



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2017/18

*DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE
CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UNA INSTALACIÓN
DE PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNA/O

Matthijs Taris Ben

TUTORAS/ES

Javier Bouza Fernández

Carolina Camba Fabal

FECHA

SEPTIEMBRE 2018

ÍNDICE

1 Título y Resumen	4
2 Introducción	8
3 Objetivos.....	9
4 Metodología de trabajo	10
5 Análisis previo.....	15
5.1 Descripción general	15
5.2 Descripción de proceso hormigonado.....	15
5.2.1 Recepción de materias primas.....	15
5.2.2 Dosificación de materias primas	16
5.2.3 Mezclado	16
5.2.4 Amasado	17
5.2.5 Propuestas adoptadas.....	17
5.3 Especificaciones.....	18
5.4 Normativa	20
6 Diseño del algoritmo de control y de monitorización.....	22
6.1 Proceso	22
6.1.1 Variables implícitas.....	22
6.1.2 Funcionamiento del proceso.....	28
6.2 Programa de control	34
6.2.1 Principal.....	34
6.2.2 Selección de recetas	52
6.2.3 Bajada de amasadoras.....	54
6.2.4 Salidas.....	56
6.3 Diseño del sistema de monitorización	64
6.3.1 Pantallas de control y supervisión.....	64
6.3.2 Usuarios	70
6.3.3 Pantalla de avisos y alarmas	71
7 Implementación.....	72
7.1 PLC S7-1200	72
7.1.1 Introducción	72
7.1.2 Áreas de memoria y direccionamiento	74
7.1.3 Memoria	75
7.1.4 Módulos adicionales	75

7.1.5 Datos técnicos	76
7.2 Human Machine Interface, HMI.....	80
7.2.1 Datos técnicos TP1200 Comfort	80
7.2.2 Configuración	86
7.3 Totally Integrated Automation portal	90
7.3.1 Vista del portal.....	90
7.3.2 Vista del proyecto	91
7.3.3 Hardware y Software	92
7.3.4 Instrucciones	98
7.4 Simulación offline PLCSIM.....	101
8 Conclusiones	103
9 Bibliografía y referencias.....	104

1 TÍTULO Y RESUMEN

Título: Diseño y desarrollo del sistema de control y supervisión de una instalación de producción de hormigón:

Resumen: En este Trabajo Fin de Grado se proyecta la automatización de una planta de producción de hormigón mediante un PLC industrial. Por un lado, se desarrolla el algoritmo de control y por otro, el sistema de monitorización de la planta en un único punto de control. Para implementar la automatización se ha empleado la última versión de la plataforma de ingeniería Totally Integrated Automation portal, o TIA portal, conjuntamente con el autómatas industrial S7-1200 y la pantalla TP1200, todo ello de la empresa Siemens. La plataforma TIA integra diferentes softwares: STEP 7, el entorno principal donde se ha implementado el algoritmo de control; WinCC, donde se ha diseñado y programado el Human Machine Interface o HMI; PLCSIM, que ha permitido simular y optimizar la solución obtenida con un PLC virtual.

La solución de automatización propuesta no sólo gobierna todos los elementos de actuación de la planta y supervisa su correcto funcionamiento, sino que proporciona el conocimiento en tiempo real del estado de operación del proceso. Esto permite desarrollar funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico, y en consecuencia, aumentar de forma notable tanto la confiabilidad del proceso de producción de hormigón así como garantizar la seguridad de los trabajadores.

Palabras claves: automatización, producción, hormigón, control, supervisión, TIA portal, S7-1200, TP-1200, SCADA.

Título: Deseño e desenvolvemento do sistema de control e supervisión dunha instalación de produción de formigón.

Resumo: Neste Traballo de Fin de Grado proxectase a automatización dunha planta de produción de formigón mediante un PLC industrial. Por una banda, desenvólvese o algoritmo de control e por outro, o sistema de monitorización da planta nun único punto de control. Para implementar a automatización empleouse a última versión da plataforma de enxeñaría Totally Integrated Automation portal, o TIA portal, conxuntamente co autómatas industriais S7-1200 e a pantalla TP1200, todo isto da empresa Siemens. A plataforma TIA integra diferentes softwares: O STEP 7, que é o entorno principal onde se implementou o algoritmo de control; O WinCC, que permitiu simular e optimizar a solución obtida cun PLC virtual.

A solución de automatización proposta non só goberna todos os elementos de actuación da planta e supervisa o seu correcto funcionamento, tamén proporciona o coñecemento en tempo real do estado de operación do proceso. Isto permite desenvolver funcións de análise, optimización e autodiagnóstico, e consecuentemente, aumentar de forma notable tanto a confiabilidade do proceso de produción do formigón como garantir a seguridade dos traballadores.

Title: Design and development of the control and supervision system for a concrete plant.

Summary: In this Final Degree Work we projected the automation of a concrete production plant through an industrial PLC. On the one hand, we developed the control algorithm and on the other, the monitoring system of the plant at a single control point. To implement the automation, the latest version of the engineering platform Totally Integrated Automation portal, or TIA portal, has been used together with the industrial PLC S7-1200 and the TP1200 screen, all from the Siemens company. The TIA platform integrates different softwares: STEP 7, the main environment where the control algorithm has been implemented; WinCC, where the Human Machine Interface or HMI has been designed and programmed; PLCSIM, which allowed to simulate and optimize the solution obtained with a virtual PLC.

The proposed automation solution not only steers all the operating elements of the plant and supervises the correct operation, but also provides real-time knowledge of the operating status of the process. This allows developing analysis, optimization and self-diagnosis functions, and consequently, to notably increase the reliability of the production process, as well as guaranteing the safety of the workers.



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2017/18**

*DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA DE
CONTROL Y SUPERVISIÓN DE UNA INSTALACIÓN
DE PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN*

Grado en Ingeniería Mecánica

Documento

MEMORIA

2 INTRODUCCIÓN

En la globalización económica que vive la industria ha obligado a competir a las empresas en coste y tiempo de repuesta. Por ello, es necesario una tecnología que no solo agilice y realice los procesos productivos con la calidad necesaria, sino que también optimice los costes productivos a la demanda exigida. Este enfoque es primordial para el diseño y desarrollo que el ingeniero deberá realizar en su labor.

El presente proyecto plantea una solución de automatización y supervisión de una planta de hormigón tipo que responde a las premisas anteriores. Por un lado, se diseña el algoritmo de control que responde al binomio eficacia-coste y por otro se desarrolla el sistema de supervisión que monitoriza el correcto funcionamiento del proceso y calidad el producto.

Para la elaboración del proyecto se usará la última versión de la plataforma de ingeniería líder en el mercado actual de automatización, el "Totally Integrated Automation Portal" versión 15 (TIA v15), de la marca SIEMENS. Esta plataforma ofrece un entorno de ingeniería unificado para todas las tareas de control, monitorización y supervisión de procesos industriales. Lo cual permite un diseño más eficiente además de reducir el tiempo empleado e incompatibilidades entre las diferentes labores de diseño. Para la instalación en la planta de hormigón usaríamos un PLC S7-1200 con los correspondientes módulos de expansión de entradas y salidas para cubrir la totalidad de señales. Por otro lado, usaremos una pantalla táctil TP1200 Confort, de 12 pulgadas, para la visualización y control de la planta. En este trabajo nos centraremos en el desarrollo del programa de control y el diseño de las pantallas de monitorización., sin entrar en profundidad en los protocolos de comunicación utilizados ni las instalaciones eléctricas requeridas para su funcionamiento.

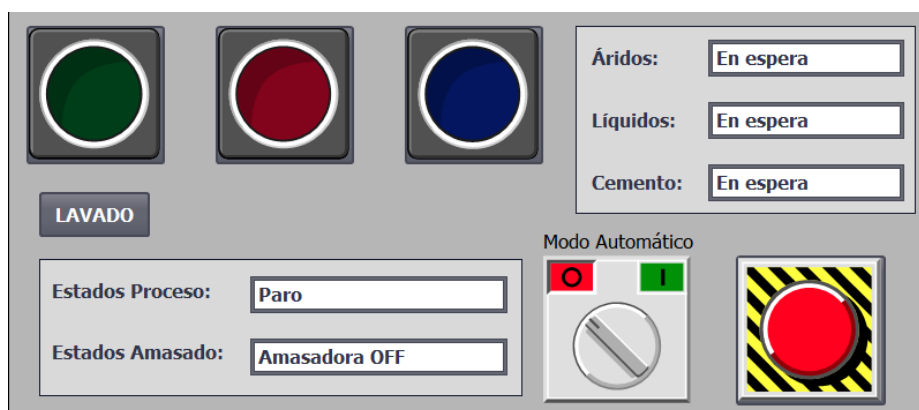


Figura 1- Pantalla para el control y supervisión general del proceso.

3 OBJETIVOS

En el proceso de producción de hormigón, como en cualquier proceso industrial, es necesario tener un control sobre todas las etapas del proceso para facilitar su funcionamiento y el trabajo de los operadores de planta.

Con la elaboración del proyecto buscaremos:

1. Identificación de las diferentes etapas del proceso de hormigonado y centralización en un punto de control, que facilita el trabajo de los operadores.
2. Mejorar los tiempos de producción.
3. Procesos productivos que se ajusten en tiempo real a la demanda.
4. Minimización de las pérdidas de materias primas.
5. Control del impacto ambiental del proceso productivo.
6. Disminuir los riesgos que puedan sufrir los operadores de planta.
7. Identificación de los puntos críticos del proceso para diseñar un sistema de alarmas y avisos.
8. Creación de un sistema que permita la selección y el cambio entre diferentes recetas.
9. Aumentar la seguridad incluyendo usuarios para manipular la pantalla.
10. Crear un entorno de monitorización sencillo y de fácil comprensión.

Para desarrollar mejor el proyecto y alcanzar estos objetivos se realizó:

1. Búsqueda intensiva de ejemplos reales de funcionamiento. Para ello se contactó con empresas del sector y profesionales para conocer la profundidad del proceso.
2. Programación de varios sistemas productivos en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de Ferrol para aprender a diseñar e implementar soluciones con la plataforma de ingeniería TIA portal de SIEMENS.
3. Desarrollo de la simulación de los sistemas de producción mediante la propia plataforma TIA portal y mediante software FluidSIM.

4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo del trabajo se siguieron los conocimientos y formas de proceder del profesor Javier Bouza, con quien tuve la oportunidad de aprovechar una beca de colaboración en el Laboratorio de Hidráulica, Neumática y Servicios Electrónicos del Buque. Durante ese año, previo a la realización del Trabajo de Fin de Grado, aprendí por un lado los procedimientos de diseño y por otro la metodología de trabajo.

La forma de proceder consiste en identificar las necesidades y desarrollar la idea de funcionamiento desde lo más básico hasta llegar a la complejidad que estos proyectos entrañan. Empezaríamos identificando nuestras variables de proceso, a continuación definiríamos las necesidades del proyecto, una vez hecho esto, realizaríamos nuestro primer programa de control, tras finalizarlo se pondría a prueba para detectar posibles fallos y así corregirlos. Con esto conseguimos comprender todas las etapas del proceso y localizar los puntos críticos a la hora de realizar el programa de control.

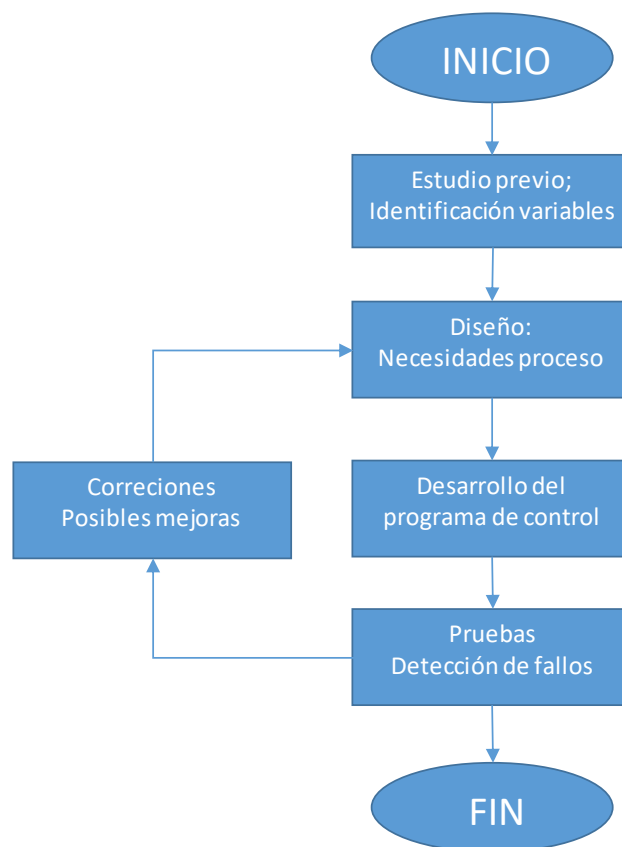


Figura 2- Organigrama de la metodología de trabajo.

Siguiendo la estructura anterior, elaboramos el Trabajo Fin de Grado teniendo claro cuáles son nuestros objetivos y limitaciones a la hora de desarrollarlo.

Nuestros objetivos definidos a la hora de desarrollar el programa de control son:

1. Automatización del cierre y apertura de las tolvas de materias primas, comandadas por control de pesaje acumulativo.
2. Automatización de la apertura de los silos de cemento y la activación de las soplantes.
3. Control de la cantidad de agua necesaria en cada elaboración según receta seleccionada.
4. Automatización de la bajada de las amasadoras controlando los tiempos de amasado.
5. Implementación de las alarmas de funcionamiento anormal del proceso.

En cuanto a la monitorización, los objetivos son:

1. Diseño de una pantalla ergonómica y de fácil manipulación.
2. Desarrollo de una ventana emergente de visualización de alarmas del proceso.
3. Aumentar la seguridad incluyendo el control y gestión de usuarios.
4. Supervisión en tiempo real del estado de pesaje de las básculas.

Teniendo claros los objetivos y limitaciones anteriores, procedemos a realizar el análisis previo en el que estudiaremos casos ya existentes para estructurar y mejorar el funcionamiento del proceso a diseñar. A continuación, definiremos las especificaciones de diseño, donde elegiremos el hardware y software necesario, fundamental para cumplir con los objetivos.

Una vez realizadas las etapas anteriores, comenzaríamos a desarrollar el programa de control y el diseño de las pantallas de monitorización. El procedimiento seguido se puede simplificar en una secuencia de acciones representadas en el siguiente organigrama:

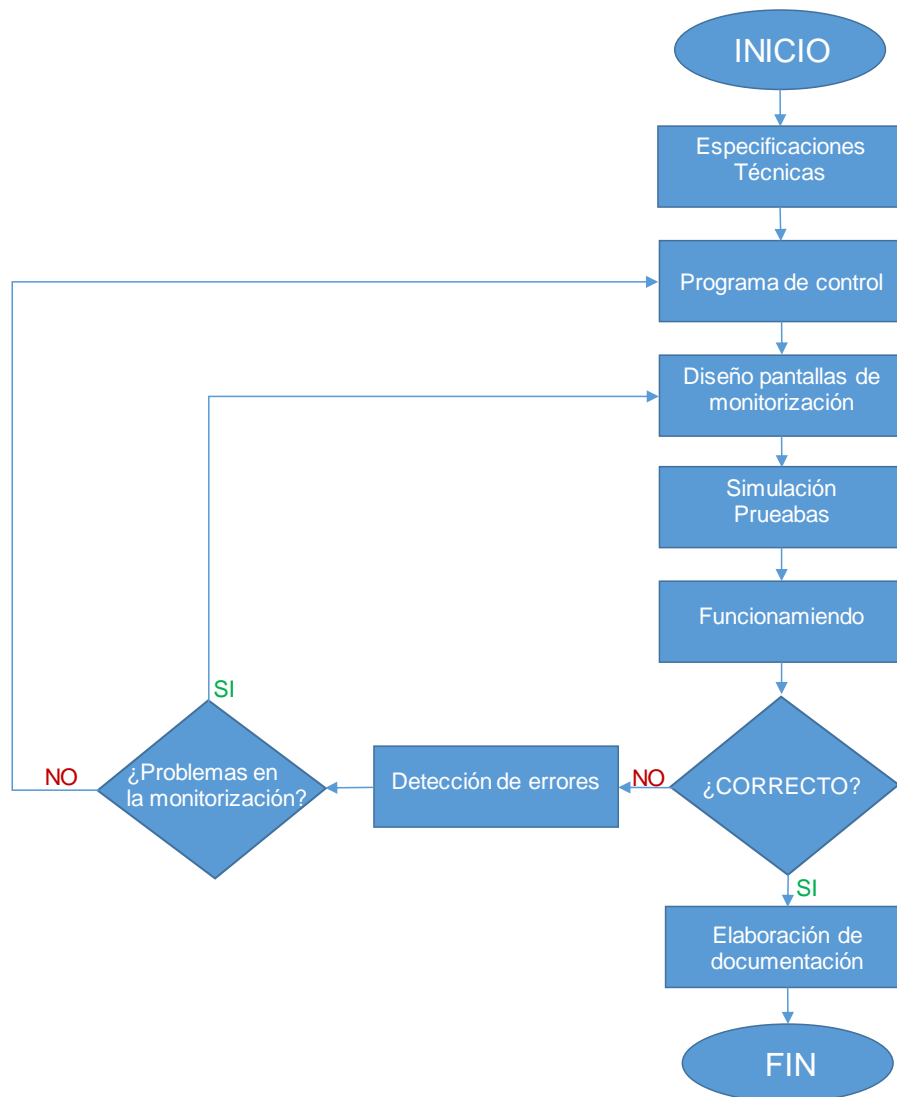


Figura 3- Organigrama del procedimiento seguido al diseñar el programa de control.

Para el diseño del sistema nos basaremos en el concepto de Cadena de Mando y Control, muy recurrente en el ámbito de la automatización y que podemos dividir en 5 etapas. Cuatro de ellas del mando propiamente, que son: las entradas, salidas, procesamiento de señales e interfaz de usuario. Y otra etapa relacionada con la parte operativa del sistema.

A continuación, las acciones seguidas para el desarrollo de este proyecto:

1. Introducción al software y equipos del Laboratorio de Hidráulica y Neumática durante la realización de una beca de colaboración. Durante esta etapa me inicié, de mano del profesor Javier Bouza, en el mundo del diseño y desarrollo de sistemas automatizados. Para la asimilación de conceptos, empezamos trabajando con un LOGO v8 realizando pequeños programas de control combinacional en lenguaje FUP. Una vez familiarizado con este autómatas de gama baja, nos introducimos en el S7-200, un autómatas algo desfasado pero más usado que el

LOGOs, con el que aprendimos el lenguaje KOP. Actualmente en el laboratorio trabajamos con un S7-1200, usado ampliamente en maquinaria y pequeños procesos industriales. Con este autómatas se diseñaron y realizaron los montajes de máquinas como: un paletizador, un clasificador de cajas, una plegadora de chapa, una cadena de galvanizado... con el fin de familiarizarse con el software de programación y comprender la cantidad de posibilidades que ofrece.

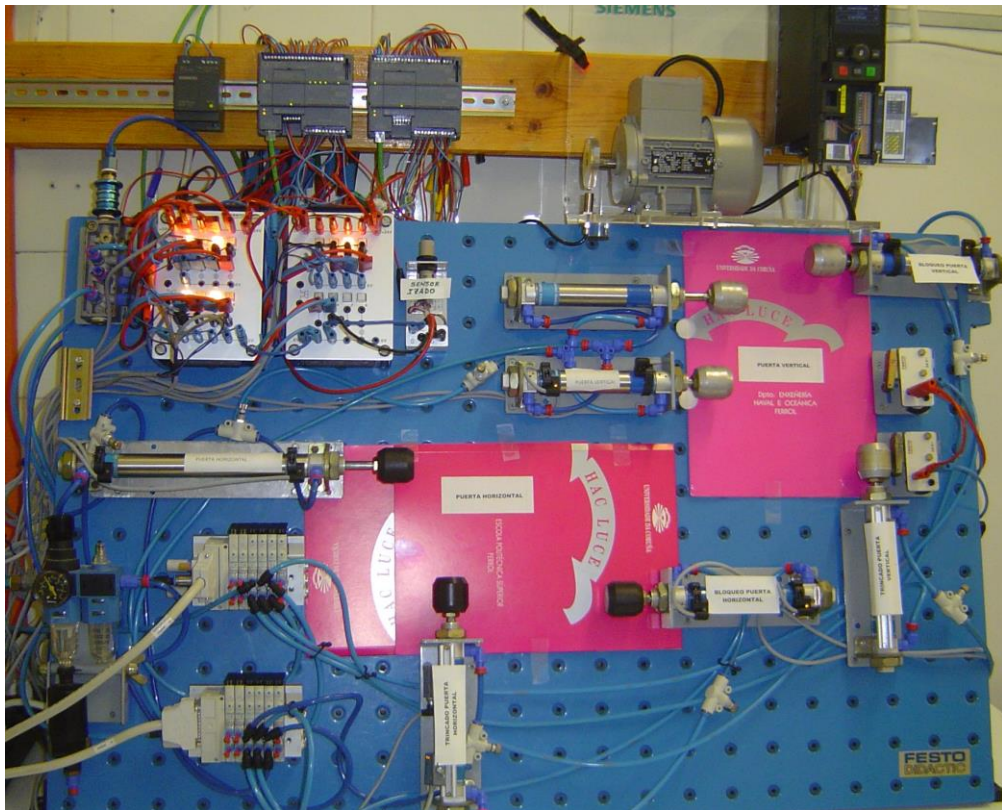


Figura 4- Montaje realizado en el laboratorio de hidráulica y neumática

2. Para abordar con mejor perspectiva el proyecto, se dividió el proceso en varias etapas para realizar un enfoque detallado de cada una de ellas. Esto nos permite programar funciones para diferentes etapas del proceso y estructurar mejor nuestro programa de control.
3. Para la elaboración del algoritmo de control se empleó el GRAFCET de nivel dos. Este es un estándar empleado en el ámbito de la automatización, no solo porque permite resolver el control de manera adecuada y segura, sino que facilita y agiliza la labor de diseño.

4. La programación del algoritmo de control se lleva a cabo con lenguaje de contactos KOP en combinación con bloques de funciones FUP, específicos del programa de control empleado. Se realizó una recopilación previa de información de funciones internas del programa que nos facilita mucho la labor de programación. Funciones como MOVE, SCALE, NORM se verán en repetidas ocasiones en el programa de control.

5. Tras superar la preparación que suponen las etapas anteriores al desarrollo de este proyecto, ya que este proceso alberga tiempo y complejidad, procederemos a la implementación del programa de control en el PLC. El cual estará formado por un Bloque Principal del programa y 4 Funciones para las diferentes etapas del proceso. Una vez definidas todas nuestras variables podremos empezar a diseñar el entorno de trabajo de las pantallas HMI, Human Machine Interface.

6. Tras terminar el programa y tenerlo depurado se puede proceder a la simulación con el PLC SIM. Esto creará un PLC virtual y nos permitirá simular y optimizar el proceso al completo, forzando las entradas y salidas. Además, podremos crear una secuencia de funcionamiento para visualizar el proceso.

5 ANÁLISIS PREVIO

5.1 Descripción general

Como se ha indicado anteriormente cualquier proceso industrial que quiera competir en el mercado debe optimizar sus procesos de fabricación en función del binomio eficacia-coste, y esto va de mano de la automatización. Es por eso que el presente proyecto muestra cómo aplicar, en un caso real, la automatización sobre la producción de una fábrica de hormigón.

En el presente trabajo se llevará a cabo la automatización y la monitorización de las diferentes etapas de un proceso de fabricación de hormigón estándar. Partiremos de una situación en la que tenemos identificadas todas las variables implícitas en el proceso, con la planta ya construida, y diseñaremos e implementaremos el programa de control en el PLC escogido.

Para la elaboración de la estructura de control y supervisión se usará la plataforma de ingeniería TIA portal v15, compuesto por los siguientes softwares: el Step 7, WinCC y PLCSIM. En Step 7 realizaremos el programa de control en lenguaje KOP, estructurado en diferentes funciones y listas de variables. En WinCC diseñaremos las pantallas HMI, que será nuestra interfaz de usuario para la monitorización del proceso. Finalmente, con el PLCSIM simularemos un PLC virtual al que nos conectaremos para ver el funcionamiento del sistema.

5.2 Descripción de proceso hormigonado

En el siguiente apartado se describe todo el proceso productivo, explicaremos las diferentes etapas con el fin de comprender mejor la fabricación del hormigón.

5.2.1 Recepción de materias primas

La finalidad del proceso productivo es la obtención de diferentes recetas de hormigón, para ello partiremos de una base común de materias primas que dosificaremos según la receta seleccionada. Distinguiremos las materias primas en tres grupos: Los áridos, el cemento y el agua.

Los áridos se cargarán en las tolvas de recepción con una pala elevadora que los traerá de una zona almacén a cielo abierto, al lado de la planta. En nuestro caso concreto tendremos cinco tolvas con la siguiente distribución:

1. Tolva de Arena
2. Tolva de arena fina
3. Tolva de gravilla
4. Tolva de garbancillo
5. Tolva de gravillón.

El cemento se transportará en camiones a la planta para almacenarlo en tres grandes silos metálicos, un silo estará encima de la báscula de cemento y los otros dos tendrán un tubo con un tornillo sin fin para dirigir el cemento a la báscula.

El agua estará almacenada en un depósito de hormigón perteneciente a las instalaciones, el agua se obtendrá por bombeo de un pozo de agua cercano que cubre con los requisitos de caudal para el abastecimiento de la planta. También tendremos un pequeño depósito de aditivos para incluir según la receta seleccionada.

5.2.2 Dosificación de materias primas

En esta etapa del proceso se procederá a pesar los diferentes materiales en las tres básculas según la receta seleccionada. Dispondremos de una báscula para los áridos, que forma parte de nuestra cinta transportadora, otra báscula para el cemento y otra para los líquidos.

El pesaje de los áridos se hará de forma acumulativa, primero se abrirá la tolva de arena, tras pesar la cantidad requerida por la receta seleccionada por el operador, se cerrará la tolva de arena para abrir la tolva de arena fina y así sucesivamente hasta completare el pesaje. Una vez que todos los áridos en la cinta y todas las tolvas cerradas, se activará el motor de la cinta para transportar los áridos a la amasadora.

En cuanto al cemento, es el operador el que elige el silo del que quiere descargar en función del estado de llenado de los mismos. De los tres silos, uno está situado encima de la báscula y descargará por gravedad, pero los otros dos tendrán un mecanismo de tornillo sin fin para dirigir el cemento a la entrada de la báscula. Tras pesar la cantidad de cemento requerido se podrá descargar la báscula a la amasadora.

El agua se vaciará por gravedad a una báscula específica. Además, dispondremos de un pequeño depósito donde se almacenarán los aditivos para elaborar el hormigón. El paso de ambos líquidos se realizará accionando dos electroválvulas. Una vez pesada la totalidad de agua y aditivos se procederá al vaciado en la amasadora para comenzar amasado.

5.2.3 Mezclado

El objetivo de esta etapa es homogeneizar las materias sólidas antes de pasar a la siguiente fase.

El mezclado se llevará a cabo en la amasadora, dispuestas de unas palas giratorias para asegurar la homogeneización de las materias solidas durante unos 30 segundos. Primero se

mezclarán durante diez segundos los áridos, seguido de la introducción del cemento, que será mezclado durante veinte segundos.

Una vez homogeneizadas las materias sólidas se pasará a la siguiente etapa, donde introduciremos el agua y los aditivos para entrar en la última fase de producción.

5.2.4 Amasado

Finalizada la etapa anterior ya podemos proceder a la descarga de agua desde la báscula de líquidos.

Este proceso se llevará a cabo en la misma amasadora que la etapa anterior. La duración del amasado no es algo crítico en el proceso, pero si que esta contabilizado, por exigencias del cliente. Una vez el camión cisterna este situado debajo de la amasadora se procederá a la descarga del hormigón.

5.2.5 Propuestas adoptadas

Una vez presentadas las diferentes etapas del proceso podemos definir hasta donde queremos llegar en la automatización. Tenemos diferentes soluciones para implementar. A continuación, enumero algunos de los criterios que considero oportunos para llevar a cabo en el trabajo de automatización:

1. Estructuración del programa de control en bloques de funciones para cada etapa.
2. Usar direccionamiento directo en memoria de variables.
3. Utilización de lenguaje KOP y FUP para realizar la programación.
4. Crear un SCADA del proceso, monitorización y control.
5. Posibilidad de generar recetas nuevas.
6. Gestión de usuarios para aumentar la seguridad.
7. Alarmas para situaciones críticas del proceso.

5.3 Especificaciones

En este apartado se presentarán la totalidad de equipos que tenemos en el proceso y sobre los que de algún modo tenemos capacidad de control.

El proceso lo podemos dividir en 4 zonas: una zona de procesamiento de los áridos, zona de procesamiento del cemento, zona de procesamiento del agua y zona de amasado y expedición.

En la zona de áridos podemos distinguir los siguientes equipos:

1. **Grupo de Tolvas:** Estará formado por cinco compartimentos, uno para cada tipo de árido. En la parte inferior de cada tolva tendremos la boca de descarga. De la cual controlaremos el accionamiento del cierre y la apertura. Cada compuerta dispone de un cilindro neumático gobernado por una válvula 5/3 de accionamiento electroneumático. El montaje está pensado para que el cierre de las tolvas se realice lo más rápidamente posible gracias a la existencia de un escape rápido.
2. **Cinta transportadora:** La cinta transportadora tendrá la función de transportar nuestros áridos a la boca de entrada a la amasadora. Además, estará provista de unas células extensiométricas para realizar el pesaje acumulativo de las materias primas. El movimiento de la cinta lo producirá un motor eléctrico situado en el extremo de la cinta sobre el que tendremos el control de accionamiento.
3. **Sensores:** Se dispondrá de sensores de presencia y nivel para conocer el estado de los tanques y la posición de la amasadora.

En la zona de procesamiento de cemento tendremos:

1. **Silos:** Los silos de cemento serán unos depósitos de forma cilíndrica con forma cónica en su extremo para facilitar la expulsión del cemento. La parte superior de los silos estará provista de ventilación y la entrada para el relleno de los silos. En nuestro caso tendremos 3 silos, uno situado encima de la amasadora y otros dos situados en las inmediaciones de la amasadora. El silo situado en la parte superior descargará por gravedad y los otros dos disponen de un tornillo sin fin que dirige el cemento a la entrada de la amasadora. Estos últimos serán accionados por dos motores eléctricos sobre los que tendremos el control.
2. **Báscula de cemento:** Estará formada por una pequeña tolva que nos dirigirá el cemento a la propia báscula, constituida por células de carga. La descarga de la báscula de cemento se realizará mediante el accionamiento de un cilindro neumático controlado por una válvula 3/2 de accionamiento electroneumático.

- 3. Sensores:** Se dispondrá de sensores para conocer el nivel de los tanques. Cada tanque tendrá un sensor de mínimo nivel para avisar cuando se llegue a un estado en el que el proceso requiere de mayor cantidad de cemento.

En la recepción de líquidos tendremos:

- 1. Tanque de agua:** Se dispondrá de un tanque de agua correctamente tratada y que cumpla con las exigencias mínimas para la fabricación de hormigón. Dicho tanque se vaciará por gravedad dado que estará situado un nivel por encima de nuestra amasadora. Para el vaciado usaremos una válvula 5/3 que permitirá el paso de agua a la báscula de líquidos.
- 2. Tanque de aditivos:** Tendremos un pequeño tanque donde se almacenará los diferentes aditivos necesarios para la fabricación de hormigón. Este se vaciará también por gravedad e igualmente estará accionado por una válvula 5/3.
- 3. Báscula de líquidos:** Realizaremos un pesaje acumulativo, empezando por el agua para posteriormente pesar nuestros aditivos. Una vez llegada a la cantidad deseada se activará un cilindro neumático que provocará la llegada del líquido a nuestra amasadora.
- 4. Sensores:** Tendremos como en los casos anteriores un sensor para cada tanque para determinar el momento en que estos llegan a mínimo nivel.

Nuestra zona de mezcla estará formada por la amasadora. En ella realizaremos la mezcla de todas las materias primas. La amasadora estará provista de unas palas de un material antidesgaste, aun así, será necesario que sean accesibles para realizar labores de mantenimiento y cambio de las mismas. Cuando el camión hormigonera este situado se descargará el contenido de la amasadora en este. Para ello accionaremos un cilindro neumático gobernado por una válvula 5/3 electroneumática. Para aportar una mayor información al operador, se incluyen dos sensores para conocer la posición de descarga y la de amasado.

5.4 Normativa

Enumeración de la normativa aplicable en el presente trabajo:

1. IEC 60617-12:1997 Graphical symbols for diagrams - Part 12: Binary logic elements.
2. IEC 60848:2013 GRAFCET specification language for sequential function charts.
3. IEC 61131-1:2003 Programmable controllers - Part 1: General information.
4. IEC 61131-2:2007 Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests.
5. IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages.
6. IEC TR 61131-4:2004 Programmable controllers - Part 4: User guidelines.
7. IEC 61131-5:2000 Programmable controllers - Part 5: Communications.
8. IEC 61131-6:2012 Programmable controllers - Part 6: Functional safety.
9. IEC 61131-7:2000 Programmable controllers - Part 7: Fuzzy control programming.
10. IEC TR 61131-8:2003 Programmable controllers - Part 8: Guidelines for the application and implementation of programming languages.
11. IEC 61131-9:2013 Programmable controllers - Part 9: Single-drop digital communication interface for small sensors and actuators (SDCI).
12. ISO 6403:1988 Hydraulic fluid power -- Valves controlling flow and pressure -- Test methods.
13. 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.
14. ISO 13849-1:2006 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design.
15. ISO 13849-2:2012 Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 2: Validation.
16. ISO/TR 14121-2:2012 Safety of machinery -- Risk assessment -- Part 2: Practical guidance and examples of methods.
17. EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
18. EN 62061:2005/A1:2013 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems.
19. UNE 101-149-86 "Transmisiones hidráulicas y neumáticas. Símbolos gráficos"
20. EN 62061:2005 Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control Systems.
21. UNE-EN 60204-1:2007 Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 1: Requisitos generales. (IEC 60204-1:2005, modificada).

22. UNE-EN 60947-5-1:2005/A1:2009 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-1: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.
23. UNE-EN 60947-5-2/A1:2000 Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
24. 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.
25. UNE-EN 60947-5-2:2000/A2:2005 Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
26. UNE-EN 60947-5-2:2002 ERRATUM Aparamenta de baja tensión. Parte 5: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Sección 2: Detectores de proximidad.
27. UNE-EN 60947-5-2:2008 Aparamenta de baja tensión. Parte 5-2: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.
28. UNE-EN 60947-5-3:2000 Aparamenta 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).
29. UNE-EN 60947-5-3:2000/A1:2006 Aparamenta 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).
30. 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.
31. 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).
32. 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.
33. 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).
34. 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.
35. 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).

6 DISEÑO DEL ALGORITMO DE CONTROL Y DE MONITORIZACIÓN

Para el diseño del programa de control utilizaremos el software TIA portal versión 15. Compuesto por: el STEP 7, entorno en el cual desarrollamos el programa de control, seleccionamos el autómatas y la comunicación con el mismo; el WinCC, donde desarrollamos el HMI (Human Machine Interface) y definimos y gestionamos los usuarios y alarmas; el PLCSIM, donde podemos realizar una simulación offline del proceso, activando las diferentes entradas y modificando variables del proceso.

6.1 Proceso

6.1.1 Variables implícitas

A continuación, se mostrarán una serie de tablas donde se ven todas las variables implícitas en el proceso. Se distinguen por la dirección asignada en el PLC empleado. En el programa de control todas estas variables se estructurarán en listas de variables que se asocian a los diferentes subprocesos para facilitar la legibilidad y comprensión del programa.

6.1.1.1 Entradas

A continuación, se presentan todas las variables de proceso de tipo bool y con direccionamiento por marcas del sistema, de esta forma podremos simular y accionar fácilmente todas desde la pantalla de control:

Tabla 1- Variables de entrada y de proceso implícitas en el programa de control.

Dirección	Tipo de dato	Nombre
M0.0	Bool	Modo Automático
M0.1	Bool	Receta seleccionada
M0.2	Bool	Confirmación de pesaje de áridos
M0.3	Bool	Confirmación de pesaje líquidos
M0.4	Bool	Interruptor modo operación
M0.5	Bool	Fin pesaje cemento
M0.6	Bool	Fin pesaje de líquidos
M0.7	Bool	Fin pesaje de áridos
M1.0	Bool	Interruptor de paro
M1.1	Bool	Interruptor de marcha
M1.2	Bool	Interruptor de rearme
M1.3	Bool	Interruptor de emergencia

Dirección	Tipo de dato	Nombre
M1.4	Bool	Interruptor descarga amasadora
M1.5	Bool	Interruptor de lavado amasadora
M1.6	Bool	Condición de emergencia
M1.7	Bool	Condiciones iniciales
M2.0	Bool	Silo 1 seleccionado
M2.1	Bool	Silo 2 seleccionado
M2.2	Bool	Silo 3 seleccionado
M2.3	Bool	Mínimo en el silo 1
M2.4	Bool	Mínimo en el silo 2
M2.5	Bool	Mínimo en el silo 3
M2.6	Bool	Silos vacíos, visualización HMI
M2.7	Bool	Higrómetro
M3.0	Bool	Cinta transportadora activada
M3.1	Bool	Vaciar báscula de cemento
M3.2	Bool	Vaciar báscula de líquidos
M3.3	Bool	Amasadora/hormigonera cargada
M3.4	Bool	Camión situado
M3.5	Bool	Vaciado de agua en amasadora
M3.6	Bool	Condición de transición 1
M3.7	Bool	Condición de transición 2
M4.0	Bool	Arranque de la amasadora
M4.1	Bool	Amasadora seleccionada
M4.2	Bool	Entrada en subrutina de bajada de amasadora
M4.3	Bool	Amasadora en posición de volver a amasar
M4.4	Bool	Inicio de la bajada de la amasadora
M4.5	Bool	Fin vaciado de amasadora
M4.6	Bool	Sensor posición inferior amasadora
M4.7	Bool	Sensor posición superior amasadora
M5.0	Bool	Selección receta HMI
M5.1	Bool	Botón selección receta 1
M5.2	Bool	Botón selección receta 2
M5.3	Bool	Botón selección receta 3
M5.4	Bool	Botón selección receta 4
M5.5	Bool	Botón selección silo 1
M5.6	Bool	Botón selección silo 2
M5.7	Bool	Botón selección silo 3
M6.0	Bool	Tolva de arena a mínimo nivel

Dirección	Tipo de dato	Nombre
M6.1	Bool	Tolva de arena fina a mínimo nivel
M6.2	Bool	Tolva de gravilla a mínimo nivel
M6.3	Bool	Tolva de garbancillo a mínimo nivel
M6.4	Bool	Tolva de gravillón a mínimo nivel
M6.5	Bool	Tanque de agua a mínimo nivel
M6.6	Bool	Tanque de aditivos a mínimo nivel
M6.7	Bool	Resetear contador de camiones
M10.0	Bool	Primer ciclo
M10.1	Bool	Diagrama de diagnóstico modificado
M10.2	Bool	Siempre a 1
M10.3	Bool	Siempre a 0

A indicar que el nombre que reciben las variables es significativo en cuanto a la función que desarrollan, lo que hace que resulte más sencillo comprender e identificar la misión de dichas variables en el programa de control.

La siguiente tabla muestra las variables tipo *Int* usadas para tratar los datos de la receta, con direccionamiento por marcas. Como se puede observar, estas variables están todas asignadas al tratamiento de datos de la cantidad de materias primas necesarias y el tratamiento del dato en la báscula.

Tabla 2- Variables para la cantidad de materias primas y medida de las básculas.

Dirección	Tipo de dato	Nombre
MW18	Int	Aditivos
MW20	Int	Agua
MW22	Int	Arena
MW24	Int	Arena fina
MW26	Int	Gravilla
MW28	Int	Garbancillo
MW30	Int	Gravillón
MW32	Int	Cemento
MW34	Int	Báscula de áridos
MW36	Int	Báscula de líquidos
MW38	Int	Báscula da cemento
MW40	Int	Báscula de áridos valor escalado
MW42	Int	Báscula de líquidos valor escalado
MW44	Int	Báscula de cemento valor escalado

Dirección	Tipo de dato	Nombre
MW60	Int	Introducción de la cantidad de arena desde HMI
MW62	Int	Introducción de la cantidad de arena fina desde HMI
MW64	Int	Introducción de la cantidad de gravilla desde HMI
MW66	Int	Introducción de la cantidad de garbancillo desde HMI
MW68	Int	Introducción de la cantidad de gravillón desde HMI
MW70	Int	Introducción de la cantidad de cemento desde HMI
MW72	Int	Introducción de la cantidad de aditivos desde HMI
MW74	Int	Introducción de la cantidad de agua desde HMI
MW76	Int	Suma acumulativa de áridos, arena y arena fina
MW78	Int	Suma acumulativa de áridos, arena fina y gravilla
MW80	Int	Suma acumulativa de áridos, gravilla y garbancillo
MW82	Int	Suma acumulativa de áridos, garbancillo y gravillón
MW84	Int	Suma acumulación de líquidos

A la hora de tratar los datos de la báscula necesitamos escalar la señal que nos llega para medir la cantidad real de materiales que estamos pesando. Para ello usamos dos herramientas, una primera de normalizado de la señal analógica a un valor real en coma flotante entre 0,0 y 1,0. A continuación, escalaremos la señal a los valores mínimo y máximo de las unidades de medida de nuestra báscula, según catálogo del producto. Para lo que usaremos las siguientes variables tipo Real y con direccionamiento por marcas.

Tabla 3- Variables tipo REAL del valor escalado de las básculas.

Dirección	Tipo de dato	Nombre
MD50	Real	Báscula de áridos valor normalizado
MD54	Real	Báscula de líquidos valor normalizado
MD58	Real	Báscula de cemento valor normalizado

Por último, se exponen las variables que usaremos para definir los estados de los diferentes subprocesos o estados del sistema.

Tabla 4- Variables tipo byte para almacenar los estados del proceso.

Dirección	Tipo de dato	Nombre
MB8	Byte	Estado de máquina
MB9	Byte	Estado pesaje áridos

Dirección	Tipo de dato	Nombre
MB11	Byte	Estado pesaje cemento
MB12	Byte	Estado pesaje líquidos
MB13	Byte	Estado amasado

Cada uno de los bytes anteriores se usará para identificar los diferentes estados de cada subproceso o los diferentes modos de funcionamiento. Crearemos unas listas de textos para cada byte, asignando un estado diferente y unívoco a cada bit:

Tabla 5- Estados de cada bit de las variables de estados del sistema.

Byte	Bit	Texto
MB8	0	Paro
	1	Marcha
	2	Rearme
	3	Paro de Emergencia
MB9	0	En espera
	1	Inicio pesaje de arena
	2	Inicio pesaje de arena fina
	3	Inicio pesaje de gravilla
	4	Inicio pesaje de garbancillo
	5	Inicio de pesaje de gravillón
	6	Fin pesaje de áridos
MB11	0	En espera
	1	Descarga silo 1
	2	Descarga silo 2
	3	Descarga silo 3
	4	Todos los silos vacíos
	5	Fin pesaje cemento
MB12	0	En espera
	1	Abre válvula de agua
	2	Cierre válvula de agua/Abre válvula aditivos
	3	Cierra válvula aditivos
MB13	0	En espera
	1	Activar AM
	2	Amasadora ON

6.1.1.2 Salidas

A continuación, se muestran las salidas empleadas:

Tabla 6- Variables de salida.

Dirección	Tipo de dato	Nombre
Q0.0	Bool	Piloto modo automático
Q0.1	Bool	Abrir tolva de arena
Q0.2	Bool	Cerrar tolva de arena
Q0.3	Bool	Abrir tolva de arena fina
Q0.4	Bool	Cerrar tolva de arena fina
Q0.5	Bool	Abrir tolva de gravilla
Q0.6	Bool	Cerrar tolva de gravilla
Q0.7	Bool	Abrir tolva de garbancillo
Q1.0	Bool	Cerrar tolva de garbancillo
Q1.1	Bool	Abrir tolva de Gravillón
Q1.2	Bool	Cerrar tolva de Gravillón
Q1.3	Bool	Abrir válvula de agua
Q1.4	Bool	Cerrar válvula de agua
Q1.5	Bool	Activar descarga silo 1
Q1.6	Bool	Activar cierre silo 1
Q1.7	Bool	Activar descarga silo 2
Q2.0	Bool	Activar cierre silo 2
Q2.1	Bool	Activar descarga silo 3
Q2.2	Bool	Activar cierre silo 3
Q2.3	Bool	Activar motor de la amasadora 1
Q2.4	Bool	Activar motor de la cinta transportadora
Q2.5	Bool	Activar descarga de la báscula de cemento
Q2.6	Bool	Activar descarga de la báscula de líquidos
Q2.7	Bool	Activar bajada de la amasadora 1
Q3.0	Bool	Activar subida de la amasadora 1
Q3.1	Bool	Activar balda
Q3.2	Bool	Abrir válvula de aditivos
Q3.3	Bool	Cierra válvula de aditivos

6.1.1.3 Temporizadores

Los temporizadores son almacenados en Data Block o DB, cada uno de estos bloques de datos almacena el estado de la entrada, la salida y utiliza dos variables tipo Time para guardar el tiempo que queremos cronometrar y otro para contabilizar este último

Tabla 7- Temporizadores en el programa de control.

Dirección	Tiempo [s]	Nombre
DB4	10	Tiempo de transporte de áridos a la amasadora
DB5	10	Tiempo vaciado de la báscula de cemento
DB6	5	Tiempo vaciado báscula agua
DB7	120	Tiempo de amasado
DB11	30	Tiempo de lavado de la amasadora
DB13	30	Tiempo vaciado de la amasadora
DB14	360	Tiempo límite para parada del motor

Además de estos temporizadores, como bloques del sistema tenemos el contador del número de camiones expedidos.

6.1.2 Funcionamiento del proceso

A la hora de programar nuestro proceso de hormigonado nos basaremos en el Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition o GRAFCET. La elaboración del mismo sirve para comprender las diferentes etapas del proceso y ver cómo están relacionadas. En este apartado distinguiremos cada una de las etapas y explicaremos la secuencia de funcionamiento.

6.1.2.1 Subproceso de inicio y selección de receta

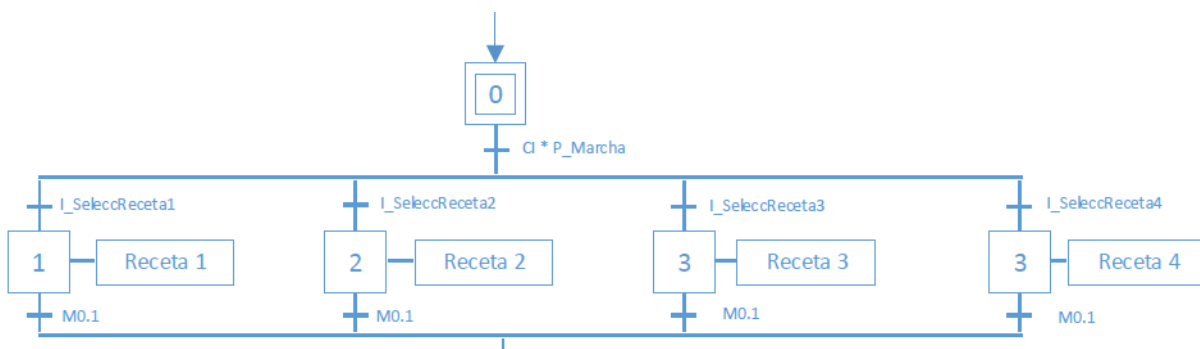


Figura 5- Subproceso de selección de receta.

La secuencia de funcionamiento comienza cuando el operador pulsa el botón de marcha y el proceso se encuentra en reposo o parada. Además, es necesario cumplir con las condiciones iniciales. Esto implica que tanto las tolvas de áridos, los silos de cemento y los tanques de líquidos tengan el nivel suficiente para realizar la producción.

Una vez el proceso está en estado de marcha se debe seleccionar la receta deseada, para ello tenemos un pulsador de activación. Cuando lo activamos el valor de nuestras variables de proceso guardan los datos correspondientes para ser tratados posteriormente en las básculas.

6.1.2.2 Subprocesos de pesaje de materias primas

En este apartado distinguiremos entre las diferentes materias primas:

Pesaje de áridos:

A la hora de pesar nuestros áridos realizaremos un pesaje acumulativo, comenzando por la arena. Tras alcanzar la cantidad fijada por la receta, cerraremos la tolva de arena para abrir la de arena fina y así sucesivamente.

Para comenzar la secuencia es necesario que el operador confirme mediante un interruptor la intencionalidad de pesar los áridos.

Cuando el valor leído por la báscula sea igual al almacenando en la variable del árido correspondiente, la tolva en cuestión se cerrará para dar paso al siguiente árido. Finalizada la secuencia se activará la marca de fin de pesaje de áridos.

Pesaje de líquidos:

Para comenzar con la secuencia de pesado el operador deberá posicionar el interruptor de confirmación en la posición de trabajo.

Igual que con los áridos se realizará un pesaje acumulativo para los dos líquidos implicados en el proceso. En primer lugar pesaremos el agua para posteriormente añadir los aditivos. Una vez finalizada la secuencia se activará la marca de fin de pesaje de líquidos.

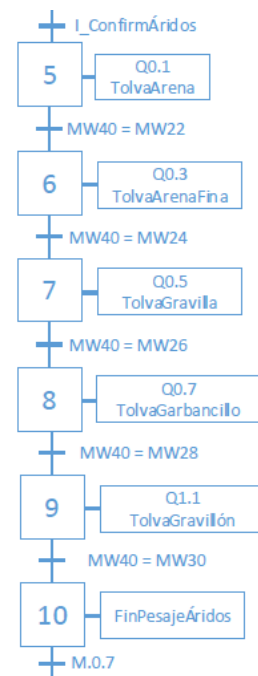


Figura 6- Subproceso de pesaje de áridos.

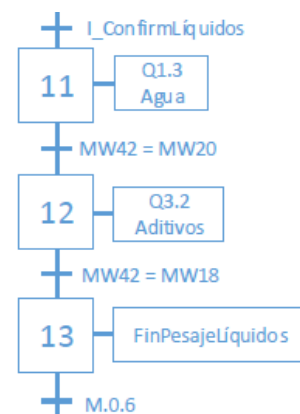


Figura 7- Subproceso de tratamiento de líquidos.

Pesaje del cemento:

En cuanto al pesaje del cemento difiere un poco de los casos anteriores, ahora el operador deberá seleccionar uno de los tres silos disponibles. Para que el proceso comience el silo seleccionado no podrá tener el sensor de mínimo nivel activado. Si durante el pesaje el silo elegido llegase a mínimo nivel, el algoritmo de control comprobaría si alguno de los otros dos silos tiene nivel suficiente y cambiaría automáticamente a este para seguir con la producción. Una vez finalizado el pesaje se cerraría el silo correspondiente y se activará la marca de fin de pesaje de cemento.

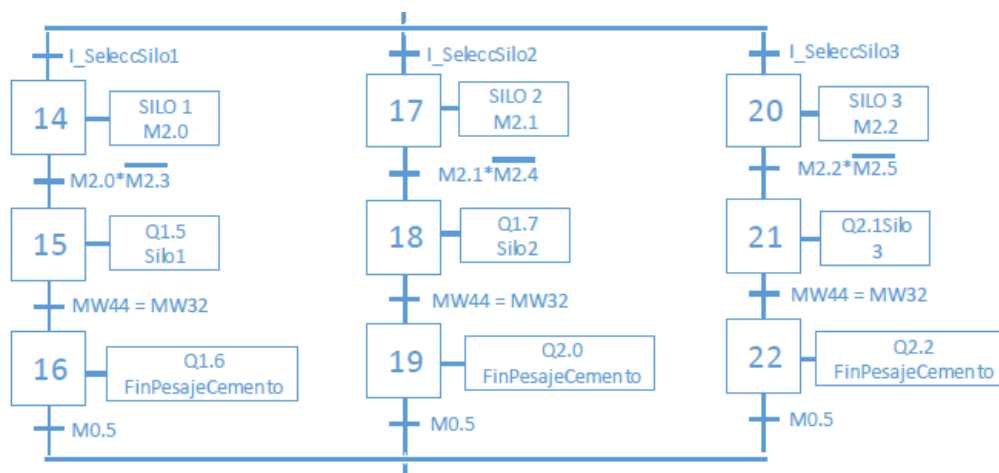


Figura 8- Subproceso de pesaje de cemento.

6.1.2.3 Subproceso de descarga de materias primas en la amasadora

Cuando se ha finalizado el pesaje de las materias primas, tendremos activadas las marcas de fin de etapa correspondientes. Con esta condición activaremos la amasadora para posteriormente activar la cinta que nos transporta los áridos a la misma. Contabilizaremos un tiempo T4 para dar tiempo a transportar los áridos. Tras finalizar este tiempo activaremos la descarga de cemento de la báscula para introducirlo en la amasadora. Contabilizaremos un tiempo T5 para asegurarnos de que se descarga la totalidad de cemento. A continuación, descargaremos los líquidos en la amasadora y procederemos al reseteo de la cinta transportadora y los actuadores de nuestras básculas.

Una vez que todas las materias primas se hayan introducido en la amasadora se temporizará un tiempo T7 de homogenización del hormigón.

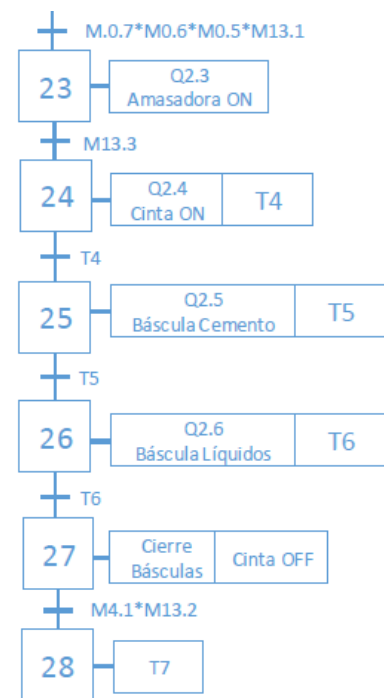


Figura 9- Subproceso de transporte de materias primas.

6.1.2.4 Subproceso de bajada de la amasadora

La secuencia continua tras finalizar el tiempo de amasado y la comprobación de que el camión sigue situado en la boca de descarga de la amasadora. Entonces se activa la descarga de la misma, activándose el sensor que nos indica que se encuentra en posición de descarga. Iniciamos un temporizador T13 para poder descargar la totalidad del producto en el camión hormigonera.

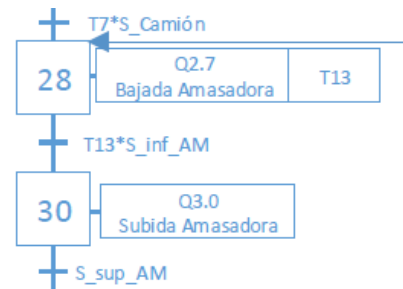


Figura 10- Subproceso de bajada de la amasadora.

Una vez finaliza la descarga se activa la bobina para volver a posición inicial de la amasadora, activando el sensor de posición superior de la amasadora que nos indica que estamos en posición superior.

El subproceso de bajada de amasadoras también es llamado cuando el operador, tras finalizar un ciclo de producción, decide lavar las amasadoras.

6.1.2.5 Fin de proceso productivo y lavado de la amasadora

Cuando finaliza la descarga de la amasadora el proceso puede seguir dos caminos. Si el botón de lavado no está seleccionado, se desactivará la amasadora y el proceso vuelve al punto inicial, donde el operador deberá indicar que receta quiere producir en este nuevo ciclo.

Sin embargo, si el operador decide lavar la amasadora y por tanto el botón de lavado es seleccionado, se abrirá la válvula de agua durante un tiempo T11 para realizar el lavado. Finalizado el tiempo de lavado, se activará la balda de recuperación que desviará el producto resultante, mayoritariamente agua a unas balsas de recuperación.

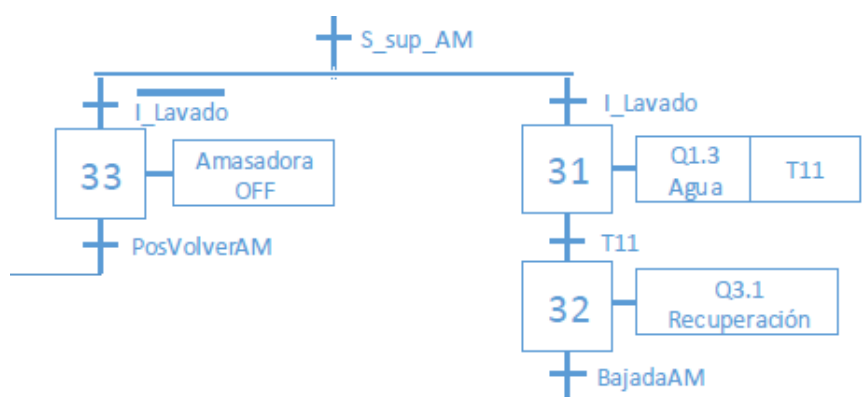


Figura 11- Subproceso de fin de ciclo y lavado de la amasadora.

Además de los subprocesos anteriores, el algoritmo de control dispondrá de mecanismos de seguridad y control del proceso. Una vez pongamos el proceso en marcha, desde el mando de control podremos realizar las siguientes acciones:

Pausa o parada: En un momento determinado puede ser necesario realizar una pausa del proceso productivo para realizar cualquier labor de mantenimiento o ajuste. Para ello el operador pulsará el botón de pausa y para continuar con el proceso deberá pulsar de nuevo el botón de marcha.

Emergencia: Ante una situación de peligro el operador pulsará la seta de emergencia para que se produzca la desactivación de todas las señales eléctricas y la pérdida de presión en la línea neumática. Tras una parada de emergencia será obligatoria rearmar.

Rearme: Tras una parada el operador tendrá la opción de pulsar el botón de rearme para devolver el sistema a condiciones iniciales.

A continuación, se muestra el GRAFCET globalmente para su mejor comprensión, donde se puede ver el camino completo de todos los subprocesos anteriormente descritos.

En primer lugar, debemos seleccionar la receta, una vez que el operador ha pulsado la marcha del proceso. Cuando la receta ha sido seleccionada, el operador deberá confirmar el pesaje de las diferentes materias primas para comenzar con el pesaje. Entonces comenzará con el pesaje acumulativo de los áridos, cemento y agua. Una vez que todas las materias primas se encuentran disponibles se descargan a la amasadora. En la descarga se realiza primero la mezcla de las materias sólidas para posteriormente añadir el agua y los aditivos. Tras el amasado se descarga el producto final en el camión hormigonera para su transporte.

Queda a voluntad del operador la posibilidad de lavar la amasadora una vez se ha terminado el ciclo productivo. Llevando el agua sobrante del lavado a unas balsas de recuperación.

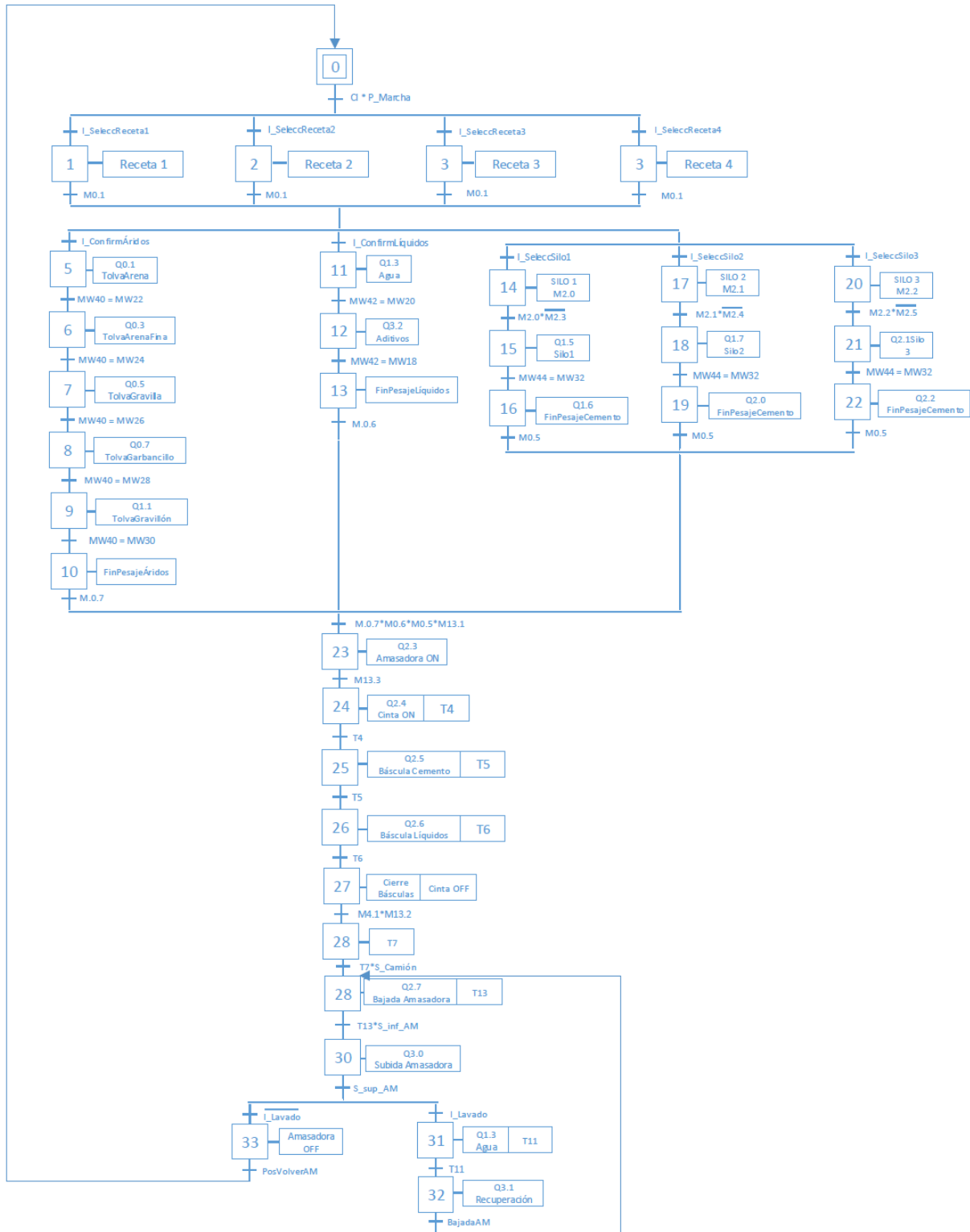


Figura 12- GRAFCET de nivel dos del proceso de fabricación.

6.2 Programa de control

En este apartado se explicará segmento a segmento el funcionamiento y estructuración del algoritmo de control, que será la traducción del GRAFCET anterior a lenguaje de contactos.

Distinguiremos cuatro bloques, estructurados en el programa en forma de funciones. Estas funciones serán llamadas desde el programa principal para su ejecución.

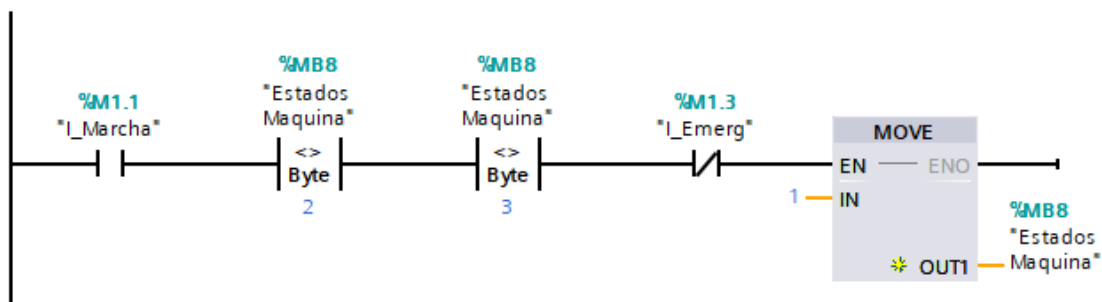
6.2.1 Principal

Este será nuestro bloque de organización o OB, desde el que llamaremos al resto de funciones y donde tendremos el mando sobre el proceso.

A continuación, se explicará de forma breve y concisa lo que se realiza en cada segmento del programa.

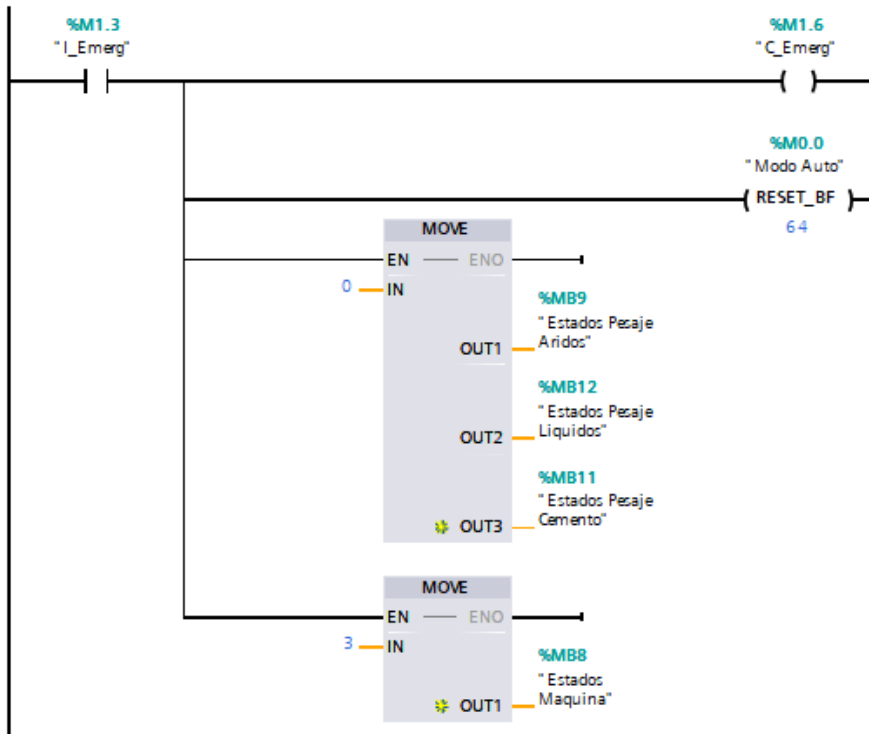
Segmento 1: Puesta Marcha

Para poner el proceso en marcha es necesario pulsar el botón de marcha y que se cumpla la condición de que la máquina no esté en estado de rearme ni de parada de emergencia.



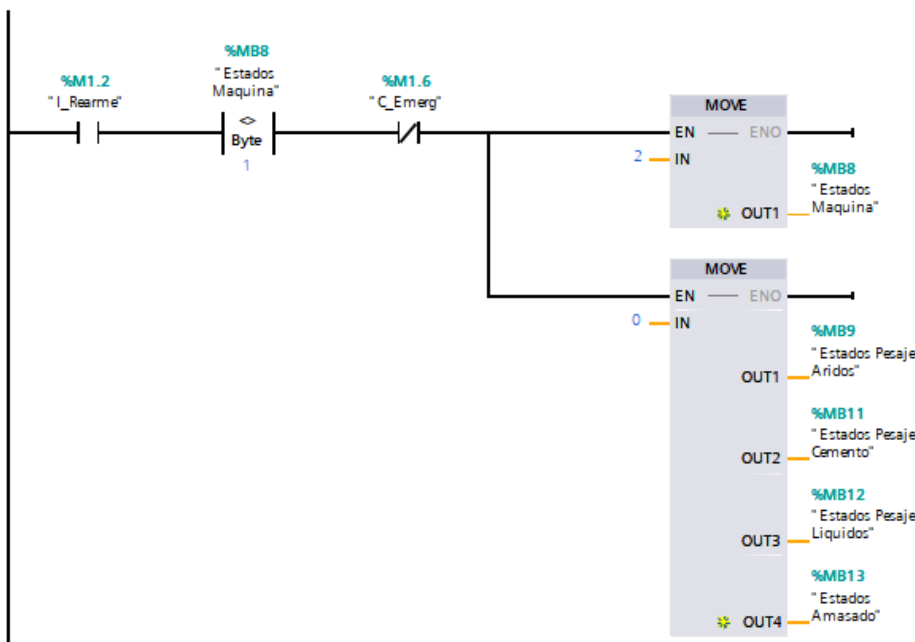
Segmento 2: Paro Emergencia

Al pulsar el interruptor de emergencia activamos la condición de emergencia, a su vez reseteamos todas las marcas internas del proceso. El estado del proceso pasa a parada de emergencia y el resto de estados se pondrán en espera de nueva orden.



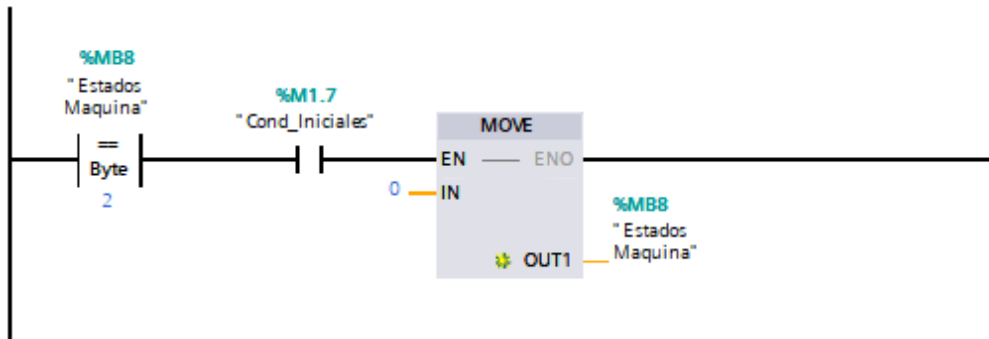
Segmento 3: Rearme

Si el proceso no se encuentra estado de marcha ni la condición de emergencia está activada podremos rearmar la máquina a condiciones iniciales. Poniendo los estados de pesaje en espera de nueva orden.



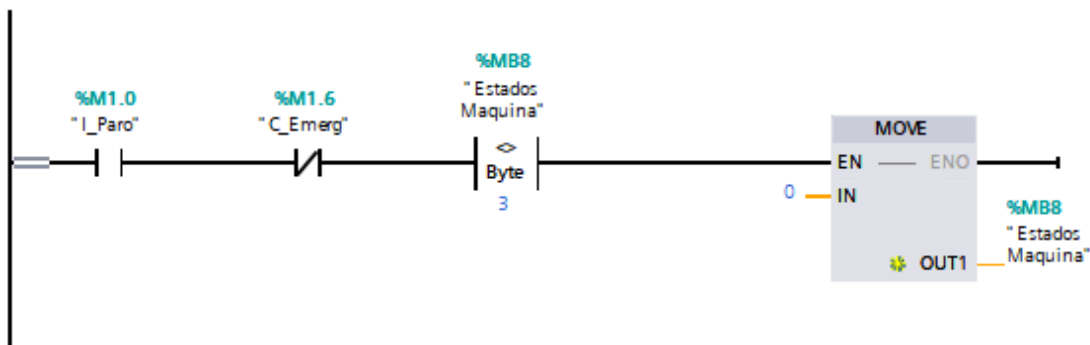
Segmento 4: Fin de rearme

El final de rearme se alcanza cuando tenemos el proceso en condiciones iniciales. Pondremos el estado del proceso en paro a espera de nueva orden.



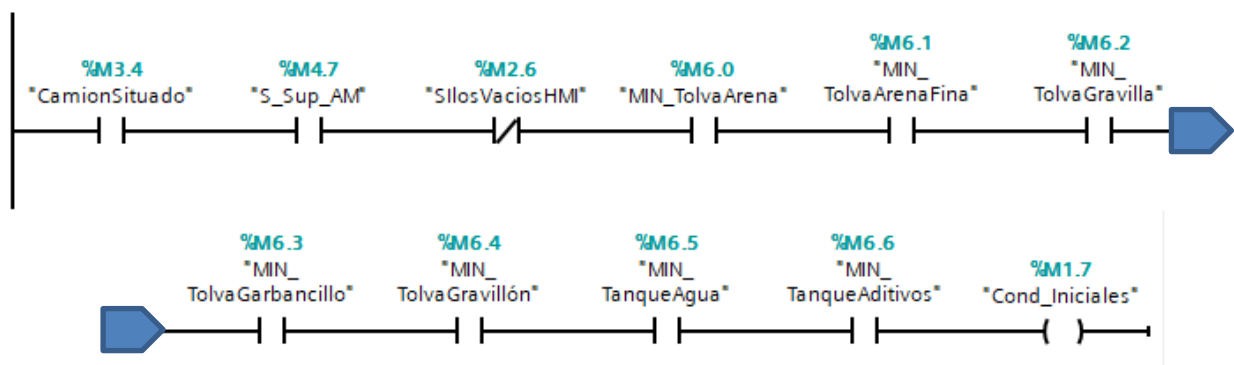
Segmento 5: Paro

Si el estado del proceso no se encuentra en parada de emergencia y nuestra condición de emergencia no está activa podremos activar el estado de paro.



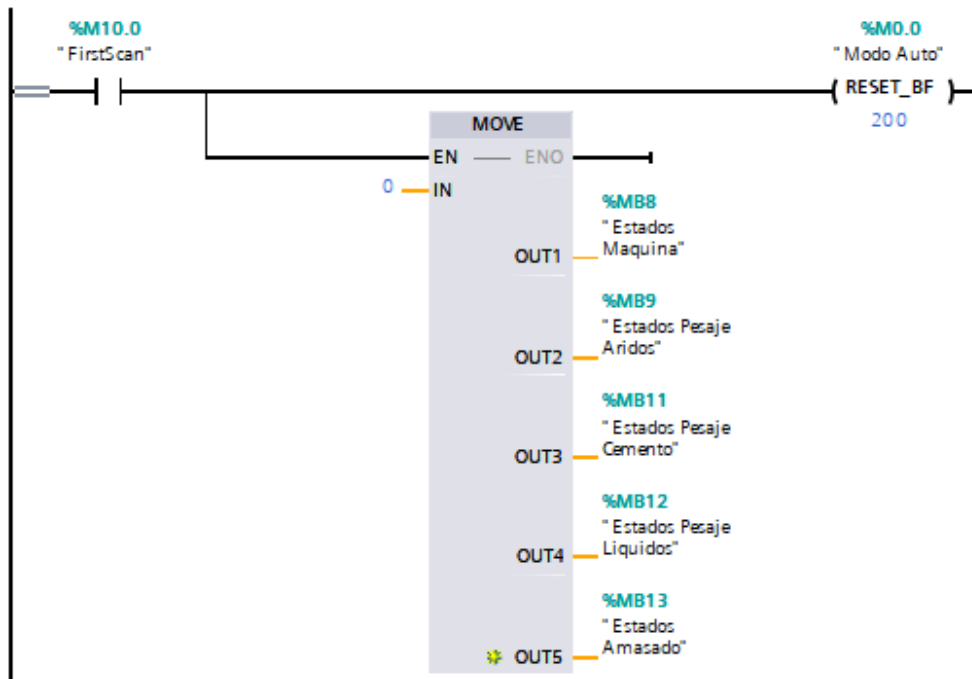
Segmento 6: Condiciones Iniciales

Para que se cumplan las condiciones iniciales debe estar el camión situado en la boca de descarga de la amasadora, la amasadora debe estar en posición de amasar, nuestros silos de cemento, las tolvas de áridos y los tanques de agua deben tener el nivel necesario de materias primas para realizar un ciclo completo de producción.



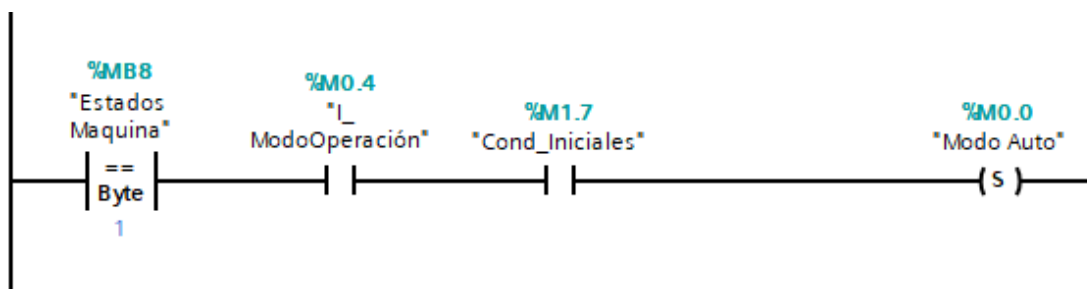
Segmento 7: Reseteo Marcas

En el primer ciclo de programa se usa una marca del sistema especial, esta solo se activa en el primer ciclo para resetear todas las marcas del proyecto y poner todos los estados de la máquina en espera.



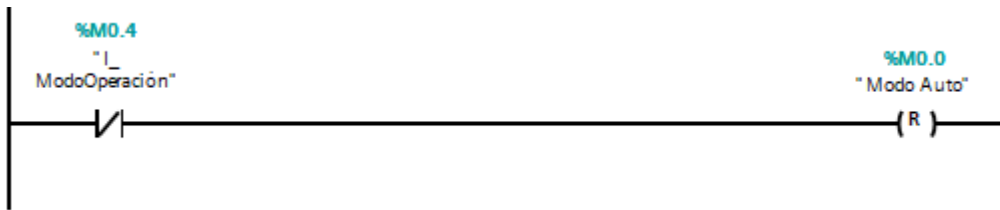
Segmento 8: Entrada modo Auto

Si el estado de la máquina está en marcha, estamos en condiciones iniciales y nuestro interruptor de operación está en posición automática de activará el modo de funcionamiento automático del sistema.



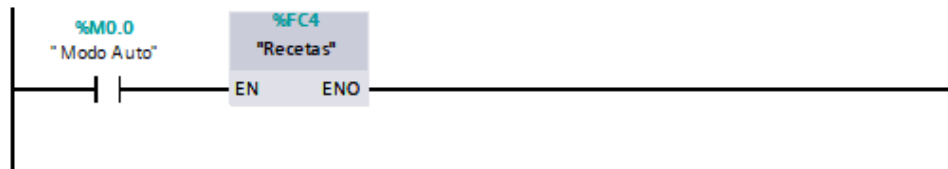
Segmento 9: Resetear modo automático

Cuando nuestro interruptor de modo automático no esté en posición adecuada se reseteará el funcionamiento automático.



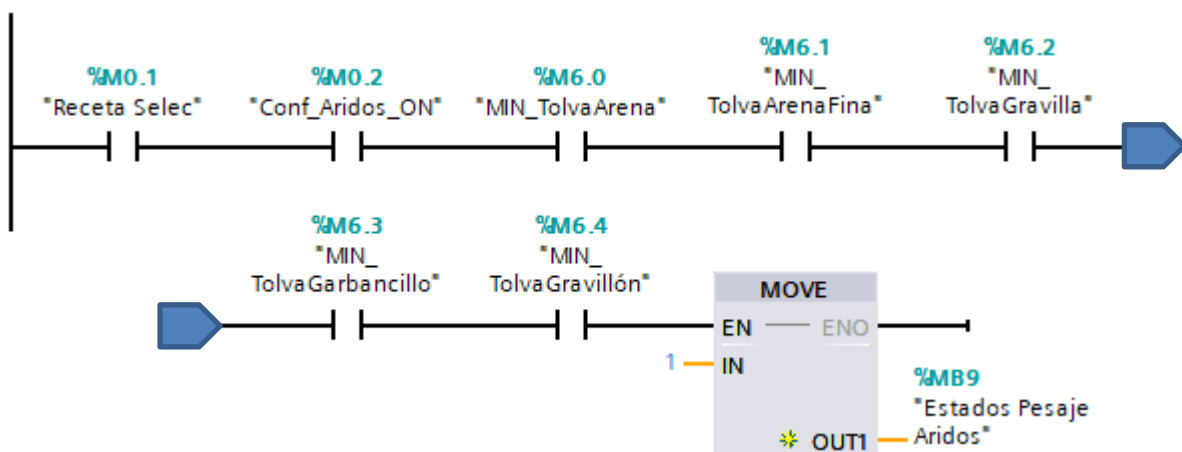
Segmento 10: Modo auto llamada receta

Con la activación del modo automático activamos la llamada a la función de seleccionar la receta que se explicará en el apartado siguiente.



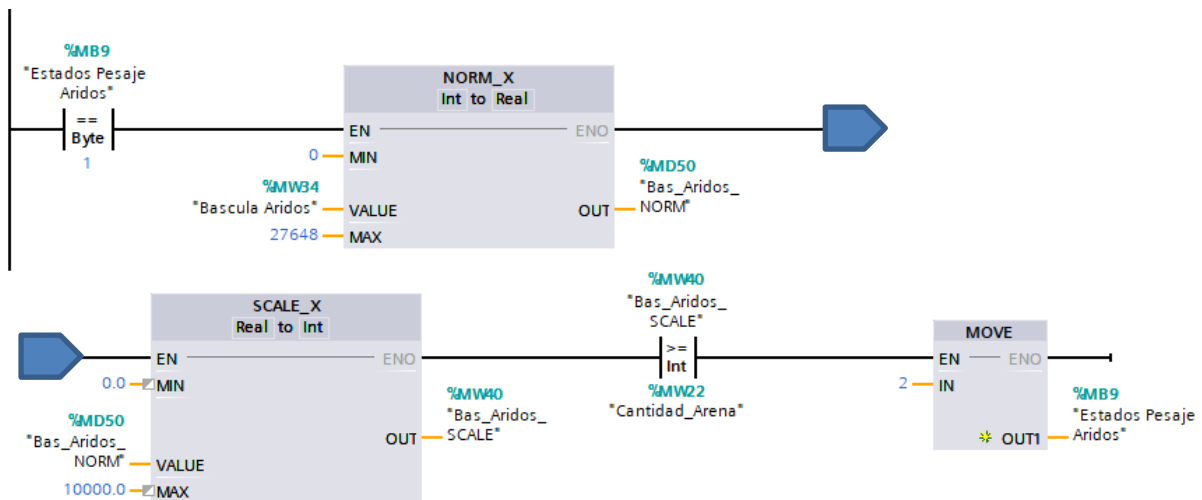
Segmento 11: Inicio Pesaje Aridos

Con la receta seleccionada y la confirmación de pesaje de áridos iniciamos el pesaje de los áridos de forma acumulativa, siempre y cuando tengamos nivel en las tolvas.



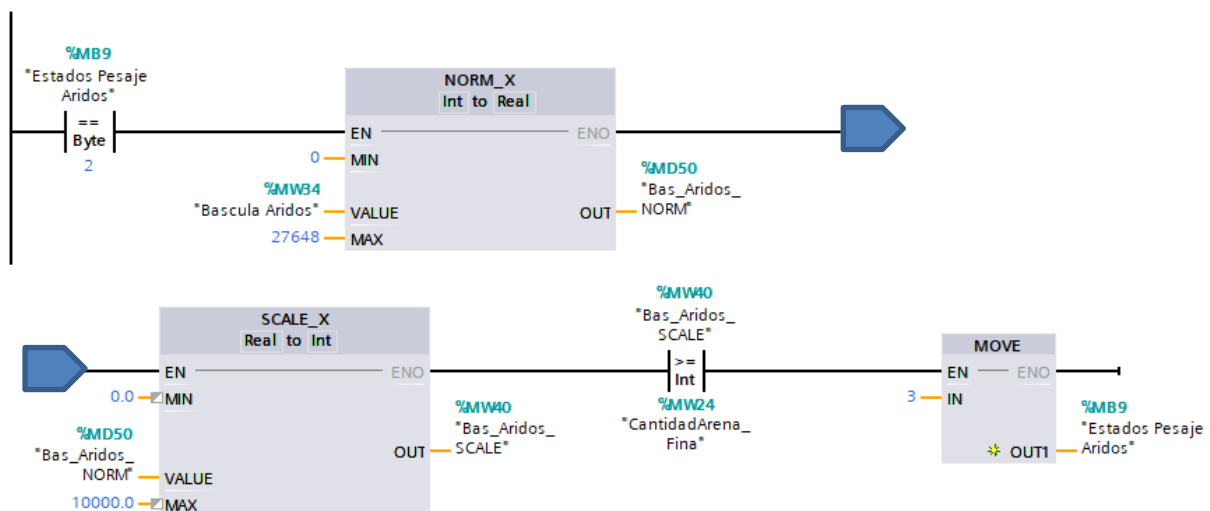
Segmento 12: Pesaje Arena

Comenzamos con el pesaje de la arena, abriendo la tolva correspondiente. Una vez alcanzado el valor de la receta se activará el cierre de esta para pasar a la siguiente. En este segmento de programa se normaliza y escala el valor analógico, de la señal de 4-20mA que nos transmite la báscula.



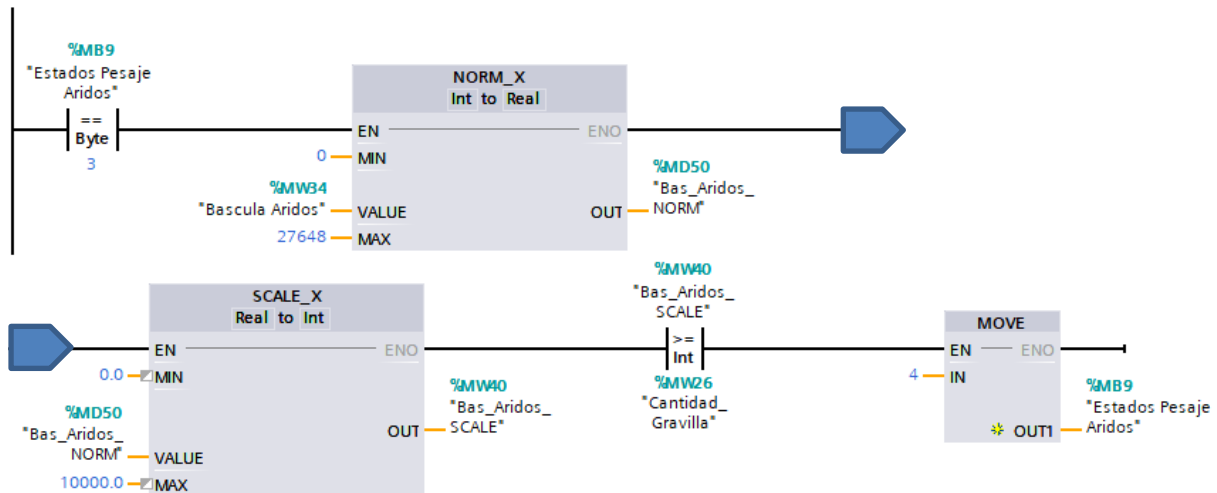
Segmento 13: Pesaje arena fina

Se abre la tolva de arena fina y se sigue contabilizando de forma acumulativa el peso sobre la cinta transportadora. Normalizado y escalado de la señal de 4-20 mA que nos da la báscula.



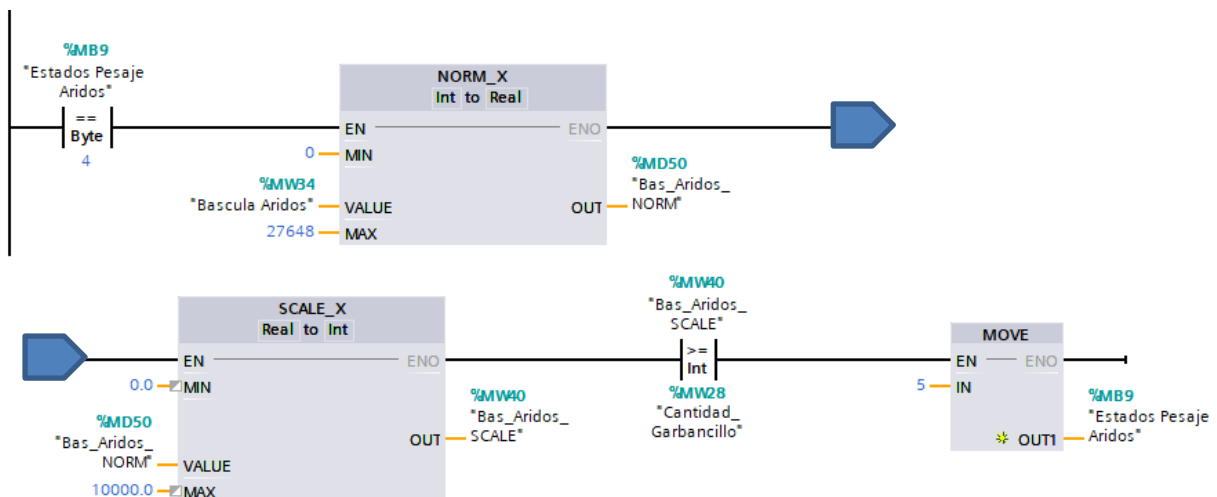
Segmento 14: Pesaje gravilla

Se abre la tolva de gravilla y se continua contabilizando de forma acumulativa el peso total de áridos sobre la cinta transportadora. Normalizado y escalado de la señal de 4-20 mA que nos da la báscula.



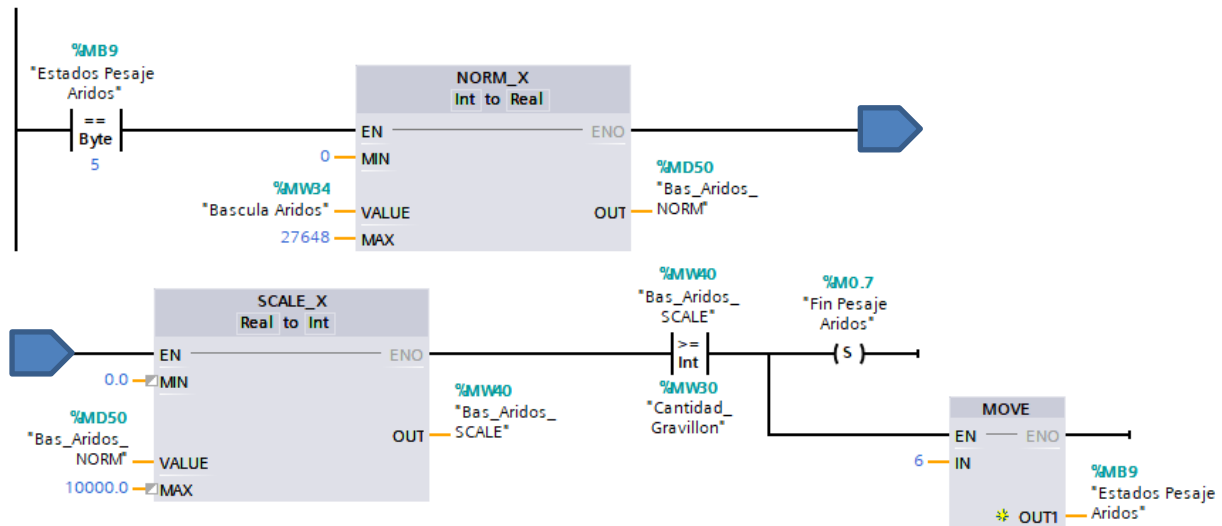
Segmento 15: Pesaje Garbancillo

Se abre la tolva de garbancillo y se sigue contabilizando de forma acumulativa el peso total de áridos sobre la cinta transportadora. Normalizado y escalado de la señal de 4-20 mA que nos da la báscula.



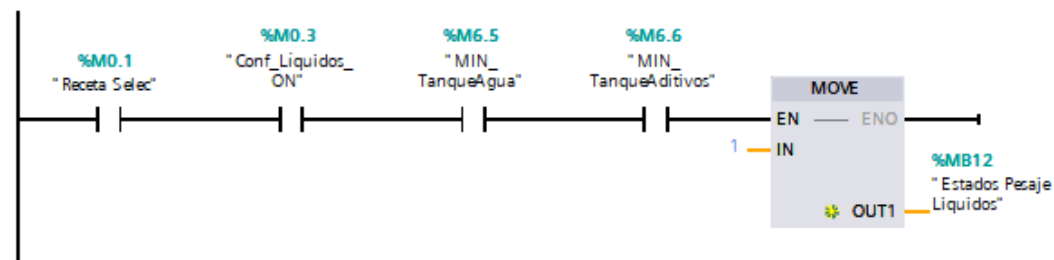
Segmento 16: Pesaje Gravillon

Se abre la tolva de gravillón y se sigue contabilizando de forma acumulativa el peso total de áridos sobre la cinta transportadora. Normalizado y escalado de la señal de 4-20 mA que nos da la báscula. Una vez fijado el pesaje de todos los áridos, activamos el fin de pesaje de áridos



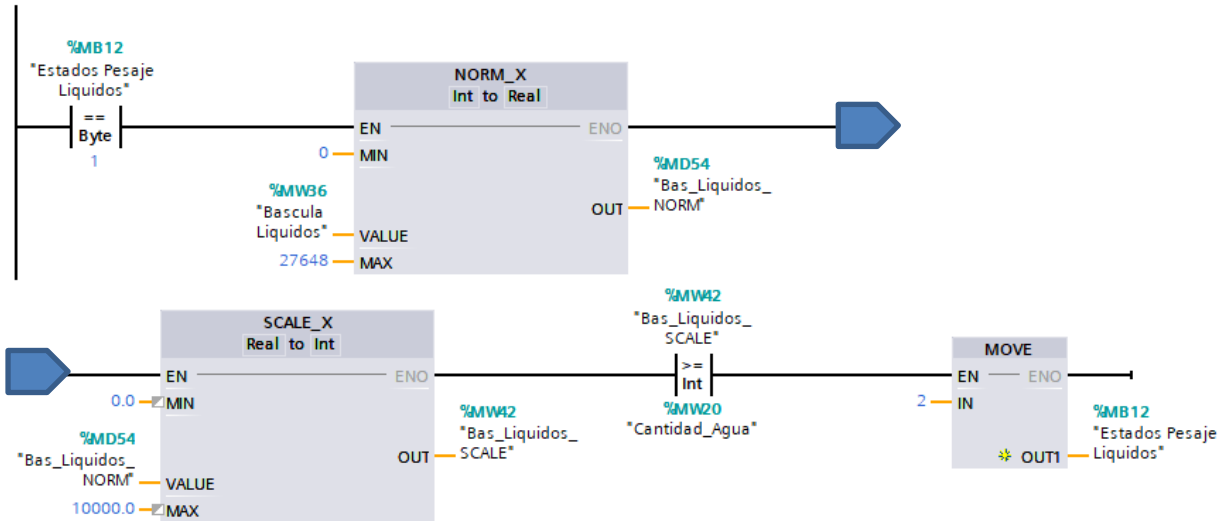
Segmento 17: Inicio Pesaje Agua

Cuando la receta está seleccionada activamos simultáneamente el pesaje de los líquidos, agua y aditivos. Para ello debemos dejar enclavado el interruptor de confirmación y los tanques deben estar llenos.



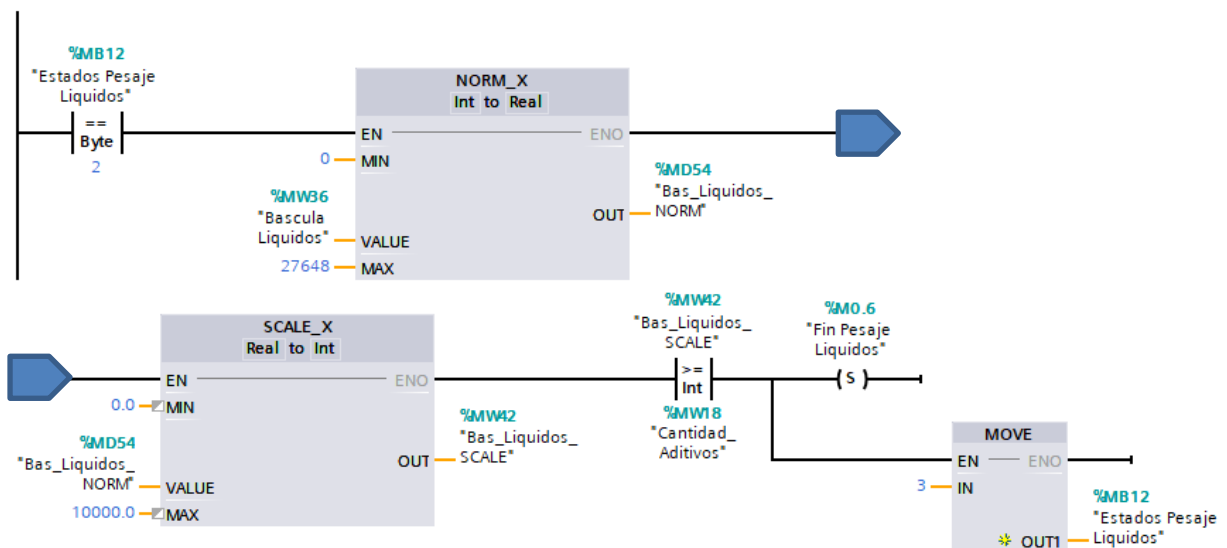
Segmento 18: Pesaje Agua

Realizamos el normalizado y escalado de la báscula para el pesaje del agua. Una vez alcanzado la cantidad fijada en la receta cerramos la válvula de agua para abrir la de los aditivos y continuar con el proceso.



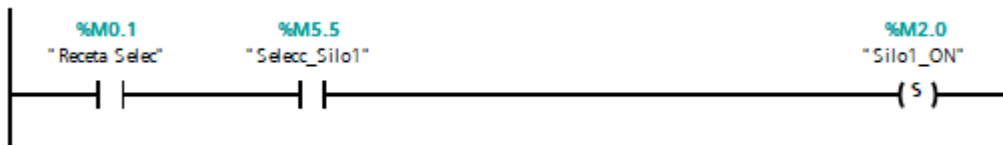
Segmento 19: Aditivos

Cuando la báscula contabiliza la cantidad total de agua más aditivos activamos el cierre de la válvula de aditivos y ponemos en estado de fin de pesaje de líquidos



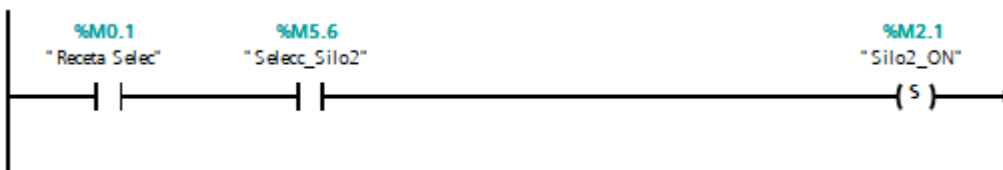
Segmento 20: Selección Silo 1

Para el pesaje del cemento debemos seleccionar uno de los tres silos para empezar con la descarga a la báscula correspondiente. En este caso activaremos el silo 1.



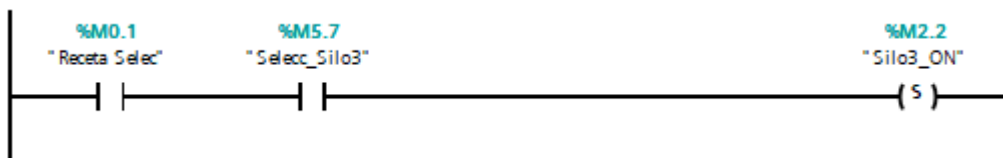
Segmento 21: Selección Silo 2

Activación del silo 2.



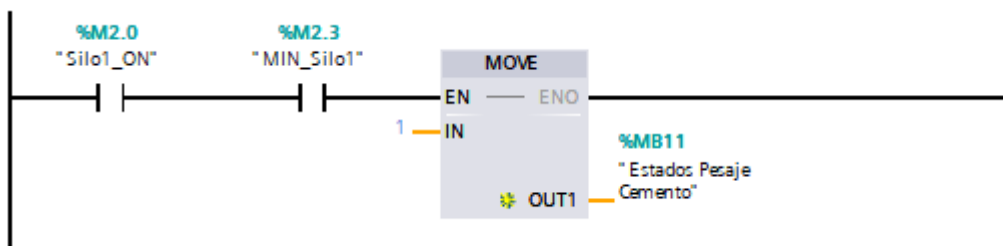
Segmento 22: Selección Silo 3

Activación del silo 3.



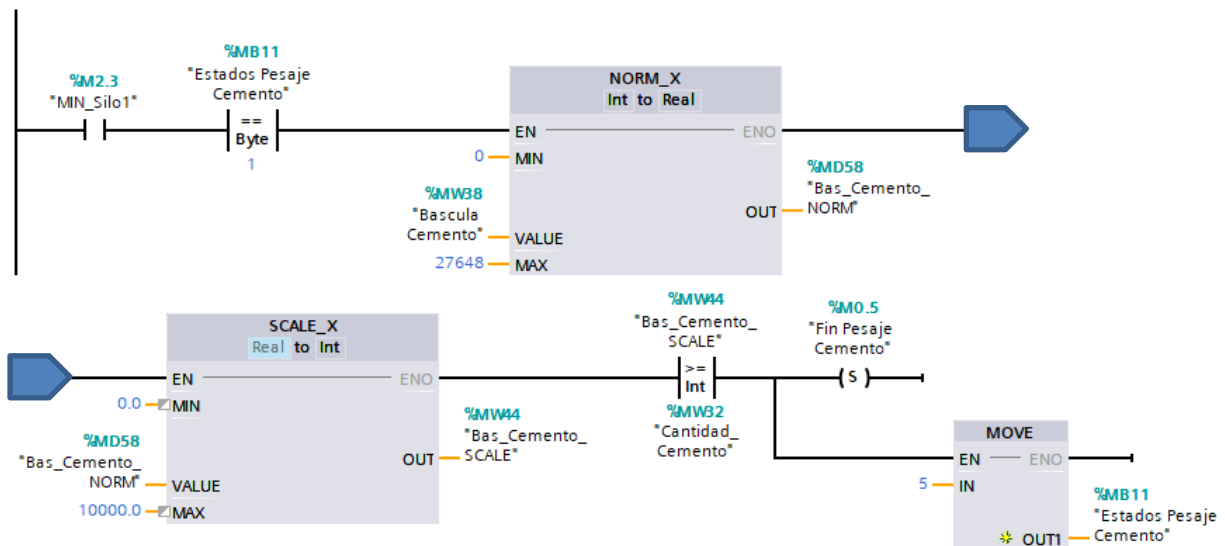
Segmento 23: Descarga del Silo 1

Si tenemos el silo 1 activado y el sensor de mínimo nivel está activado, con lo que tendremos material suficiente, activamos el estado de descarga del silo 1.



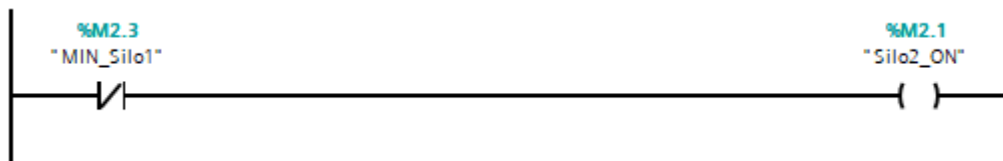
Segmento 24: Pesaje cemento silo 1

Realizamos el normalizado y escalado de la señal de la báscula para la descarga del silo 1 hasta alcanzar el valor prefijado por la receta, entonces activamos el fin de pesaje del cemento.



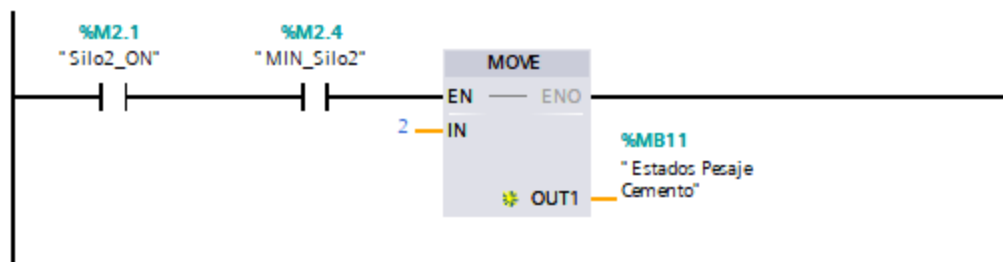
Segmento 25: Silo 1 vacío, cambio silo 2

Alcanzamos el nivel mínimo en el silo 1, automáticamente activaríamos la descarga del silo 2 para continuar con el proceso.



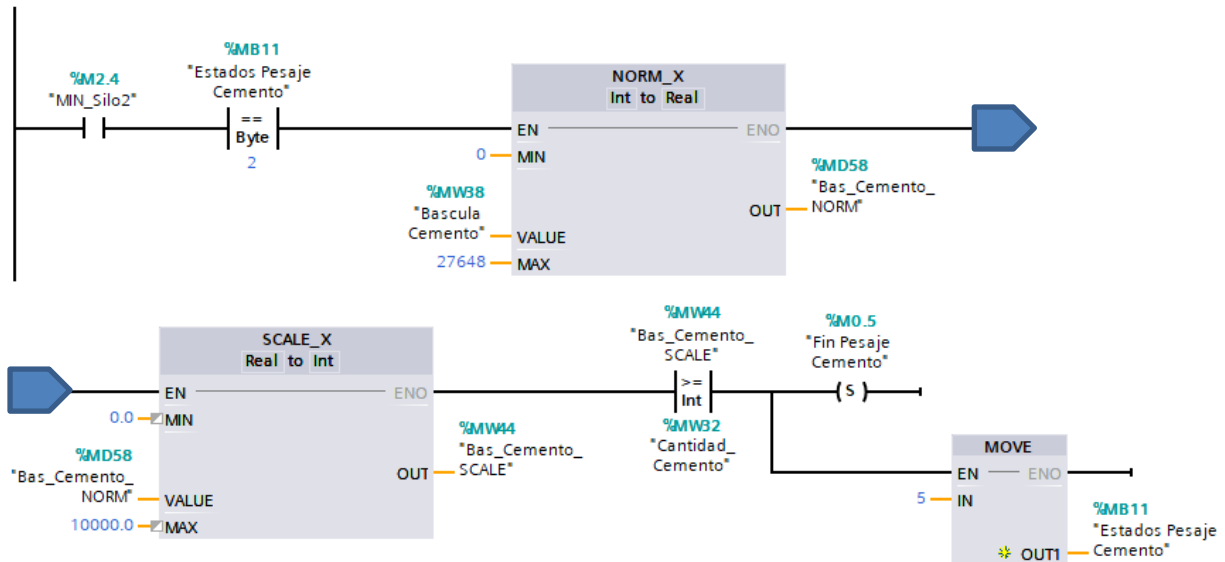
Segmento 26: Descarga silo 2

Tenemos el silo 2 activado y el sensor de mínimo nivel está activado, con lo que tendremos material suficiente, activamos el estado de descarga del silo 2.



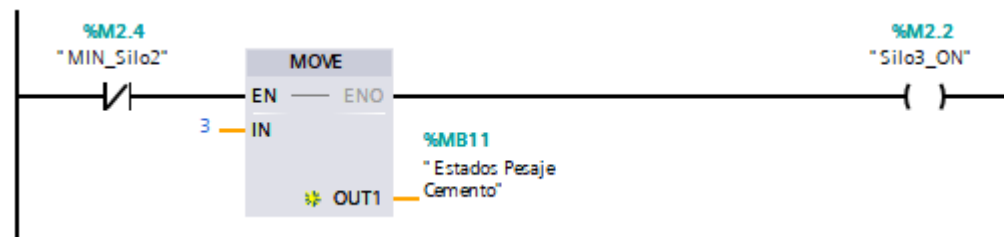
Segmento 27: Pesaje cemento silo 2

Normalizado y escalado de la señal de la báscula para la descarga del silo 2 hasta alcanzar el valor prefijado por la receta, entonces activamos el fin de pesaje del cemento.



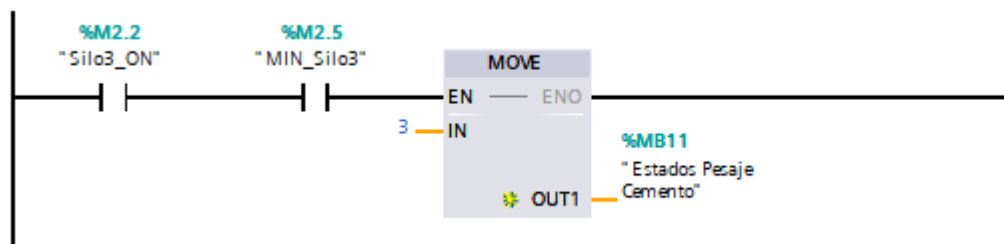
Segmento 28: Silo 2 vacío, cambio a silo 3

Activación del mínimo del silo 2, se activará automáticamente la descarga del tercer silo.



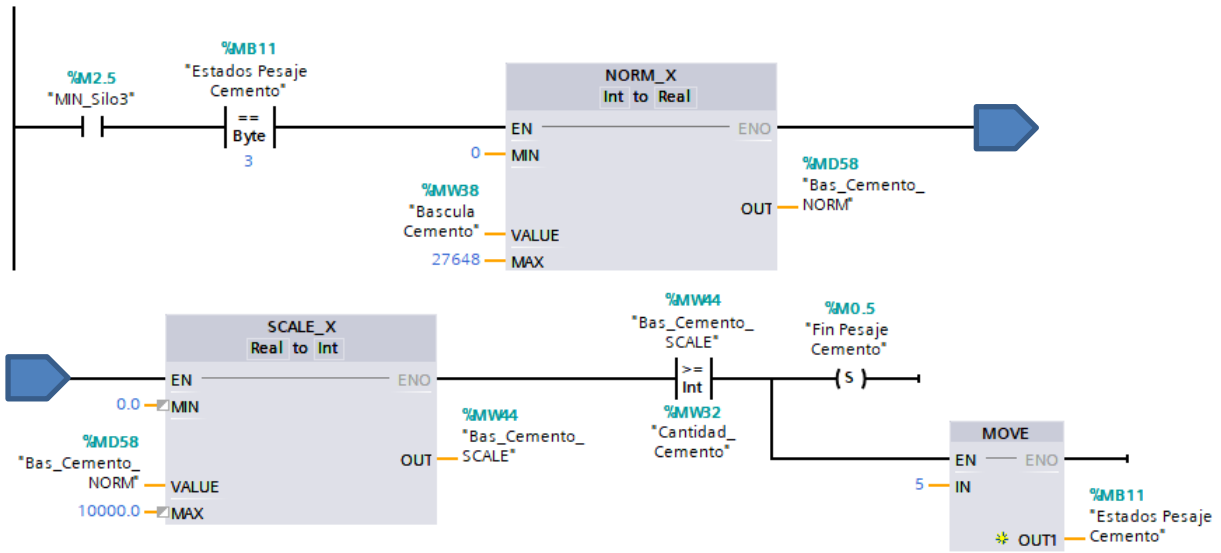
Segmento 29: Descarga silo 3

Tenemos el silo 3 activado y el sensor de mínimo nivel está activado, con lo que tendremos material suficiente, activamos el estado de descarga del silo 3.



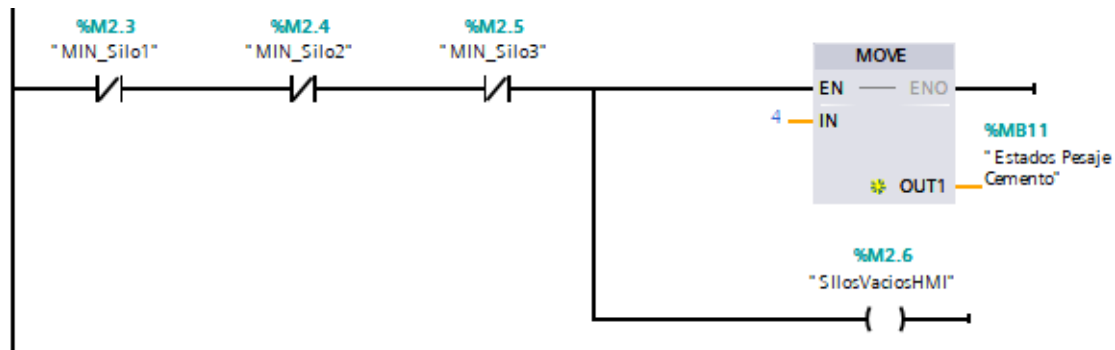
Segmento 30: Pesaje cemento silo 3

Realizamos el normalizado y escalado de la señal de la báscula para la descarga del silo 3 hasta alcanzar el valor prefijado por la receta, entonces activamos el fin de pesaje del cemento.



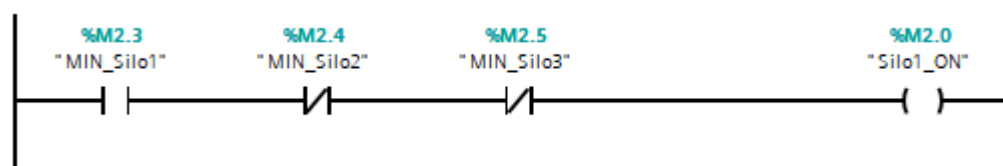
Segmento 31: Todos los silos vacios

Si durante el proceso se alcanzase el mínimo de los tres silos se activaría la marca correspondiente y se visualizaría en pantalla para realizar la carga de los mismos.



Segmento 32: Comprobación silo 1

Comprobación del estado del silo 1, si tiene material suficiente seguiríamos produciendo con este.



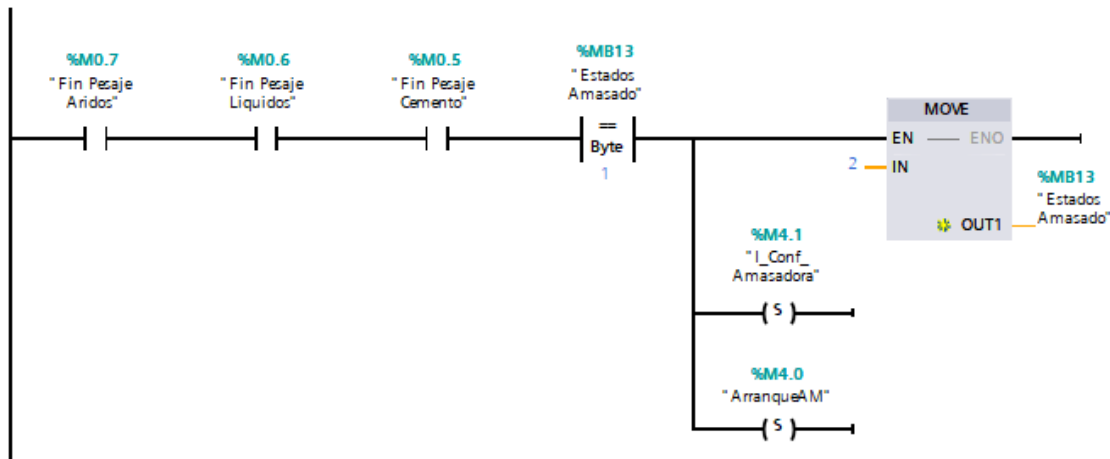
Segmento 33: Comprobación silo 2

Comprobación del estado del silo 2, si tiene material suficiente seguiríamos produciendo con este.



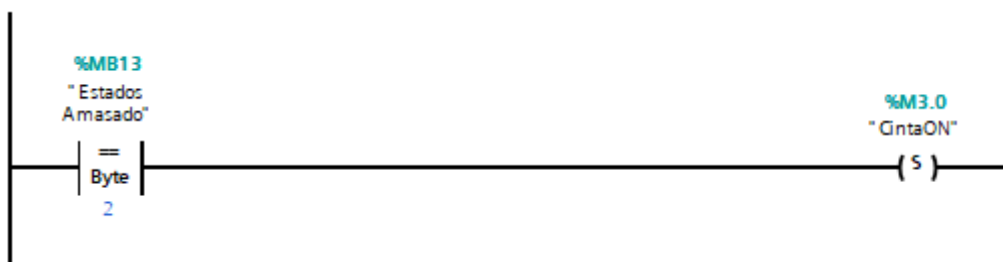
Segmento 34: Arranque AM

Cuando alcancemos el final de pesaje de todas nuestras materias primas y la amasadora este activa iniciaremos el proceso de amasado.



Segmento 35: Arranque cinta

Arranque de la cinta transportadora que transporta los áridos a la amasadora.



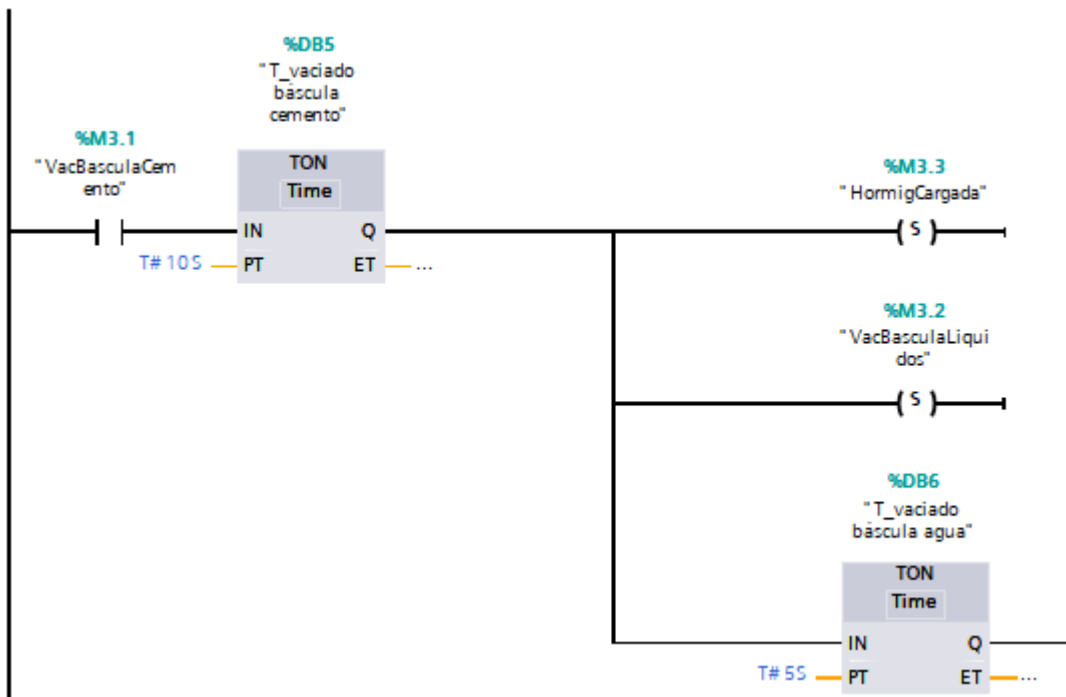
Segmento 36: Vaciado bascula cemento

Tras activar la cinta transportadora, activaremos un temporizador para dar tiempo a los áridos a llegar a la amasadora. Entonces descargaremos el cemento en la misma.



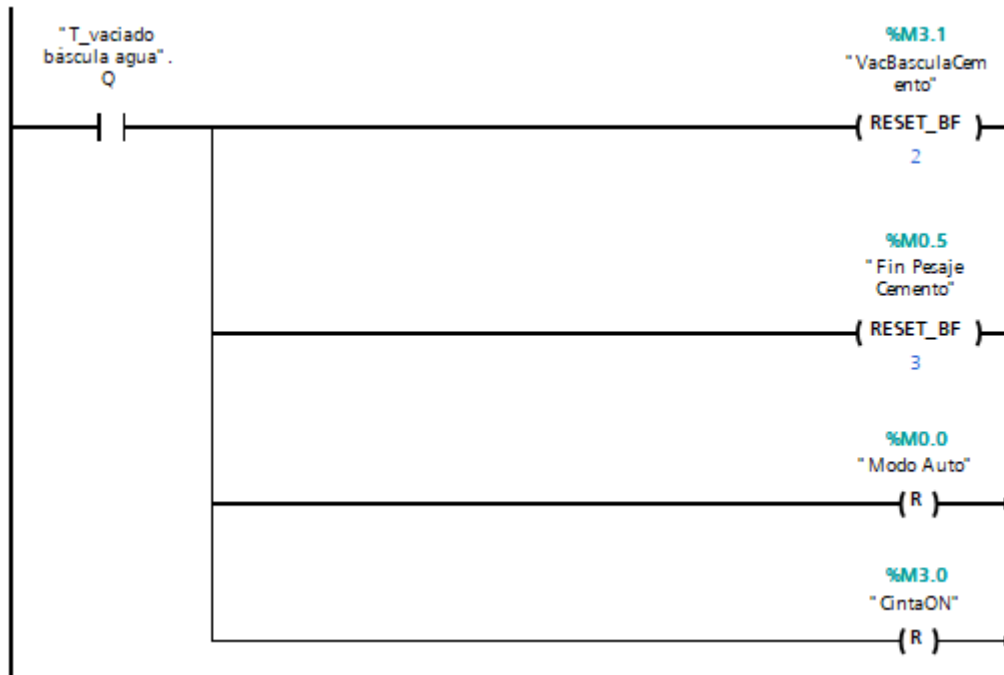
Segmento 37: Vaciado bascula agua

Activaremos un temporizador para homogeneizar las materias solidas durante diez segundos antes de descargar los líquidos.



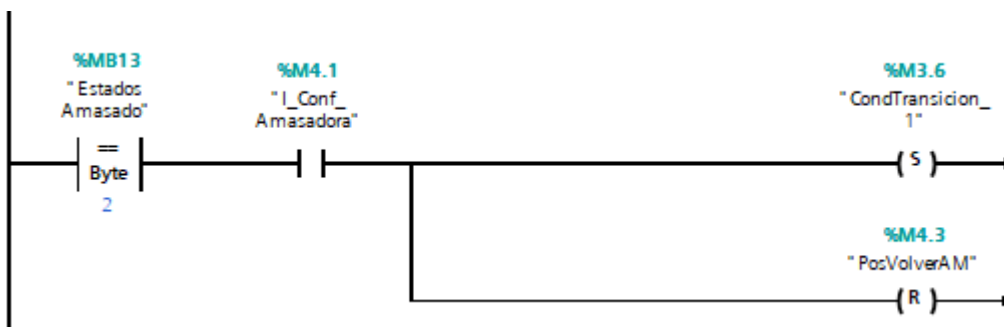
Segmento 38: Materias primas cargadas amasadora

Una vez se hayan introducido todas las materias primas en la amasadora resetearemos nuestra condición de descarga de las básculas, la condición de fin de pesaje, el modo automático y la cinta transportadora. Para que una vez finalizado el ciclo tengamos el proceso en condiciones iniciales para repetir el proceso.



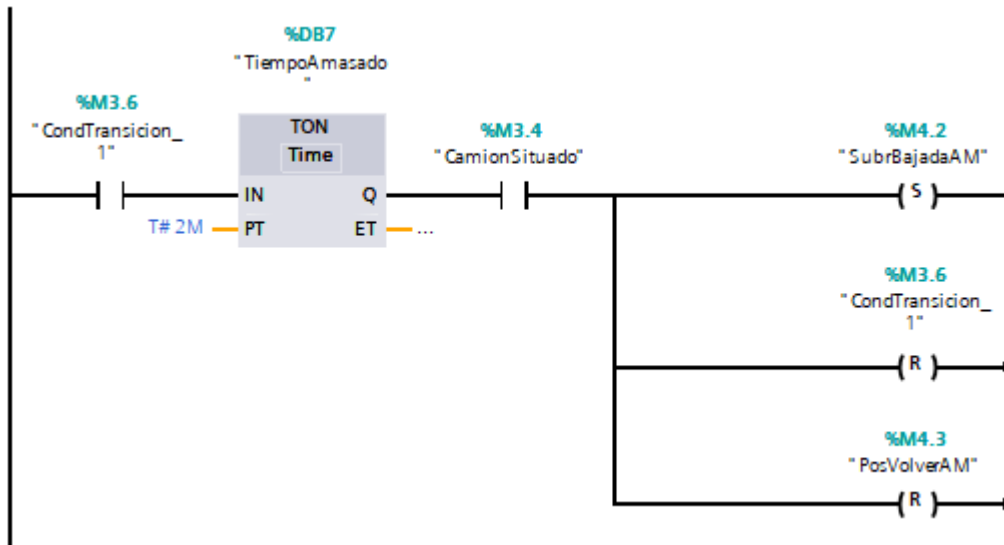
Segmento 39: AM cargada inicio amasado

Con la amasadora activada y todas las materias cargadas en la misma comienza el proceso de homogeneización del hormigón. Siempre que el interruptor de confirmación este activado.



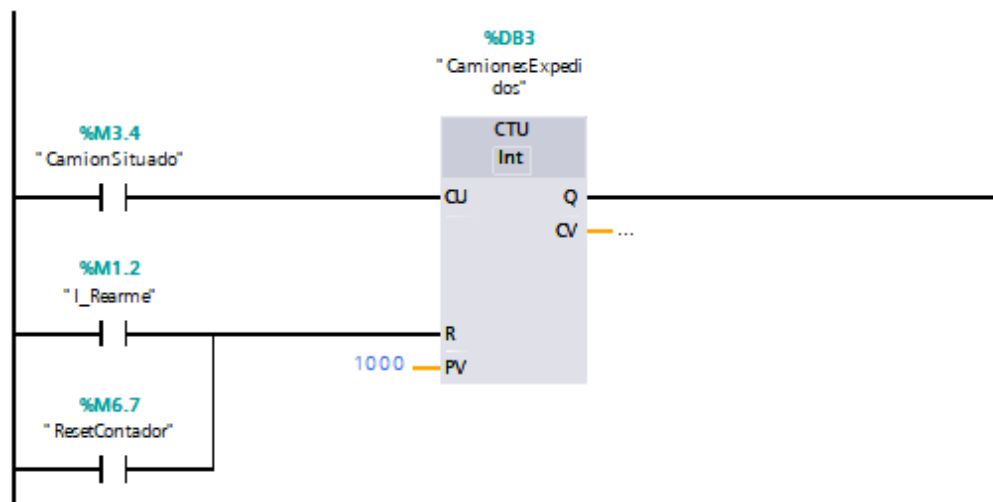
Segmento 40: Temporización amasado AM

Contabilizamos un tiempo de dos minutos de amasado, tras los que si el camión sigue situado descargaremos activando la subrutina de bajada de amasadora.



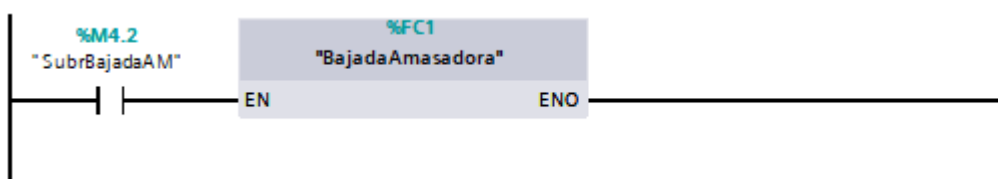
Segmento 41: CONTADOR DE CAMIONES

En este segmento contabilizamos el total de camiones expedidos para llevar un mejor control de la producción y mostrar el dato en pantalla.



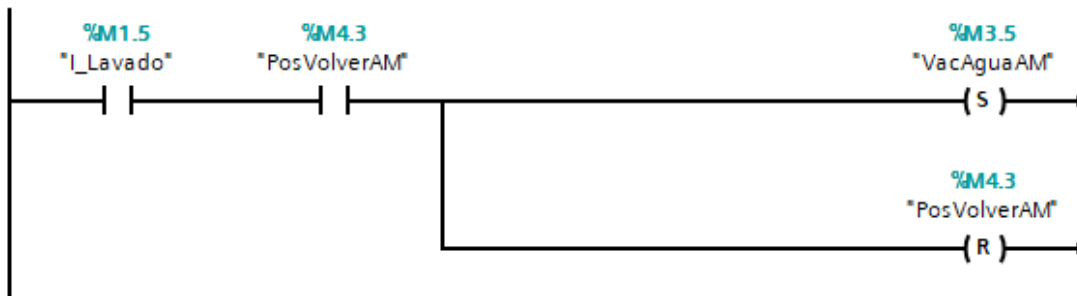
Segmento 42: Bajada AM

Activación de la subrutina de bajada de la amasadora.



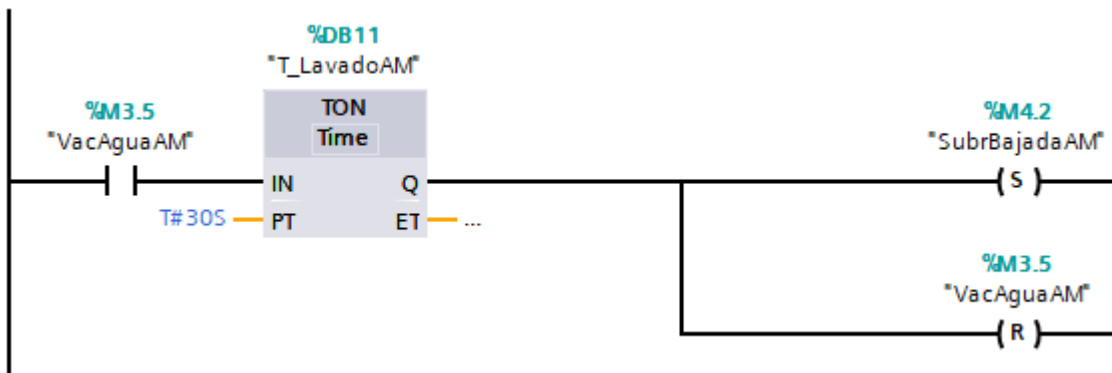
Segmento 43: Lavado amasadoras

Activación del lavado de las amasadoras por medio del interruptor correspondiente. Cuando la amasadora se encuentra en posición de volver a amasar.



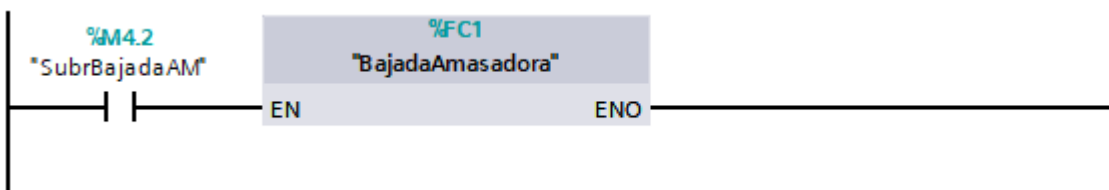
Segmento 44: Tiempo de lavado

Temporización para el correcto lavado de la amasadora. Tras finalizar se activará la bajada de la amasadora.



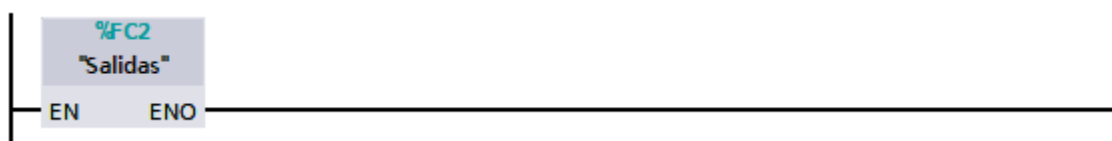
Segmento 45: Llamada subrutina bajada amasadoras

Llamada de la subrutina de bajada de la amasadora



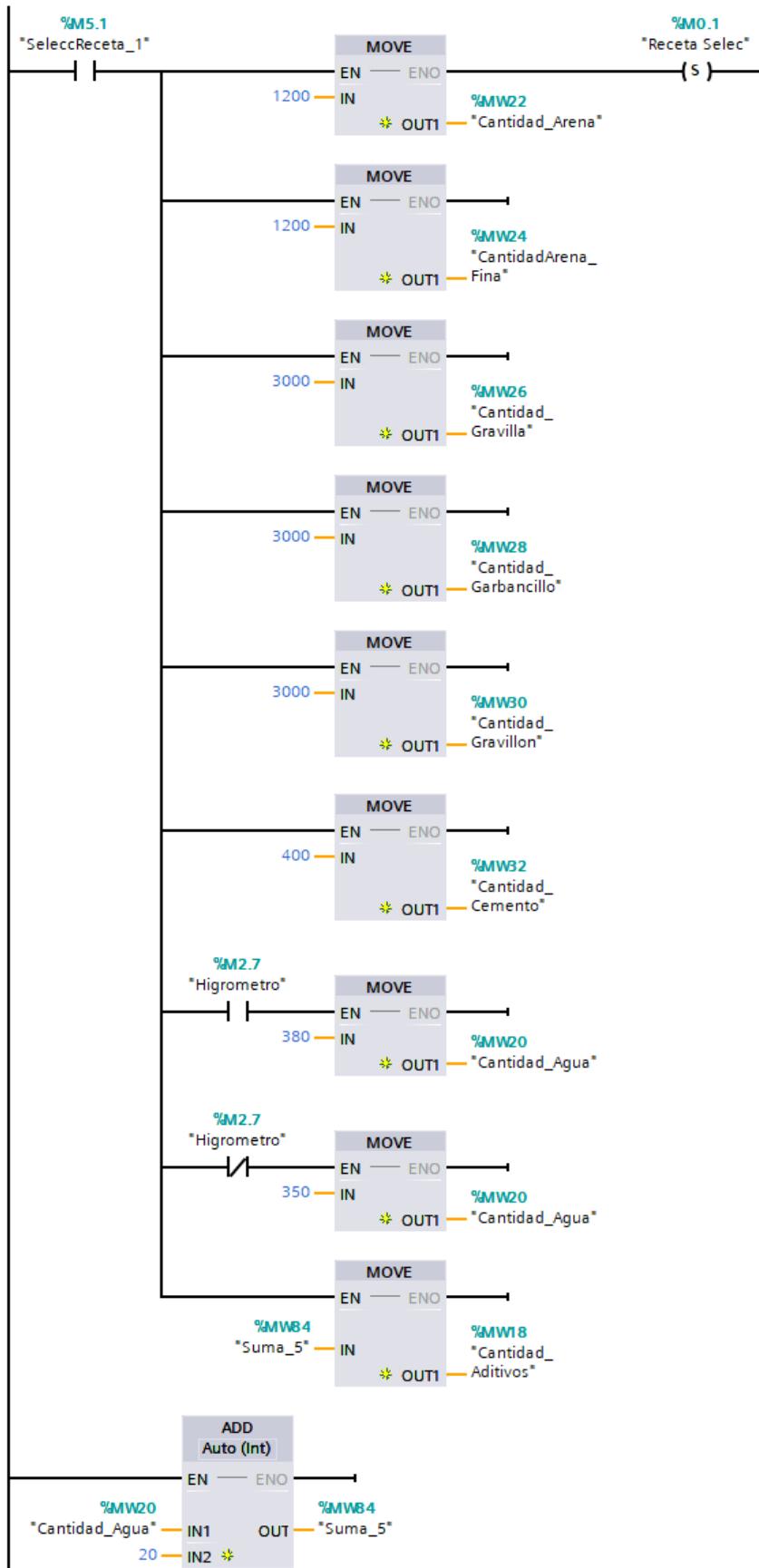
Segmento 46: Llamada a función de activación de salidas

Llamada de la función donde activamos las bobinas de todas nuestras válvulas de proceso.



6.2.2 Selección de recetas

Segmento 1: Selección receta 1

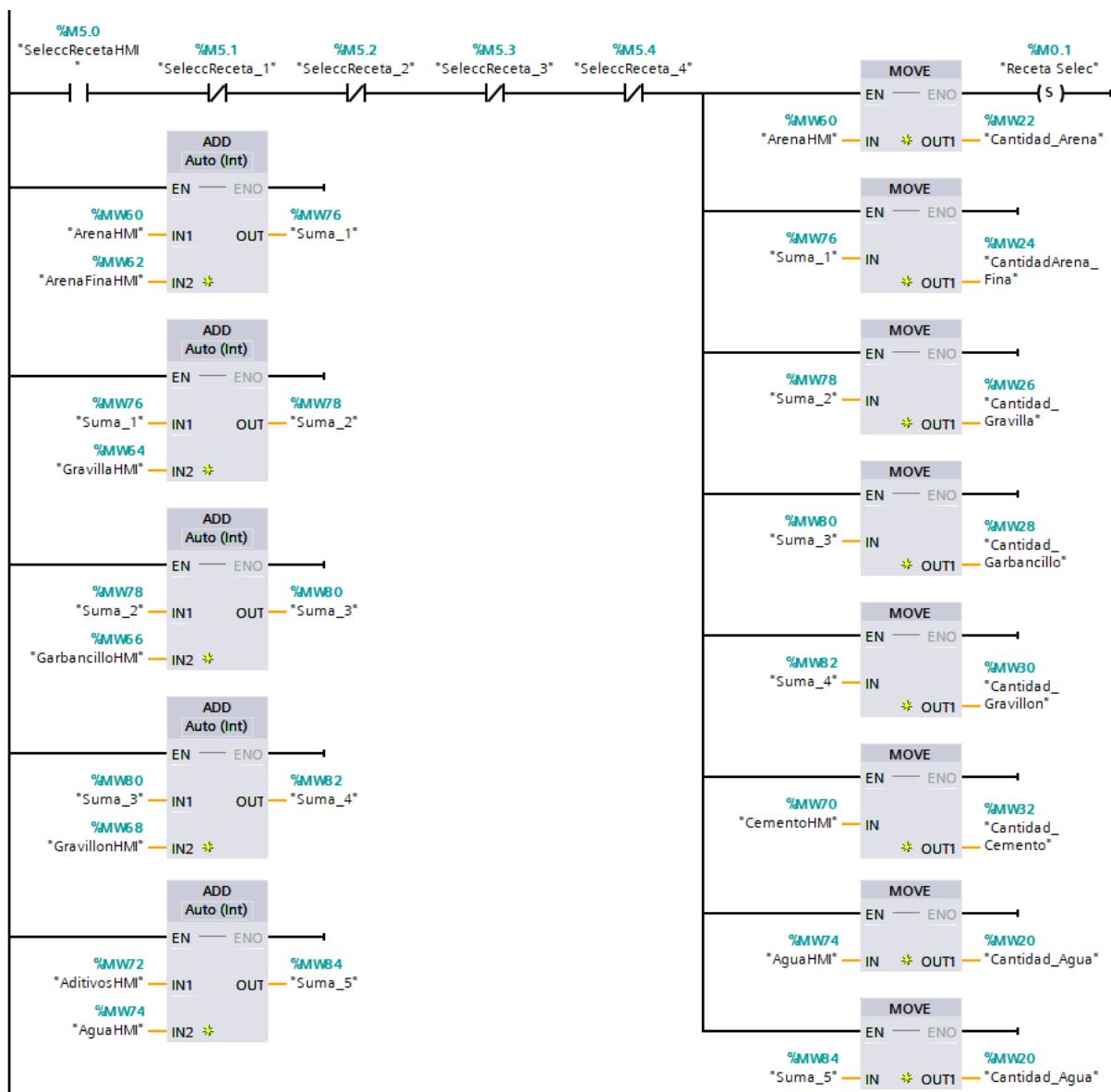


En el segmento anterior se muestra la asignación de los datos de la receta para cada variable de las materias primas, por medio de la herramienta MOVE. Como se explicó, anteriormente, el tratamiento de las básculas trata el proceso de pesaje de áridos y líquidos de forma acumulativa.

El uso de bloque ADD suma el valor guardado en la cantidad de agua y el valor de los aditivos que deseamos para usar ese valor en la variable de cantidad de aditivos. Esto es necesario debido a la existencia de un higrómetro que nos permite regular la cantidad de agua dependiendo de la humedad ambiente. Distinguiendo entre clima húmedo y seco.

Los segmentos 2, 3 y 4 no tienen mayor interés ya que se tratan de una copia del segmento 1 en los que únicamente varían las cantidades de la receta.

Segmento 5: Selección manual de receta desde HMI



Para introducir una nueva receta desde las pantallas de control, es necesario la creación de variables transitorias que nos permiten tratar la totalidad de áridos como una secuencia de sumas acumulativas.

Como se observa, los bloques ADD suman las cantidades de arena y arena fina introducidas desde la pantalla para asignar ese valor en la variable de proceso que se compara con el de la báscula. Al valor de la primera suma se le añade la cantidad de gravilla introducida en pantalla por el operador y le asignamos a la variable de proceso que se tratará en las básculas. La secuencia es la misma para el resto de los áridos.

En cuanto a los líquidos realizaremos lo mismo que en segmento 1. Sin embargo, con el cemento al no interactuar con otras materias primas no es necesario realizar este proceso.

6.2.3 Bajada de amasadoras

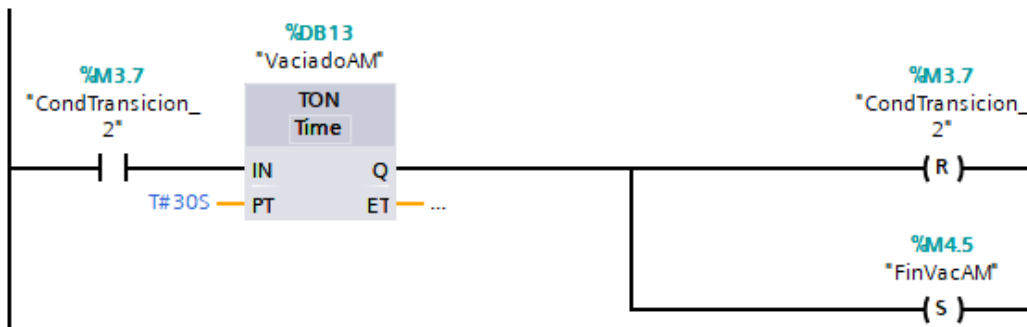
Segmento 1: Inicio bajada de la amasadora

Iniciamos la bajada de la amasadora activando la condición de transición dos.



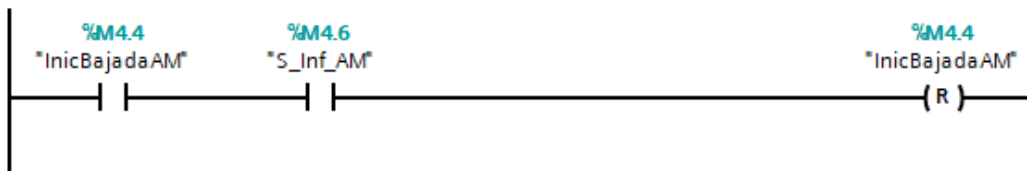
Segmento 2: Tiempo de descarga de amasadora

Esperamos el tiempo necesario para que la amasadora se descargue completamente y activamos el final del vaciado de la amasadora.



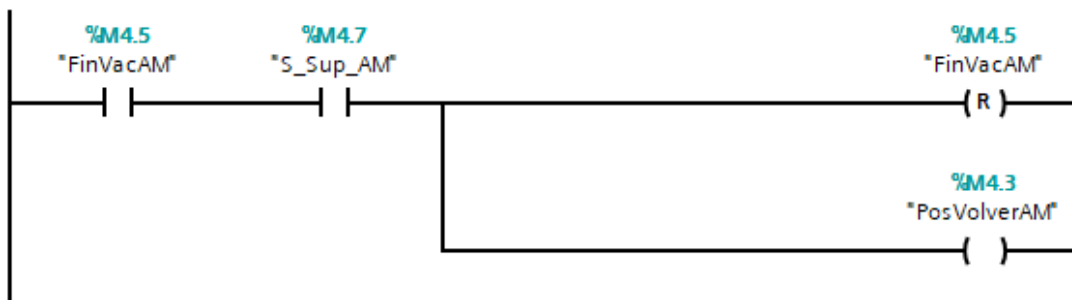
Segmento 3: Amasadora en posición de descarga

Detectamos por medio de un sensor inductivo la posición de descarga de la amasadora.



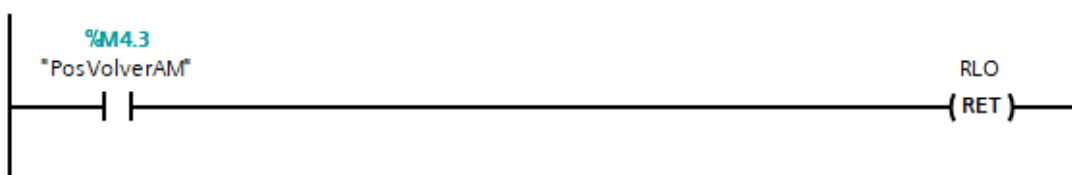
Segmento 4: Amasadora en posición de volver a amasar

Detectamos la amasadora en posición inicial para realizar un nuevo ciclo.



Segmento 5: Retorno de la subrutina al programa principal

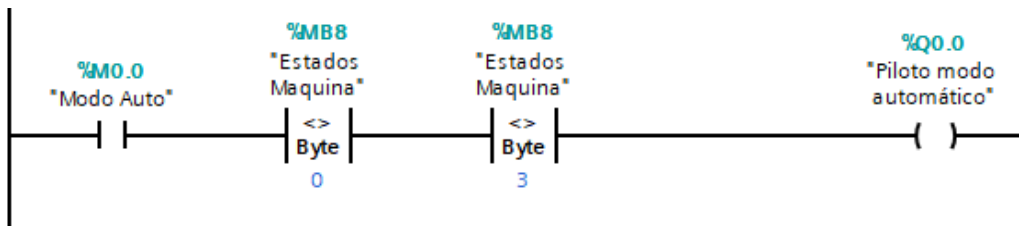
Activamos la función retorno de la subrutina para volver al programa principal.



6.2.4 Salidas

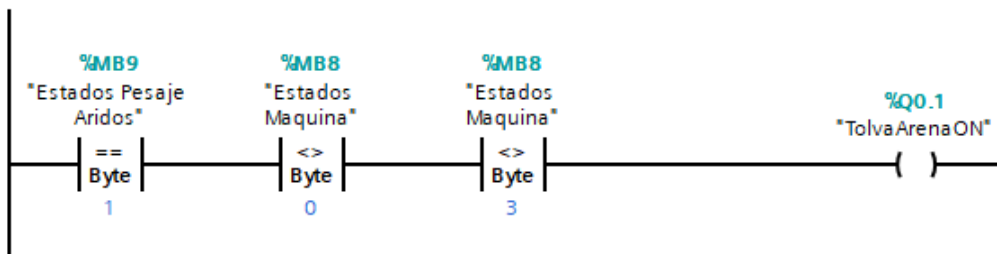
Segmento 1: Piloto visual de estado proceso

Activación de piloto que nos indica la entrada en modo automático.



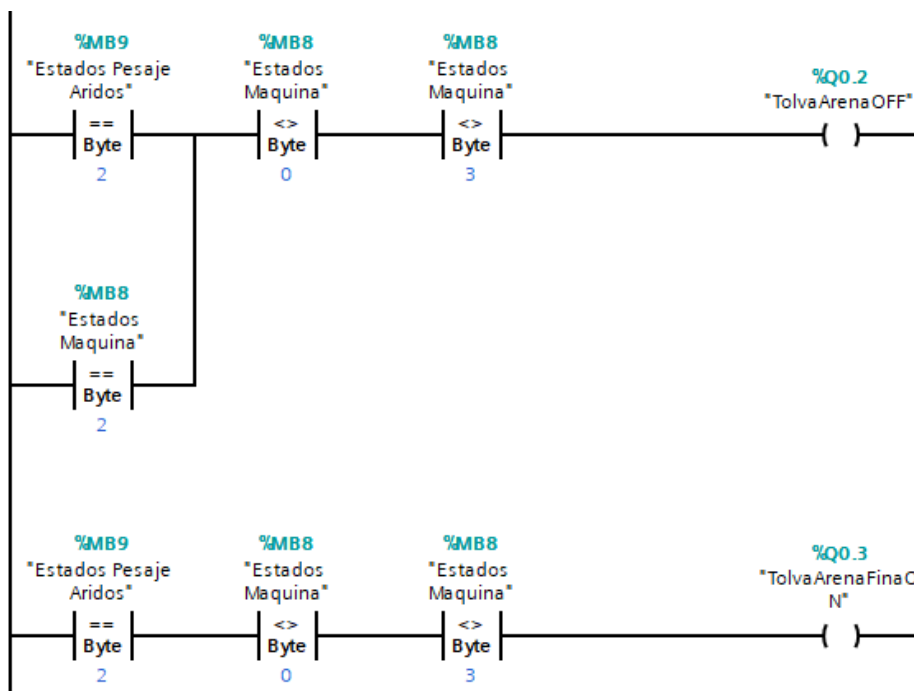
Segmento 2: Activar bobina para descarga arena

Activación de la descarga de la tolva de arena, siempre que el proceso no se encuentre en estado de paro o de parada de emergencia.



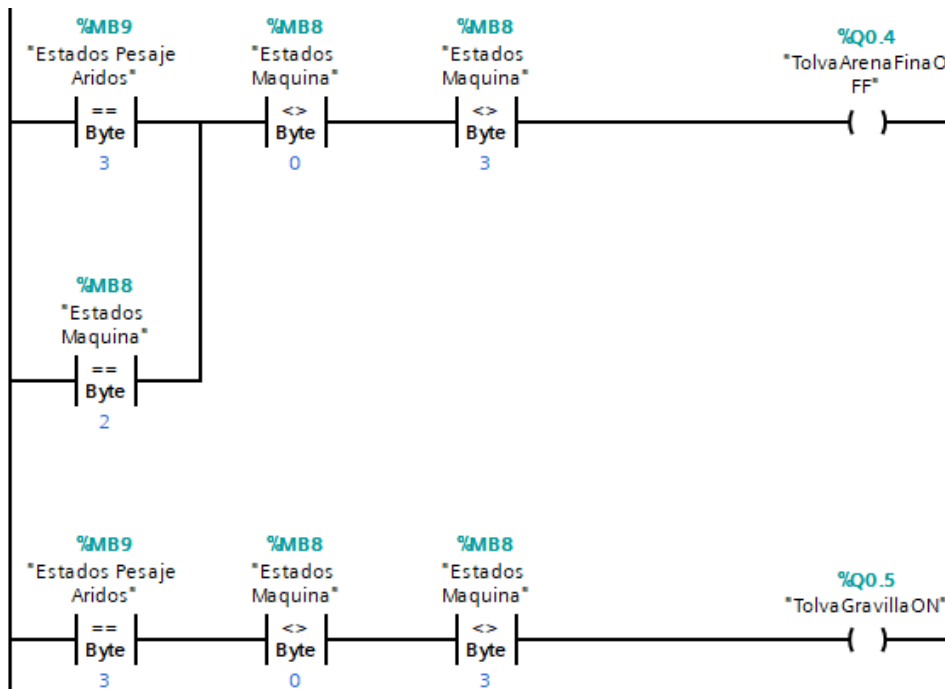
Segmento 3: Activar bobina para descarga arena fina

Activamos el cierre de la tolva de arena a la vez que activamos la apertura de la tolva de arena fina, en caso de rearmar el proceso activariamos el cierre de la tolva de arena.



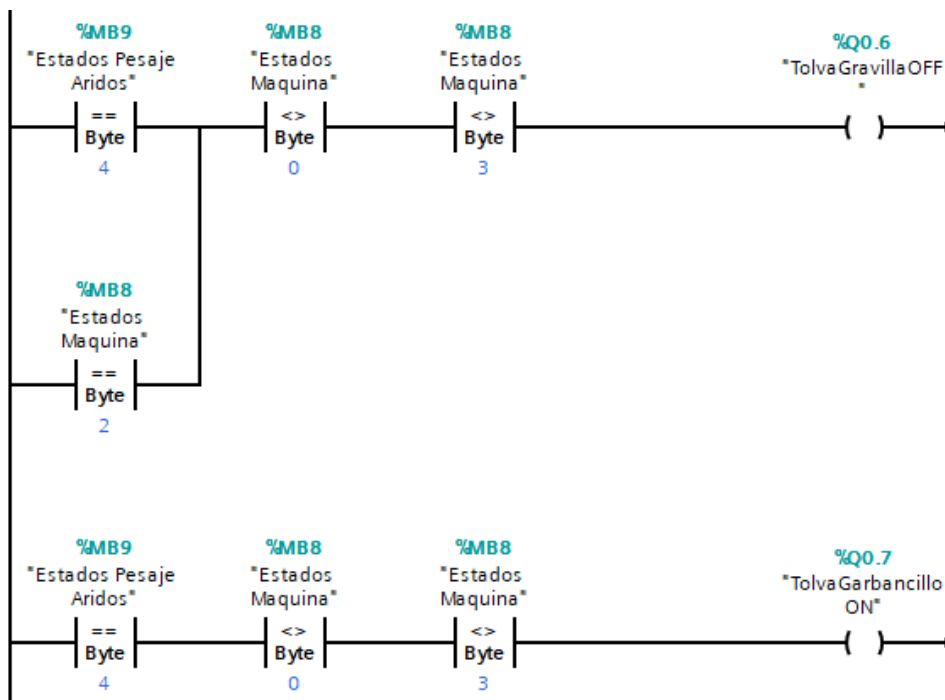
Segmento 4: Activar bobina para descarga gravilla

Activamos el cierre de la tolva de arena fina a la vez que activamos la apertura de la tolva de gravilla, en caso de rearmar el proceso activaríamos el cierre de la tolva de arena fina.



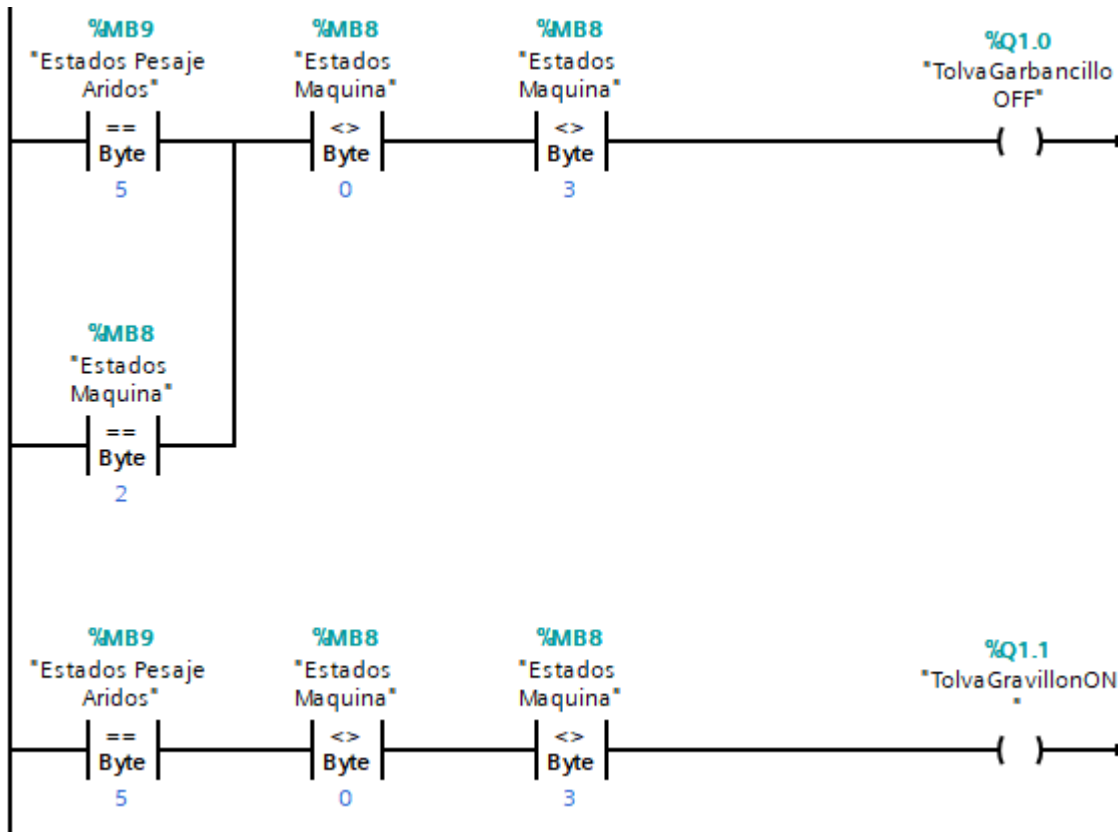
Segmento 5: Activar bobina para descarga garbancillo

Activamos el cierre de la tolva de gravilla a la vez que activamos la apertura de la tolva de garbancillo, en caso de rearmar el proceso activaríamos el cierre de la tolva de gravilla.



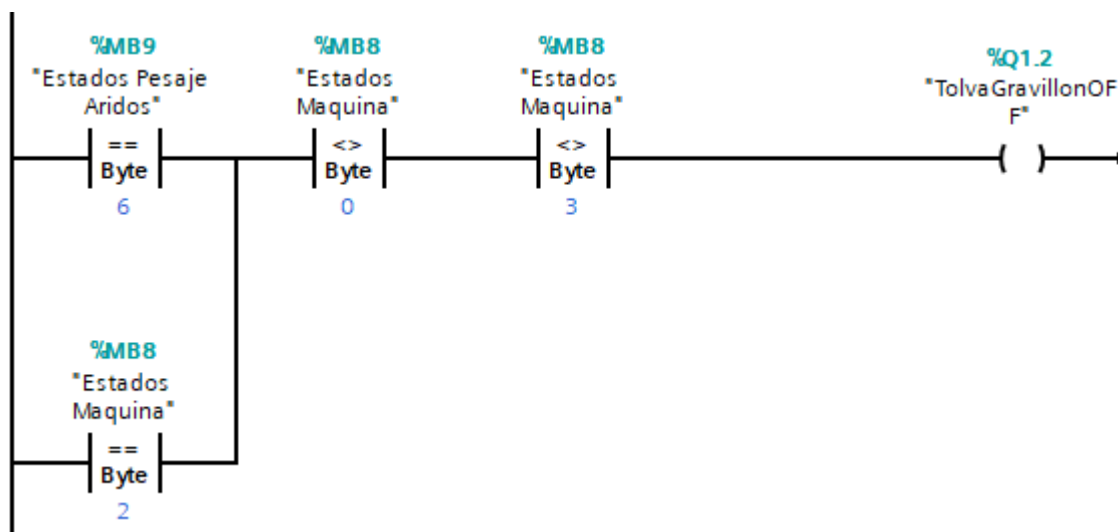
Segmento 6: Activar bobina para descarga gravillón

Activamos el cierre de la tolva de garbancillo a la vez que activamos la apertura de la tolva de gravillón, en caso de rearmar el proceso activaríamos el cierre de la tolva de garbancillo.



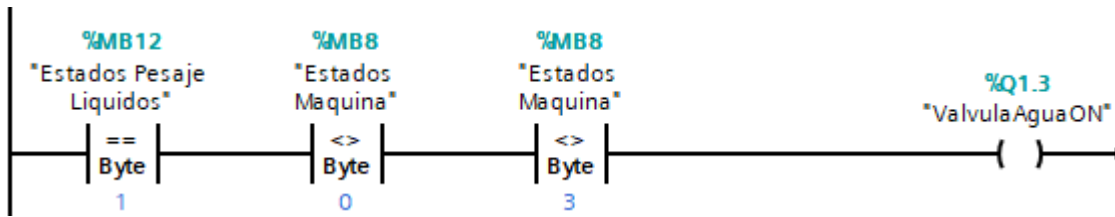
Segmento 7: Cierre tolva gravillón

Cerramos la tolva de gravillón para concluir con el pesaje de los áridos, en caso de rearmar la maquina también se activaría el cierre de la tolva de gravillón.



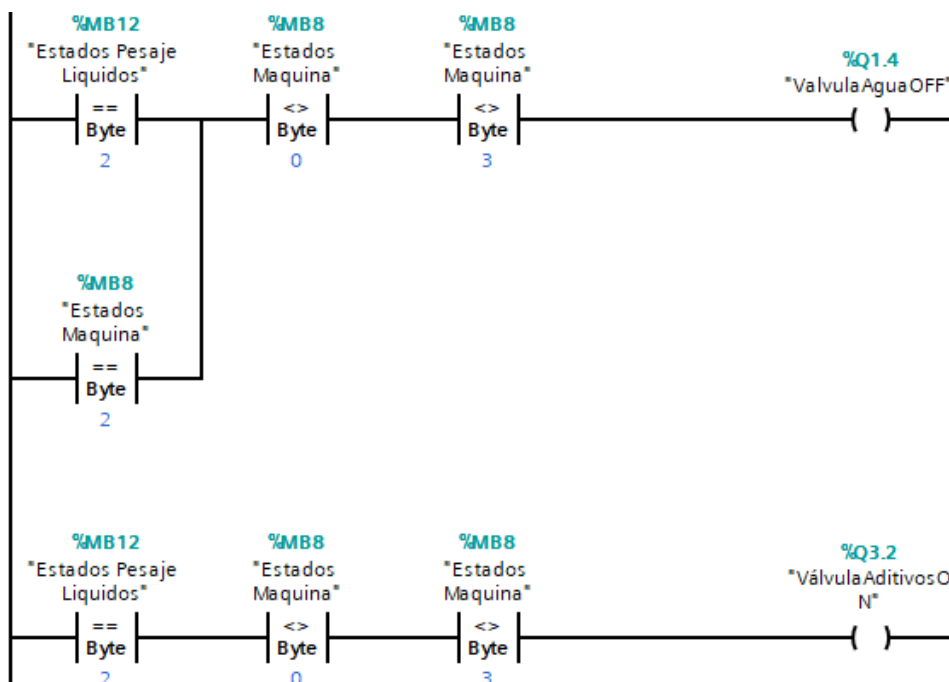
Segmento 8: Activar bobina para descarga agua

El pesaje de los líquidos comienza con el agua, abriendo la válvula correspondiente.



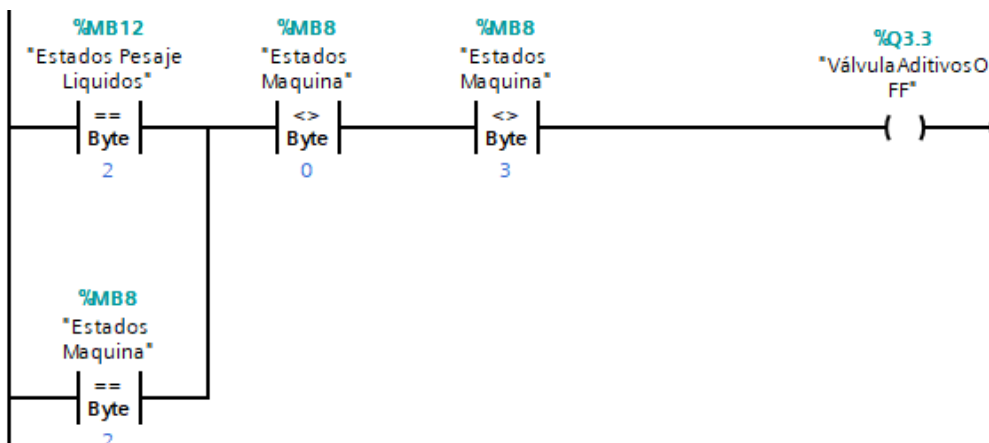
Segmento 9: Activar bobina para fin descarga agua

Activamos el cierre de la válvula de agua a la vez que activamos la descarga de los aditivos, en caso de rearmar el proceso se activaría el cierre de la válvula de agua.



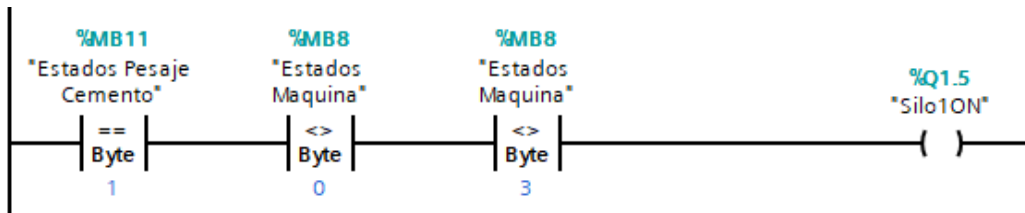
Segmento 10: Cierre válvula de aditivos

El cierre de la válvula de aditivos se activa al concluir con el pesaje de los líquidos o al pulsar el botón de rearme.



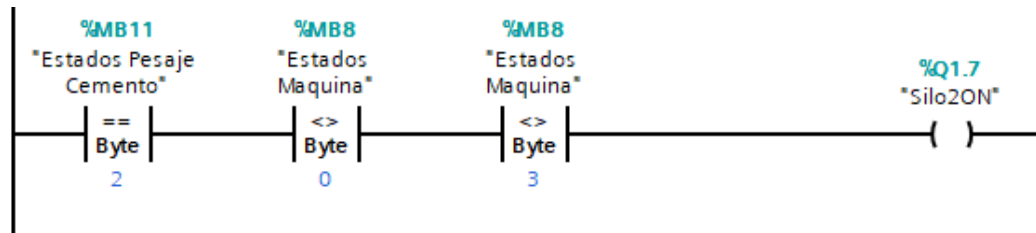
Segmento 11: Descarga silo 1

Con el silo 1 seleccionado activamos la válvula que nos abre la descarga del mismo.



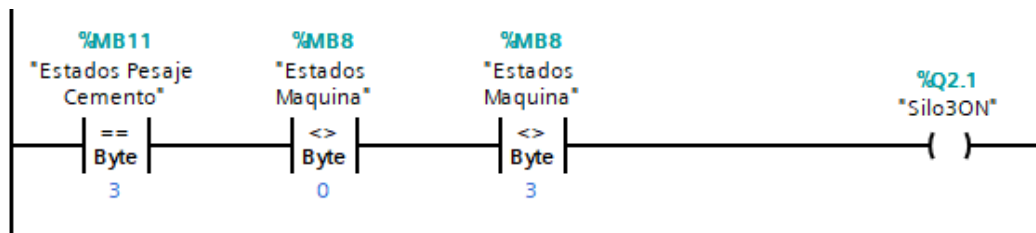
Segmento 12: Descarga del silo 2

Con el silo 2 seleccionado activamos la válvula que nos abre la descarga del mismo.



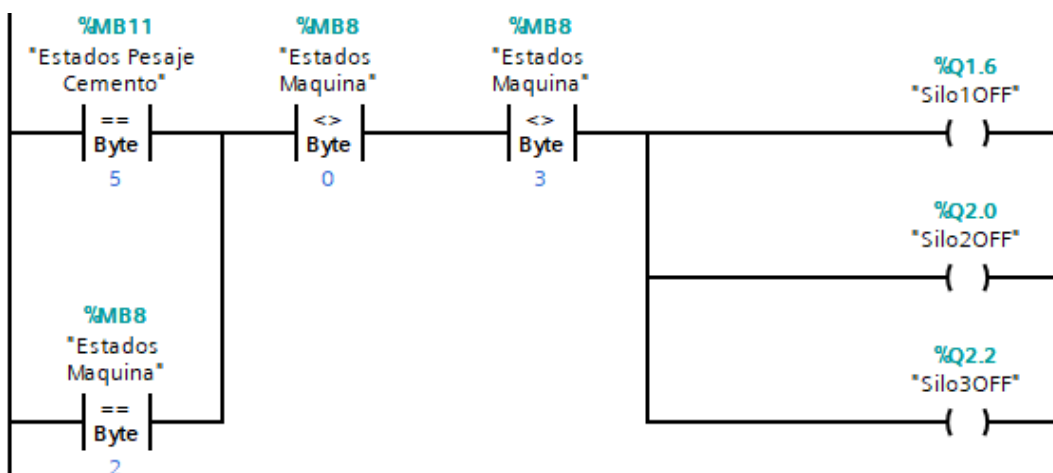
Segmento 13: Descarga del silo 3

Con el silo 3 seleccionado activamos la válvula que nos abre la descarga del mismo.



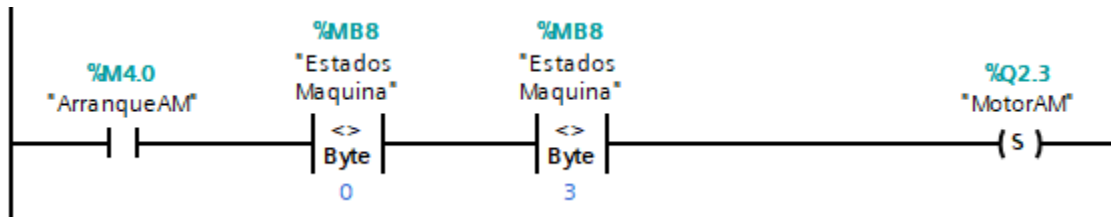
Segmento 14: Cierre silos cemento

Finalizado el pesaje de cemento o cuando pulsemos el botón de rearme se activará el cierre de todos los silos de cemento.



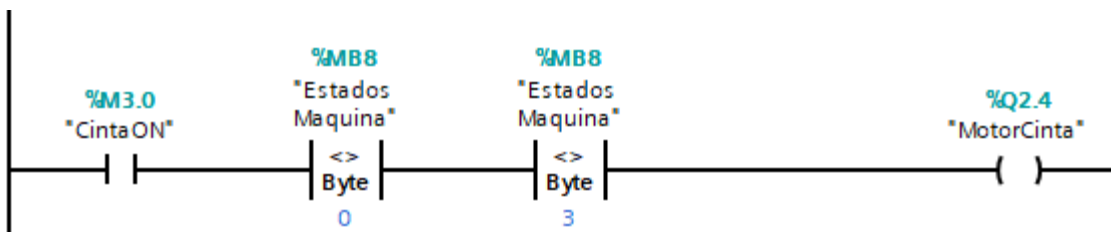
Segmento 15: Arranque motor amasadora

Arranque del motor de la amasadora siempre y cuando el proceso no esté en estado de paro o parada de emergencia.



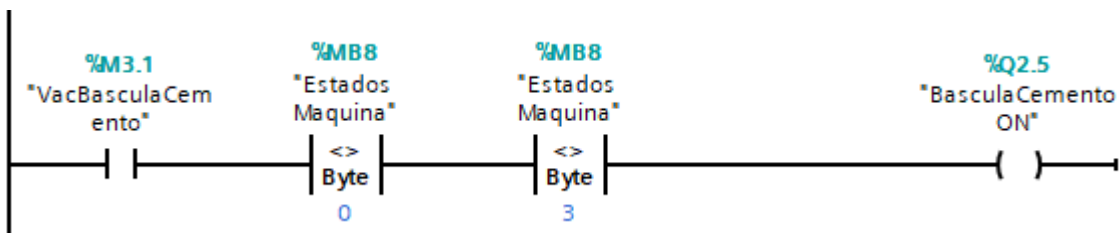
Segmento 16: Activación cinta transportadora

Activación del motor de la cinta siempre y cuando el proceso no esté en estado de paro o parada de emergencia.



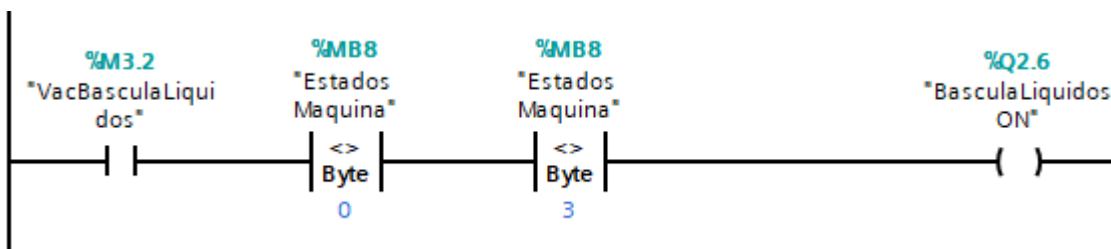
Segmento 17: Vaciado báscula cemento

Activación de la válvula que actúa sobre la descarga de la báscula de cemento. Siempre que el estado del proceso no esté en paro o parada de emergencia.



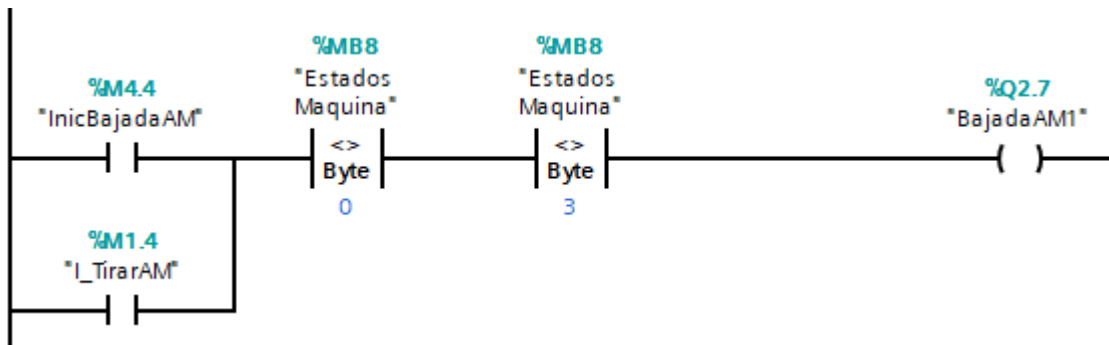
Segmento 18: Vaciado báscula líquido

Activación de la válvula que actúa sobre la descarga de la báscula de líquidos. Siempre que el estado del proceso no esté en paro o parada de emergencia.



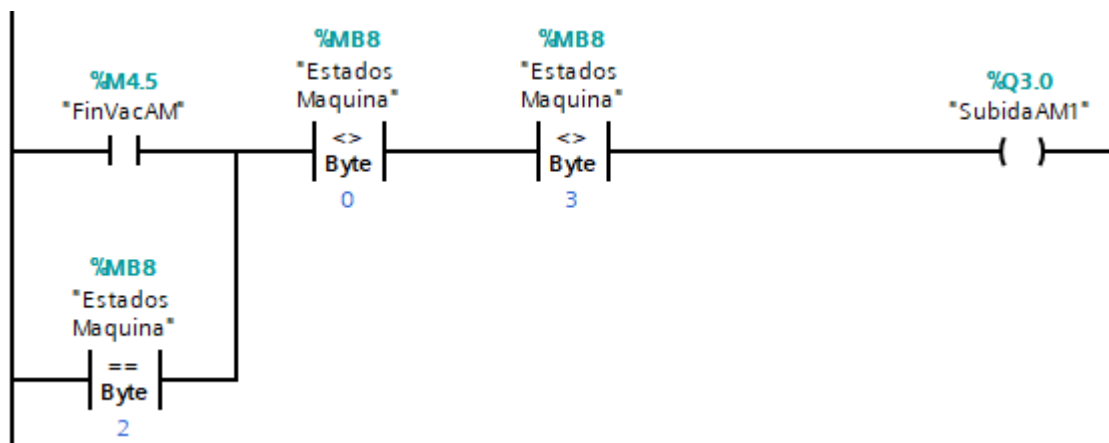
Segmento 19: Bajada AM

La activación de la bajada de la amasadora se realiza al acabar el ciclo de producción o en el momento en el que el operador pulse el interruptor destinado a tal fin.



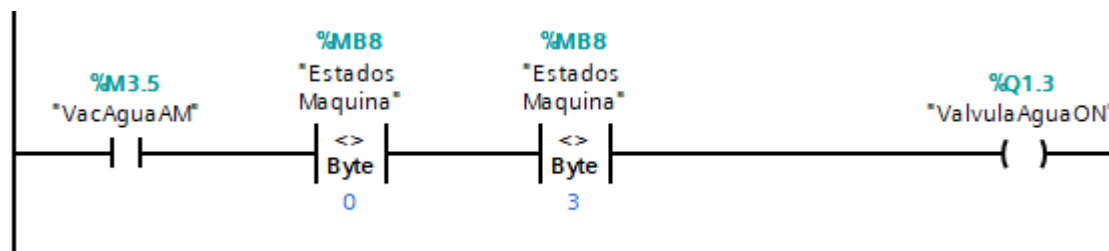
Segmento 20: Subida AM

La subida de la amasadora a posición inicial se activa al finalizar la descarga de la amasadora en el camión o al pulsar el botón de rearme. Siempre que el proceso no esté en estado de paro o parada de emergencia.



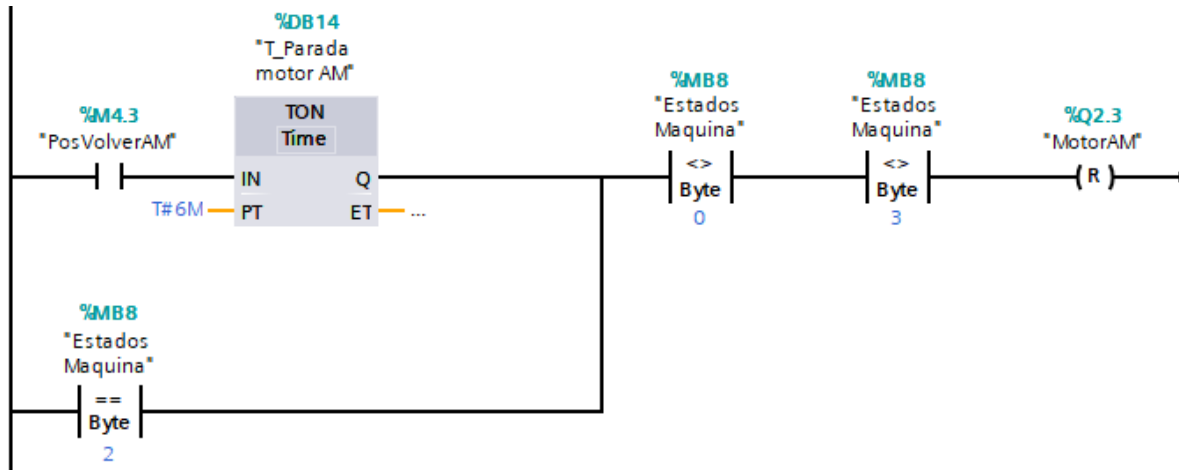
Segmento 21: Activar chorro agua limpieza

Al pulsar el botón de lavado de la amasadora se activa la descarga de agua a la misma. Siempre que el proceso no se encuentre en estado de paro o parada de emergencia.



Segmento 22: Tiempo maximo para parada motor

Una vez concluido el proceso productivo, se temporizará un tiempo de 6 minutos tras el cual si no hay nueva orden de producción se parará la amasadora. De igual modo si el operador activa el botón de rearme se parará el motor de la amasadora.



6.3 Diseño del sistema de monitorización

Una de las partes más importante de este trabajo es el desarrollo del sistema de monitorización y supervisión del proceso. En este apartado se muestran las diferentes pantallas con las que se pretende dar mayor información al operador sobre el proceso productivo y mayor seguridad a la hora de controlarlo.

6.3.1 Pantallas de control y supervisión

Nuestro sistema estará formado por las siguientes imágenes de control y visualización:

1. Pantalla de control:

Esta es nuestra pantalla principal de inicio, donde tendremos la mayor parte de la información del proceso en forma de campos de entradas y salidas simbólicos que nos permitirán visualizar el estado del pesaje de nuestras materias primas, el estado del proceso y el estado de nuestra amasadora.

Tendremos el control sobre el proceso con los pulsadores de marcha (verde), paro (rojo) y rearme (azul). También sobre la seta de emergencia la cual activará nuestra parada de emergencia en casos en los que la seguridad del proceso o la de los operadores pueda verse afectada. También dispondremos de un selector de modo automático, se trata de una confirmación por parte del operador para empezar con el proceso productivo. Se incluye un botón para activar el lavado de la amasadora a petición del operador.

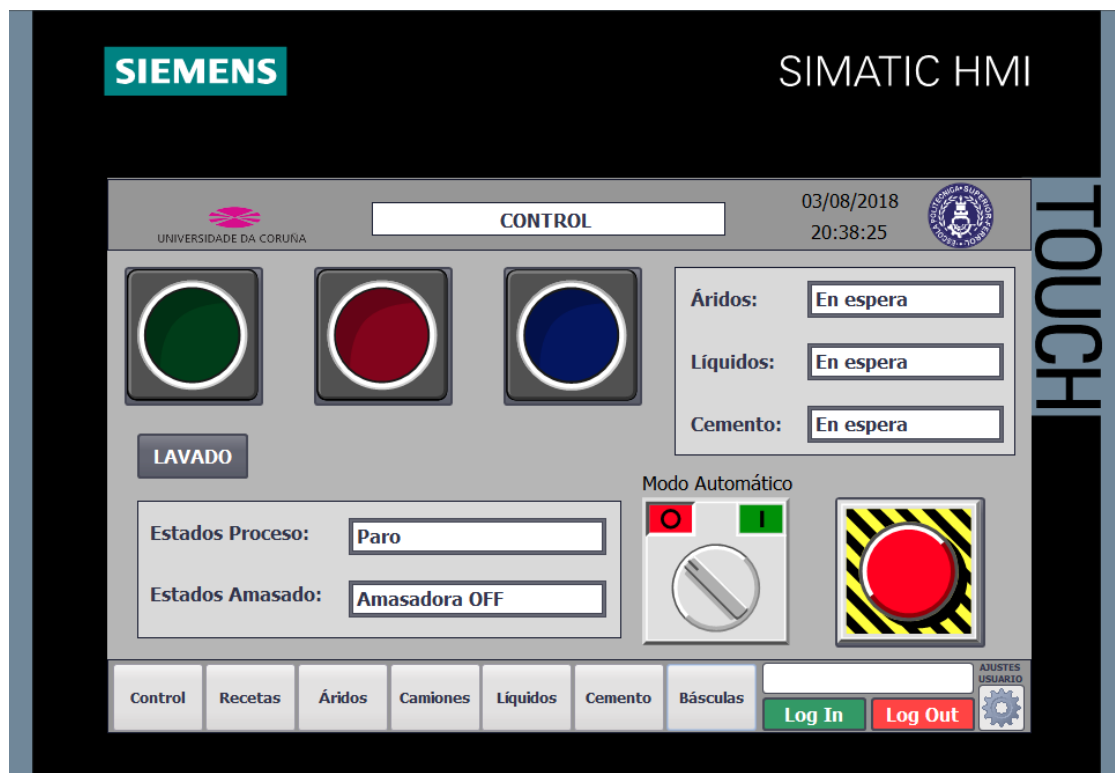


Figura 13- Pantalla principal de mando y control de proceso.

2. Pantalla de recetas:

En la pantalla siguiente el operador podrá seleccionar entre las cuatro recetas pre-configuradas a petición del cliente y fácilmente modificables desde el programa de control. Por si esto no fuese suficiente y en algún momento se diese la situación de querer introducir una nueva receta desde la pantalla, pulsaremos el botón de selección manual para desplegar una ventana emergente desde la que podremos introducir las cantidades exactas en kilogramos de cada una de nuestras materias primas. De esta forma podremos realizar cualquier receta con estas materias primas según necesidad.

Tendremos una ventana fija que nos da información del estado del pesaje de las básculas y poder conocer la cantidad de materiales que tenemos o si la báscula está midiendo correctamente.

Como en el resto de pantallas tendremos información en la parte superior de la pantalla en la que nos encontramos, fecha y hora actual. Todas las pantallas tienen la misma plantilla donde está incluido la interfaz de inicio de sesión de los usuarios, situada en la parte inferior derecha de la plantilla.



Figura 14- Pantalla de selección de receta predefinida o creación de nueva receta.

3. Pantalla de áridos:

Esta pantalla será prácticamente informativa del estado de las tolvas. Nos indicará con un sensor de nivel cuando llegamos al mínimo, indicándonos con un piloto luminoso en color rojo. Además, se dispondrá de un texto informativo encima de cada tolva para aportar mayor claridad a este dato, debido que es crítico a la hora de realizar la producción.

Tendremos el selector de confirmación de pesaje de áridos el cual no es más que una confirmación extra por parte del operador para comenzar con el pesaje de nuestros áridos. El fin de esta confirmación es aportar un mayor control y seguridad por parte del operador.

Se incluyó una ventana pequeña con un campo de entrada/salida simbólico vinculado al byte de estado del pesaje de áridos y que nos dará información del punto en el que nos encontramos.

La pantalla está diseñada sobre la misma plantilla. En la parte superior tendremos el nombre de la pantalla en la que nos encontramos, la fecha y hora del sistema. En la parte inferior la navegación entre pantallas por medio de botones y un pequeño campo para la gestión de usuarios.



Figura 15- Pantalla de áridos, se muestra estado de las tolvas y del proceso.

4. Pantalla de carga de camiones:

La pantalla de carga de camiones será totalmente informativa a excepción de un pulsador que nos permitirá descargar la amasadora cuando el operador lo considere oportuno. Cuando esto suceda aparecerá un mensaje informando de la descarga.

Tenemos un cuadro con información del estado de la amasadora y la cantidad de camiones expedidos, dicho número de camiones sirva para llevar un mayor control sobre la producción total de la planta. Cuando el usuario administrador decida poner a cero este contador solo debe pulsar el botón RESET. Dicho botón está sujeto a seguridad por ser un dato importante del proceso productivo y por tanto solo el administrador de la planta tendrá capacidad para manipularlo.

Esta pantalla también ha sido diseñada sobre la misma plantilla que en los casos anteriores. Por lo tanto tendremos los mismos datos de fecha y hora en la parte superior y la botonera de navegación entre pantallas en la parte inferior, además de el apartado destinado a la gestión de usuarios.

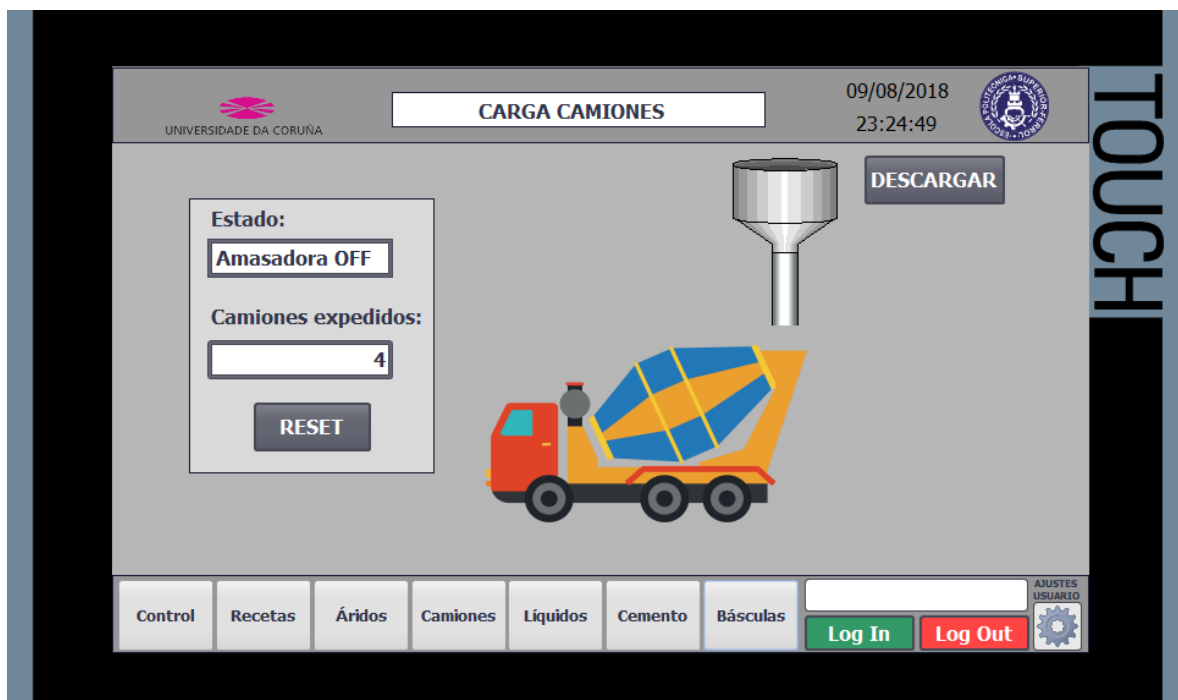


Figura 16- Pantalla de carga de camiones.

5. Pantalla de Líquidos:

En la pantalla líquidos, como en el caso anterior, es plenamente informativa a excepción del selector, que sirve como confirmación por parte del operador para iniciar la producción.

Se indica el estado de llenado del tanque con sensores de mínimo nivel. Esto facilita la labor del operador al conocer en todo momento el estado de los tanques.

Además, tenemos un cuadro con un campo de entrada/salida simbólica vinculado al byte de estado del pesaje de los líquidos. Esto nos indicara en pantalla por medio de una lista de textos el estado del pesaje de los líquidos.

Con la misma plantilla donde en la parte superior tendremos el nombre de la pantalla y en la esquina superior derecha la fecha y la hora. En la parte inferior de la plantilla tendremos los botones de navegación para movernos entre las diferentes pantallas y el campo destinado a la gestión de usuarios.

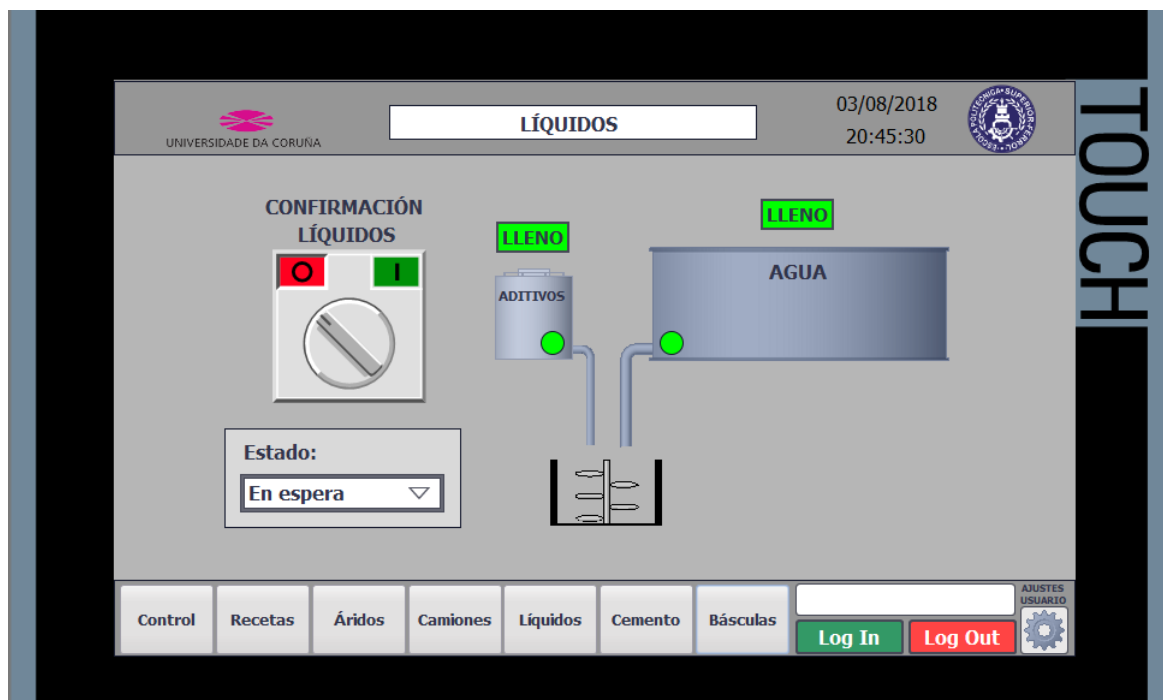


Figura 17- Pantalla de estado de tanque y procesado de líquidos.

6. Pantalla de silos de cemento:

En este caso también tendremos la información del llenado de los silos, mostrando en pantalla el estado de los mismos. Se presentará en forma de texto y con una luz que simula el estado del sensor.

El operador tendrá una ventana de selección de silo, donde deberá elegir uno en función del estado de llenado. Una vez comenzado el pesaje de cemento, se visualizará el estado en un campo de entrada/salida vinculado al byte correspondiente.

En este caso también tendremos la misma plantilla que en los casos anteriores, donde tendremos en la parte superior la información de la pantalla en la que nos encontramos y la fecha y hora del sistema. En la parte inferior, como en los casos anteriores, tendremos los botones de navegación entre pantalla y un pequeño campo a la derecha para la gestión de usuarios.

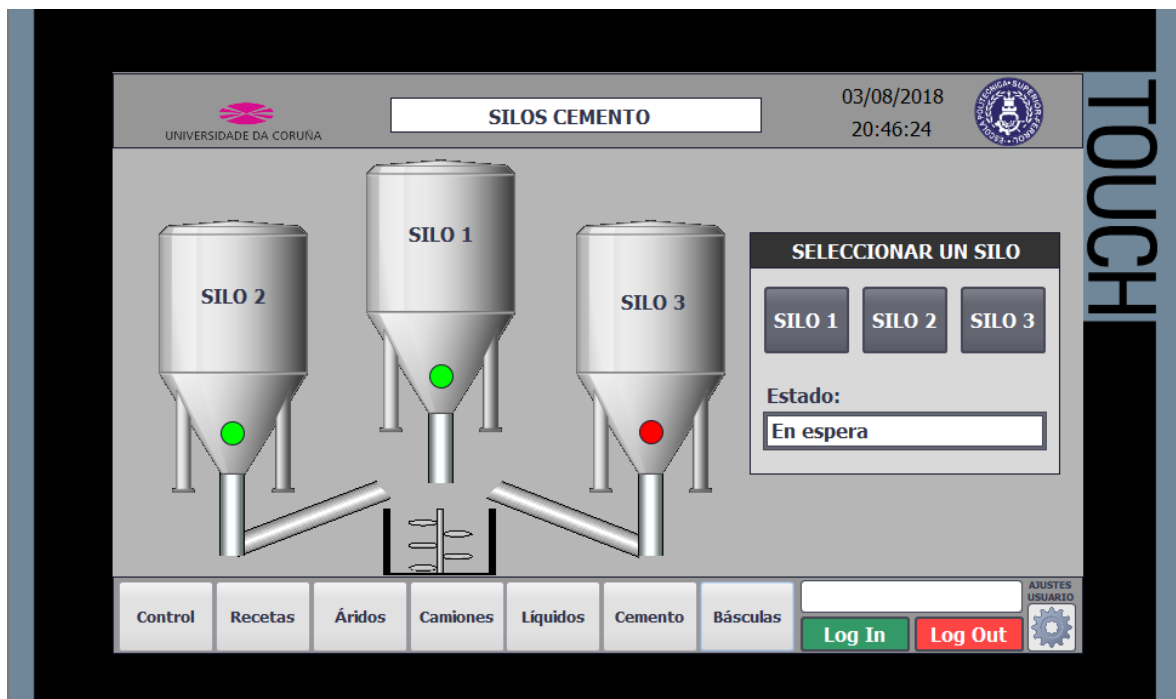


Figura 18- Pantalla de selección de silo y estado de los mismos.

6.3.2 Usuarios

A la hora de aumentar la seguridad durante la ejecución se decidió asignar dos tipos de usuarios, un usuario administrador y un usuario operador. El operador tendrá acceso a todas las imágenes y al control de todos los mandos del proceso. Sin embargo, no podrá acceder a la pantalla de creación de usuarios ni al botón para resetear el número de camiones expedidos. A la gestión de usuarios solo puede acceder el administrador pulsando el botón cuadrado de la parte inferior derecha de la pantalla. Si un operador intenta entrar, aparecerá una ventana emergente que le indicará que debe iniciar sesión con un perfil válido.

En nuestro caso particular no se han asignado mayores seguridades que la creación de usuarios por parte del administrador y el control del proceso por parte del operador. Sin embargo, en procesos productivos más grandes sí que puede resultar interesante para controlar partes críticas donde se requiera formación especializada o en la que los riesgos sean elevados.

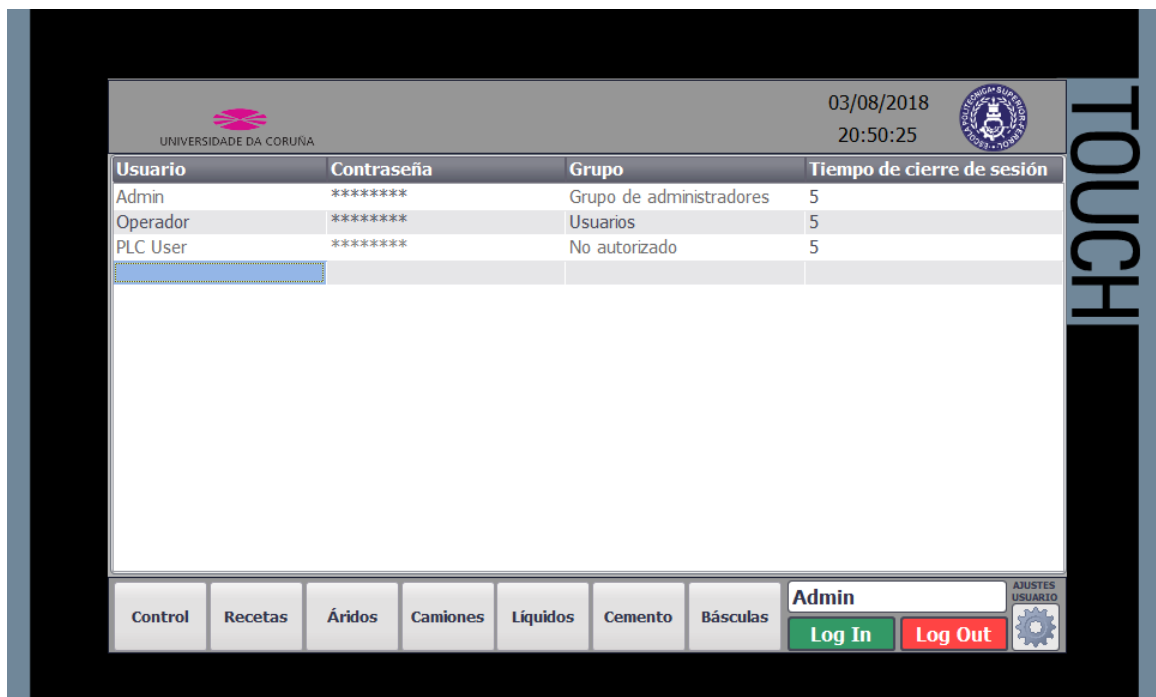


Figura 19- Pantalla de creación de usuarios.

Los botones de inicio y cierre de sesión están situados en la parte inferior derecha de la pantalla. Al pulsar el botón de inicio se abrirá un cuadro de dialogo en el que se deberá introducir el usuario y la contraseña. Entonces, observaremos el usuario con la sesión activa en el cuadro de texto encima de la botonera de inicio de sesión.

6.3.3 Pantalla de avisos y alarmas

A la hora de monitorizar un proceso es importante señalar a los operadores de aquellos estados que puedan suponer un riesgo o que impidan la continuación del proceso productivo. La pantalla de avisos y alarmas es emergente y aparecerá en cualquiera de las pantallas anteriores prevaleciendo hasta ser subsanado el riesgo o ser acusado el aviso. Además, hemos incluido algunos avisos básicos para que se entienda el funcionamiento.

Para este trabajo hemos definido los mensajes de aviso para las situaciones en que las tolvas y los silos se encuentran en mínimo nivel. Como se puede ver en la siguiente imagen cada tipo de aviso se puede le puede asignar una categoría en función de la gravedad del mismo, diferenciando entre aviso o warning y alarmas o errores. Estos avisos son guardados en un DB creado específicamente para almacenar estos estados.

Avisos de bit						
ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di..	Bit de ..	Dirección de ...
2	Aviso de bit_2	Mínimo silo 1	Warnings	Avisos	9	%DB2.DBX0.1
3	Aviso de bit_3	Mínimo silo 2	Warnings	Avisos	10	%DB2.DBX0.2
4	Aviso de bit_4	Mínimo silo 3	Warnings	Avisos	11	%DB2.DBX0.3
5	Aviso de bit_5	Mínimo tolva arena	Warnings	Avisos	12	%DB2.DBX0.4
6	Aviso de bit_6	Mínimo tolva arena fina	Warnings	Avisos	13	%DB2.DBX0.5
7	Aviso de bit_7	Mínimo tolva gravilla	Warnings	Avisos	14	%DB2.DBX0.6
8	Aviso de bit_8	Mínimo tolva garbancillo	Warnings	Avisos	15	%DB2.DBX0.7
9	Aviso de bit_9	Mínimo tolva gravillón	Warnings	Avisos	0	%DB2.DBX1.0

Figura 20- Lista de avisos predefinidos para el sistema productivo.

Si durante la navegación y control sobre las pantallas se produce un estado que haga saltar el aviso se desplegará una ventana emergente que nos indicará la hora y fecha a la que se produce y el texto informativo definido en el programa de control de avisos.

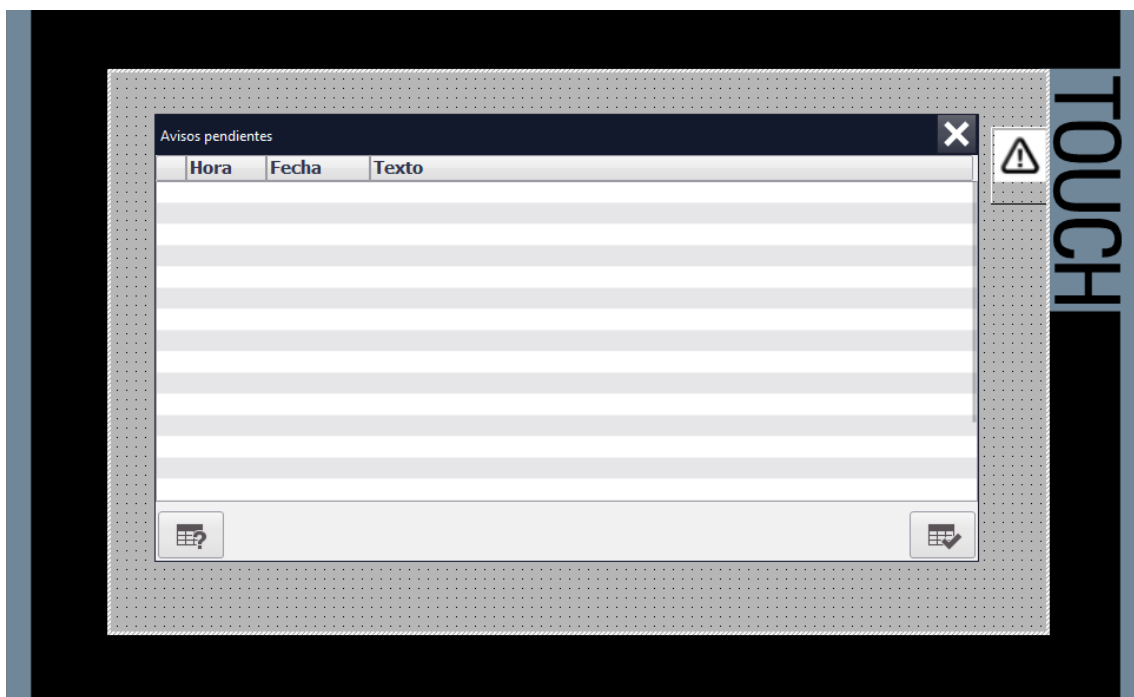


Figura 21- Ventana emergente de alarmas y avisos.

7 IMPLEMENTACIÓN

En este apartado se describirán las características básicas del hardware y software empleado. Además, se explicará la forma de proceder en la labor de desarrollo y verificación del funcionamiento del programa de control. Para ello se presentará las posibilidades que ofrece el PLC S7-1200, el software de programación TIA portal y el PLCSIM integrado en el anterior, que permite simular el funcionamiento del autómeta.

7.1 PLC S7-1200

7.1.1 Introducción

El S7 1200 no trabaja con señales, trabaja con imagen de proceso tanto de entradas como salidas, con una capacidad de 1024 bytes.



Figura 22- Cuerpo del PLC SIMATIC S7-1200.

Por regla general, todos los autómetas programables SIMATIC trabajan de forma cíclica.

Dentro del ciclo, en primer lugar, se leen los estados de las entradas y se memorizan en la imagen de proceso de las entradas (PAE). El programa de control trabaja entonces con estas informaciones y las procesa.

De acuerdo a la lógica especificada en el programa se escriben los estados de las salidas en la imagen de proceso de las salidas (PAA). En una última fase se pasan los estados en la PAA a las salidas físicas. Seguidamente vuelve a ejecutarse el ciclo desde el principio.

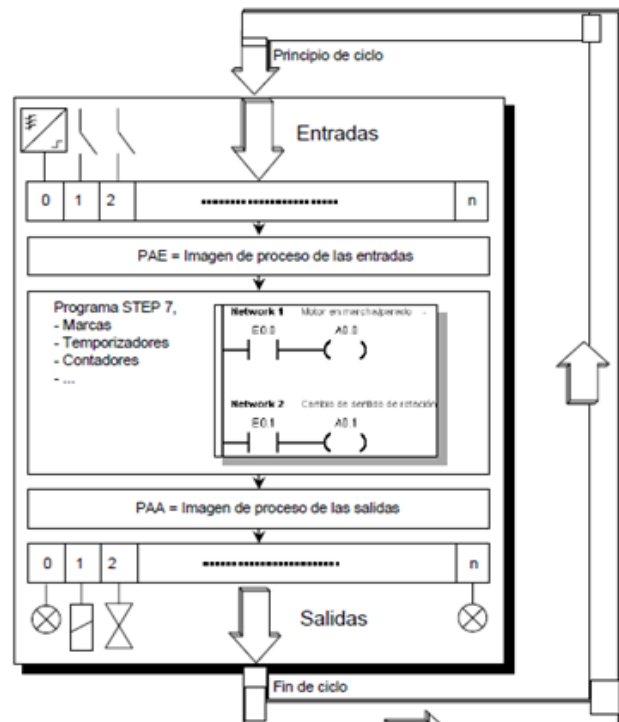


Figura 23- Ciclo de funcionamiento del PLC.

Datos técnicos generales de las diferentes gamas del S7-1200:

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
• Memoria de trabajo	• 25 KB		• 50 KB
• Memoria de carga	• 1 MB		• 2 MB
• Memoria remanente	• 2 KB		• 2 KB
E/S integradas locales			
• Digitales	• 6 entradas/4 salidas	• 8 entradas/6 salidas	• 14 entradas/10 salidas
• Analógicas	• 2 entradas	• 2 entradas	• 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
• Fase simple	• 3 a 100 kHz	• 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz	• 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz
• Fase en cuadratura	• 3 a 80 kHz	• 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz	• 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

Figura 24- Datos generales de las principales gamas del S7-1200.

7.1.2 Áreas de memoria y direccionamiento

STEP 7 facilita la programación simbólica. Se crean nombres simbólicos para las direcciones de los datos, ya sea como variables PLC asignadas a direcciones de memoria y E/S, o como variables locales utilizadas dentro de un bloque lógico. Para utilizar estas variables en el programa de usuario, basta con introducir el nombre de la misma para el parámetro de instrucción, así observamos una mejor comprensión de cómo el PLC estructura y direcciona las áreas de memoria. El PLC nos da varias opciones para almacenar datos durante la ejecución del programa de usuario:

-Memoria global: Ofrece distintas áreas de memoria, incluyendo entradas (I), salidas (Q) y marcas (M). Todos los bloques lógicos pueden acceder sin restricción alguna a esta memoria.

-Bloque de datos (DB): Es posible incluir DBs en el programa de usuario para almacenar los datos de los bloques lógicos. Los datos almacenados se conservan cuando finaliza la ejecución del bloque lógico asociado. Un DB global almacena datos que pueden ser utilizados por todos los bloques lógicos, mientras que un DB instancia almacena datos para un bloque de función específico y está estructurado según los parámetros del FB.

-Memoria temporal: Cada vez que se llama un bloque lógico, el sistema operativo del PLC asigna la memoria temporal o local que debe utilizarse durante la ejecución del bloque. Cuando finaliza la ejecución, el PLC reasigna la memoria local para la ejecución de otros bloques lógicos.

Toda posición de memoria diferente tiene una dirección unívoca. El programa de usuario utiliza estas direcciones para acceder a la información de la posición de memoria.

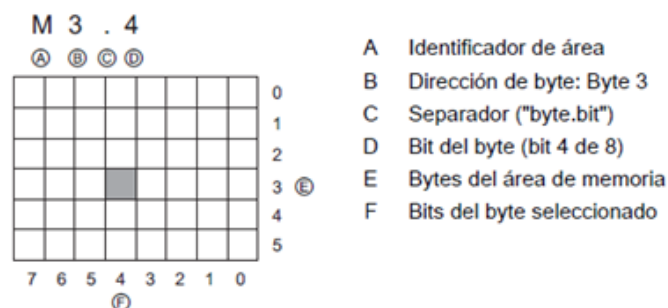


Figura 25- Asignación de la memoria en el PLC.

7.1.3 Memoria

La memoria de trabajo depende del tipo de PLC, distinguiremos tres tipos de memoria de usuario integrada:

-Memoria de carga: Memoria no volátil, área para el programa de usuario, datos y configuración.

-Memoria de trabajo: Área de almacenamiento volátil, para algunos elementos del proyecto, utilizado por el PLC, mientras se ejecuta el programa de usuario.

-Memoria remanente: Área de almacenamiento no volátil para retener una cantidad limitada de valores de memoria de trabajo durante un corte de energía.

7.1.4 Módulos adicionales

-Módulos de Señales: Los módulos de señales proporcionan E/S digitales o analógicas adicionales. Estos módulos se conectan a la derecha del PLC.

-Módulos de comunicación: Los módulos de comunicación añaden un puerto de comunicación adicional. Estos módulos se conectan a la izquierda del PLC.

-Signal Board: Ofrece la posibilidad de realizar una configuración fina. Proporciona unas pocas entradas y salidas sin afectar al espacio. Está montada en la parte frontal del PLC.

7.1.5 Datos técnicos

Tabla 8- Ficha técnica del PLC S7-1200.

Datos Técnicos	
Información General	
• Versión de firmware	V4.1
• Paquete de programación	STEP 7 V13 o superior
• Con display	No
Tensión de alimentación	
Valor nominal (AC)	
• 120 V AC	Si
• 230 V AC	Si
Rango admisible, límite inferior (AC)	85 V
Rango admisible, límite superior (AC)	264 V
Frecuencia de red	
• Rango admisible, límite inferior	47 Hz
• Rango admisible, límite superior	63 Hz
Intensidad de entrada	
• Consumo (valor nominal)	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 V AC
• Consumo máximo	300 mA con 120 V AC; 150 mA con 240 V AC
• Intensidad de cierre, máxima	20 A; con 264 V
Alimentación de sensores	
• Rango tensión	20,4 a 28,8 V
Intensidad de salida	
• Para bus de fondo (5 V DC), máximo	1600 mA; max 5 V DC
Memoria	
Memoria de trabajo	
• Integrado	100 Kbyte
• Ampliable	No
Memoria de carga	
• Integrado	4 Mbyte
• SIMATIC Memory Card	Si
Tiempo de ejecución de la CPU	
• Para operaciones de bits	0,085 µs/instrucción
• Para operaciones a palabras	1,7 µs/instrucción
• Para aritmética de coma flotante	2,3 µs/instrucción
Bloque de la CPU	

Datos Técnicos	
• N° Bloques total	DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo es 65535.
• OB	Limitado únicamente por la memoria de trabajo
Áreas de datos y su remanencia	
• Áreas de datos remanentes total	10 kbyte
• Marcas	8 kbyte
• Datos locales	16 kbyte
Imagen del proceso	
• Entradas, configurables	1 kbyte
• Salidas, configurables	1 kbyte
Configuración del hardware	
• N° de módulos del sistema	3 Communication Module, 1 Signal Board, 8 Signal Module
Hora	
Reloj	
• Reloj tiempo real	Si
• Desviación diaria	60 s/mes a 25°C
Entradas digitales	
• N° entradas digitales	14; Integrado
• Tensión entrada	24 V
• Tensión para señal "0"	5 V DC con 1 mA
• Tensión para señal "1"	15 V DC a 2,5 mA
• Entrada de alarma parametrizable	Si
• Longitud de cable apantallado máxima	500 m, 50 m para funciones tecnológicas
• Longitud de cable no apantallado máxima	300 m, para funciones tecnológicas: No
Salidas digitales	
• N° salidas	10; Relé
• Poder de corte de carga resistiva	2 A
• Poder de corte con carga tipo lámpara	30 W con DC, 200 W con AC
• Retardo a la salida con carga positiva	10 ms máximo
• Frecuencia de comunicación	1 Hz
• Longitud de cable apantallado	500 m
• Longitud de cable no apantallado	150 m
Entradas Analógicas	
• N° entradas	2; 0 a 10 V
• Rango de entrada tensión	Si

Datos Técnicos	
Salidas Analógicas	
• N° salidas	0
Sensores compatibles	
• Sensor 2 hilos	Si
Interfaz	
• Tipo	PROFINET
• Norma física	Ethernet
• Con aislamiento galvánico	Si
• Detección automática de velocidad de transferencia	Si
• Autocrossing	Si
• Posicionamiento en lazo abierto	Si
• Regulador PID	Si
• N° de entradas de alarma	4
Aislamiento galvánico	
• Módulos de entradas digitales	500 V AC durante 1 minuto
• Entre los canales en grupos de	1
• Módulos de salidas digitales	Relé
• Entre los canales en grupos de	2
CEM	
• Inmunidad a perturbaciones por descarga de electricidad estática IEC 61000-4-2	Si
• Inmunidad a perturbaciones en cables de alimentación según IEC 61000-4-4	Si
• Inmunidad a perturbaciones por cables de señales IEC 61000-4-4	Si
• Inmunidad por los cables de alimentación según IEC 61000-4-6	Si
• Inmunidad a campos electromagnéticos radiados a frecuencias radioeléctricas según IEC 61000-4-6	Si
Grado e protección y clase	
• IP 20	Si
Normas, homologaciones, certificados	
• Marcado CE	Si
• Homologación UL	Si
• cULus	Si
• Homologación FM	Si
• Homologaciones navales	Si

Datos Técnicos	
Condiciones ambientales	
• Altura caída máxima	0,3 m
• Temperatura en servicio mínima	-20 °C
• Temperatura en servicio máxima	60 °C
• Presión atmosférica mínima	660 hPa
• Presión atmosférica máxima	1080 hPa
• Altitud de servicio permitida	-1000 a 2000 m
• Humedad relativa del aire	95%
• Vibraciones	Montaje pared: 2g; perfil DIN: 1g
Lenguaje de programación	
• KOP	Si
• FUP	Si
• SCL	Si
Vigilancia en tiempo de ciclo	
• Configurable	Si
Dimensiones	
• Ancho	110 mm
• Alto	100 mm
• Profundidad	75 mm
Peso	
• Peso aproximado	455 g

7.2 Human Machine Interface, HMI

7.2.1 Datos técnicos TP1200 Comfort

En este apartado se mostrarán la tabla de datos técnicos de nuestra pantalla HMI, la cual pertenece a la serie Comfort Panels y cuyo tamaño es de doce pulgadas. Posee mando táctil con pantalla TFT de doce pulgadas, dieciséis millones de colores, interfaz PROFINET, memoria de doce megabytes, sistema operativo Windows CE 6.0, configurable a partir de WinCC Comfort v11. A continuación se incluye la tabla de propiedades:



Figura 26- Pantalla TP1200 empleada en el trabajo.

Tabla 9- Ficha técnica de la pantalla TP1200.

Datos Técnicos	
Información General	
• Producto	TP1200
Display	
• Tipo display	TFT
• Anchura	261,1 mm
• Altura	163,2 mm
• N° de colores	16 777 216
Resolución	
• Imagen horizontal	1280 pixel
• Imagen vertical	800 pixel
Retroiluminación	
• MTBF de la retroiluminación a 25 °C	80000 h
• Variable	Si; 0-100 %
Elementos de mando	

Datos Técnicos	
• Teclas con LED	No
• Teclas del sistema	No
• Teclado numérico	Si; Teclado en pantalla
• Teclado alfanumérico	Si; Teclado en pantalla
• Manejo táctil	Si
Montaje	
• Montaje vertical	Si
• Montaje horizontal	Si
• Máximo ángulo de inclinación	35°
Tensión de alimentación	
• Tipo de tensión	DC
• Valor nominal	24 V
• Límite inferior	19,2 V
• Límite superior	28,8 V
Intensidad de entrada	
• Consumo	0,85 A
Potencia	
• Consumo	20 W
Procesador	
• Tipo	X86
Memoria	
• Flash	Si
• RAM	Si
• Para datos de usuario	12 Mbyte
Reloj	
• Reloj de hardware en tiempo real	Si
• Reloj por software	Si
• Respaldado	Si, duración típica de 6 semanas
• Sincronizable	Si
Interfaces	
• Industrial Ethernet	1; 2 puertos
• RS 485	1; RS 422 / 485 combinada
• RS 422	0; junto con RS 485
• RS 232	0
• USB	2; USB 2.0
• Slot para tarjetas SD	2

Datos Técnicos	
• Con interfaces a SW	No
Protocolos	
• PROFINET	Si
• Soporta protocolo para PROFINET IO	Si
• IRT	Si
• MRP	Si
• PROFIBUS	Si
• MPI	Si
Protocolos Ethernet	
• TCP/IP	Si
• DHCP	Si
• SNMP	Si
• DCP	Si
• LLDP	Si
Propiedades web	
• HTTP	Si
• HTTPS	Si
• HTML	Si
• XML	Si
• CSS	Si
• Active X	Si
• JavaScript	Si
• Java VM	No
Grado de protección y clase	
• IP frontal	IP65
• IP posterior	IP20
Normas, homologaciones, certificados	
• Marcado CE	Si
• cULus	Si
• RCM	Si
• Homologación KC	Si
• ATEX	Si
• IECEx	Si
• Homologaciones navales	Si, excepto PRS
Condiciones ambientales	
• Temperatura mínima en servicio vertical	0 °C

Datos Técnicos	
• Temperatura máxima en servicio vertical	50 °C
• Temperatura mínima de almacenamiento	-20 °C
• Temperatura máxima de almacenamiento	60 °C
• Humedad relativa en servicio	90 % sin condensación
Sistema operativo	
• Windows CE	Si
Configuración	
• Ventana de avisos	Si
• Sistema de alarmas (búfer y confirmación)	Si
• Representación de valores de proceso	Si
• Especificación de valores de proceso	Si
• Administración de recetas	Si
Software de configuración	
• WinCC Confort, Advance o Profesional (TIA portal)	Si; V11 o superior
Funciones bajo WinCC (TIA Portal)	
• Librerías	Si
• Navegador web	Si
• Pocker Word	Si
• Pocket Excel	Si
• PDF Viewer	Si
• Media Player	Si
• Sm@rtServer	Si
• Scripts Visual Basic	Si
• Sistema de ayuda	Si
• Planificador de tareas	Si
Sistemas de avisos	
• Nº de clases de avisos	32
• Avisos de bit	4000
• Avisos analógicos	200
• Avisos del sistema HMI	Si
• Caracteres por aviso	80
• Grupos de confirmación	Si
Administrador de recetas	
• Número de recetas	300
• Registros por receta	500

Datos Técnicos	
• Entradas de registro	1000
• Tamaño de memoria de receta interna	2 Mbyte
Variables	
• Nº de variables por equipo	2048
• Valores límite	Si
• Multiplexar	Si
• Estructuras	Si
• Matrices	Si
Imágenes	
• Nº de imágenes configurables	500
• Plantilla	Si
• Imagen global	Si
• Imágenes emergentes	Si
• Nº de imagen en el PLC	Si
• Selección de imagen vía PLC	Si
Objetos gráficos	
• Nº de objetos por imagen	400
• Campos de texto	Si
• Campos de E/S	Si
• Campos de E/S gráficos	Si
• Campos de E/S simbólicos	Si
• Campos de fecha/hora	Si
• Interruptores	Si
• Botones	Si
• Visor de gráficos	Si
• Iconos	Si
• Objetos geométricos	Si
Objetos gráficos complejos	
• Nº por imagen	20
• Visor de avisos	Si
• Visor de curvas	Si
• Visor de usuarios	Si
• Estado/forzado	Si
• Visor Sm@artServer	Si
• Visor de recetas	Si
• Visor de curvas f(x)	Si

Datos Técnicos	
• Visor de diagnóstico del sistema	Si
• Media Player	Si
• Navegador HTML	Si
• Visor de PDF	Si
• Visor de cámara IP	Si
• Barras	Si
• Deslizadores	Si
• Instrumentos de aguja	Si
• Reloj analógico/digital	Si
Listas	
• Nº de listas de textos por proyecto	500
• Nº de entradas por lista de texto	500
• Nº de listas gráficas por proyecto	500
• Nº de entradas por lista gráfica	500
Seguridad	
• Nº de grupos de usuario	50
• Nº de derechos de usuario	32
• Nº de usuarios	50
• Exportación/Importación de contraseñas	Si
Transferencia	
• MPI/PROFIBUS DP	Si
• USB	Si
• Ethernet	Si
• Mediante medio de memoria externo	Si
Periféricos	
• Impresora	Si
• Tarjetas de memoria	Si
• Memoria USB	Si
• Cámara en red	Si
Dimensiones de montaje	
• Ancho	310 mm
• Alto	221 mm
• Profundidad	65 mm
Peso	
• Peso aproximado	2,8 kg

7.2.2 Configuración

En este apartado se explicará cómo realizar la configuración de un panel HMI, en nuestro caso un Touch Panel 1200 Comfort., pero se realizaría de forma muy similar para cualquier otro panel de la librería disponible. En primer lugar, se debe agregar el dispositivo como se indica en la imagen:

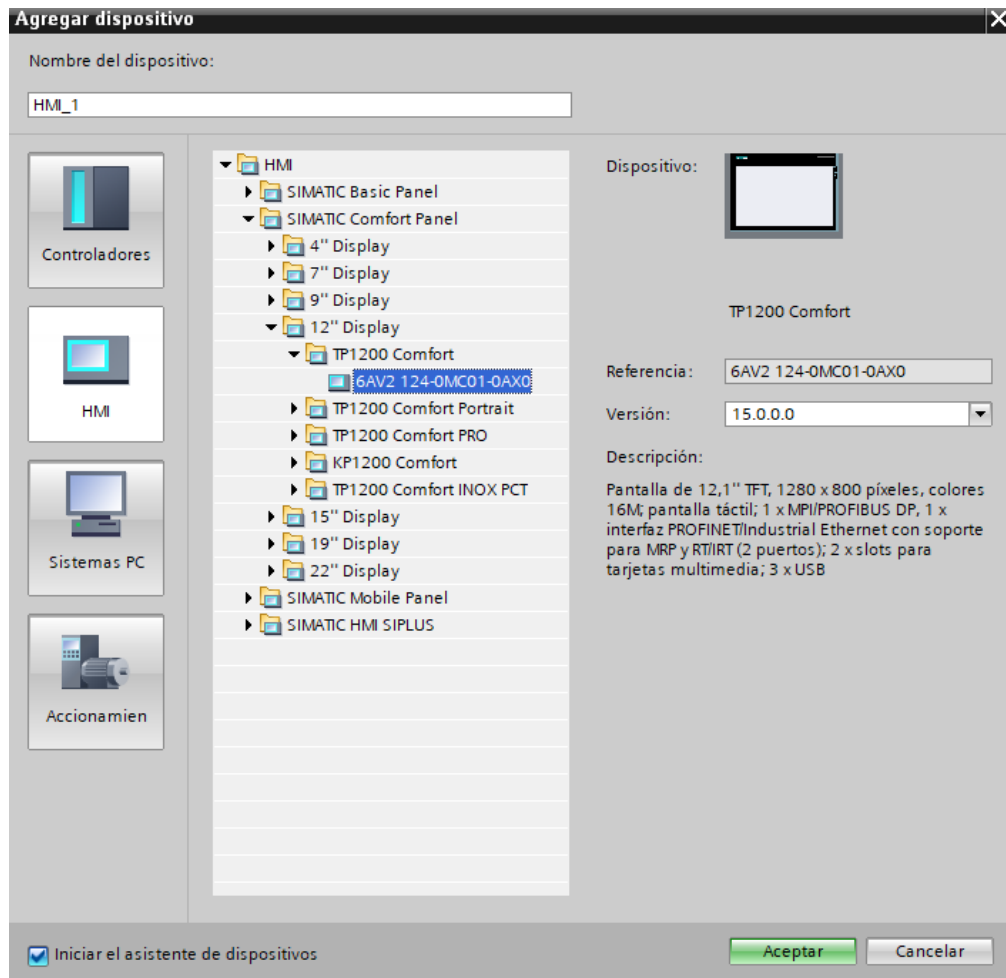


Figura 27- Ventana de selección de pantallas en TIA portal.

Una vez seleccionada el panel HMI, se da la posibilidad de configurar este mediante un asistente, indicando la conexión interna con el PLC, indicando la conexión directa con nuestro autómatas, el formato de imagen, los avisos, número de imágenes, configuración de botones. Todos los parámetros se pueden incluir a posteriori dentro del entorno de programación. En la siguiente imagen se muestran las ventanas de configuración inicial de nuestra pantalla.

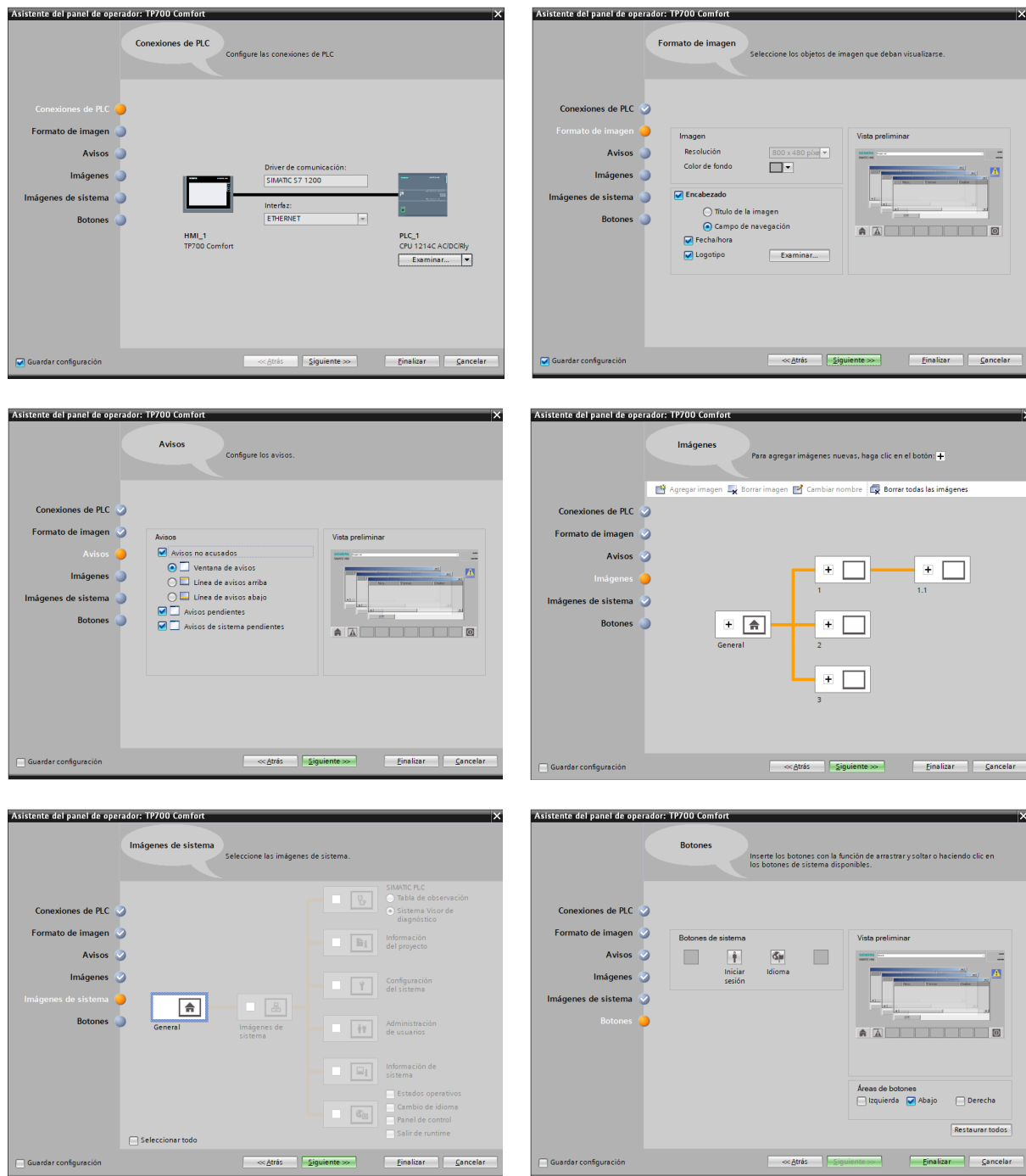


Figura 28- Asistente de configuración inicial de la pantalla TP1200.

Una vez seleccionado y configurado correctamente el panel se procederá a trabajar sobre la imagen raíz en el entorno de la siguiente imagen.

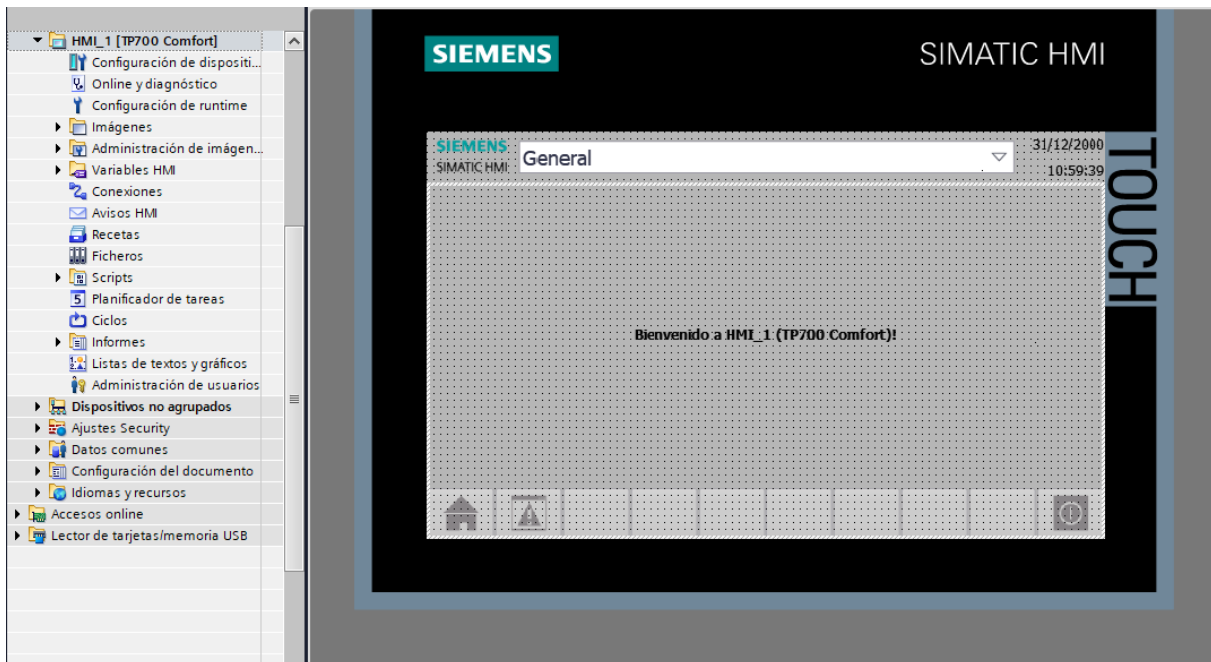


Figura 29- Menú de configuración del dispositivo HMI.

En el menú de la pantalla situado a la izquierda tendremos acceso a todos los apartados de configuración. Primero configuraremos la dirección IP de nuestra pantalla, la comunicación y conexión con el autómata. Después crearemos el número de imágenes y plantillas que queramos incluir en nuestro proyecto. Todas estas funciones son fácilmente modificables en cualquier momento.

Dentro del menú tendremos acceso a las tablas de variables del HMI, creación de listas de textos y gráficos que podremos relacionar con variables de estado del PLC.

Tendremos otro apartado para la creación de los usuarios, asignación de las contraseñas y restricciones para los mismos. También en este menú podremos crear los avisos de HMI, tanto de bit como analógicos.

Además de todas estas herramientas, tendremos algunas otras que no se han usado en la elaboración del presente trabajo como son la posibilidad de creación de scripts, ficheros y otras herramientas de menor interés.

Cuando seleccionemos alguna de las pantallas aparecerá una serie de herramientas a la derecha de la misma, como se observa en la figura siguiente. Tendremos entre ellas los objetos básicos, elementos, controles y gráficos.

Dentro de los objetos básicos tendremos la opción de incluir líneas, círculos, rectángulos, cuadros de texto e imágenes. Bastante útil a la hora de realizar diseños simples, como recuadros de texto o luces.

En la pestaña elementos está lo que más usaremos durante el diseño de las pantallas, aquí tendremos los campos de entrada/salida, los botones, campos fecha y hora, barras móviles, selectores. Herramientas a las que recurriremos habitualmente para dar funcionalidad a las pantallas.

Dentro de la pestaña controles se incluirán funciones usadas durante el proyecto para la gestión de usuarios y alarmas, además de muchas otras funciones relacionadas con la inserción de videos o PDF, diagnosis y supervisión del sistema o la posibilidad de incluir gráficas.

Por último, en la pestaña gráficos tendremos una librería bastante amplia de objetos tecnológicos de diferentes industrias y con diferentes apariencias para poderlos adaptar a cualquier proyecto sin importar el ámbito de aplicación.

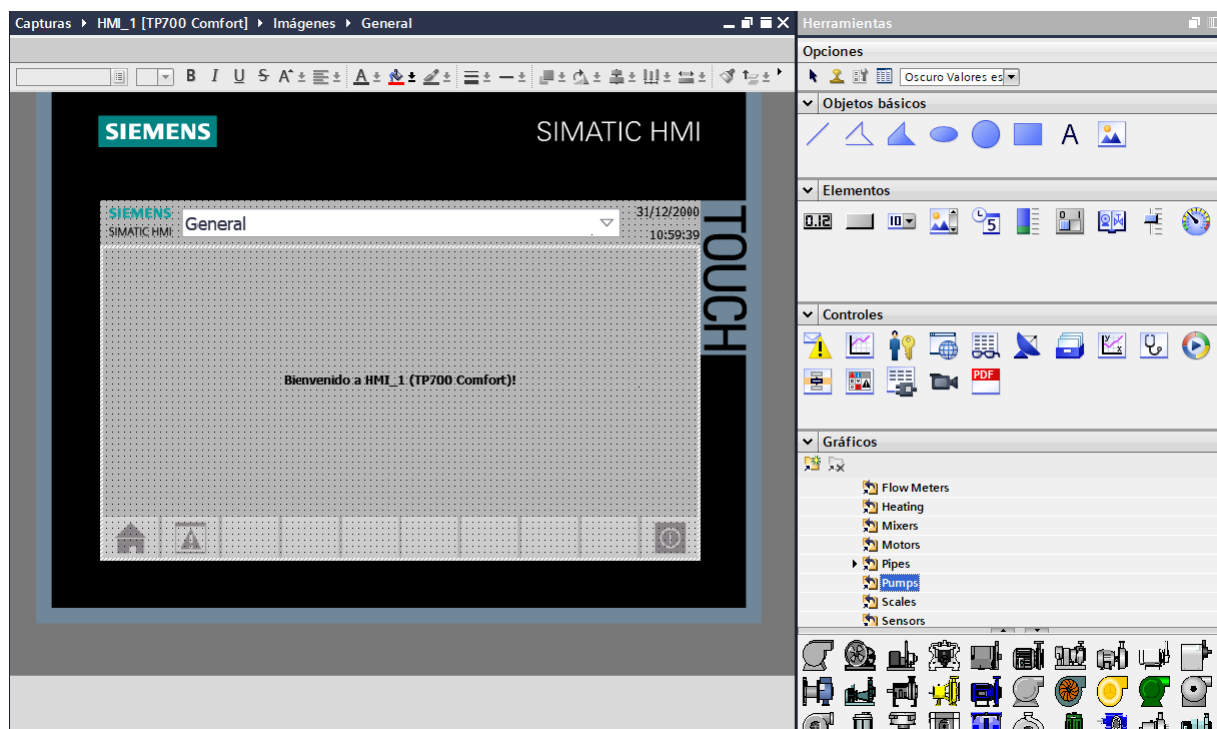


Figura 30- Menú de herramientas de diseño del HMI

7.3 Totally Integrated Automation portal

Es el software que contiene la zona común de programación donde está instalada es la zona de programación de los controladores (STEP 7), la parte del HMI (WinCC) e incluye la parte de simulación (PLCSIM).

Con la licencia del TIA portal profesional se incluye el siguiente software:

1. STEP 7 Profesional.
2. WinCC Advance.
3. SINAMICS Startdrive Advanced.

7.3.1 Vista del portal

Proporciona acceso a todos los componentes del proyecto. Permite la orientación de las tareas a realizar, además de un inicio de proyecto más rápido con un manejo sencillo e intuitivo. Esta vista es siempre la misma, independientemente de lo que se tenga instalado.

Desde esta vista se puede, entre otras cosas, acceder a los dispositivos y redes del proyecto, la programación del PLC, visualización online y diagnóstico.

También podremos acceder a la ayuda, abrir, crear y migrar un proyecto, visualizar el software instalado y otras funciones.

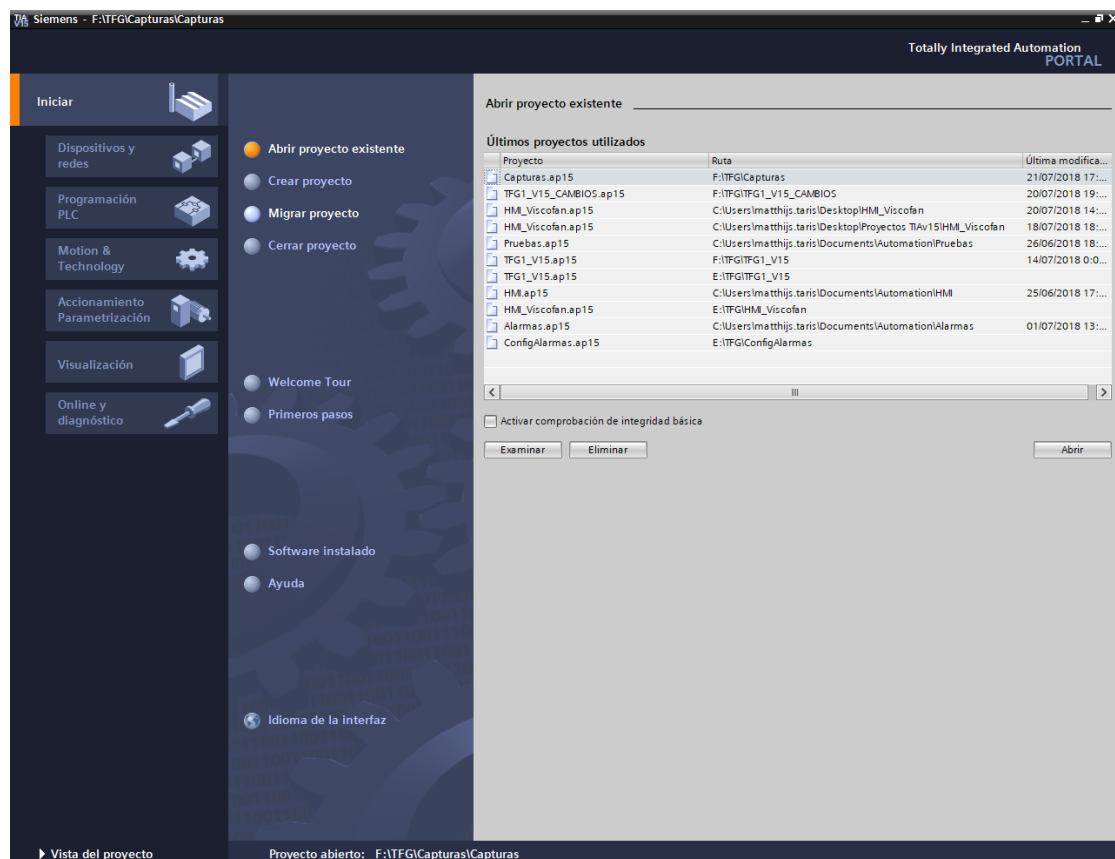


Figura 31- Vista inicial del TIA portal.

7.3.2 Vista del proyecto

En ella tenemos todos los componentes del proyecto. Acceso intuitivo a los dispositivos, módulos y a la estructura jerárquica del proyecto. Tendremos todos los editores, los parámetros y datos localizados en la misma ventana. Lo que hace del TIA portal un programa altamente unificado.

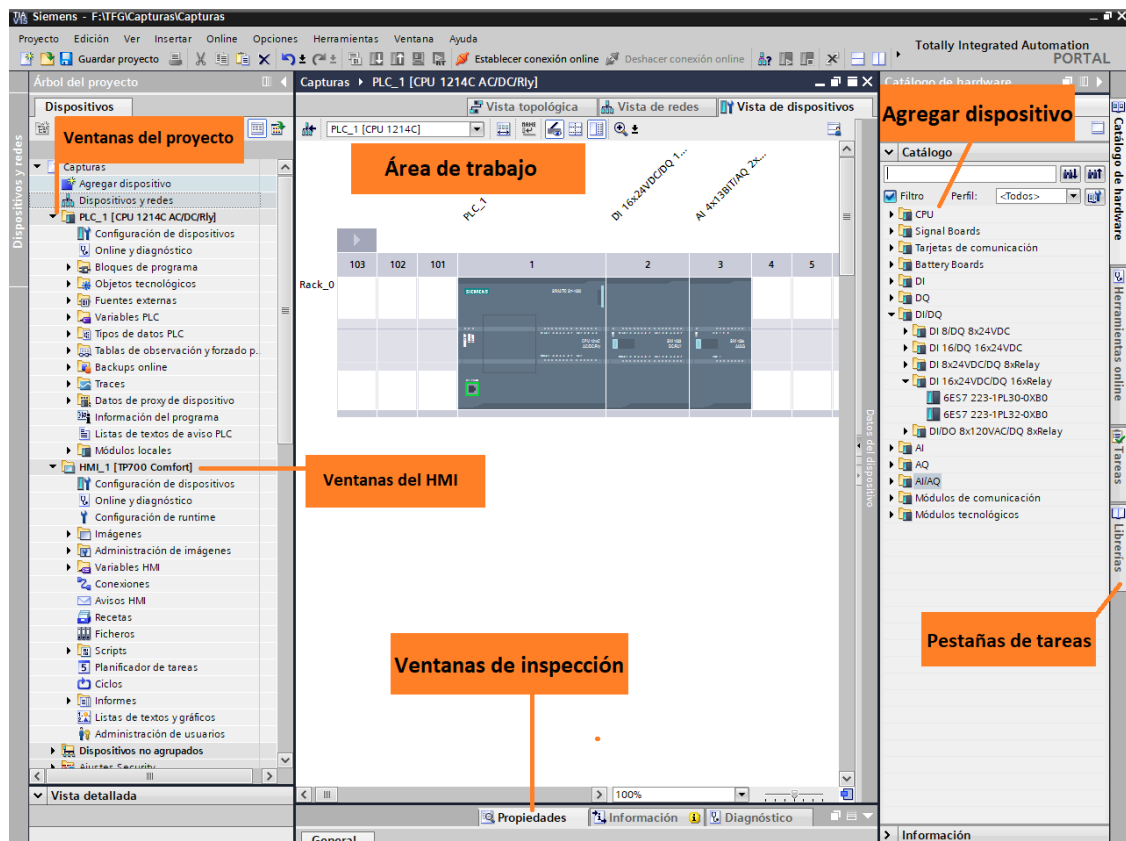


Figura 32- Vista del proyecto, identificando las áreas básicas de trabajo.

Las pestañas de tareas de la derecha cambiarán en función de la pantalla en la que estamos, en ellas se mostrarán todas las opciones que pueden ejecutarse en cada una.

El portal tiene una barra de herramientas fija en la parte superior, donde se encuentran los botones de acceso directo para guardar el proyecto, copiar, pegar, deshacer, establecer una conexión con la CPU, iniciar la simulación y compilar el programa. Así mismo, dentro del área de trabajo tenemos otra barra de accesos directos de funciones, útiles a la hora de realizar la programación.

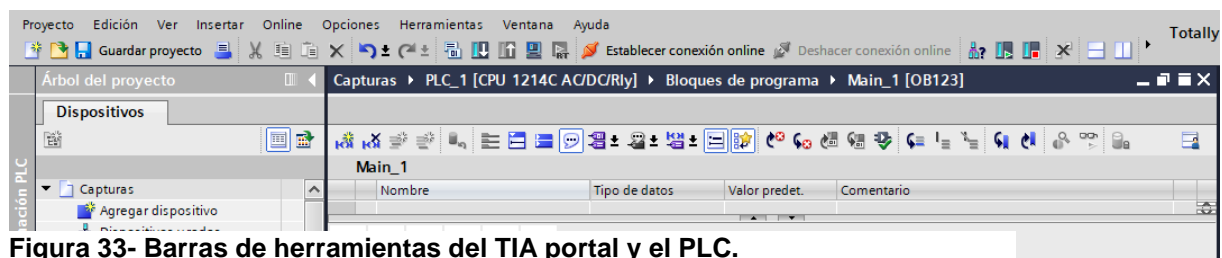


Figura 33- Barras de herramientas del TIA portal y el PLC.

7.3.3 Hardware y Software

7.3.3.1 Configuración Hardware

Para la configuración el Hardware podemos distinguir en cómo lo hacemos en el TIA portal y como lo haríamos en la realidad para configurar la interfaz PG/PC.

En cuando a la configuración básica basta con seleccionar en el catálogo del árbol del proyecto, el PLC y los módulos de expansión según el número de serie y las características necesarias para nuestro proyecto.

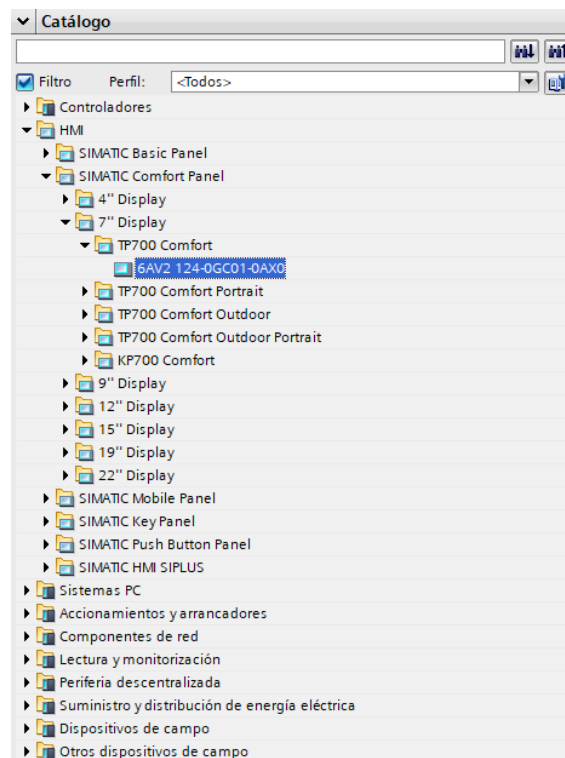


Figura 34- Catálogo de selección de hardware.

Para poder realizar una configuración real debemos configurar la interfaz PG/PC, determinar la dirección IP de nuestros dispositivos y definir el tipo de protocolo de comunicación usado. Para ello seguiremos los siguientes pasos:

Al realizar una conexión PN/IE, se debe seleccionar la interfaz TCP/IP con tarjeta de red:

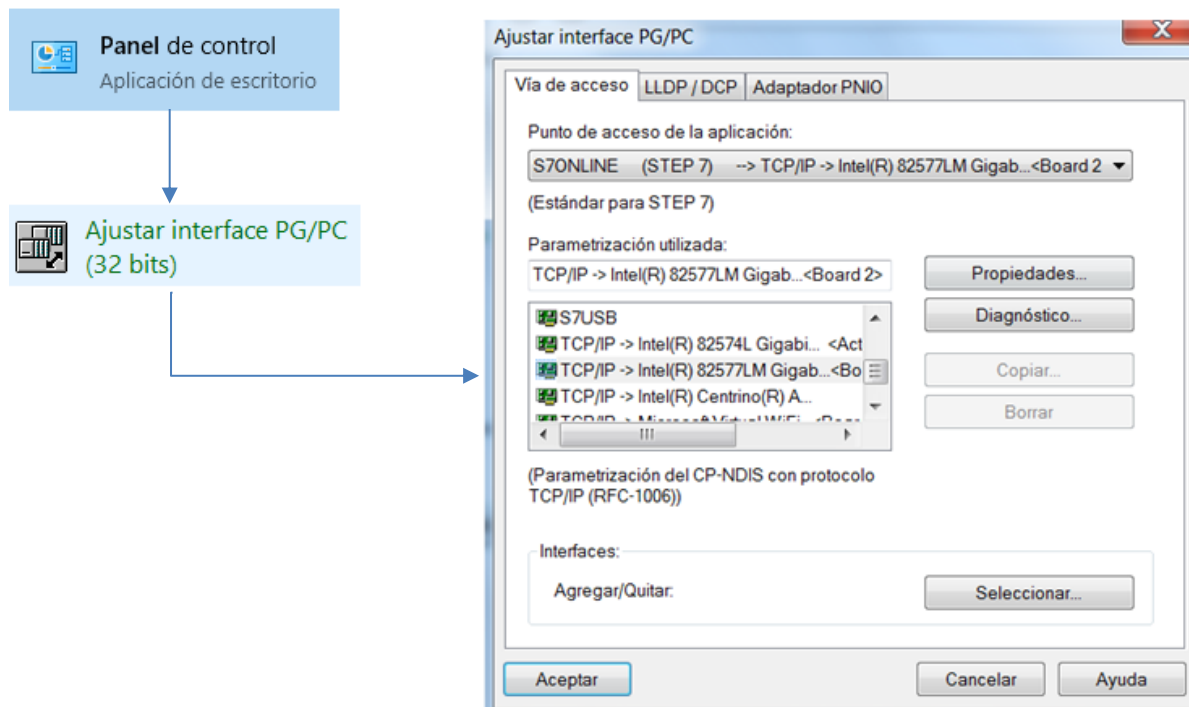


Figura 35- Pasos para configurar la interfaz PG/PC.

En segundo lugar, se debe asignar una dirección IP fija al PG/PC:

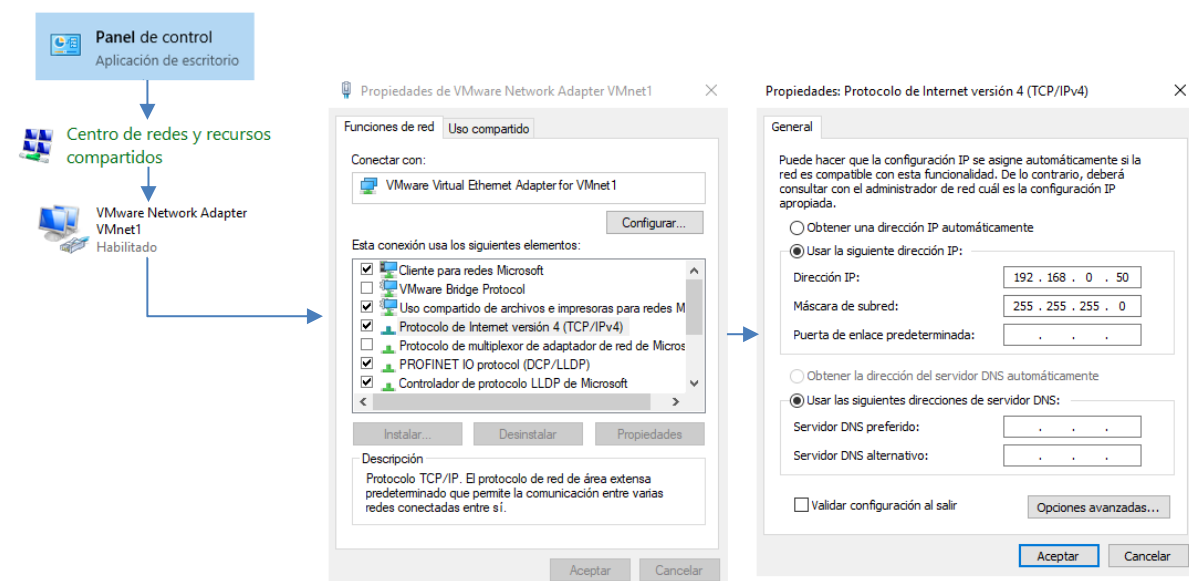


Figura 36- Configuración de la dirección IP de nuestra tarjeta de red.

Si la dirección IP de un dispositivo se encuentra en una subred diferente a la de la tarjeta de red, es preciso asignar a esta última una dirección IP adicional con la misma dirección de subred que la del dispositivo. Sólo así se podrá establecer la comunicación entre el dispositivo y la PG/PC.

7.3.3.2 Cargar Hardware y Software en la CPU

La primera carga se debe hacer tanto del hardware como del software. En este caso realizamos una carga avanzada siguiendo estos pasos:

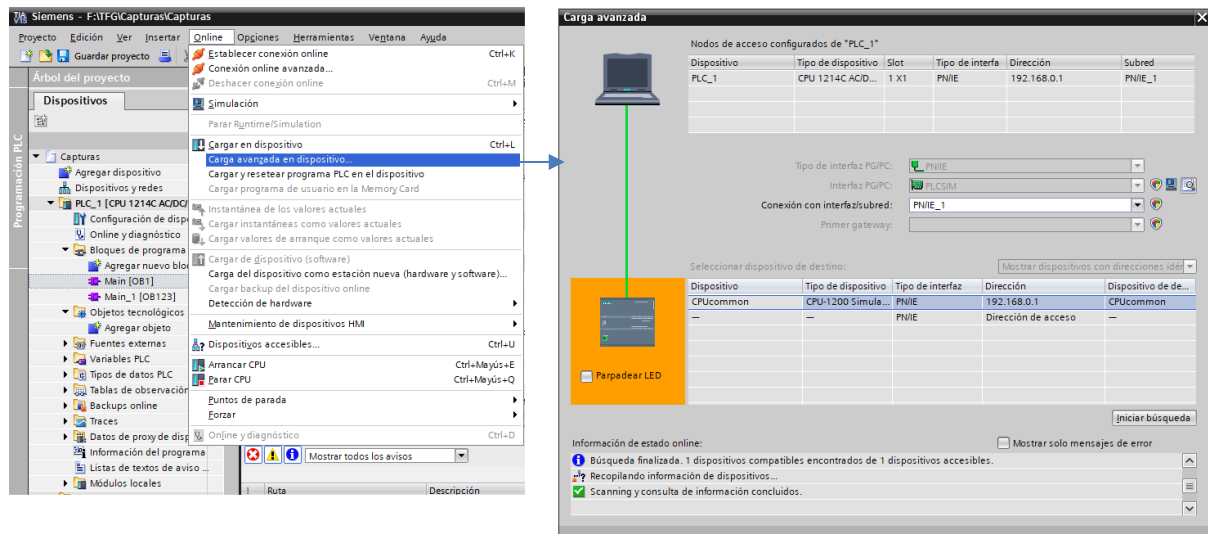


Figura 37- Procedimiento de carga del programa de control en el PLC.

Si no realizamos ninguna modificación de hardware, las próximas cargas en el PLC sólo serán del software modificado, a través de la pestaña Online/Cargar en dispositivo.

7.3.3.3 Tipos de programación

Para SIMATIC S7-1200, el programa se escribe en los bloques. De manera estándar está disponible el bloque de organización Main. Este representa la interfaz del sistema operativo de la CPU y, a su vez, este último lo abre automáticamente y lo ejecuta de forma cíclica.

En el caso de tareas de control amplias, se subdivide el programa en bloques de programa más pequeños, abarcables y ordenados por funciones. Estos son llamados desde los bloques de organización. Al llegar al fin de bloque se vuelve a saltar al de organización desde donde se realizó la llamada.

Podemos distinguir dos tipos de programación, que explicaremos a continuación:

1. Programación lineal: En la programación lineal se guardan las instrucciones en un bloque y se ejecutan en el orden en el que se han guardado en la memoria de programa. Al llegar al fin del programa (fin de bloque), vuelve a comenzar la ejecución del programa desde el principio, lo que se denomina ejecución cíclica.

El tiempo que necesita un dispositivo para ejecutar una vez todas las instrucciones se denominan tiempo de ciclo.

La ejecución lineal del programa se utiliza normalmente para controladores sencillos, no demasiado amplios, y se puede implementar en un único bloque de organización (OB).

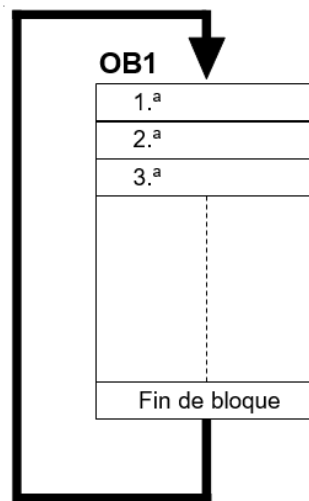


Figura 38- Esquema de ejecución líneas del programa.

2. Programación estructurada: En el caso de tareas de control amplias, se subdivide el programa en bloques de programa más pequeños, ordenados por funciones. Esto presenta la ventaja de comprobar las partes del programa de forma independiente y ejecutarlas como una función global durante el funcionamiento.

Los bloques de programa deben ser llamados por el bloque de orden superior. Si se detecta un fin de bloque, retorno de subrutina, el programa superior continuará ejecutándose en el punto donde se realizó la llamada.

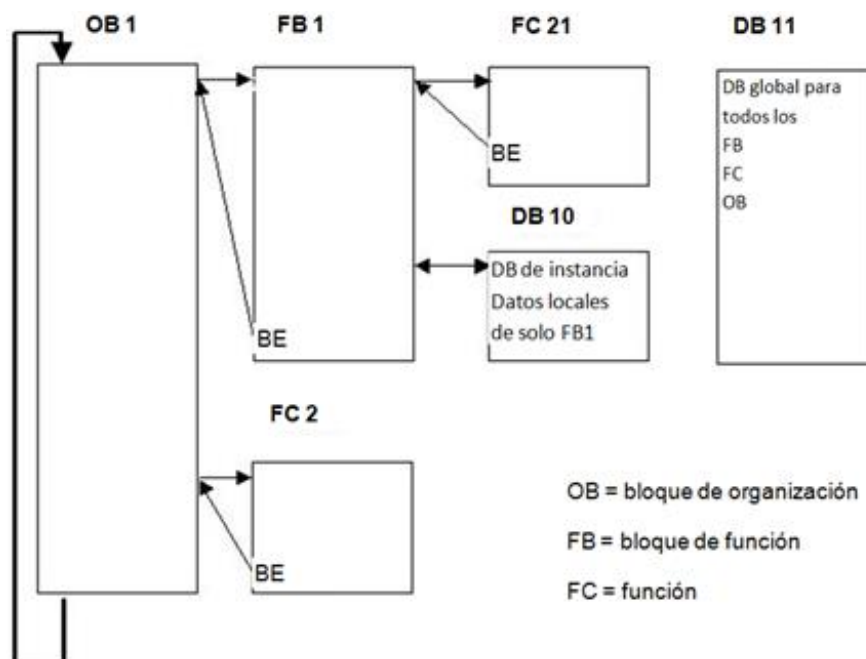


Figura 39- Esquema de ejecución estructurada del programa.

Para la programación estructurada existen los siguientes bloques de programa:

-OB (Bloque de Organización): Un OB es llamado por el sistema operativo de forma cíclica y constituye la interfaz entre el programa de usuario y el sistema operativo. En este OB, se comunica a la unidad de control del sistema de automatización qué bloques de programa debe ejecutar a través de comandos de llamada de bloque.

Controlan los procesos siguientes:

1. Ejecución cíclica del programa
2. Ejecución del programa controlada por alarmas
3. Tratamiento de errores

Los bloques de organización pueden utilizarse de distintas maneras en el programa, a la hora de seleccionar un nuevo OB podemos elegir entre diferentes funciones, algunas de las cuales deben ser parametrizadas. Además, en este momento podemos seleccionar el lenguaje de programación, aunque podremos cambiarlo a posteriori.

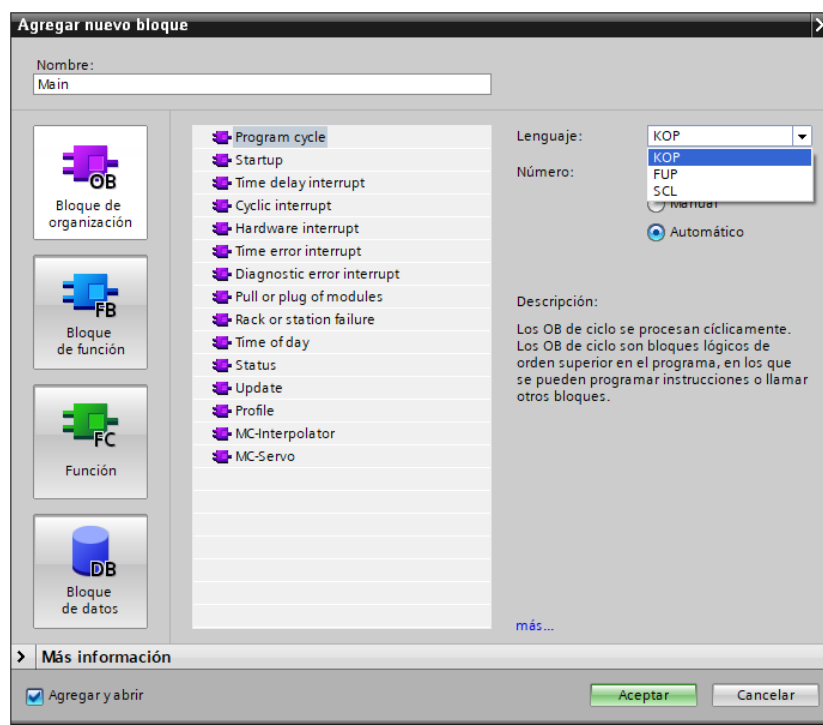


Figura 40- Selección del bloque de organización del sistema.

-FC (Función): Un FC es un bloque lógico que no tiene ningún área de memoria asignada. Los datos locales de una función se pierden tras ejecutar la función. En una función también pueden ser llamados otros FB y FC.

-DB (Bloque de Datos): Los DB se utilizan para proporcionar espacio de memoria para las variables de datos. Existen dos tipos de bloques de datos. DB globales, en los que todos los OB, FB y FC pueden leer los datos almacenados o incluso escribir datos en los DB y los DB de instancia, que están asignados a un FB determinado.

-FB (Bloque de Función): Un FB no deja de ser un FC que tiene asociados DB's de instancias. Los datos se quedan en la memoria conforme se ejecutan. A los datos de este DB de instancia se accede a través de las variables del FB.

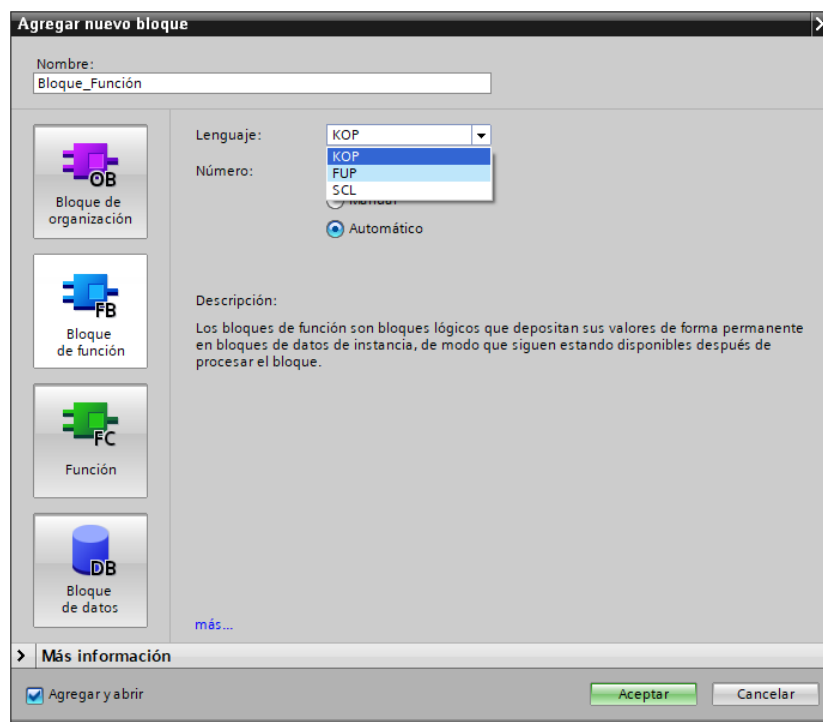


Figura 41- Selección del tipo de bloque a agregar.

7.3.4 Instrucciones

En este apartado presentaremos algunas de las operaciones y funciones básicas usadas a la hora de realizar el programa de control de este trabajo.

7.3.4.1 Operaciones lógicas con bits

Instrucciones tan simples como contactos NA, NC, Set, Reset y flancos.

-SET: La operación se ejecuta sólo si el resultado lógico de la entrada de la bobina es "1". Si fluye corriente hacia la bobina el operando indicado se pone a "1", y mantiene ese valor hasta que una operación de Reset lo cambie.

-RESET: La operación se ejecuta sólo si el resultado lógico de la entrada de la bobina es "1". Si fluye corriente hacia la bobina, el operando indicado se pone a "0", y mantiene ese valor hasta que una operación de Set lo cambie.

-Flancos: Consultar flanco de señal ascendente de un operando permite detectar si el estado lógico de un operando indicado ha cambiado de "0" a "1". La operación compara el estado lógico actual con el estado lógico de la consulta anterior, almacenado en una marca. Esto nos permite conocer el número de veces que se produjo un cambio de estado en un determinado operando.

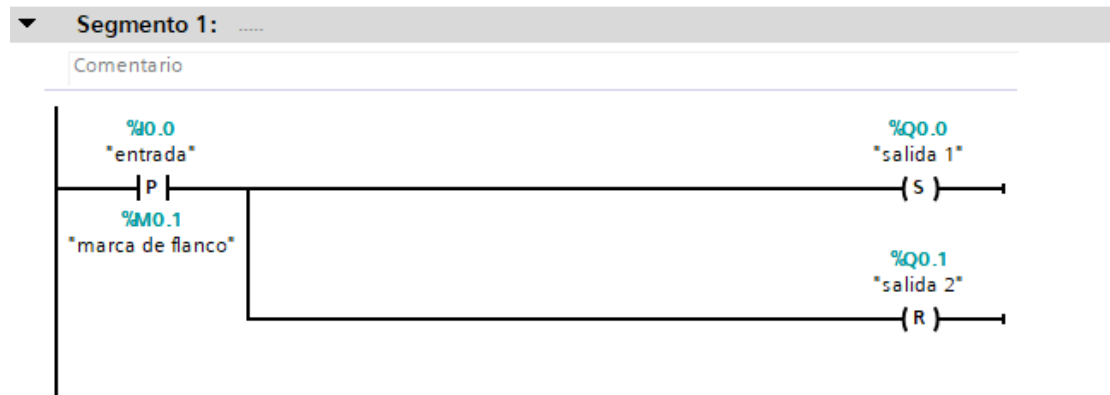


Figura 42- Segmento de programa con flanco de activación.

7.3.4.2 Temporizadores

Un temporizador siempre necesita un flanco positivo, para poder activarse. Se puede ajustar la base de tiempos asignándole segundos o minutos pero internamente solo trabaja en milisegundos. Al insertar un temporizador se debe reservar una zona de memoria para ser considerados como funciones de ahí que necesiten un DB.

Hay varios tipos de temporizadores como el TON (retardo a la conexión), TP (Impulso), TOF (retardo a la desconexión) y TONR (acumulador de tiempo).

Cada temporizador tiene una serie de parámetros, PT es el tiempo transcurrido cuando comienza la operación. La salida ET devuelve el tiempo que ha transcurrido desde el último flanco ascendente en la entrada IN.

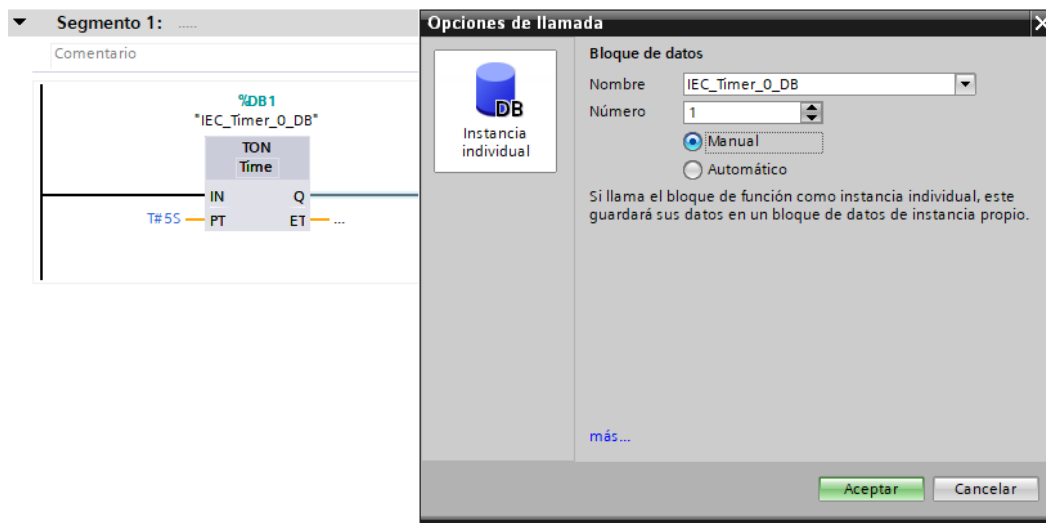


Figura 43- Temporizador y ventana de configuración.

7.3.4.3 Transferencia

Instrucción de transferencia o desplazamiento de valores:

-MOVE: La operación permite transferir el contenido del operando de la entrada IN al operando de la salida OUT1. Se puede asignar a diferentes variables al mismo tiempo con una sola instrucción. La transferencia se efectúa siempre por orden ascendente de direcciones. La operación se ejecuta sólo si el estado lógico de la entrada de habilitación EN es "1". En este caso, la salida ENO también devuelve el estado lógico "1".

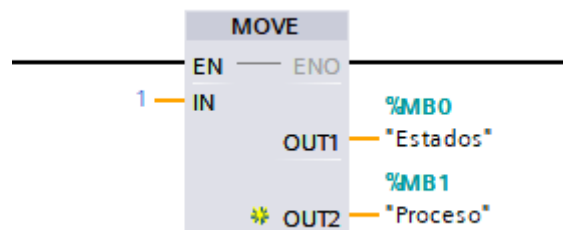


Figura 44- Bloque de función MOVE.

7.3.4.4 Conversores

-NORM_X: Permite normalizar el valor de la entrada VALUE mapeándolo en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala. En función de la posición del valor que se debe normalizar en este rango de valores, el resultado se calcula en la salida OUT y se deposita como número en coma flotante. Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada MIN, la salida OUT devuelve el valor "0.0". Si el valor que se debe normalizar adopta el valor de la entrada MAX, la salida OUT devuelve el valor "1.0".

-SCALE_X: permite escalar el valor de la entrada VALUE mapeándolo en un determinado rango de valores. Al ejecutar la operación "Escalar", el número en coma flotante de la entrada VALUE se escala al rango de valores definido por los parámetros MIN y MAX. El resultado de la escala es un número entero que se deposita en la salida OUT. Sólo se puede ejecutar si el estado lógico de la entrada de habilitación EN es "1". En este caso, la salida de habilitación ENO también devuelve el estado lógico "1".

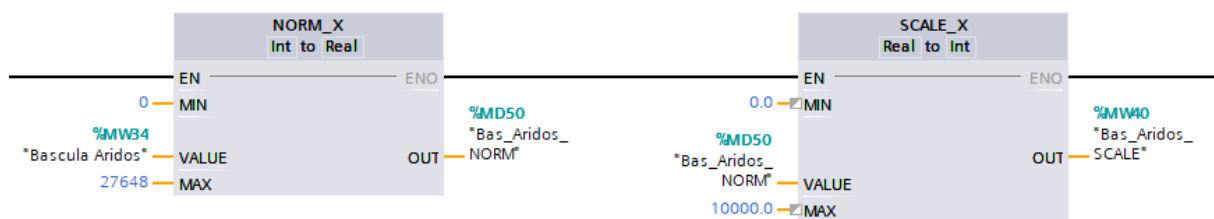


Figura 45- Bloques NORM_X y SCALE_X para tratamiento de señales analógicas.

7.4 Simulación offline PLCSIM

A la hora de realizar este trabajo nos fue imposible hacer un montaje en el laboratorio, como se hizo en ocasiones anteriores con máquinas más sencillas. Debido a la cantidad de entradas y salidas que tenemos en nuestro proceso y la falta de material para representar el proceso. Por lo tanto, tuvimos que realizar la simulación para la activación de nuestras variables de entrada y salida desde la pantalla HMI.

El PLCSIM permite comprobar el estado del proceso sin la existencia y la conexión del hardware que usaríamos en la puesta en marcha real.

A la hora de realizar la simulación nos dimos cuenta que el PLCSIM no reconoce variables de entrada que no sean marcas, es por eso que la totalidad del trabajo está escrito guardando nuestras entradas y variables de proceso en marcas internas del PLC.

Para realizar la simulación es necesario elegir un PLC que este actualizado a la última versión de firmware disponible. En nuestro caso la V4.2. Una vez tenemos el autómatas correctamente seleccionado solo debemos activar la simulación en la barra de herramientas y cargar el programa al PLC virtual. Para ello usaremos las herramientas siguientes:

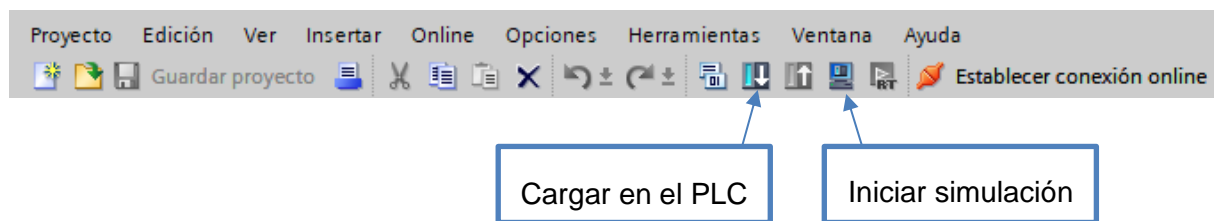


Figura 46- Barra de herramientas para la carga en el PLC y inicio de la simulación.

Una vez iniciada la simulación se nos abrirá la ventana emergente del PLC sim, a la que se le asignará una dirección IP virtual. Para conectarnos al PLC virtual debemos buscar nuestro dispositivo pulsando el botón de cargar en el PLC. Tras detectarlo cargaremos el programa y podremos empezar a realizar nuestras primeras pruebas.

La ventana emergente del PLCSIM simula el autómatas real, y nos proporciona una visualización del estado del PLC virtual. Podremos desplegar la ventana principal para controlar variables y realizar secuencias.

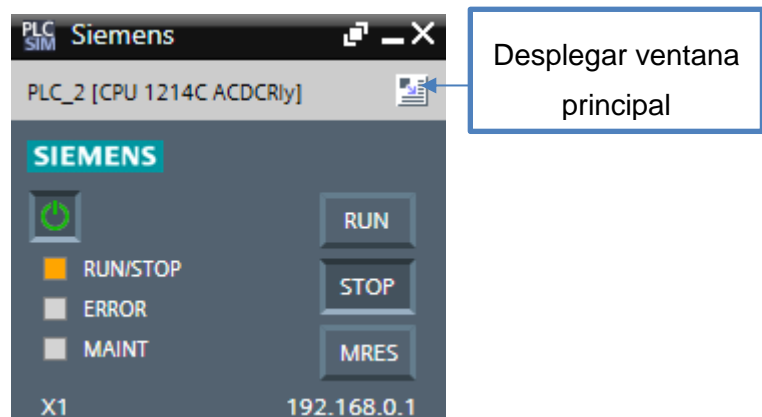


Figura 47- Ventana emergente del PLCSIM.

Dentro de esta ventana emergente podremos parar y activar el PLC. Sin embargo, para poder forzar el estado de nuestras variables o crear secuencias de funcionamiento debemos desplegar la propia ventana del PLC, obteniendo la siguiente ventana:

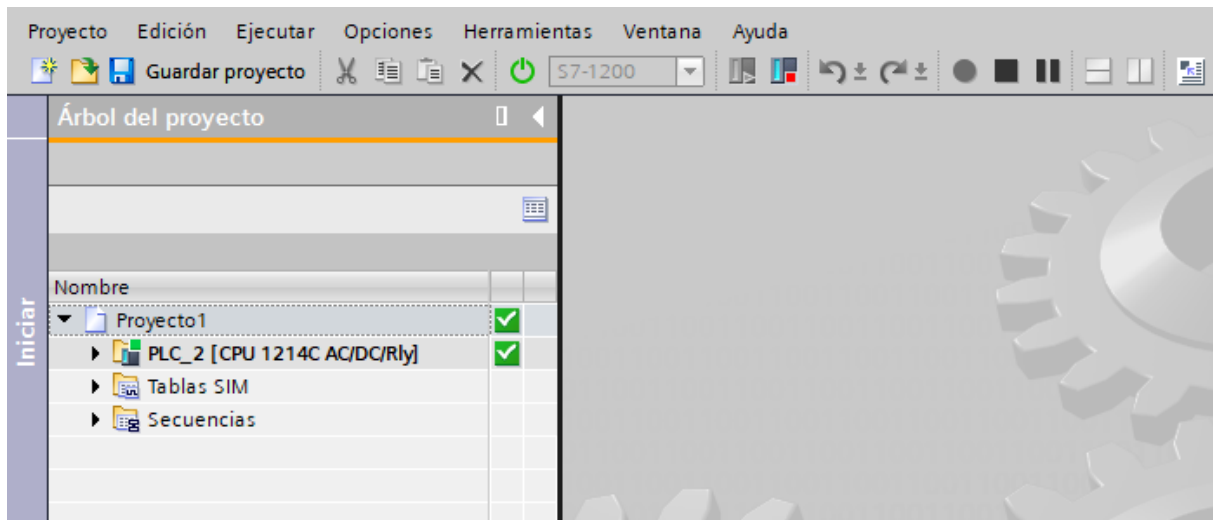


Figura 48- Ventana principal del PLCSIM.

Dentro de la ventana del PLCSIM tenemos dos opciones, una para crear tablas de simulación donde incluiremos las variables que nos interesa manipular, y otra para crear secuencias de funcionamiento. En la primera podremos forzar el estado de nuestras variables y ver el estado de cualquier otra entrada, salida o variable de proceso. En las secuencias, estableceremos, en base a una escala de tiempos, la sucesión de acciones a realizar para que el proceso se lleve a cabo.

Una vez iniciada la simulación en el programa de control podremos activar la visualización del proceso, de esta forma controlaremos por donde va nuestra señal y nos facilitará la búsqueda de errores en la ejecución del programa.

8 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de fin de grado se ha desarrollado una solución para el sistema de control y de supervisión de una fábrica de producción de hormigón tipo. Para llevar a cabo este trabajo, previamente, se han estudiado diferentes plantas industriales, los elementos involucrados en el proceso y se ha consultado con profesionales del sector para conocer las necesidades del proceso. Se ha seguido la Metodología de Trabajo, del profesor Javier Bouza, para el desarrollo e implementación de los sistemas industriales automatizados que se ha puesto en práctica con el presente trabajo. Y se ha desarrollado una fase de experimentación y de optimización en el Laboratorio de Hidráulica y Neumática de la Escuela Politécnica Superior de diferentes modelos previos y de la solución final.

La solución final desarrollada en este Trabajo ha permitido evaluar:

- 1) El comportamiento operativo del sistema en su funcionamiento normal y de emergencia.
- 2) Simular averías y analizar el comportamiento de la seguridad del sistema antes de su puesta en producción en la instalación final.
- 3) Constatar el mantenimiento y la puesta a punto que se puede realizar a través del HMI implementado.
- 4) Optimizar el sistema para alcanzar un diseño integrado e inteligente que permita una mayor eficiencia.

En definitiva, se ha obtenido una solución totalmente automatizada que no sólo contempla el algoritmo de control y su implementación sino también un HMI para la supervisión y la gestión. Esto proporciona el conocimiento en tiempo real del estado de operación del proceso, lo que permite desarrollar funciones de análisis, optimización y autodiagnóstico. El haber optado por la plataforma de ingeniería TIA portal ha garantizado tanto la interconectividad y compatibilidad de los distintos elementos de control como la interoperabilidad con la aplicación HMI desarrollada. A su vez, el PLC escogido, un S7-1200, permite disponer de flexibilidad para futuras ampliaciones o modificaciones del proceso, algo de interés para este tipo de fábricas. Por último, comentar que la reducción de la presencia de personal no va en detrimento de la operatividad de la instalación puesto que el sistema propuesto mejora la calidad de trabajo del operador y minimiza los “errores humanos”. Todo esto repercute en aumentar la seguridad de los trabajadores y de la instalación.

9 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Aquilino R. Penin, "Sistemas SCADA". Marcombo S.A, 2006.
- [2] Manual del sistema WinCC Advanced V13.0 SP1. (2014). Nürnberg: SIEMENS.
- [3] Manual del sistema STEP 7 Profesional V13.0 SP1. (2014). Nürnberg: SIEMENS.
- [4] Manual del sistema del controlador programable S7-1200. (2014). Nürnberg: SIEMENS
- [5] Siemens, "Autómata Programable S7-200, Configuración, instalación y Datos de la CPU", Ref.: 6ES7-398-8AA03-8DA0, 1998.
- [6] Siemens, "Manual de Programación. Software de Sistema para S7-200. Diseño de programas", Ref.: 6ES7-810-4CA04-8DA0, 2000.
- [7] Siemens, "Manual del Sistema de Automatización de Automatización S7-200", Ref.: 6ES7298-8FA24-8DH0, 2008.
- [8] Siemens, "Simatic HMI. WinCC flexible 2008. Compact /Standard / Advanced". Manual del usuario. Ref.: 6AV6691-1AB01-3AE0, 2008.
- [9] Siemens, "Wincc. Manual de Configuración". Vol. 1, Ref.: 6AV6392-1CA05-0AB0, 2005.
- [10] Siemens, Web "Industry Online Support". <http://support.automation.siemens.com>
- [11] Martínez Torres, J.; Diez, J.M. (2011). Aprende WinCC. Valencia: Universitat Politècnica de València.
- [12] CETOP Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques <http://www.cetop.org/news/index.asp>
- [13] FESTO https://www.festo.com/cms/es_es/index.htm
- [14] Srinivas, R.M. & Rajagopal, V. 2009, Industrial Automation using Programmable Logic Controller,
- [15] Bouza Fernández, Javier. "Desarrollo y optimización de metodologías para el diseño e implementación de sistemas electrohidráulicos y electroneumáticos eficientes. Tesis Doctoral, Universidad da Coruña, 2015.
- [16] A. & Cortes Osorio, J.A. 2011, "Control secuencial de un circuito electroneumático a través de un PLC.", Scientia et Technica, vol. 2, no. 48, pp. 191-195.