste



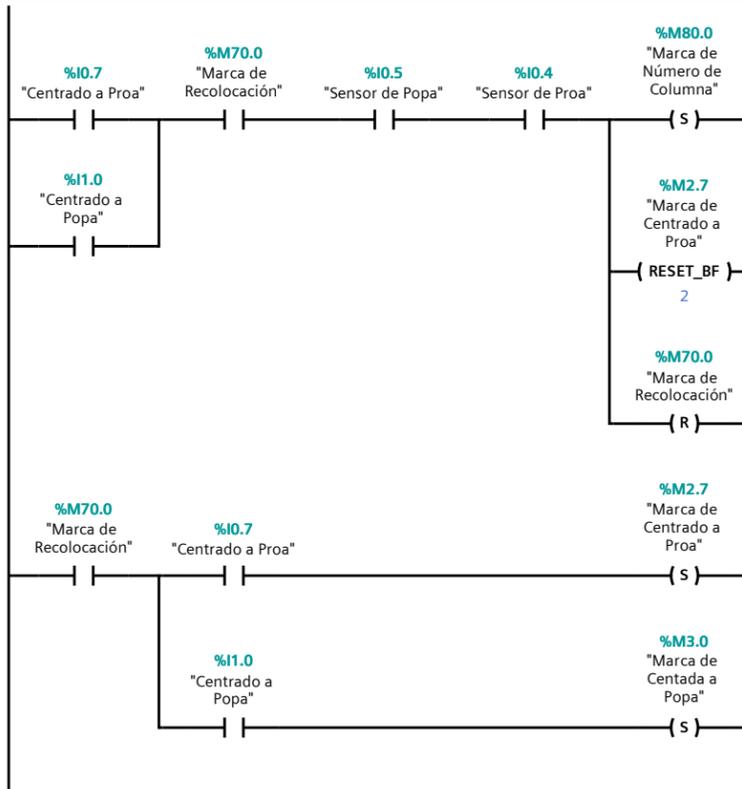
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca de Avance"	%M2.3	Bool	
"Marca de Columna 40ft"	%MW10	Int	
"Marca de Retroceso"	%M2.4	Bool	
"Reseteo Columnas"	%M400.0	Bool	
"Sensor de Popa"	%IO.5	Bool	
"Sensor de Proa"	%IO.4	Bool	

Segmento 7: Reducción 40 ft a 20 ft



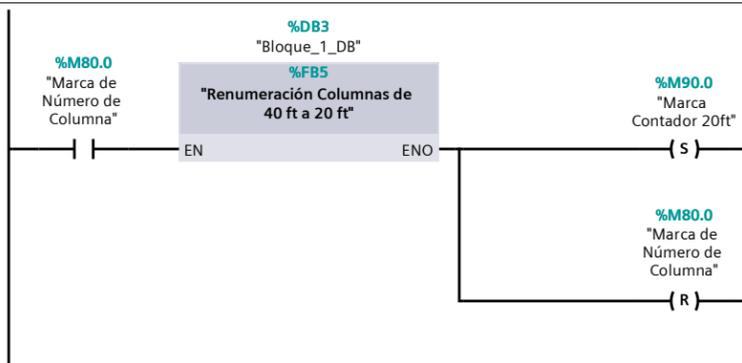
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Centrado a Popa"	%I1.0	Bool	
"Centrado a Proa"	%I0.7	Bool	
"Marca de Cambio 40/20ft"	%M160.1	Bool	
"Marca de Recolocación"	%M70.0	Bool	
"Marca de Reudcción"	%M2.5	Bool	
"Reducción en Ciclo"	%M2.6	Bool	
"Sensor Spreader Reducido"	%I0.6	Bool	

Segmento 8: Recolocación



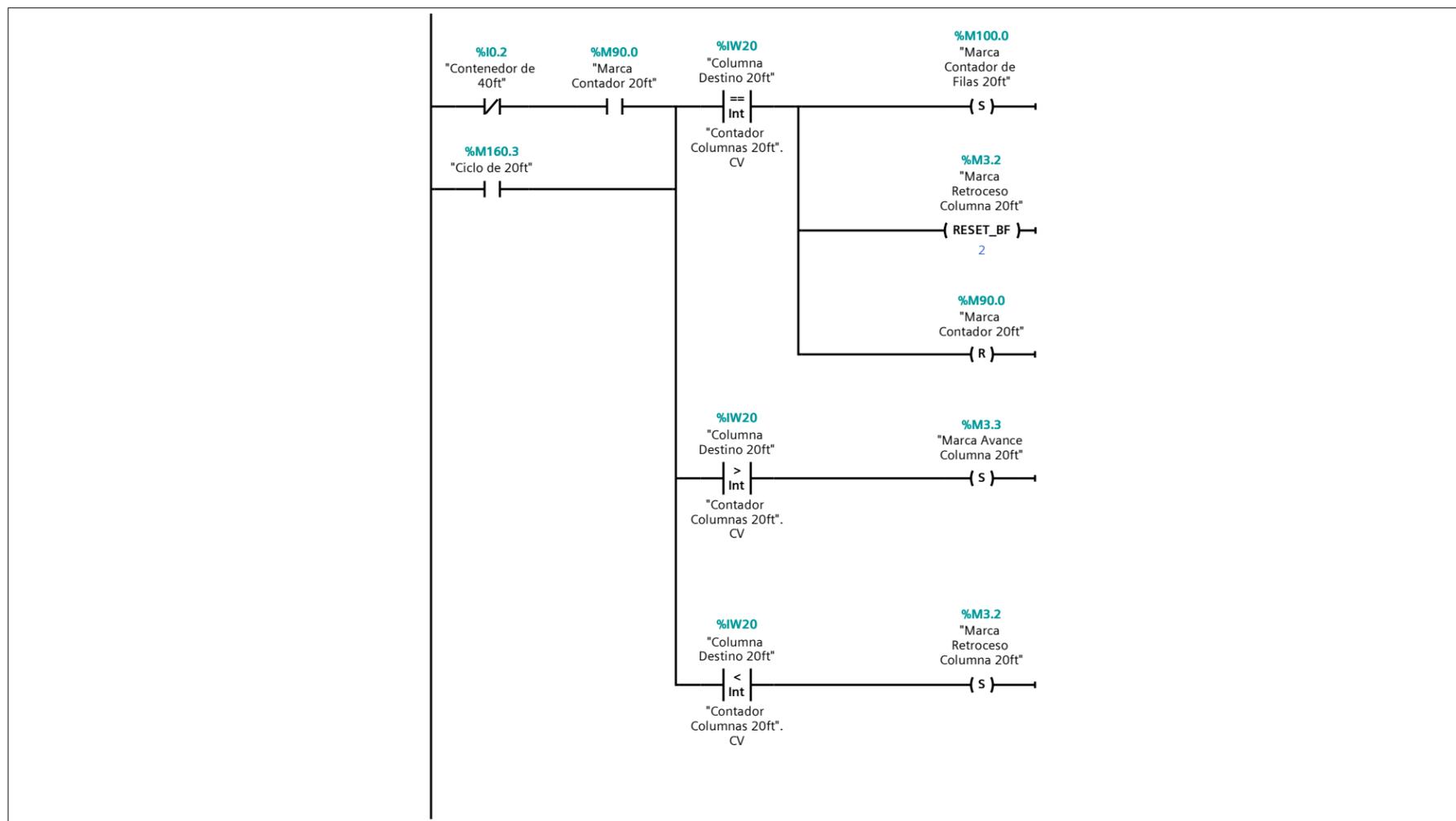
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Centrado a Popa"	%I1.0	Bool	
"Centrado a Proa"	%I0.7	Bool	
"Marca de Centada a Popa"	%M3.0	Bool	
"Marca de Centrado a Proa"	%M2.7	Bool	
"Marca de Número de Columna"	%M80.0	Bool	
"Marca de Recolocación"	%M70.0	Bool	
"Sensor de Popa"	%I0.5	Bool	
"Sensor de Proa"	%I0.4	Bool	

Segmento 9: Renumeración de Columnas



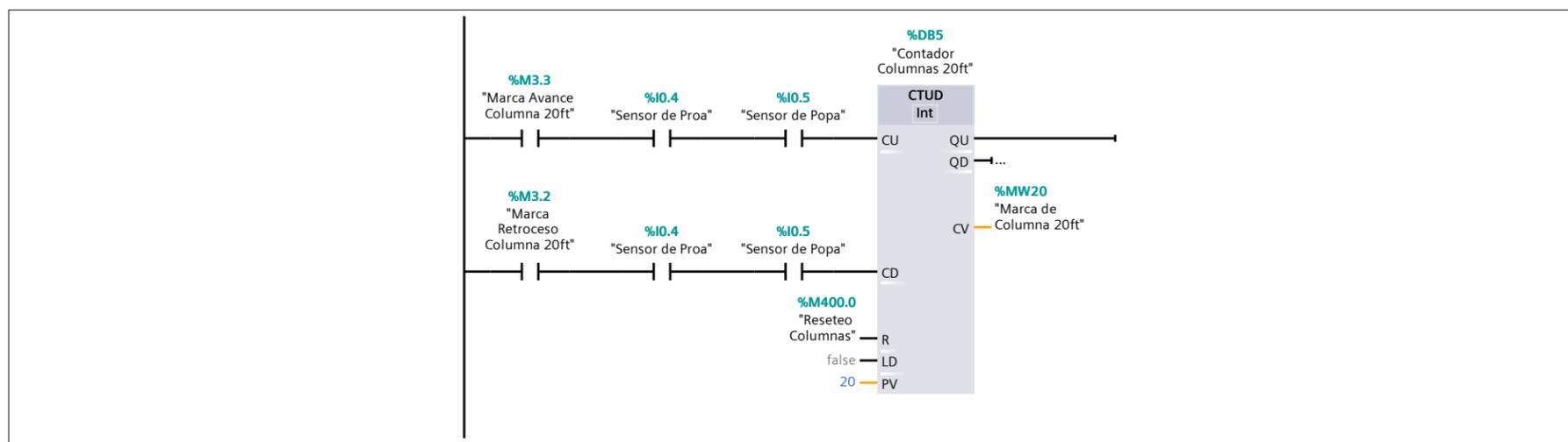
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca Contador 20ft"	%M90.0	Bool	
"Marca de Número de Columna"	%M80.0	Bool	

Segmento 10: Posición relativa respecto Columna de Contenedores 20 ft



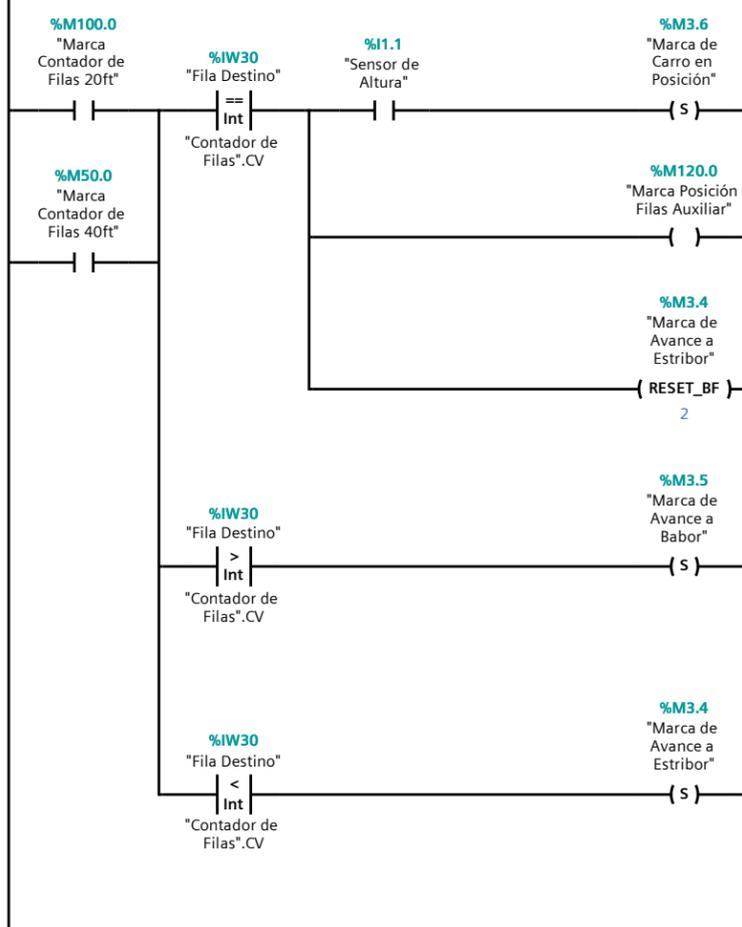
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Ciclo de 20ft"	%M160.3	Bool	
"Columna Destino 20ft"	%IW20	Int	
"Contador Columnas 20ft".CV		Int	
"Contenedor de 40ft"	%I0.2	Bool	
"Marca Avance Columna 20ft"	%M3.3	Bool	
"Marca Contador 20ft"	%M90.0	Bool	
"Marca Contador de Filas 20ft"	%M100.0	Bool	
"Marca Retroceso Columna 20ft"	%M3.2	Bool	

Segmento 11: Contador Columnas 20 ft



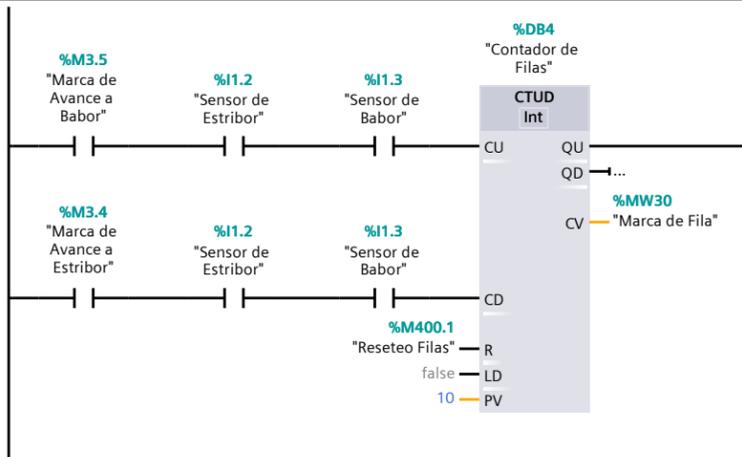
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca Avance Columna 20ft"	%M3.3	Bool	
"Marca de Columna 20ft"	%MW20	Int	
"Marca Retroceso Columna 20ft"	%M3.2	Bool	
"Reseteo Columnas"	%M400.0	Bool	
"Sensor de Popa"	%I0.5	Bool	
"Sensor de Proa"	%I0.4	Bool	

Segmento 12: Posición relativa respecto Filas de Contenedores



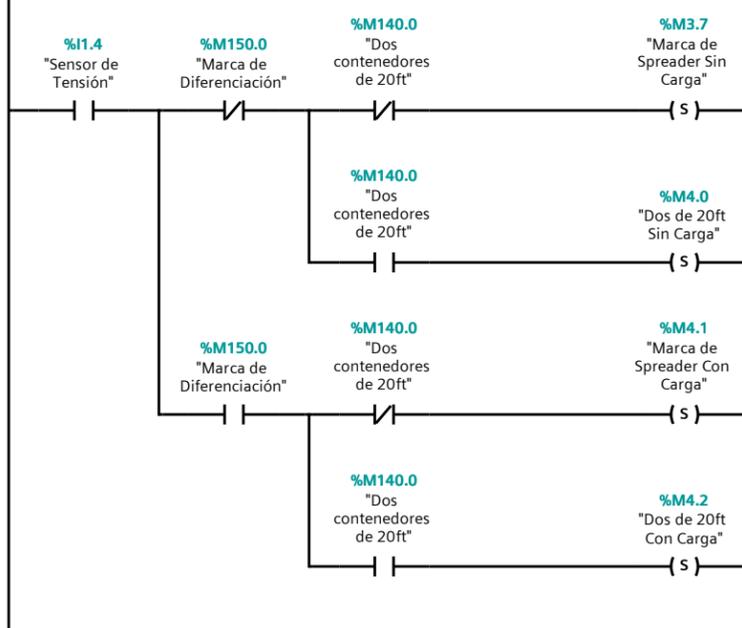
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Contador de Filas".CV		Int	
"Fila Destino"	%IW30	Int	
"Marca Contador de Filas 20ft"	%M100.0	Bool	
"Marca Contador de Filas 40ft"	%M50.0	Bool	
"Marca de Avance a Babor"	%M3.5	Bool	
"Marca de Avance a Estribor"	%M3.4	Bool	
"Marca de Carro en Posición"	%M3.6	Bool	
"Marca Posición Filas Auxiliar"	%M120.0	Bool	
"Sensor de Altura"	%I1.1	Bool	

Segmento 13: Contador de Filas



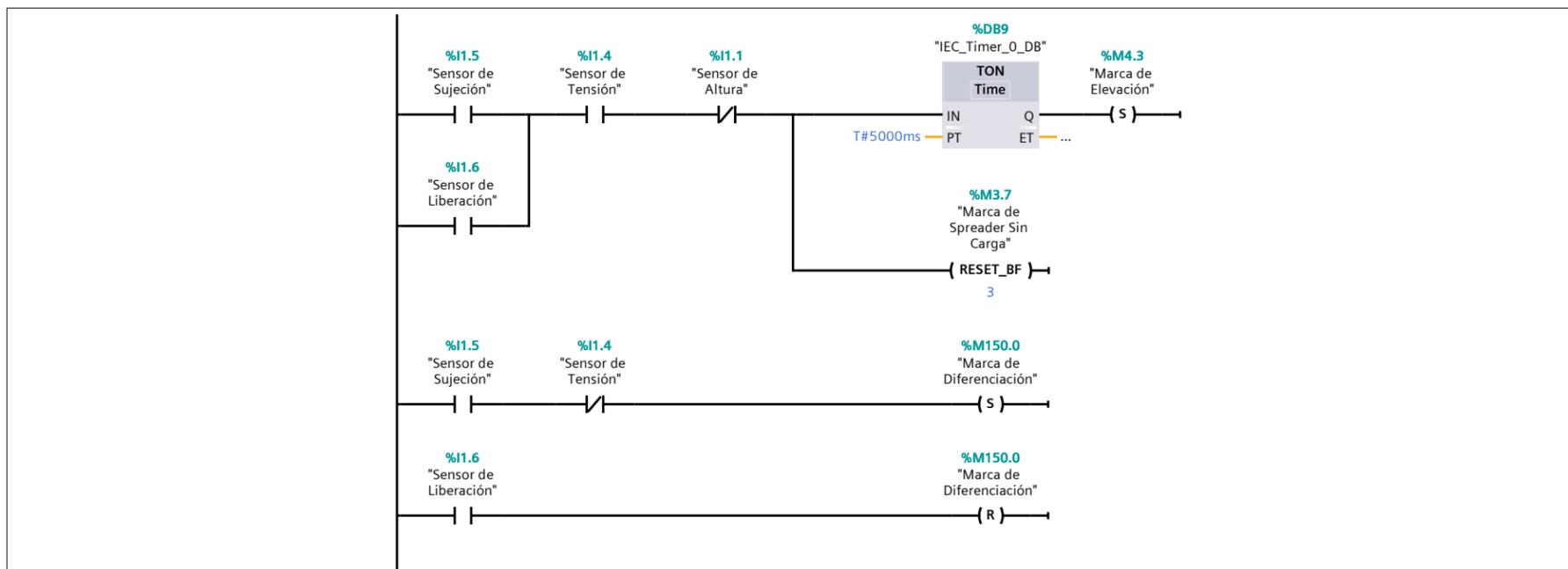
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca de Avance a Babor"	%M3.5	Bool	
"Marca de Avance a Estribor"	%M3.4	Bool	
"Marca de Fila"	%MW30	Int	
"Reseteo Filas"	%M400.1	Bool	
"Sensor de Babor"	%I1.3	Bool	
"Sensor de Estribor"	%I1.2	Bool	

Segmento 14: Descenso del Spreader



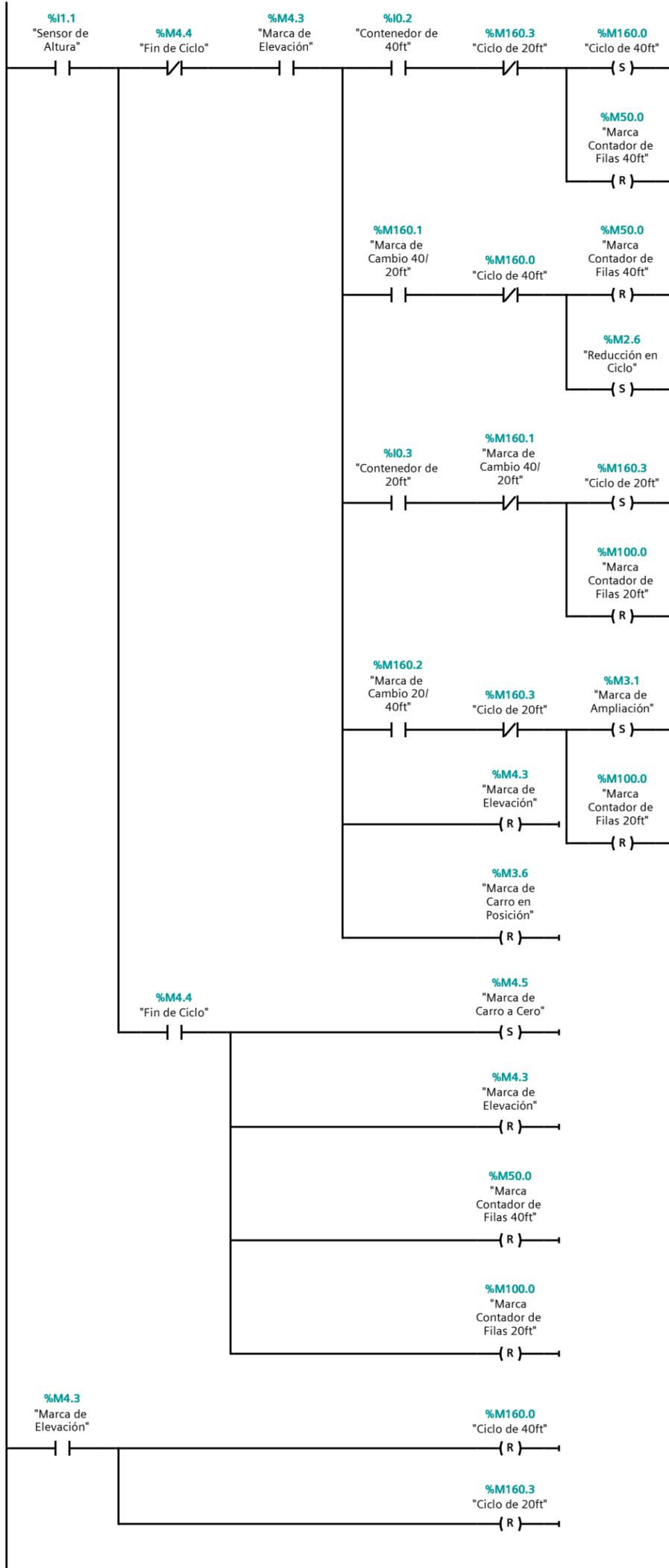
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Dos contenedores de 20ft"	%M140.0	Bool	
"Dos de 20ft Con Carga"	%M4.2	Bool	
"Dos de 20ft Sin Carga"	%M4.0	Bool	
"Marca de Diferenciación"	%M150.0	Bool	
"Marca de Spreader Con Carga"	%M4.1	Bool	
"Marca de Spreader Sin Carga"	%M3.7	Bool	
"Sensor de Tensión"	%I1.4	Bool	

Segmento 15: Sujeción de Contenedor



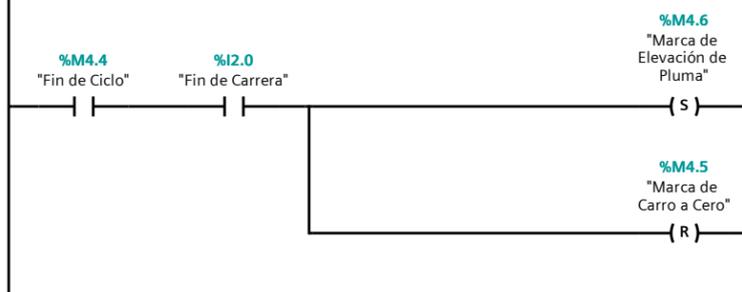
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Marca de Diferenciación"	%M150.0	Bool	
"Marca de Elevación"	%M4.3	Bool	
"Marca de Spreader Sin Carga"	%M3.7	Bool	
"Sensor de Altura"	%I1.1	Bool	
"Sensor de Liberación"	%I1.6	Bool	
"Sensor de Sujeción"	%I1.5	Bool	
"Sensor de Tensión"	%I1.4	Bool	

Segmento 16: Elevación de Spreader



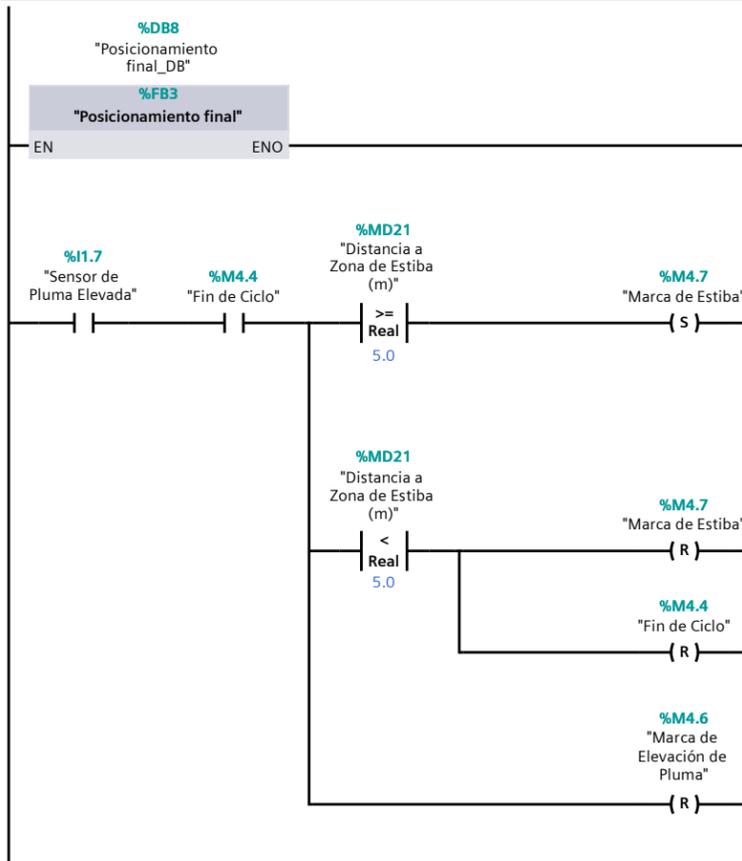
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Ciclo de 20ft"	%M160.3	Bool	
"Ciclo de 40ft"	%M160.0	Bool	
"Contenedor de 20ft"	%I0.3	Bool	
"Contenedor de 40ft"	%I0.2	Bool	
"Fin de Ciclo"	%M4.4	Bool	
"Marca Contador de Filas 20ft"	%M100.0	Bool	
"Marca Contador de Filas 40ft"	%M50.0	Bool	
"Marca de Ampliación"	%M3.1	Bool	
"Marca de Cambio 20/40ft"	%M160.2	Bool	
"Marca de Cambio 40/20ft"	%M160.1	Bool	
"Marca de Carro a Cero"	%M4.5	Bool	
"Marca de Carro en Posición"	%M3.6	Bool	
"Marca de Elevación"	%M4.3	Bool	
"Reducción en Ciclo"	%M2.6	Bool	
"Sensor de Altura"	%I1.1	Bool	

Segmento 17: Carro a cero



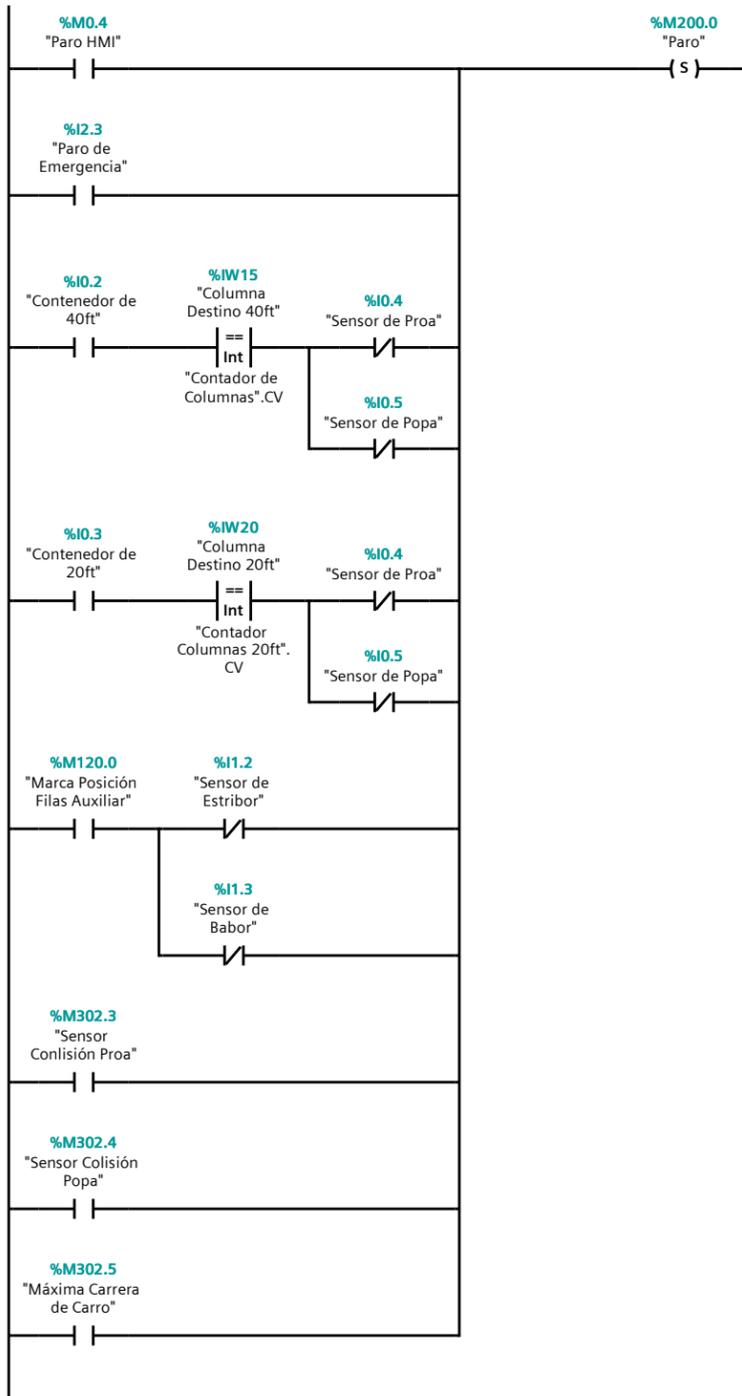
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Fin de Carrera"	%I2.0	Bool	
"Fin de Ciclo"	%M4.4	Bool	
"Marca de Carro a Cero"	%M4.5	Bool	
"Marca de Elevación de Pluma"	%M4.6	Bool	

Segmento 18: Elevación Pluma



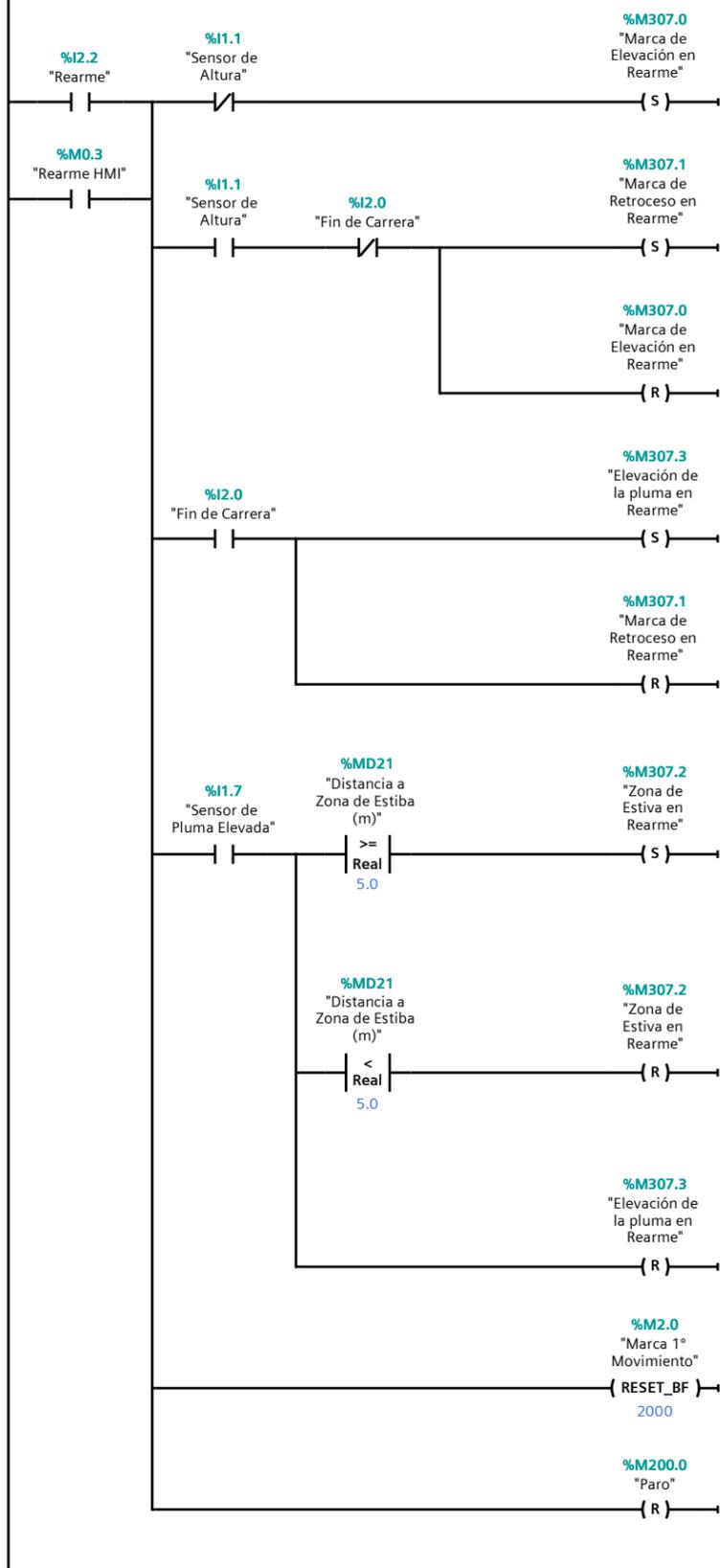
Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Distancia a Zona de Estiba (m)"	%MD21	Real	
"Fin de Ciclo"	%M4.4	Bool	
"Marca de Elevación de Pluma"	%M4.6	Bool	
"Marca de Estiba"	%M4.7	Bool	
"Sensor de Pluma Elevada"	%I1.7	Bool	

Segmento 19: Paro



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Columna Destino 20ft"	%IW20	Int	
"Columna Destino 40ft"	%IW15	Int	
"Contador Columnas 20ft".CV		Int	
"Contador de Columnas".CV		Int	
"Contenedor de 20ft"	%I0.3	Bool	
"Contenedor de 40ft"	%I0.2	Bool	
"Marca Posición Filas Auxiliar"	%M120.0	Bool	
"Máxima Carrera de Carro"	%M302.5	Bool	
"Paro de Emergencia"	%I2.3	Bool	
"Paro HMI"	%M0.4	Bool	
"Paro"	%M200.0	Bool	
"Sensor Colisión Popa"	%M302.4	Bool	
"Sensor Conlisión Proa"	%M302.3	Bool	
"Sensor de Babor"	%I1.3	Bool	
"Sensor de Estribor"	%I1.2	Bool	
"Sensor de Popa"	%I0.5	Bool	
"Sensor de Proa"	%I0.4	Bool	

Segmento 20: Rearme



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Distancia a Zona de Estiba (m)"	%MD21	Real	
"Elevación de la pluma en Rearme"	%M307.3	Bool	
"Fin de Carrera"	%I2.0	Bool	
"Marca 1° Movimiento"	%M2.0	Bool	
"Marca de Elevación en Rearme"	%M307.0	Bool	
"Marca de Retroceso en Rearme"	%M307.1	Bool	
"Paro"	%M200.0	Bool	
"Rearme HMI"	%M0.3	Bool	
"Rearme"	%I2.2	Bool	
"Sensor de Altura"	%I1.1	Bool	
"Sensor de Pluma Elevada"	%I1.7	Bool	
"Zona de Estiva en Rearme"	%M307.2	Bool	

CARIDAD_BOUZA_ALEJANDRO / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Posicionamiento Inicial [FB1]

Posicionamiento Inicial Propiedades

General

Nombre	Posicionamiento Inicial	Número	1	Tipo	FB	Idioma	KOP
--------	-------------------------	--------	---	------	----	--------	-----

Numeración	automática
------------	------------

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
--------	--	-------	--	------------	--	---------	--

Versión	0.1	ID personalizada	
---------	-----	------------------	--

Posicionamiento Inicial

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible desde HMI	Visible en HMI	Valor de ajuste	Comentario
Input							
Output							
InOut							
Static							
Temp							
Constant							

Segmento 1:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Distancia a Tope (m)"	%MD11	Real	
"Señal de Entrada Inicial Normalizada"	%MD10	Real	
"Señal de Entrada Inicial"	%ID10	Real	

CARIDAD_BOUZA_ALEJANDRO / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Posicionamiento final [FB3]

Posicionamiento final Propiedades

General

Nombre	Posicionamiento final	Número	3	Tipo	FB	Idioma	KOP
--------	-----------------------	--------	---	------	----	--------	-----

Numeración	automática
------------	------------

Información

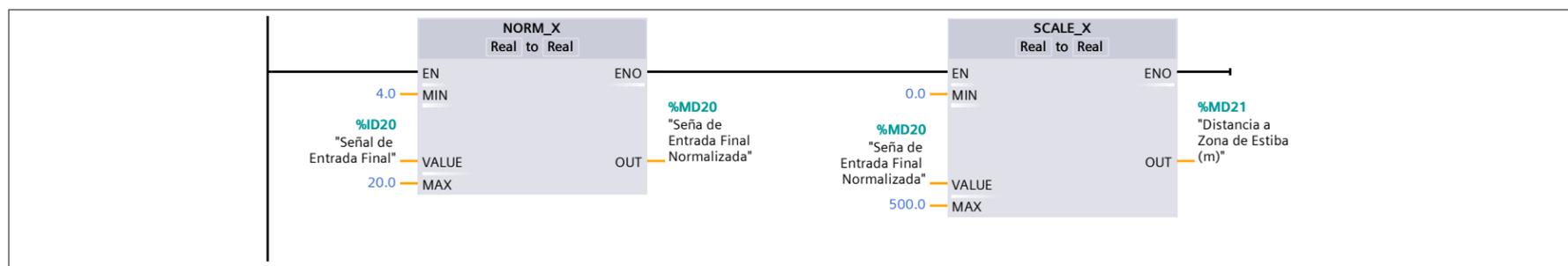
Título		Autor		Comentario		Familia	
--------	--	-------	--	------------	--	---------	--

Versión	0.1	ID personalizada	
---------	-----	------------------	--

Posicionamiento final

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible desde HMI	Visible en HMI	Valor de ajuste	Comentario
Input							
Output							
InOut							
Static							
Temp							
Constant							

Segmento 1:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Distancia a Zona de Estiba (m)"	%MD21	Real	
"Seña de Entrada Final Normalizada"	%MD20	Real	
"Señal de Entrada Final"	%ID20	Real	

CARIDAD_BOUZA_ALEJANDRO / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Renumeración Columnas de 40 ft a 20 ft [FB5]

Renumeración Columnas de 40 ft a 20 ft Propiedades

General

Nombre	Renumeración Columnas de 40 ft a 20 ft	Número	5	Tipo	FB	Idioma	KOP
---------------	--	---------------	---	-------------	----	---------------	-----

Numeración automática

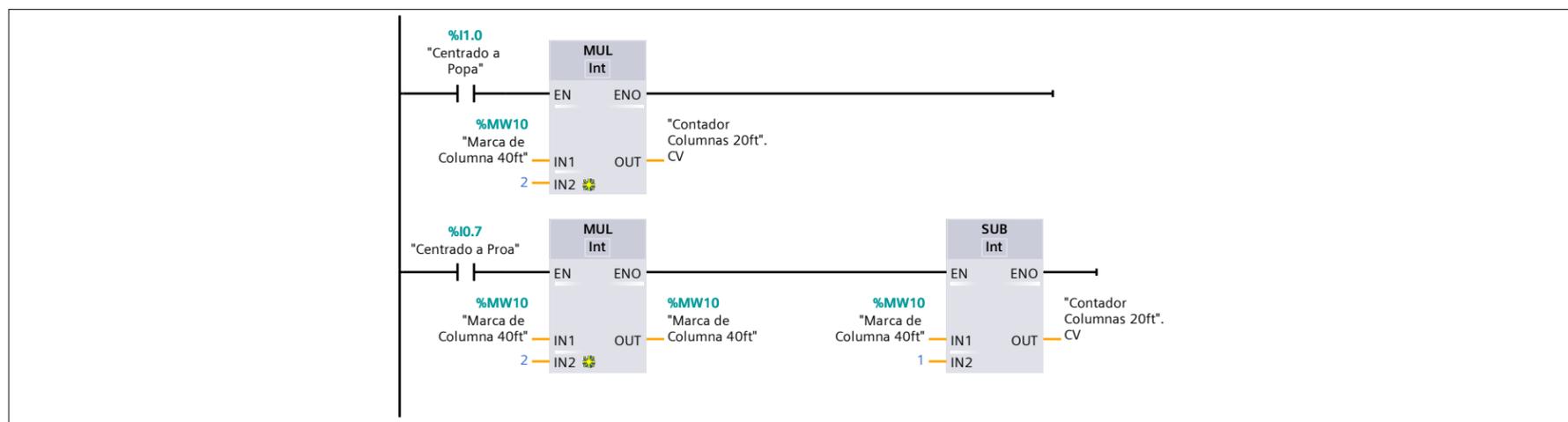
Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Renumeración Columnas de 40 ft a 20 ft

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible desde HMI	Visible en HMI	Valor de ajuste	Comentario
Input							
Output							
InOut							
Static							
Temp							
Constant							

Segmento 1:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Centrado a Popa"	%I1.0	Bool	
"Centrado a Proa"	%I0.7	Bool	
"Contador Columnas 20ft".CV		Int	
"Marca de Columna 40ft"	%MW10	Int	

CARIDAD_BOUZA_ALEJANDRO / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Bloques de programa

Renumeración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft [FB6]

Renumeración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft Propiedades

General

Nombre	Renumeración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft	Número	6	Tipo	FB	Idioma	KOP
--------	---	--------	---	------	----	--------	-----

Numeración automática

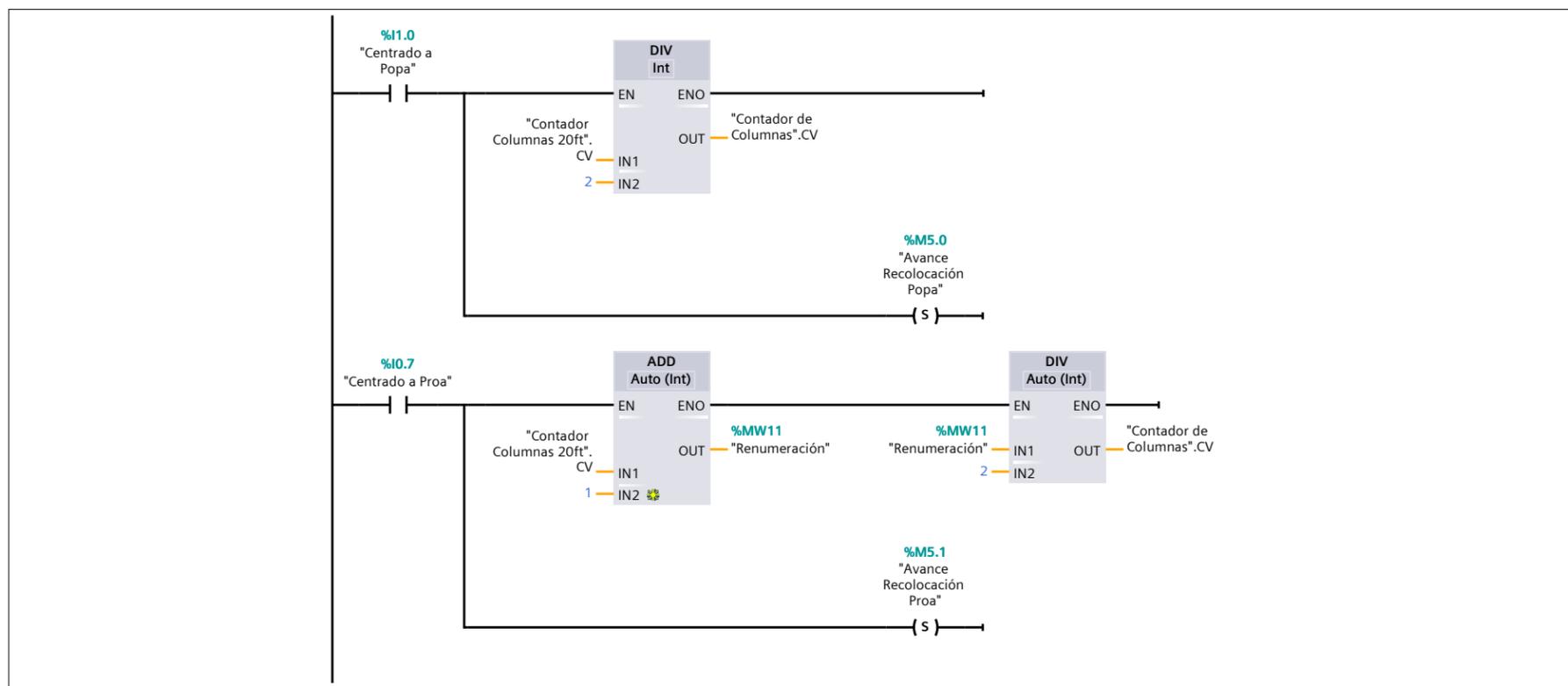
Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Renumeración y Ajuste Columnas de 20 ft a 40 ft

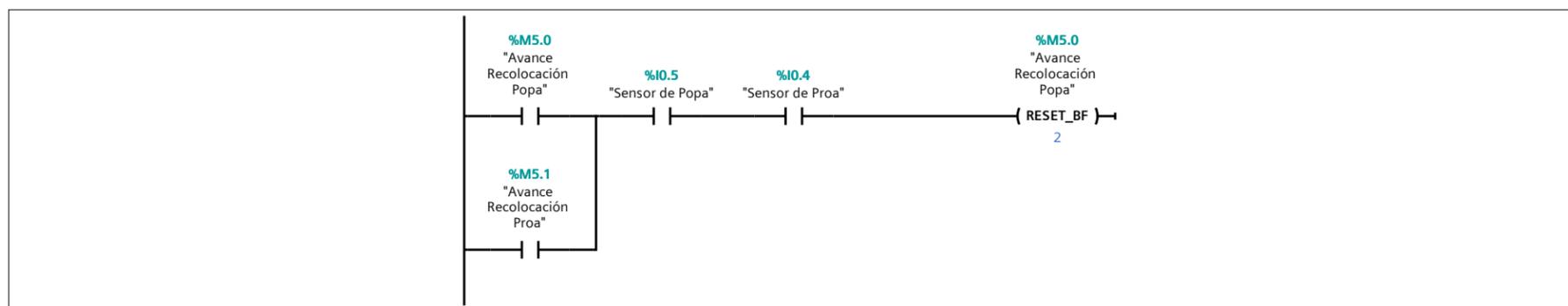
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible desde HMI	Visible en HMI	Valor de ajuste	Comentario
Input							
Output							
InOut							
Static							
Temp							
Constant							

Segmento 1:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Avance Recolocación Popa"	%M5.0	Bool	
"Avance Recolocación Proa"	%M5.1	Bool	
"Centrado a Popa"	%I1.0	Bool	
"Centrado a Proa"	%I0.7	Bool	
"Contador Columnas 20ft".CV		Int	
"Contador de Columnas".CV		Int	
"Renumeración"	%MW11	Int	

Segmento 2:



Símbolo	Dirección	Tipo	Comentario
"Avance Recolocación Popa"	%M5.0	Bool	
"Avance Recolocación Proa"	%M5.1	Bool	
"Sensor de Popa"	%I0.5	Bool	
"Sensor de Proa"	%I0.4	Bool	

CARIDAD_BOUZA_ALEJANDRO / PLC_5 [CPU 1214C AC/DC/Rly]

Variables PLC

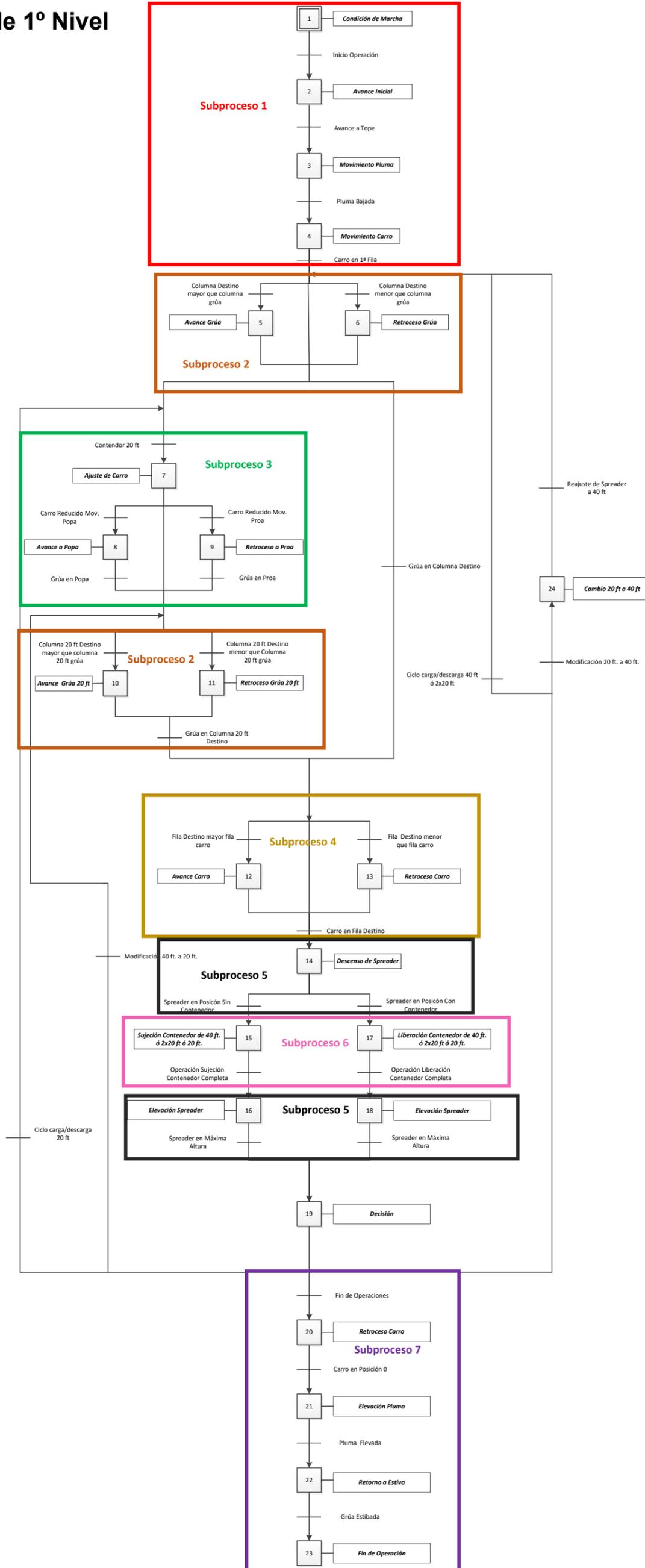
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
 Condición de Marcha	Bool	%I0.0	False	True	True	
 Sensor de Pluma Bajada	Bool	%I0.1	False	True	True	
 Contenedor de 40ft	Bool	%I0.2	False	True	True	
 Contenedor de 20ft	Bool	%I0.3	False	True	True	
 Sensor de Proa	Bool	%I0.4	False	True	True	
 Sensor de Popa	Bool	%I0.5	False	True	True	
 Sensor Spreader Reducido	Bool	%I0.6	False	True	True	
 Centrado a Proa	Bool	%I0.7	False	True	True	
 Centrado a Popa	Bool	%I1.0	False	True	True	
 Sensor de Altura	Bool	%I1.1	False	True	True	
 Sensor de Estribor	Bool	%I1.2	False	True	True	
 Sensor de Babor	Bool	%I1.3	False	True	True	
 Sensor de Tensión	Bool	%I1.4	False	True	True	
 Sensor de Sujeción	Bool	%I1.5	False	True	True	
 Sensor de Liberación	Bool	%I1.6	False	True	True	
 Sensor de Pluma Elevada	Bool	%I1.7	False	True	True	
 Fin de Carrera	Bool	%I2.0	False	True	True	
 Tareas de Mantenimiento	Bool	%I2.1	False	True	True	
 Rearme	Bool	%I2.2	False	True	True	
 Paro de Emergencia	Bool	%I2.3	False	True	True	
 Señal de Entrada Inicial	Real	%ID10	False	True	True	
 Columna Destino 40ft	Int	%IW15	False	True	True	
 Columna Destino 20ft	Int	%IW20	False	True	True	
 Señal de Entrada Final	Real	%ID20	False	True	True	
 Fila Destino	Int	%IW30	False	True	True	
 Avance Hacia Proa	Bool	%Q0.0	False	True	True	
 Descenso de Pluma	Bool	%Q0.1	False	True	True	
 Avance Hacia Popa	Bool	%Q0.2	False	True	True	
 Reducción Spreader	Bool	%Q0.3	False	True	True	
 Avance Estribor	Bool	%Q0.4	False	True	True	
 Avance Babor	Bool	%Q0.5	False	True	True	
 Descenso de Spreader	Bool	%Q0.6	False	True	True	
 Sujeción	Bool	%Q0.7	False	True	True	
 Liberación	Bool	%Q1.0	False	True	True	
 Elevación	Bool	%Q1.1	False	True	True	
 Elevación Pluma	Bool	%Q1.2	False	True	True	
 Ampliación del Spreader	Bool	%Q1.3	False	True	True	
 Condición de Marcha HMI	Bool	%M0.1	False	True	True	
 Tareas de Mantenimiento HMI	Bool	%M0.2	False	True	True	
 Rearme HMI	Bool	%M0.3	False	True	True	
 Paro HMI	Bool	%M0.4	False	True	True	
 Marca 1º Movimiento	Bool	%M2.0	False	True	True	
 Marca de Grúa en Tope	Bool	%M2.1	False	True	True	
 Avance a Posición 1	Bool	%M2.2	False	True	True	
 Marca de Avance	Bool	%M2.3	False	True	True	
 Marca de Retroceso	Bool	%M2.4	False	True	True	
 Marca de Reducción	Bool	%M2.5	False	True	True	
 Reducción en Ciclo	Bool	%M2.6	False	True	True	
 Marca de Centrado a Proa	Bool	%M2.7	False	True	True	
 Marca de Centada a Popa	Bool	%M3.0	False	True	True	
 Marca de Ampliación	Bool	%M3.1	False	True	True	
 Marca Retroceso Columna 20ft	Bool	%M3.2	False	True	True	
 Marca Avance Columna 20ft	Bool	%M3.3	False	True	True	
 Marca de Avance a Estribor	Bool	%M3.4	False	True	True	
 Marca de Avance a Babor	Bool	%M3.5	False	True	True	
 Marca de Carro en Posición	Bool	%M3.6	False	True	True	
 Marca de Spreader Sin Carga	Bool	%M3.7	False	True	True	
 Dos de 20ft Sin Carga	Bool	%M4.0	False	True	True	
 Marca de Spreader Con Carga	Bool	%M4.1	False	True	True	
 Dos de 20ft Con Carga	Bool	%M4.2	False	True	True	

	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Visible en HMI	Accesible desde HMI	Comentario
	Marca de Elevación	Bool	%M4.3	False	True	True	
	Fin de Ciclo	Bool	%M4.4	False	True	True	
	Marca de Carro a Cero	Bool	%M4.5	False	True	True	
	Marca de Elevación de Pluma	Bool	%M4.6	False	True	True	
	Marca de Estiba	Bool	%M4.7	False	True	True	
	Avance Recolocación Popa	Bool	%M5.0	False	True	True	
	Avance Recolocación Proa	Bool	%M5.1	False	True	True	
	Marca de Mantenimiento	Bool	%M5.7	False	True	True	
	Mantenimiento S0	Bool	%M6.0	False	True	True	
	Mantenimiento S1	Bool	%M6.1	False	True	True	
	Mantenimiento S2	Bool	%M6.2	False	True	True	
	Mantenimiento S3	Bool	%M6.3	False	True	True	
	Mantenimiento S4	Bool	%M6.4	False	True	True	
	Mantenimiento S5	Bool	%M6.5	False	True	True	
	Mantenimiento S6	Bool	%M6.6	False	True	True	
	Mantenimiento S7	Bool	%M6.7	False	True	True	
	Mantenimiento S8	Bool	%M7.0	False	True	True	
	Mantenimiento S9	Bool	%M7.1	False	True	True	
	Mantenimiento S10	Bool	%M7.2	False	True	True	
	Mantenimiento S11	Bool	%M7.3	False	True	True	
	Marca de Columna 40ft	Int	%MW10	False	True	True	
	Señal de Entrada Inicial Normalizada	Real	%MD10	False	True	True	
	Distancia a Tope (m)	Real	%MD11	False	True	True	
	Renumeración	Int	%MW11	False	True	True	
	Marca de Columna 20ft	Int	%MW20	False	True	True	
	Seña de Entrada Final Normalizada	Real	%MD20	False	True	True	
	Tag_2	Bool	%M20.0	False	True	True	
	Distancia a Zona de Estiba (m)	Real	%MD21	False	True	True	
	Marca de Fila	Int	%MW30	False	True	True	
	Marca Contador 40ft	Bool	%M30.0	False	True	True	
	Marca Fin de Ciclo 20ft Inicio 40ft	Bool	%M40.0	False	True	True	
	Marca Contador de Filas 40ft	Bool	%M50.0	False	True	True	
	Marca de Recolocación	Bool	%M70.0	False	True	True	
	Marca de Número de Columna	Bool	%M80.0	False	True	True	
	Marca Contador 20ft	Bool	%M90.0	False	True	True	
	Marca Contador de Filas 20ft	Bool	%M100.0	False	True	True	
	Marca Posición Filas Auxiliar	Bool	%M120.0	False	True	True	
	Dos contenedores de 20ft	Bool	%M140.0	False	True	True	
	Marca de Diferenciación	Bool	%M150.0	False	True	True	
	Ciclo de 40ft	Bool	%M160.0	False	True	True	
	Marca de Cambio 40/20ft	Bool	%M160.1	False	True	True	
	Marca de Cambio 20/40ft	Bool	%M160.2	False	True	True	
	Ciclo de 20ft	Bool	%M160.3	False	True	True	
	Marca de Reseteo	Bool	%M170.0	False	True	True	
	Paro	Bool	%M200.0	False	True	True	
	Sensor Conlisión Proa	Bool	%M302.3	False	True	True	
	Sensor Colisión Popa	Bool	%M302.4	False	True	True	
	Máxima Carrera de Carro	Bool	%M302.5	False	True	True	
	Marca de Elevación en Rearme	Bool	%M307.0	False	True	True	
	Marca de Retroceso en Rearme	Bool	%M307.1	False	True	True	
	Zona de Estiva en Rearme	Bool	%M307.2	False	True	True	
	Elevación de la pluma en Rearme	Bool	%M307.3	False	True	True	
	Reseteo Columnas	Bool	%M400.0	False	True	True	
	Reseteo Filas	Bool	%M400.1	False	True	True	

ANEXO II

GRAF CET

Graficet de 1º Nivel



Grafcet de 2º Nivel

