



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

RESUMEN

Desarrollo de la automatización de un proceso de clasificación y procesado de piezas, formado por un sistema de transporte de piezas mediante cintas transportadoras y cilindros neumáticos de succión mediante ventosa, en el que se han implementado diversos modos de funcionamiento. La detección del tipo de pieza se lleva a cabo por medio de un sensor fotoeléctrico. Para efectuar la automatización del sistema, debido al gran número de entradas y salidas digitales del proceso, se ha realizado la comunicación entre autómatas con el fin de intercambiar información y coordinarse para poder realizar la tarea programada. Por otro lado, para llevar un control e interactuar con el proceso, se ha creado un servidor OPC a través del cual se comparte la información relevante del proceso; dicha información es monitorizada y tratada mediante un sistema SCADA donde el usuario tiene la posibilidad de visualizar y definir el funcionamiento del proceso y los parámetros de ejecución. Finalmente, con el propósito de optimizar la interacción usuario-máquina, se desarrolla un panel de control que es implementado en un dispositivo de hardware inalámbrico, de este modo el usuario tiene la posibilidad de controlar el proceso in situ. De este modo las tareas realizadas son:

- Diseño de la automatización de un sistema de clasificado y procesado de piezas.
- Implementación de la automatización de un sistema de clasificado y procesado de piezas.
- Establecimiento de la comunicación entre autómatas.
- Creación del servidor OPC.
- Desarrollo de un sistema SCADA.
- Desarrollo de un sistema de visualización en un dispositivo hardware inalámbrico.

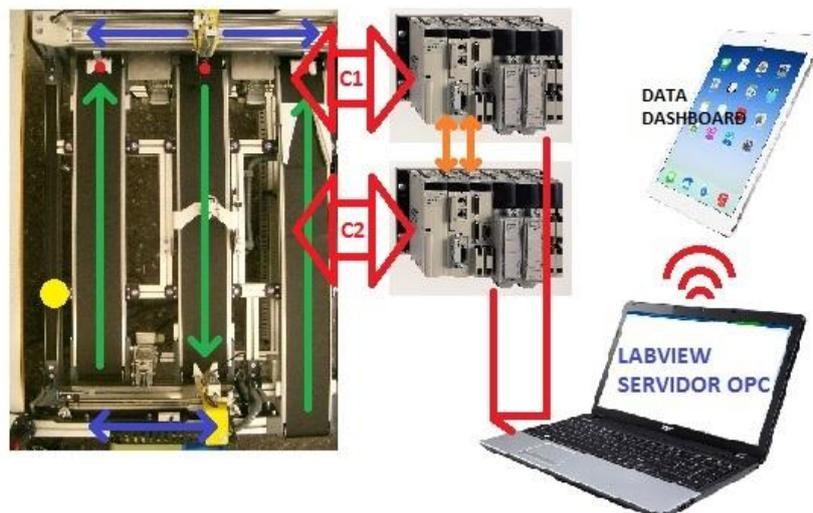


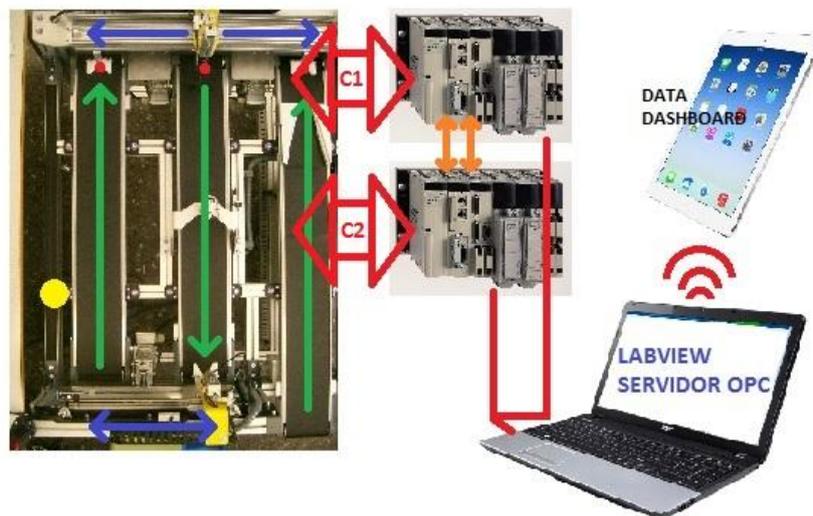
Ilustración 1: Esquema del proceso

Palabras clave: automatización, PLC, comunicación, OPC, SCADA, monitorización, control

RESUM

Desenvolupament de l'automatització d'un procés de classificació i processat de peces, format per un sistema de transport de peces mitjançant cintes transportadores i cilindres pneumàtics de succió mitjançant ventosa, en el que s'han implementat diversos modes de funcionament. La detecció del tipus de peça es du a terme per mitjà d'un sensor fotoelèctric. Per a efectuar l'automatització del sistema, a causa del gran nombre d'entrades i eixides digitals del procés, s'ha realitzat la comunicació entre autòmats a fi d'intercanviar informació i coordinar-se per a poder realitzar la tasca programada. D'altra banda, per a portar un control i interactuar amb el procés, s'ha creat un servidor OPC a través del qual es comparteix la informació rellevant del procés; aquesta informació és monitoritzada i tractada mitjançant un sistema SCADA on l'usuari té la possibilitat de visualitzar i definir el funcionament del procés i els paràmetres d'execució. Finalment, amb el propòsit d'optimitzar la interacció usuari-màquina, es desenvolupa un panell de control que és implementat en un dispositiu de hardware sense fil, d'esta manera l'usuari té la possibilitat de controlar el procés in situ. D'esta manera les tasques realitzades són:

- Disseny de l'automatització d'un sistema de classificat i processat de peces.
- Implementació de l'automatització d'un sistema de classificat i processat de peces.
- Establiment de la comunicació entre autòmats.
- Creació del servidor OPC.
- Desenvolupament d'un sistema SCADA.
- Desenvolupament d'un sistema de visualització en un dispositiu de hardware sense fil.



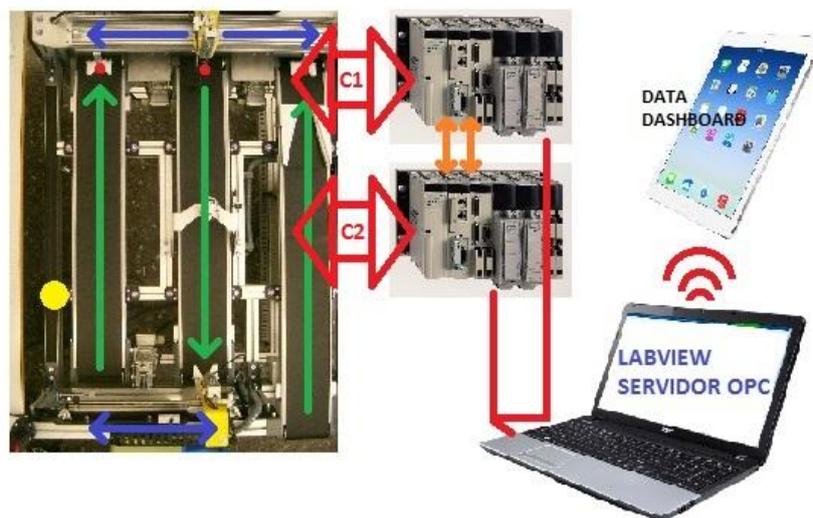
Il·lustració 2: Esquema del sistema

Paraules clau: automatització, PLC, comunicació, OPC, SCADA, monitorització, control

ABSTRACT

Automation development of a classification process and processing of parts, comprising a transport system of parts by conveyors and pneumatic cylinders suction by suction pad, inside which it has been implemented a variety of operating modes. The type detection part takes place through a photoelectric sensor. Due to the large number of inputs and outputs of the process, communication between controllers is necessary to exchange information and coordinate to perform the scheduled task in order to make the automation system effective. On the other hand, to take control and interact with the process, an OPC server has created through which the relevant information of the process is shared; this information is monitored and treated by a SCADA system where the user is able to visualize and define the performance of the process and the implementation of parameters. Finally, in order to optimize the process of user-machine interaction, a control panel is developed, implemented in wireless device hardware, so the user is able to control the process in situ. Thus the tasks are performed:

- Automation design of a classification process and processing of parts.
- Automation implementation of a classification process and processing of parts.
- Establishing communication between controllers.
- OPC server is created.
- SCADA system is developed.
- Display system is developed in wireless device hardware.



Picture 3: System scheme

Keywords: automation, PLC, communication, OPC, SCADA, monitoring, control

ÍNDICE

DOCUMENTOS

- DOCUMENTO Nº1: MEMORIA 10
- DOCUMENTO Nº2: PRESUPUESTO 52

ÍNDICE DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

1. OBJETIVO.....	14
2. INTRODUCCIÓN.....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.1.1. Tipo de lógica.....	15
2.1.2. Elementos de control	16
2.1.3. Lenguajes de programación	18
2.1.4. Software de programación.....	19
2.1.5. Software de visualización	19
2.1.6. Software de comunicación.....	20
2.1.7. Software para dispositivo inalámbrico.....	20
2.2. Motivación.....	21
2.3. Justificación	21
2.4. Legislación.....	22
3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	23
3.1. Descripción del proceso a automatizar	23
3.2. Propósitos y funcionamiento del sistema automatizado.....	24
3.3. Automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas.....	26
3.3.1. Variador 1	27
3.3.2. Variador 2	28
3.3.3. Variador 3	29
3.3.4. Congelación y modos de marcha	31
3.3.5. Cinta 1.....	34
3.3.6. Cinta 2.....	35
3.3.7. Cinta 3.....	37
3.3.8. Eje lineal eléctrico	39
3.3.9. Pick and place	42
3.4. Servidor OPC.....	44
3.5. Sistema SCADA	45
3.6. Implementación en pantalla táctil.....	49
4. CONCLUSIONES	50
5. BIBLIOGRAFÍA.....	51

ÍNDICE DOCUMENTO Nº2: PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN.....	56
2. CUADRO DE PRECIOS	56
2.1. Cuadro de precios nº 1: Precios de la mano de obra	56
2.2. Cuadro de precios nº 2: Precios de los materiales.....	57
2.3. Cuadro de precios nº 3: Precios unitarios	59
2.4. Cuadro de precios nº 4: Precios descompuestos	60
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL, PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA Y PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN	62

DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE CLASIFICADO Y PROCESADO DE
PIEZAS CON MONITORIZACIÓN Y CONTROL
MEDIANTE PANTALLA TÁCTIL

DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA

ÍNDICE DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

1. OBJETIVO.....	14
2. INTRODUCCIÓN.....	15
2.1. Antecedentes.....	15
2.1.1. Tipo de lógica.....	15
2.1.2. Elementos de control	16
2.1.3. Lenguajes de programación	18
2.1.4. Software de programación.....	19
2.1.5. Software de visualización	19
2.1.6. Software de comunicación	20
2.1.7. Software para dispositivo inalámbrico.....	20
2.2. Motivación.....	21
2.3. Justificación	21
2.4. Legislación.....	22
3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN	23
3.1. Descripción del proceso a automatizar	23
3.2. Propósitos y funcionamiento del sistema automatizado.....	24
3.3. Automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas.....	26
3.3.1. Variador 1	27
3.3.2. Variador 2	28
3.3.3. Variador 3	29
3.3.4. Congelación y modos de marcha	31
3.3.5. Cinta 1.....	34
3.3.6. Cinta 2.....	35
3.3.7. Cinta 3.....	37
3.3.8. Eje lineal eléctrico	39
3.3.9. Pick and place	42
3.4. Servidor OPC.....	44
3.5. Sistema SCADA	45
3.6. Implementación en pantalla táctil.....	49
4. CONCLUSIONES	50
5. BIBLIOGRAFÍA.....	51

1. OBJETIVO

El objetivo del trabajo es la automatización de un sistema de clasificado y procesado de piezas compuesto por cintas transportadoras y cilindros neumáticos, para ello será necesaria la comunicación entre varios autómatas. A través de un servidor OPC se transmitirán los datos involucrados en el funcionamiento del proceso y se desarrollará un sistema SCADA que permita la visualización y control del mismo. Del mismo modo, se implementará un panel de control en un dispositivo inalámbrico con el fin de relacionar al usuario con el sistema físico real.



Figura 1: Maqueta Célula de Procesos Industriales Automática

2. INTRODUCCIÓN

A continuación se presentarán las técnicas o enfoques alternativos que existen para abordar la resolución del problema de carácter claramente tecnológico, así como la motivación y justificación del mismo desde un punto de vista académico. De igual forma, se hará mención expresa de la legislación vigente aplicable al proyecto.

2.1. Antecedentes

En el momento de plantear el problema aparecen una serie de alternativas viables para desarrollar la solución entre las cuales habrá que elegir la que mejor se adapte teniendo en cuenta la facilidad de programación, la disposición de elementos o cualquier otra razón que justifique la elección de una alternativa frente a otra también factible. Así pues, será necesario analizar los diferentes aspectos del problema en cuanto a:

2.1.1. Tipo de lógica

A la hora de desarrollar el diseño del automatismo, la tecnología ofrece dos alternativas: una más antigua como es la lógica cableada, y otra más moderna, ligada a la aparición de los ordenadores, como es la lógica programada.

- *Lógica cableada*: se basa en la utilización de componentes electromagnéticos como relés, electromecánicos como contactores y dispositivos lógicos tales como biestables, para llevar a cabo la implementación del automatismo de manera física y realizar tareas de forma secuencial.

Como inconvenientes:

- Dificultad para implementar automatismos complejos, número limitado de maniobras
- Complejidad en las tareas de diseño y mantenimiento
- Reparaciones costosas económicamente
- Gran volumen y peso
- Imposibilidad de modificar variables o parámetros, necesidad de rediseñar el circuito

Como ventajas:

- Posibilidad de diseñar utilizando diferentes tecnologías (electrónica, neumática, oleo-hidráulica)
- *Lógica programada*: implementación de ecuaciones lógicas en dispositivos lógicos programables basados en circuitos integrados, fácilmente reprogramables modificando el software que incorporan.

Como inconvenientes:

- Poca robustez
- Necesaria mano de obra cualificada para su manipulación

Como ventajas:

- Alta versatilidad
- Menor coste económico, posibilidad de ampliar la funcionalidad sin coste adicional
- Facilidad para implementar automatismos complejos
- Mantenimiento más sencillo

Ante las posibilidades que se plantean, se elige la lógica programada debido a su alta versatilidad, así como a las facilidades que presenta en cuanto a la programación de automatismos complejos, lo cual será ventajoso en el sistema a automatizar.

2.1.2. Elementos de control

Para controlar los dispositivos que componen el sistema, existen distintos tipos de controladores, cada uno con unas especificaciones concretas y un uso determinado. De este modo, las opciones son: PC industrial junto a una tarjeta de adquisición de datos, controlador lógico programable (PLC), microcontrolador o regulador digital.

- *PC industrial con tarjeta de adquisición de datos:* conexión que permite el tratamiento de señales digitales y analógicas realizando control de procesos combinando ambas. El PC se encarga de controlar el funcionamiento de la tarjeta.

Como inconvenientes:

- Es necesaria la utilización de numerosos componentes (PC, tarjeta de adquisición de datos, acondicionadores de señal, convertidores A/D y D/A, etc...)
- El PC se encarga del control del proceso en su totalidad, con el peligro que conlleva cualquier error del sistema operativo
- Programación compleja (C++, ...)

Como ventajas:

- Aprovechamiento del PC para el almacenamiento de datos y la representación gráfica de resultados
 - Gran velocidad de procesamiento
 - Elevada capacidad de comunicación
- *Controlador Lógico Programable (PLC):* dispositivo electrónico programable que, implementando en él instrucciones, es capaz de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas uno o varios procesos secuenciales en un entorno principalmente industrial.

Como inconvenientes:

- Necesidad de mano de obra cualificada para su programación y mantenimiento
- Relativamente poca memoria
- Compatibilidad con equipos de otras marcas
- Lenguajes de programación exclusivos para algunos modelos

Como ventajas:

- Instalación sencilla por personal cualificado
 - Capacidad de controlar varios procesos industriales
 - Facilidad en la detección de fallos debido al mejor monitoreo de los procesos
 - Ideal para procesos de producción cambiantes, basta con implementar un nuevo diseño
 - Diseñados para un entorno de trabajo adverso (ruido, impactos, temperatura, etc...)
 - Proyectos ampliables en el futuro
- *Microcontrolador*: circuito integrado programable de alta escala de integración que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño, es ideal para integrarlo en el dispositivo que gobiernan, lo que se conoce como controlador empotrado.

Como inconvenientes:

- Diseñados para aplicaciones concretas (empotrados en el dispositivo que gobiernan)
- Desarrollo de hardware específico para su funcionamiento
- Limitados cuando se trata de un proyecto que posiblemente sufra ampliaciones en un futuro

Como ventajas:

- Velocidad de procesamiento alta
 - Reducido tamaño
 - Proyectos de bajo presupuesto
- *Regulador digital*: dispositivos configurables desde la botonera que incorporan, compuestos por un sensor, un indicador digital de la variable controlada y una salida de regulación. Ideales para realizar un control continuo de una variable.

Como inconvenientes:

- Baja velocidad de procesamiento
- Reducido número de E/S

Como ventajas:

- Control continuo de procesos (temperatura, presión, etc...)

En cuanto a elementos de control se refiere, se ha elegido el control mediante controlador lógico programable (PLC) debido a su facilidad de programación y a la capacidad de ser reprogramado cada vez que se precisa realizar una ampliación del proceso, lo que permite comprobar, paso a paso, el correcto funcionamiento del sistema automatizado. Además, en el laboratorio se dispone de varias unidades, condición necesaria para realizar la programación del sistema.

Puesto que se utilizarán los autómatas disponibles en el laboratorio, modelo *TSX Premium* de la marca *Schneider*, no será necesaria la elección entre una marca o tipo de PLC concreto, sin embargo, debido al imparable crecimiento de la automatización en la industria, son numerosas las empresas dedicadas al desarrollo y comercialización de PLC's, entre las cuales destacan: *Siemens, Omron, Allen-Bradley o Schneider*.

2.1.3. Lenguajes de programación

En función del software utilizado, del nivel de conocimiento del programador y del sistema que se quiera automatizar entre otras condiciones, existen varias posibilidades en el momento de elegir un lenguaje de programación. Estas son las alternativas: lista de instrucciones (IL) y texto estructurado (ST) como lenguajes literales; y diagrama de contactos (LD), diagrama de bloques de funciones (FBD) y diagrama de funciones secuenciales (SFC) como lenguajes gráficos.

- *Lista de instrucciones (IL)*: lenguaje de texto basado en ejecución de instrucciones secuenciales, similar al ensamblador. Es muy utilizado en la industria y, generalmente, su uso se centra en programas de poca extensión. Requiere gran comprensión del mismo.
- *Texto estructurado (ST)*: lenguaje de texto basado en lenguajes de alto nivel, similar a lenguaje C. La principal ventaja frente al anterior es la facilidad para la implementación de estructuras cíclicas.
- *Diagrama de contactos (LD)*: lenguaje de tipo gráfico basado en los antiguos circuitos eléctricos formados por bobinas y relés de la lógica cableada. Principalmente, su uso se limita al trabajo con variables booleanas y es uno de los lenguajes más utilizados en la industria.
- *Diagrama de bloques de funciones (FBD)*: lenguaje de tipo gráfico que permite agrupar funciones en bloques, de tal modo que facilita la programación al usuario. Su uso se centra en procesos sencillos.
- *Diagrama de funciones secuenciales (SFC)*: lenguaje de tipo gráfico basado en la estructuración de etapas, acciones y transiciones que permiten al usuario seguir de manera visual la evolución secuencial del automatismo. Conjuntamente, admite la posibilidad de combinar el lenguaje de diagrama de contactos para desarrollar transiciones más complejas, dotándolo de mayor flexibilidad.

Así pues, se opta por el lenguaje de diagrama de funciones secuenciales (SFC) dada las facilidades que presenta en cuanto a visualización, así como la posibilidad de combinación con el lenguaje de diagrama de contactos para la creación de programas más complejos, lo que permitirá una mayor comprensión del problema al dividirlo en problemas más sencillos.

2.1.4. Software de programación

Una vez seleccionada el tipo de lógica, los elementos de control y el lenguaje de programación, llega el momento de relacionar e implementar todo ello en un programa para que el sistema comience a funcionar. Entre las posibilidades que ofrece el mercado se encuentran:

- *STEP7* software para autómatas de la marca *Siemens*
- *CX-Programmer* para la marca *Omron*
- *RSLogix*, en sus diferentes versiones, para la marca *Allen-Bradley*
- *Unity Pro* para la marca *Schneider*

Como previamente ha sido elegido el autómata *TSX Premium* de la marca *Schneider* por su disponibilidad en los laboratorios de trabajo, la programación con *Unity Pro* será la más adecuada. Además, dada la necesidad de establecer una comunicación entre autómatas debido al gran número de entradas y salidas del sistema, *Unity Pro* ofrece la posibilidad de, a través de Ethernet TCP/IP, realizar la configuración de la comunicación mediante tres servicios: *Peticiones de mensajería aperiódica*, *Exploración de E/S* y *Datos globales*. Para este trabajo se ha optado por el servicio de *Exploración de E/S* por su sencillez y rapidez de programación a la hora de establecer la comunicación entre los dos autómatas que serán necesarios para automatizar el proceso.

2.1.5. Software de visualización

Con el fin de poder monitorizar y controlar el proceso de manera remota, es necesaria la utilización de un programa que permita realizar una fiel representación del sistema y su funcionamiento. La utilización de un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) es lo más frecuente en estos casos. De este modo, se lista una serie de programas que permiten implementar dicho sistema de representación:

- *WinCC Flexible Advance* para *Siemens*
- *CX-Supervisor* para *Omron*
- *RSView32* para *Allen-Bradley*
- *Vijeo Designer* para *Schneider*
- *LabView*, programación en C, etc... como software de propósito general.

De entre las opciones que plantea el mercado, se ha elegido *LabView* debido a su capacidad de comunicación, directamente relacionado con el servidor OPC que se creará más adelante, a su facilidad de programación, no requiriendo un nivel alto de conocimientos, y a la posibilidad que ofrece en cuanto al tratamiento de imágenes, lo que permitirá desarrollar una representación con imágenes reales del proceso en cuestión. Además, al ser un software genérico, no depende del fabricante del autómatas, lo que da flexibilidad a la hora de elegir la marca del PLC. Sin embargo, al no ser específico de una marca, es posible que haya estructuras que se deban crear para desarrollar el SCADA.

2.1.6. Software de comunicación

Llegado este punto, solo queda determinar la forma en la que el sistema automatizado y el software de visualización se comuniquen e interaccionen para poder intercambiar datos. Las posibilidades que ofrece el mercado son: drivers propietarios o servidor OPC.

- *Drivers propietarios*: para establecer la comunicación entre diferentes programas, es necesario que cada uno de ellos incorpore los drivers adecuados para poder enviar y recibir datos del resto de programas, lo que supone un problema de compatibilidades y dificulta la comunicación.
- *Servidor OPC (OLE for Process Control)*: estándar de comunicación abierto y flexible que permite que diferentes componentes software intercambien datos evitando el problema de compatibilidad que surge con los drivers propietarios. Las tres partes que interviene en una comunicación mediante servidor OPC son: software que opera como fuente de datos, servidor OPC y cliente OPC.

▪

Dadas las facilidades que presenta un servidor OPC a la hora de establecer comunicación entre diferente software, se opta por esta opción, y en concreto se trabajará con *KEPServerEX* de la marca *Kepware*, aunque en el mercado existen otras opciones también válidas como: *Bachmann*, *Comsoft*, *IBHSoftec*, *Wonderware*, etc...

2.1.7. Software para dispositivo inalámbrico

Con el objetivo de optimizar el control sobre el proceso, se desarrollará un panel de visualización en un dispositivo hardware inalámbrico, el cual permitirá al usuario monitorizar y controlar el funcionamiento del proceso in situ, ofreciendo la posibilidad de detectar cualquier fallo o mal funcionamiento observando el sistema real.

Dado que el dispositivo será un iPad, se listan algunas alternativas que presenta el mercado: *ProSoft i-View* de *ProSof*, *iCem* de *Wonderware*, *mySCADA* de *SPEL* o *Data Dashboard* de *National Instruments*. En este caso, se elige la aplicación *Data Dashboard* de *National Instruments* por su facilidad de configuración, por relación directa con el sistema SCADA de *LabView*, y por la posibilidad que ofrece de implementar toda la representación del sistema en una única pantalla de visualización.

2.2. Motivación

En la actualidad, no es elogiado decir que la automatización es uno de los pilares fundamentales del mundo industrial, como es sabido, desde principios del siglo XIX -en 1801 Joseph Marie Jacquard diseña un telar automático utilizando tarjetas perforadas (citado en Wikipedia, "Automatización Industrial")- las industrias han ideado sistemas capaces de reproducir la actividad humana principalmente en tareas repetitivas, reduciendo así, costes de producción, aumentando la eficiencia y mejorando la calidad de los productos finales. Si bien, no es hasta la aparición de las computadoras en la década de 1960, cuando la automatización adquiere un papel sumamente importante en el mundo industrial.

A día de hoy, pocos son los procesos industriales en los que no interviene la automática, ya sea en una parte o en la totalidad del proceso productivo. Por tanto, es obvia la importancia de conocer y estudiar esta rama de la ingeniería.

En este contexto, la motivación surge del interés del autor en ampliar conocimientos relacionados con la asignatura Tecnología Automática y de consolidar los ya adquiridos durante el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales.

2.3. Justificación

El hecho de que la automática sea una disciplina consolidada en el mundo industrial es razón de más para la realización del presente trabajo, no obstante, existen más factores que lo justifican de igual modo.

Principalmente, desde el punto de vista académico, permite al autor afianzar conocimientos en materias impartidas durante el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales, no solo relacionadas con la automática y el control, sino también con la redacción de proyectos, la informática, etc... Por otro lado, al trabajar con una maqueta de un proceso real, el autor tiene la posibilidad de experimentar y afrontar la resolución de problemas con los que en un futuro tendrá que lidiar, como son las limitaciones físicas y técnicas que aparecen en toda clase de proyectos.

Desde otra perspectiva, como es el interés industrial y tecnológico que presenta la automatización de un proceso productivo, las empresas se ven en la necesidad de automatizar porque deben mejorar la calidad de sus productos en relación a la competencia, para optimizar sus recursos (económicos, humanos, materiales, etc...) o, principalmente, para incrementar la productividad. Todo ello hace que la automatización sea un factor determinante en el crecimiento de una empresa.

2.4. Legislación

A continuación se hace mención expresa de la legislación vigente aplicable al proyecto:

- EN ISO 13849-1:2006: Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño.
- EN ISO 13849-2:2004: Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 2: Validación.
- IEC 61131: Estándar internacional de autómatas programables. Abarca los lenguajes de programación.
- IEC 60870-5-104: Red TCP/IP para establecer comunicaciones.
- IEC 62541:2015: Arquitectura OPC unificada (OPC UA).
- UNE –EN 60848:2013: Lenguaje de especificación GRAFCET para diagramas funcionales secuenciales.

3. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Una vez realizado el estudio de alternativas y elegida la opción más adecuada en cada aspecto del problema, se describe el proceso a automatizar, se exponen los propósitos que van a ser abordados, se explica el funcionamiento del sistema automatizado y se desarrolla la solución para cada uno de los propósitos.

3.1. Descripción del proceso a automatizar

Para entender el funcionamiento y tener una visión del proceso que se va a automatizar, a partir de una imagen del proceso (Artitecnic Automatización, S.L. (2009), “Maqueta célula de procesos industriales automática”), definiremos los principales movimientos de las diferentes partes.

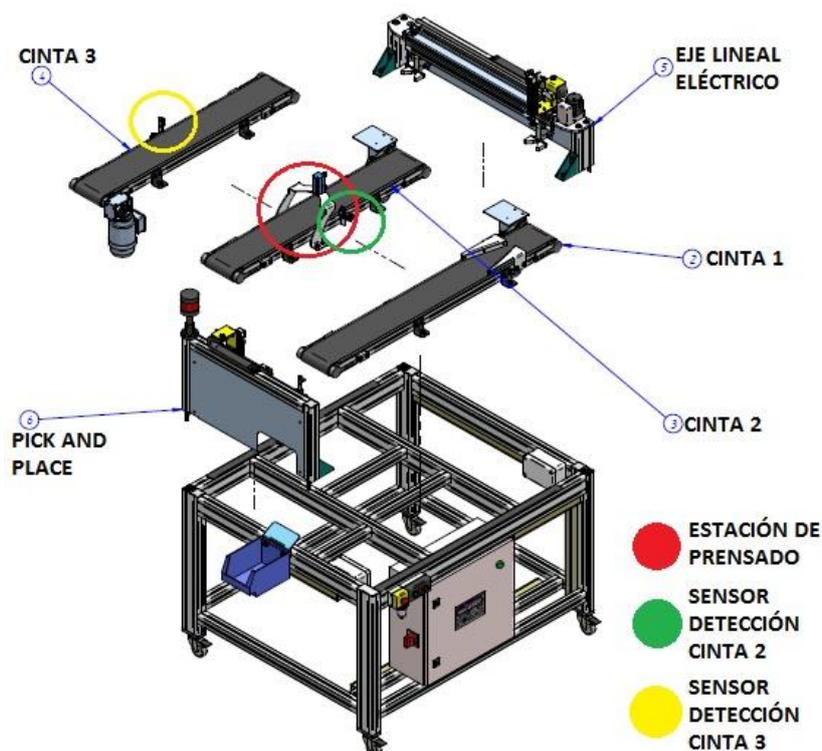


Figura 2: Maqueta Célula de Procesos

El eje lineal eléctrico tendrá configuradas tres posiciones en las que succionará o dejará la pieza según el caso, estas posiciones se corresponden con las tres cintas. Por otro lado, el pick and place, solamente tiene permitido el movimiento entre las cintas 2 y 3, en la cinta 2 recogerá la pieza y la depositará en la cinta 3. La cinta 1 y la cinta 3 se moverán para transportar piezas hacia el eje lineal, y la cinta 2 lo hará al contrario, hacia el pick and place.

3.2. Propósitos y funcionamiento del sistema

Las tareas esenciales a realizar para llevar a cabo la realización del trabajo vendrán a ser:

- La automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas.
- La creación de un servidor OPC.
- El desarrollo de un sistema SCADA.
- El desarrollo de un sistema de visualización en un dispositivo hardware inalámbrico.

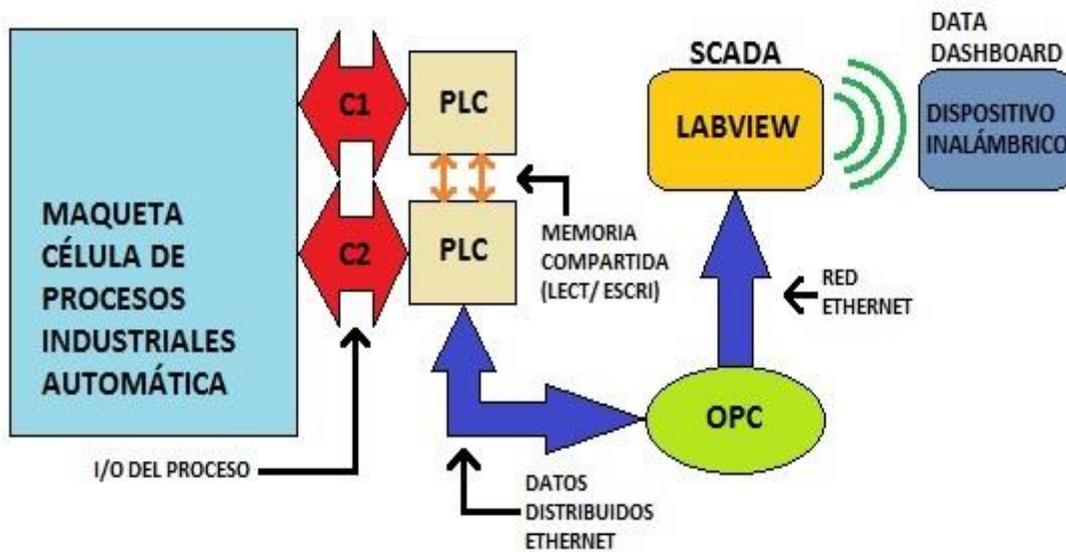


Figura 3: Representación del sistema

El sistema de clasificado y procesado de piezas será conectado por medio de dos mangueras de conexión (conector C1 y conector C2) a los dos PLC's necesarios para automatizar el proceso. Uno de ellos hará las funciones de maestro y otro de esclavo, por lo que el maestro tendrá la posibilidad de leer y escribir datos en las direcciones del esclavo, ambos serán conectados al PC a través de la red. En el PC se desarrollará el sistema SCADA y se creará el servidor OPC, este último necesario para poder transmitir los datos al dispositivo hardware inalámbrico, donde se implementará un sistema de visualización para permitir al usuario realizar un control in situ del proceso automatizado.

Una vez han sido definidas las líneas generales de actuación y se ha expuesto de manera genérica el proceso a seguir, es momento de explicar el funcionamiento del sistema automatizado. En primer lugar, tras conectar la alimentación del proceso, se permite al usuario elegir entre dos modos de marcha:

- *Continuo*: la cinta 1 estará en marcha de manera indefinida mientras se suministren piezas o, si se indica el número de piezas, hasta procesar la cantidad indicada.
- *Paso a paso*: la cinta 1 se pondrá en marcha cada vez que el usuario ordene procesar una pieza. En este caso el usuario pondrá en marcha la cinta 1 tantas veces como piezas quiera procesar.

Una vez en marcha y tras recorrer la cinta 1, la pieza pasa a la cinta 2 por medio de un cilindro neumático dotado de una ventosa de succión en su extremo. En el paso por la cinta 2 se pueden dar dos situaciones, que se detecte que la pieza es alta por medio de un sensor fotoeléctrico ajustado para detectar solo piezas altas o, que no se detecte pieza al pasar por donde está situado el sensor fotoeléctrico, lo que querría decir que la pieza es baja y al llegar al final de la cinta 2, subirá una compuerta y terminaría el procesado de dicha pieza.

Si se detecta pieza alta al pasar por el sensor fotoeléctrico, un cilindro de prensado marcaría la pieza alta y, al llegar al final de la cinta 2, sería transportada a la cinta 3 por medio de otro cilindro neumático dotado, igualmente, de una ventosa de succión en su extremo. Una vez en la cinta 3, la pieza alta recorrería la cinta hasta encontrarse con otro sensor fotoeléctrico, momento en que se detendría la cinta 3 hasta que el usuario retirara la pieza alta y colocara una pieza baja en su lugar. Tras realizar dicha permuta, la cinta 3 volvería a ponerse en movimiento transportando la pieza baja hasta el final de la cinta, llegado ese momento, el mismo cilindro neumático que trasladó la pieza alta desde la cinta 1 a la cinta 2, transportaría la pieza baja desde la cinta 3 a la cinta 2. En esta ocasión, la pieza baja no sería detectada por el sensor fotoeléctrico situado en la cinta 2, llegaría al final de dicha cinta, se abriría la compuerta y la pieza terminaría su procesado.



Figura 4: Piezas bajas (delante) y piezas altas (detrás)

Por otro lado, se permite al usuario interrumpir el proceso con un pulsador (*Pausa*), ya sea a través del dispositivo hardware inalámbrico, a partir del sistema SCADA de manera remota o, físicamente mediante la botonera instalada en el sistema de clasificado, para realizar comprobaciones del sistema y una vez realizadas reanudar el proceso. Además, cabe la posibilidad de detener el proceso de manera permanente (*Stop*) durante el tiempo que se precise para solucionar cualquier fallo, resuelto este, continuaría el proceso.

El sistema siempre se reanuda y continuará a partir del instante en que fue detenido, ya sea interrupción (*Pausa*) o parada indefinida (*Stop*), hasta completar el procesamiento de la pieza que en ese momento esté siendo procesada. Sin embargo, tras la interrupción (*Pausa*), el sistema continuará procesando, si es que debe seguir clasificando piezas, sin necesidad de la intervención del usuario, mientras que si se detiene de manera indefinida (*Stop*), será necesario dar la orden de puesta en marcha, a través del dispositivo hardware inalámbrico, del sistema SCADA o bien desde la botonera física, para que el sistema admita una nueva pieza.



Figura 5: Botonera física de la maqueta

3.3. Automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas

En el apartado anterior han sido listados los propósitos que se persiguen para resolver el problema y ha sido explicado, desde un punto de vista genérico, el funcionamiento del sistema. A continuación, se desarrollará la solución para cada propósito, comenzando por la automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas. Previamente a la implementación de los diagramas de funciones secuenciales (SFC) que aquí se exponen, el autor realizó el diseño del automatismo utilizando los conocimientos adquiridos en la asignatura Tecnología Automática, fueron diseñados los graficets y después implementados en diagramas SFC y diagrama de contactos (LD), lo que se procede a desarrollar.

3.3.1. Variador 1

Para que las tres cintas funcionen y puedan transportar piezas, es necesaria la intervención de tres variadores de frecuencia instalados en el sistema de clasificado y procesado, los cuales modificarán la velocidad de las cintas en función del número de piezas que hayan sido detectadas como altas. De este modo, a mayor número de piezas altas procesadas, mayor será la velocidad de las cintas, hasta llegar a un valor de cuatro piezas altas contabilizadas, momento en el cual los variadores volverán a restablecer la velocidad inicial. Así pues, el diagrama SFC que gobierna el variador 1 asociado a la cinta 1 queda de la siguiente forma:

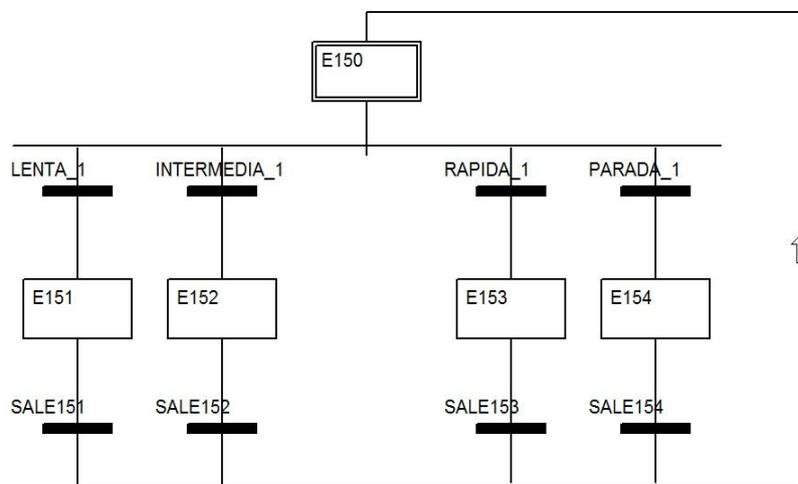


Figura 6: Diagrama SFC del variador 1 asociado a la cinta 1

Las transiciones y las acciones asociadas a cada etapa serán definidas a continuación, pero antes serán expuestas consideraciones que se han tenido en cuenta en el momento de la programación y desarrollo de las transiciones. En primer lugar, son enumeradas las direcciones del autómata maestro que serán utilizadas para controlar el proceso desde el sistema SCADA y desde el dispositivo inalámbrico:

- %MW20.0 para el modo CONTINUO
- %MW20.1 para el modo PASO A PASO
- %MW20.2 para interrumpir el proceso (PAUSA)
- %MW20.3 para detener de manera permanente el proceso (STOP)
- %MW30 para introducir el número de piezas a procesar

Por otro lado, serán condicionadas todas las transiciones de entrada a las diferentes etapas de velocidad a la no-congelación/interrupción del sistema, lo que se conseguirá condicionando las entradas a dichas etapas a la ausencia de marca (*token*) en las etapas de congelación (X1 y X2) asociadas al diagrama SFC de congelación que será explicado más adelante.

Del mismo modo, las etapas X10, X11 y X12 pertenecen al diagrama SFC de modos de marcha que, igualmente, será explicado más adelante. También mencionar que la variable “C” representa el número de piezas altas contabilizadas. Así pues, las transiciones y acciones asociadas a las etapas del diagrama SFC del variador 1 asociado a la cinta 1 quedan como sigue:

Transiciones:

- LENTA_1: $(X11+MARCHA+[\%MW20.1 = 1]) * [\%MW20.3 = 0] * [C = 0] * \underline{SEN1} * \underline{X1} * \underline{X2}^1$
- INTERMEDIA_1: $(X11+MARCHA+[\%MW20.1 = 1]) * [\%MW20.3 = 0] * [C = 1] * \underline{SEN1} * \underline{X1} * \underline{X2}$
- RAPIDA_1: $(X11+MARCHA+[\%MW20.1 = 1]) * [\%MW20.3 = 0] * [C >= 2] * \underline{SEN1} * \underline{X1} * \underline{X2}$
- PARADA_1: $((X12 * SEN1) + SEN1) * [\%MW20.3 = 0] * \underline{X1} * \underline{X2}$
- SALE151: $[C > 0] + X1 + (X12 * SEN1) + SEN1 + X2 + X10 + [\%MW20.3 = 1]$
- SALE152: $[C > 1] + X1 + (X12 * SEN1) + SEN1 + X2 + X10 + [\%MW20.3 = 1]$
- SALE153: $[C = 0] + X1 + (X12 * SEN1) + SEN1 + X2 + X10 + [\%MW20.3 = 1]$
- SALE154: $(X11 + X12 + X1 + X2 + [\%MW20.3 = 1]) * \underline{SEN1}$

Acciones:

- VEL_VAR1_1: X152+X153+X154
- VEL_VAR1_2: X151+X152+X153
- VEL_VAR1_3: X152

3.3.2. Variador 2

El variador 2 tiene un funcionamiento similar al variador 1 en cuanto a los cambios de velocidad, rigiéndose también por el número de piezas altas contabilizadas. Sin embargo, las transiciones de entrada a las etapas de velocidad estarán condicionadas a las etapas del diagrama SFC de la cinta 2, X201, X203 y X206, etapas en las cuales la cinta 2 deberá estar en movimiento. Del mismo modo, las transiciones de salida de las etapas de velocidad, estarán condicionadas a las etapas del diagrama SFC de la cinta 2, X200, X202, X204 y X205, etapas en las cuales la cinta 2 deberá estar parada. Por ello, el diagrama SFC del variador 2 asociado a la cinta 2 queda de la siguiente manera:

¹ Se utilizará el subrayado para denotar la negación de una condición

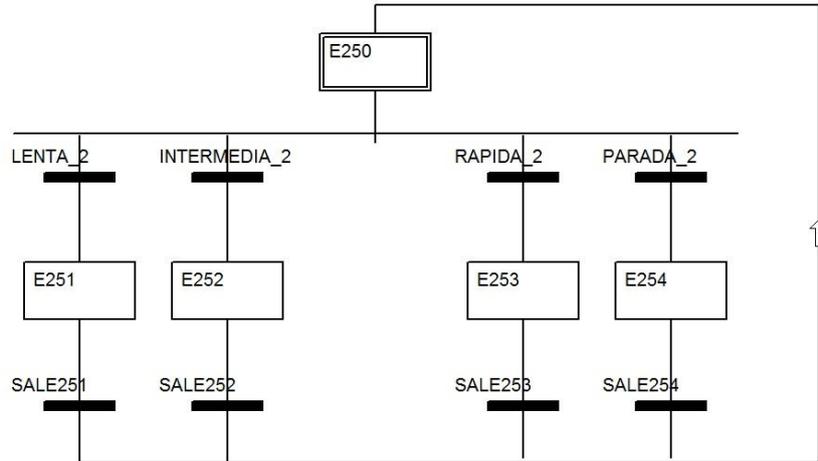


Figura 7: Diagrama SFC del variador 2 asociado a la cinta 2

Las transiciones y acciones del diagrama SFC del variador 2 asociado a la cinta 2 quedarían como sigue:

Transiciones:

- LENTA_2: $(X201+X203+X206)*[\%MW20.3=0]*[C=0]*\underline{X1}*X2$
- INTERMEDIA_2: $(X201+X203+X206)*[\%MW20.3=0]*[C=1]*\underline{X1}*X2$
- RAPIDA_2: $(X201+X203+X206)*[\%MW20.3=0]*[C>=2]*\underline{X1}*X2$
- PARADA_2: $(X200+X202+X204+X205)*[\%MW20.3=0]*\underline{X1}*X2$
- SALE251: $X200+X202+X204+X205+[C>0]+ X1+X2+[\%MW20.3=1]$
- SALE252: $X200+X202+X204+X205+[C>1]+ X1+X2+[\%MW20.3=1]$
- SALE253: $X200+X202+X204+X205+[C=0]+ X1+X2+[\%MW20.3=1]$
- SALE254: $X201+X203+X206+X1+X2+[\%MW20.3=1]$

Acciones:

- VEL_VAR2_1: $X252+X253+X254$
- VEL_VAR2_2: $X251+X252+X253$
- VEL_VAR2_3: $X252$

3.3.3. Variador 3

En cuanto a los cambios de velocidad, el variador 3 funciona del mismo modo que los variadores 1 y 2. No obstante, al igual que ocurre con el variador 2, en el variador 3 las transiciones de entrada a las etapas de velocidad estarán condicionadas a las etapas del diagrama SFC de la cinta 3, X302 y X303, etapas en las cuales la cinta 3 deberá estar en movimiento.

Del mismo modo, las transiciones de salida de las etapas de velocidad, estarán condicionadas a las etapas del diagrama SFC de la cinta 3, X300, X301, X304, X302_1 y X302_2, etapas en las cuales la cinta 3 deberá estar parada. Por lo tanto, el diagrama SFC del variador 3 asociado a la cinta 3 quedaría:

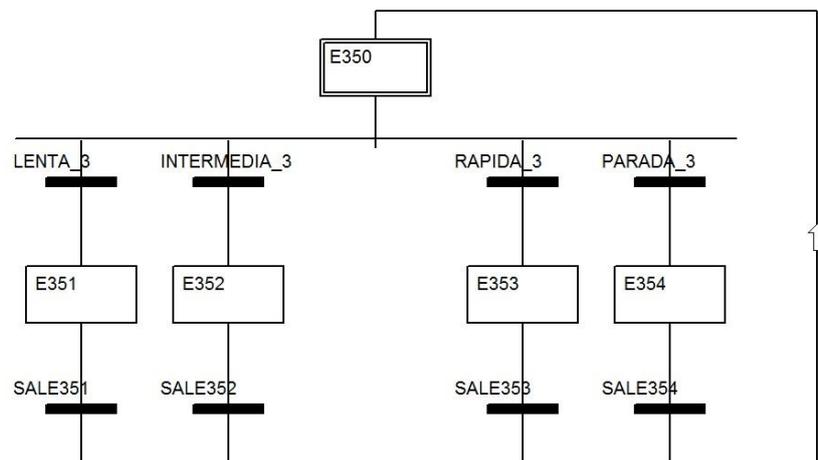


Figura 8: Diagrama SFC del variador 3 asociado a la cinta 3

Las transiciones y acciones del diagrama SFC del variador 3 asociado a la cinta 3 serían las siguientes:

Transiciones:

- LENTA_3: $(X302+X303)*[\%MW20.3=0]*[C=0]*X1*X2*SEN9$
- INTERMEDIA_3: $(X302+X303)*[\%MW20.3=0]*[C=1]*X1*X2*SEN9$
- RAPIDA_3: $(X302+X303)*[\%MW20.3=0]*[C>=2]*X1*X2*SEN9$
- PARADA_3: $(X300+X301+X304+X302_1+X302_2+SEN9)*[\%MW20.3=0]*X1*X2$
- SALE351: $X300+X301+X304+X302_1+X302_2+SEN9+[C>0]+[\%MW20.3=1]+X1+X2$
- SALE352: $X300+X301+X304+X302_1+X302_2+SEN9+[C>1]+[\%MW20.3=1]+X1+X2$
- SALE353: $X300+X301+X304+X302_1+X302_2+SEN9+[C=0]+[\%MW20.3=1]+X1+X2$
- SALE354: $X302+X303+[\%MW20.3=1]+X1+X2$

Acciones:

- VEL_VAR3_1: X352+X353+X354
- VEL_VAR3_2: X351+X352+X353
- VEL_VAR3_3: X352

3.3.4. Congelación y modos de marcha

Con el objetivo de controlar el sistema, han sido implementados dos diagramas SFC que, junto con los diagramas SFC de los variadores y los diagramas SFC de las cintas -serán explicados más adelante-, establecerán un diseño estructurado mediante una representación jerarquizada. El orden de jerarquía será el siguiente: seguridad (*Pausa, Stop*), modos de marcha y funcionamiento normal en producción. Para ello se establecerán relaciones entre diagramas SFC parciales con el fin de modificar la situación de un diagrama SFC parcial desde otro diagrama SFC parcial.

En primer lugar, ha sido diseñado un diagrama SFC de congelación cuyo fin es la interrupción del proceso, reanudándolo una vez se deja de actuar sobre la botonera física o sobre el pulsador virtual correspondiente. Este sería el resultado del diseño:

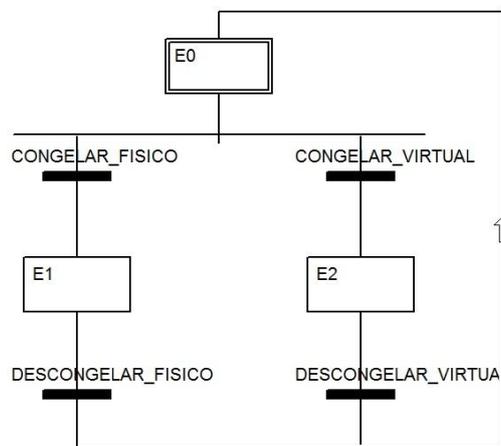


Figura 9: Diagrama SFC de congelación

Como se puede observar, la congelación/interrupción se puede realizar de dos formas: físicamente, pulsando el botón situado en la maqueta o, virtualmente, actuando sobre el pulsador correspondiente en el sistema SCADA o en la aplicación del dispositivo inalámbrico.

Las transiciones y acciones asociadas a las etapas de este diagrama SFC se exponen a continuación:

Transiciones:

- CONGELAR_FISICO: MARCHAII
- DESCONGELAR_FISICO: MARCHAII
- CONGELAR_VIRTUAL: [%MW20.2=1]
- DESCONGELAR_VIRTUAL: [%MW20.2=0]

Acciones:

- BALIZA: X1+X2+SEN9+SETA
- PILOTO_AUX_1: X1+X2

Estas dos etapas, además de estar involucradas en la detención de los variadores y por tanto de las cintas como ha sido indicado en apartados anteriores, también intervienen en la paralización del eje lineal eléctrico y del pick and place como se verá más adelante. Por otro lado, no afectarán a las acciones de succión de las ventosas para evitar la caída de las piezas en el caso de interrumpir el sistema en el momento de transporte de las mismas.

La baliza luminosa (BALIZA), además de ser activada con la congelación del sistema, también se activará cuando el sensor situado en la cinta 3 detecte pieza alta y cuando se pulse la seta de emergencia.



Figura 10: Baliza luminosa

En segundo lugar, ha sido diseñado un diagrama SFC para variar el funcionamiento del sistema con la posibilidad de mantener un proceso continuo o, realizar el procesado de las piezas de una en una. Una observación en cuanto a dicho diagrama SFC es el propósito de la etapa X10_1, la cual ha sido implementada como etapa de espera para evitar problemas como que se cumplan al mismo tiempo dos transiciones y el sistema no funcione correctamente. Consiguientemente, el diagrama SFC de modos de marcha quedaría de la siguiente forma:

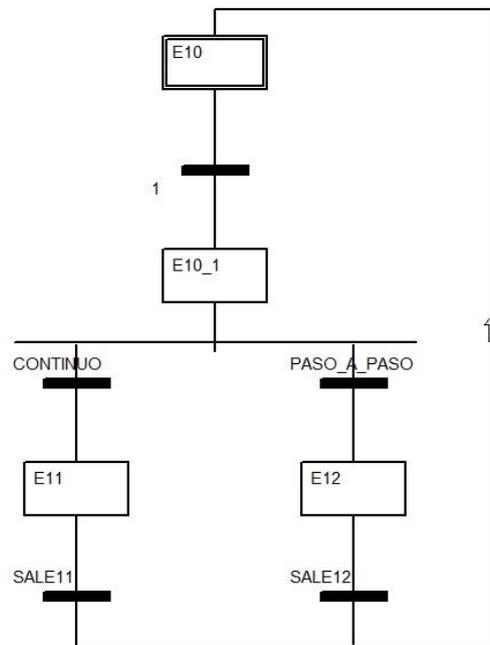


Figura 11: Diagrama SFC de modos de marcha

Siendo las transiciones asociadas a dicho diagrama SFC las que siguen:

Transiciones

- CONTINUO: $(MARCHA + [\%MW20.0=1]) * [\%MW20.3=0]$
- PASO_A_PASO: $[\%MW20.0=0] * [\%MW20.1=1] * [\%MW20.3=0]$
- SALE11: $([\%MW20.0=0] * [\%MW20.1=1]) + [\%MW20.3=1] + ([Q>0] * [Q=P])$
- SALE12: $([\%MW20.0=1] * [\%MW20.1=0]) + [\%MW20.3=1] + ([Q>0] * [Q=P])$

Siendo:

Q: Nº de piezas a procesar

P: Nº de piezas que han sido procesadas

Como se puede observar, para evitar problemas de funcionamientos en el diagrama SFC de modos de marcha, ha sido diseñado de tal modo que para pasar de un modo a otro, previamente es necesario que el modo de funcionamiento en el que se encuentra sea desactivado.

3.3.5. Cinta 1

Seguidamente, se desarrollará el funcionamiento normal en producción empezando por la cinta 1. En la cinta 1 solo intervienen el variador 1, como ha sido explicado anteriormente, y el sensor inductivo 1 que indica el final de la cinta. Así pues, el diagrama SFC de la cinta 1 sería:

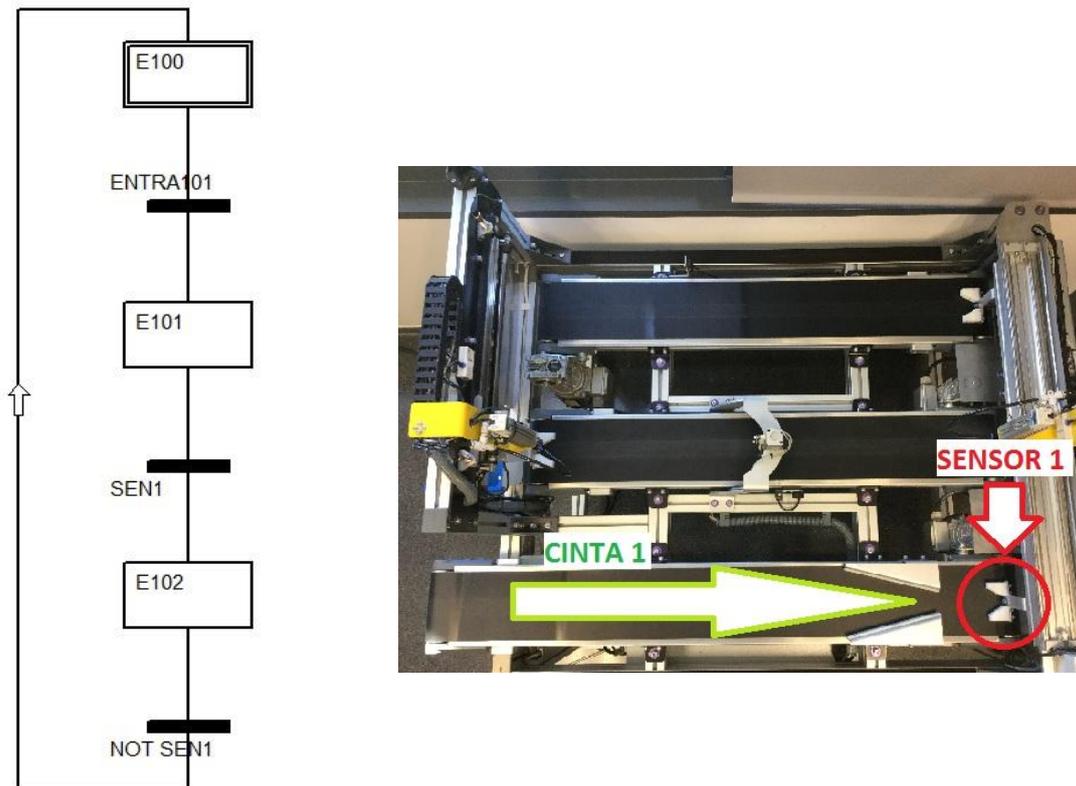


Figura 12: Diagrama SFC (izquierda) y representación (derecha) del funcionamiento de la cinta 1

Transiciones:

- ENTR A101: X151+X152+X153

Como se puede observar el funcionamiento es muy sencillo, la cinta 1 se pone en movimiento hasta que una pieza llegue al final de la misma y sea detectada por el sensor 1, momento en que la cinta se detiene hasta que deja de detectar pieza el sensor. Una vez se deja de detectar pieza, la cinta se pondría en marcha nuevamente o esperaría la orden del usuario, dependiendo del modo de marcha.

3.3.6. Cinta 2

A continuación se expone el diagrama SFC que gobierna el funcionamiento de la cinta 2 y se explica su funcionamiento:

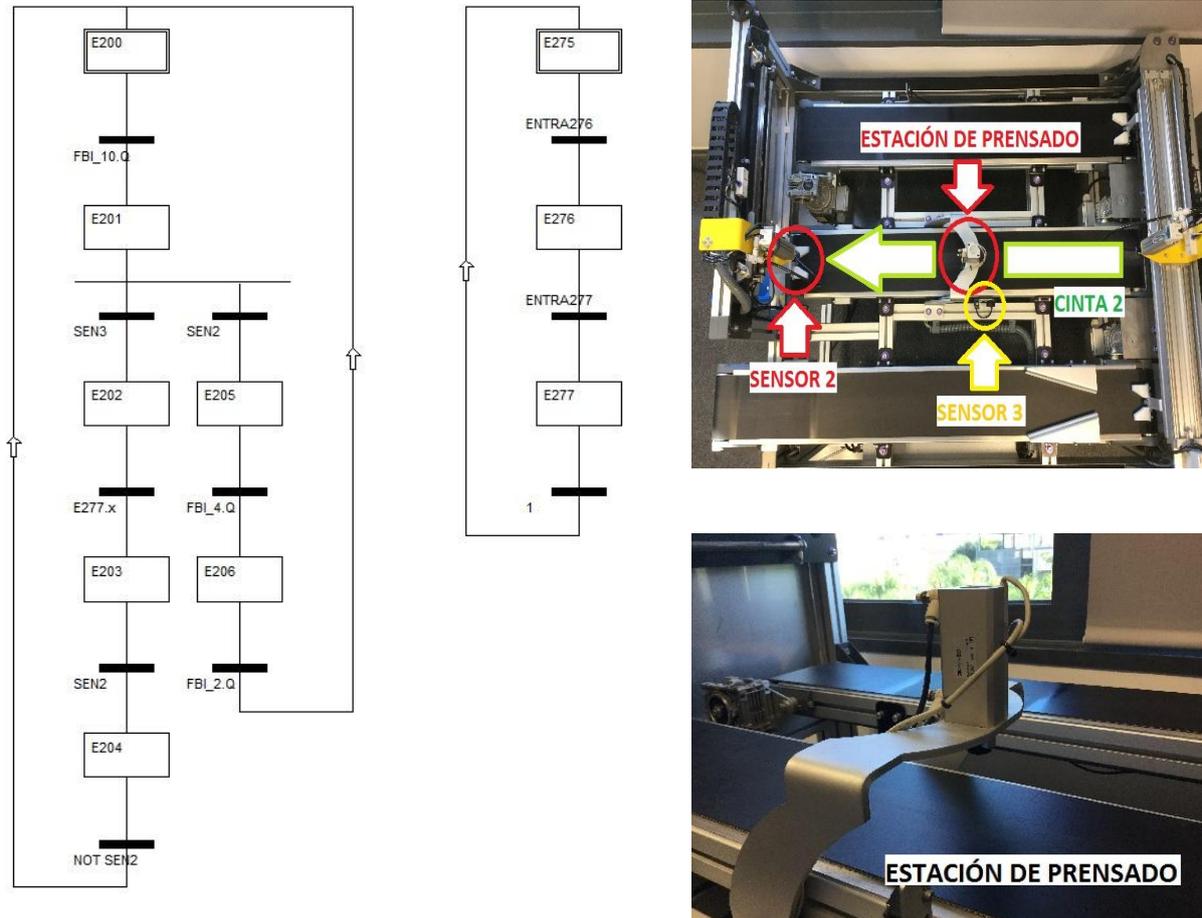


Figura 13: Diagramas SFC (izquierda) y representaciones (derecha) del funcionamiento de la cinta 2 y de la estación de prensado

Transiciones:

- FBI_10.Q es equivalente a 0,5s/X605
- E277.x es equivalente a X277
- FBI_4.Q es equivalente a 1s/X205
- FBI_2.Q es equivalente a 1s/X206
- ENTRA276: X202*SEN4*X1*X2
- ENTRA277: 1s/X276* X1*X2

Acciones:

- Y1 (electroválvula del cilindro de prensado): $X276 * [\%MW20.3=0] * \underline{X1} * \underline{X2}$
- Y2 (electroválvula del cilindro de la compuerta): $(X205+X206) * [\%MW20.3=0] * \underline{X1} * \underline{X2}$

Una vez el eje lineal eléctrico sitúa la pieza en la cinta 2 (0,5s/X605, retardo asociado a la etapa X605 del diagrama SFC del eje lineal que indica que la pieza ha sido colocada en la cinta 2), la cinta se pone en funcionamiento, transportando la pieza hasta un sensor fotoeléctrico, el cual detectará o no la pieza, en función de si la pieza es alta o baja respectivamente. Si la pieza es alta, será marcada por el cilindro de prensado y, al llegar al final de la cinta 2, transportada a la cinta 3 por medio del pick and place –explicado su funcionamiento más adelante-. Sin embargo, si la pieza es baja, continuará sin ser detectada por el sensor y al llegar al final de la cinta 2, subirá la compuerta para acabar con el procesamiento de la pieza en cuestión.

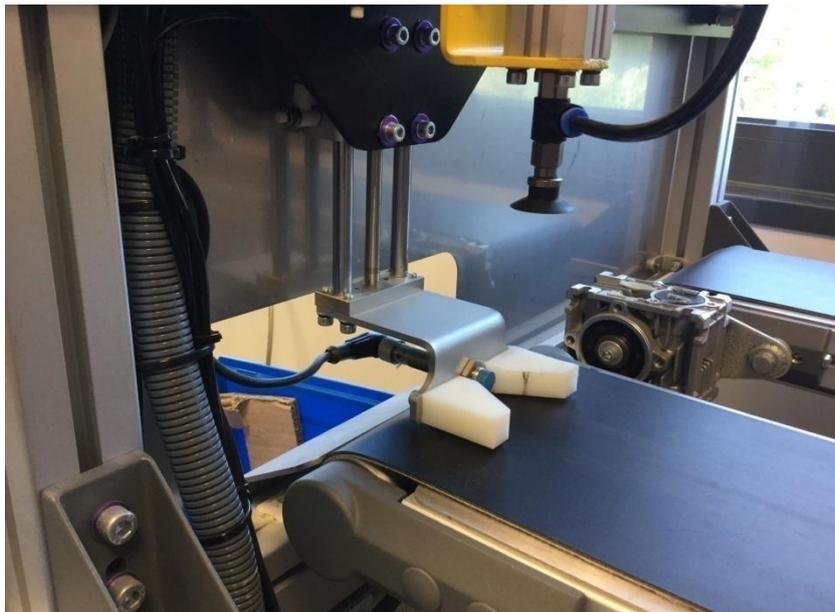


Figura 14: Compuerta al final de la cinta 2

Con el objetivo de realizar una correcta automatización, han sido tenidas en cuenta las limitaciones físicas del sistema, por lo que ha sido calculado, aproximadamente, el tiempo de subida de la compuerta para coordinar la expulsión de la pieza procesada con el funcionamiento de la cinta 2, asegurando que la compuerta no aplastará la pieza. De este modo, las transiciones entre las etapas 205-206 y 206-200, cumplirán con dicho propósito retardando la activación de la etapa posterior.

3.3.7. Cinta 3

Por último, en cuanto a las cintas se refiere, se expone el diagrama SFC de la cinta 3 y se explica su funcionamiento:

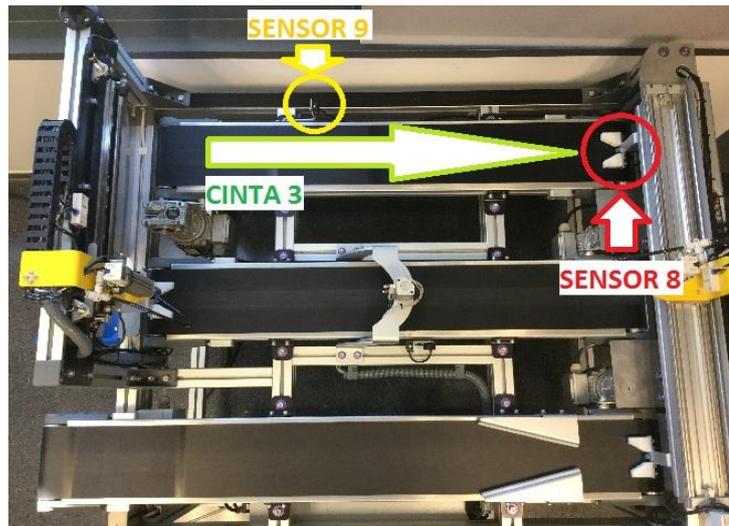
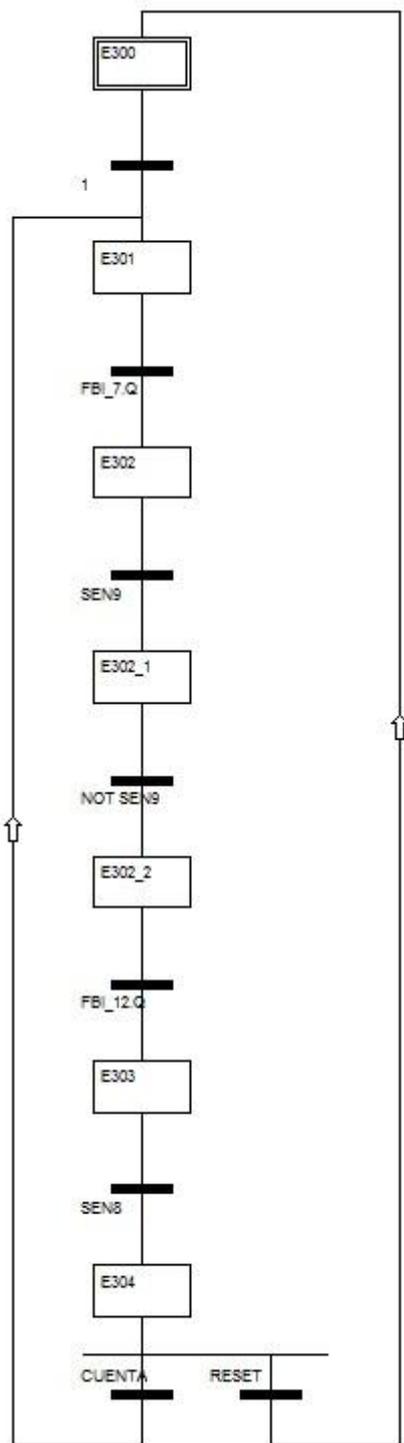


Figura 15: Diagrama SFC (izquierda) y representación (derecha) del funcionamiento de la cinta 3

Transiciones:

- FBI_7.Q es equivalente a 0,6s/X505
- FBI_12.Q es equivalente a 2s/X302_2
- CUENTA: SEN8*[C<4]
- RESET: SEN8*[C=4]

Tras ser detectada la pieza alta en el sensor situado en la cinta 2, la pieza llega a la cinta 3 transportada por el pick and place. Cuando el pick and place coloca la pieza en la cinta 3, se produce un retardo entre el momento de la colocación y la puesta en marcha de la cinta, lo que salva las limitaciones técnicas y físicas para que la pieza quede plantada correctamente en la cinta. A continuación, la cinta se pone en marcha llevando la pieza hasta la posición del sensor 9, donde es detectada, deteniendo el movimiento de la cinta hasta que el usuario realice la permuta de pieza alta por pieza baja. Transcurridos dos segundos, la cinta se vuelve a poner en marcha para transportar la pieza baja hasta el final de la cinta (sensor 8), instante en que se detendrá para que el eje lineal eléctrico transporte la pieza a la cinta 2 y terminar así el procesado.

Como ya ha sido mencionado con anterioridad, la velocidad de las cintas irá aumentando con cada pieza alta detectada por el sensor 9, hasta un límite de cuatro piezas altas, momento en el que se reanudará la cuenta.



Figura 16: Sensor fotoeléctrico que detecta las piezas en la cinta 3

3.3.8. Eje lineal eléctrico

El siguiente paso, definido el funcionamiento de las cintas, es explicar el funcionamiento del eje lineal eléctrico y exponer su diagrama SFC:

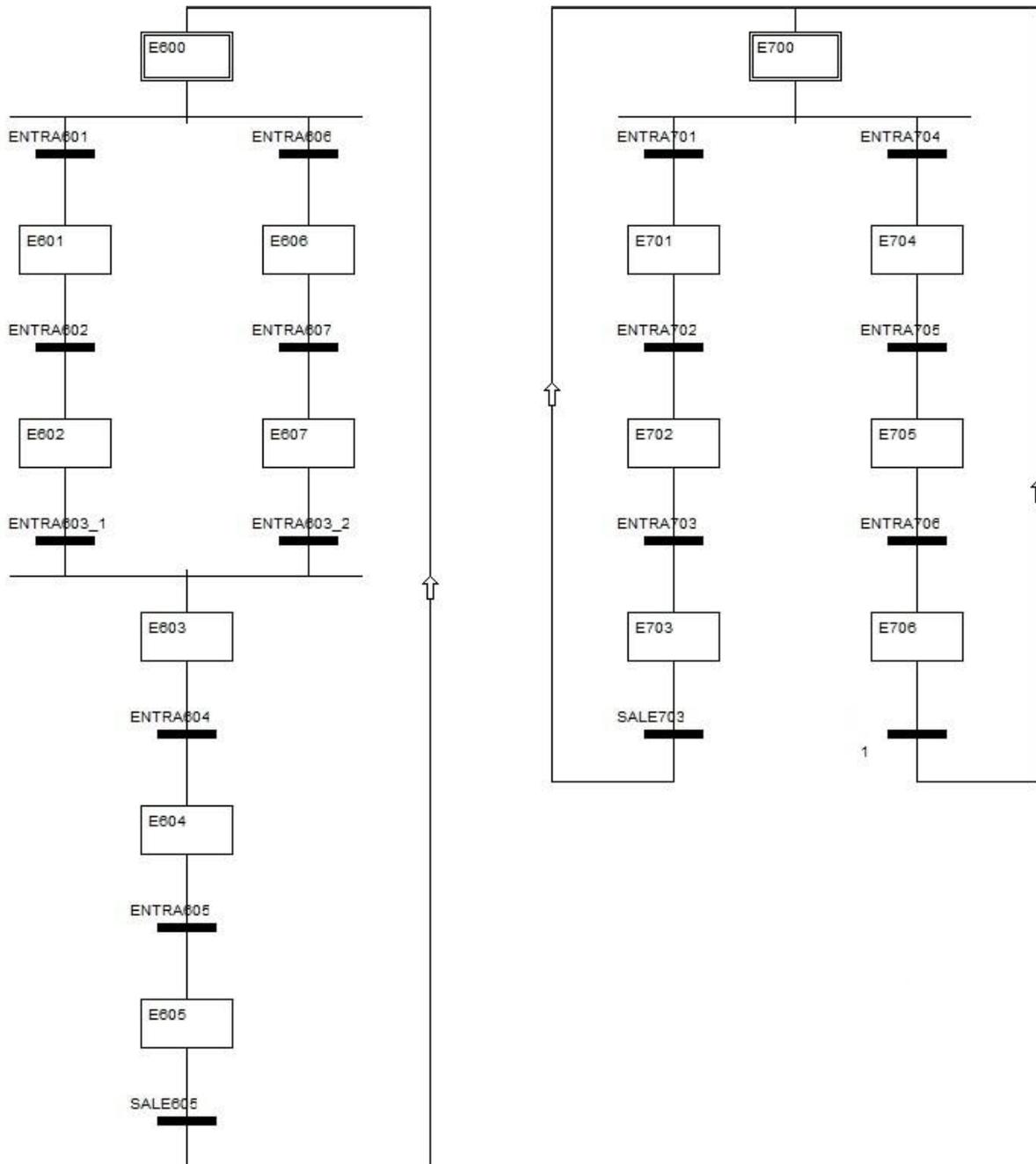


Figura 17: Diagrama SFC para el control de las posiciones del eje lineal eléctrico (izquierda) y diagrama SFC para el control del proceso de succión y de la acción de dejar piezas del cilindro neumático del eje lineal eléctrico (derecha)

Como se puede observar, el diagrama SFC que gobierna el eje lineal eléctrico ha sido dividido en dos diagramas SFC parciales, uno que controla la posición del cilindro y otro que controla la succión y la acción de dejar las piezas. El diagrama SFC que controla la posición, permitirá la evolución del otro una vez se llegue a la posición que corresponda para realizar la acción de succionar o dejar una pieza, según sea el caso. De este modo, el eje lineal succionará la pieza que llega al sensor 1 y la transportará a la cinta 2 donde pueden ocurrir dos situaciones, si la pieza es baja, el eje lineal succionará otra pieza que haya llegado al sensor 1 una vez la primera pieza haya terminado el proceso o, si la pieza es alta, esperará a que, tras la permuta realizada en la cinta 3, llegue pieza baja al sensor 8 para transportarla a la cinta 2 y así terminar de igual manera el proceso.

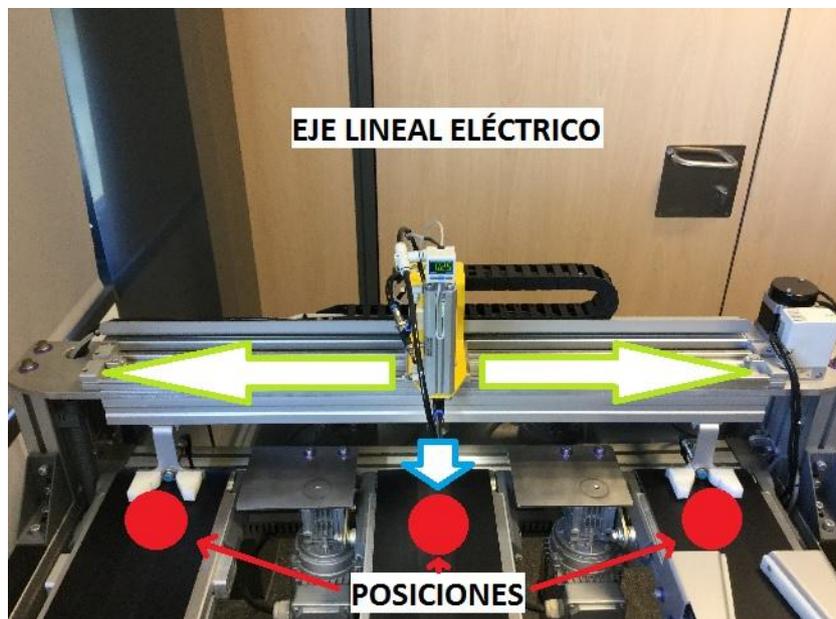


Figura 18: Representación del funcionamiento del eje lineal eléctrico

Antes de definir las transiciones, serán aclaradas diferentes consideraciones que han sido tenidas en cuenta en el momento de diseñar el funcionamiento del eje lineal. Se ha decidido que hasta que no finalice el procesado de una pieza no se admitirá otra, con este fin han sido definidas unas variables que indicarán que tanto la cinta 2, como la cinta 3, como el pick and place, estarán libres para admitir una nueva pieza. Estas variables son:

- CINTA2_LIBRE: X201*X202*X203*X204*X205*X206
- CINTA3_LIBRE: X302*X302-1*X302-2*X303*X304
- PICK_PLACE_LIBRE: X501*X502*X503*X504*X505

Así pues, las transiciones del diagrama SFC de control de las posiciones del eje lineal eléctrico quedan:

- ENTRA601: SEN1*READY*CINTA2_LIBRE*CINTA3_LIBRE*PICK_PLACE_LIBRE*X1*X2*X10-1
- ENTRA602 FP-1*FP-2*FP-3*X1*X2
- ENTRA603_1: X703*X1*X2
- ENTRA606: SEN8*READY*X1*X2
- ENTRA607: FP-1*FP-2*FP-3*X1*X2
- ENTRA603_2: X703*X1*X2
- ENTRA604: FP-1*FP-2*FP-3*X254*X1*X2
- ENTRA605: X254*X1*X2
- SALE605: X706*X1*X2

Y las transiciones del diagrama SFC que controla el proceso de succión y la acción de dejar piezas quedan:

- ENTRA701: SEN14*SEN15*(X602+X607) *X1*X2
- ENTRA702: SEN15*X1*X2
- ENTRA703: SEN14*X1*X2
- SALE703: X605*X1*X2
- ENTRA704: SEN14*SEN15*X605*X1*X2
- ENTRA705: 0,5s/X704*X1*X2
- ENTRA706: 0,5s/X705*X1*X2

Por otro lado, las acciones asociadas a las etapas de ambos diagramas SFC son:

- IN_POS_1: X601+X603
- IN_POS_2: X606
- IN_POS_3: X603
- Y6 (electroválvula del cilindro del eje lineal eléctrico): (X701+X704)*[%MW20.3=0]*X1*X2
- Y7 (electroválvula de vacío de la ventosa del eje lineal): X701+X702+X703+X704

Como ha sido mencionado anteriormente, la congelación del sistema impedirá los movimientos del eje lineal eléctrico y afectará a todas las acciones excluyendo a las acciones de vacío de las ventosas, con el fin de que, en caso de estar transportando una pieza en el momento de la congelación, la pieza no caiga al dejar de succionar.

3.3.9. Pick and place

Por último, en cuanto al funcionamiento normal en producción se refiere, se define el funcionamiento del pick and place y se muestra su diagrama SFC:

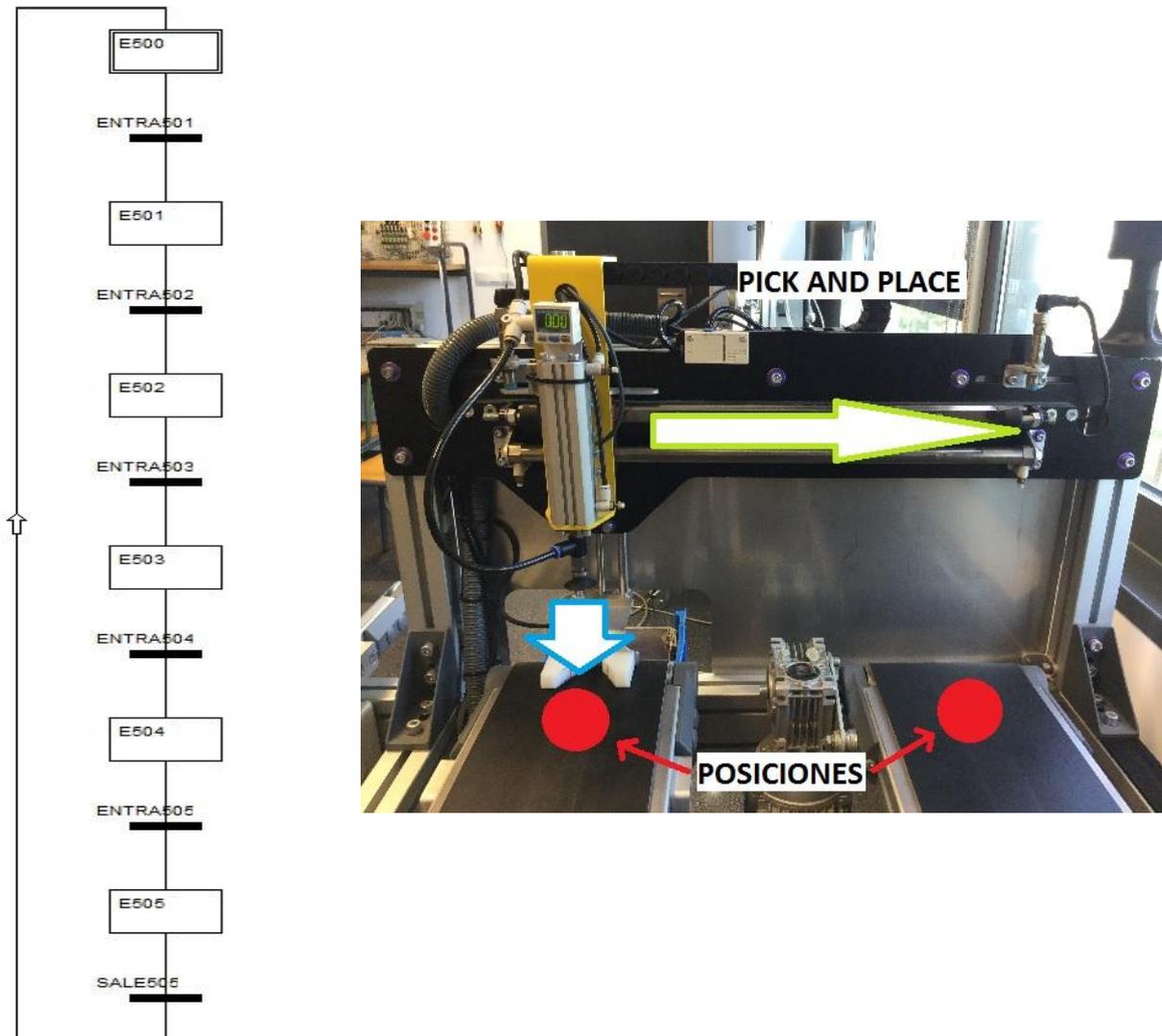


Figura 19: Diagrama SFC (izquierda) y representación (derecha) del funcionamiento del pick and place

El funcionamiento es muy sencillo, una vez ha sido detectada pieza alta en el sensor 3 de la cinta 2, la cinta lleva la pieza hasta la posición final. En ese momento entra en acción el pick and place transportando la pieza, mediante el cilindro neumático de succión, hasta la cinta 3. Cuando deposita la pieza en la cinta 3, el cilindro retorna a su posición inicial.

Del mismo modo que ocurre en el eje lineal eléctrico, todas las acciones y transiciones estarán condicionadas a la no-congelación del sistema, excluyendo la acción de vacío de la ventosa para evitar caídas de piezas en su transporte.

Las transiciones y acciones asociadas al diagrama SFC del pick and place son las que siguen:

Transiciones:

- ENTRA501: $SEN10 * SEN12 * SEN13 * X204 * X1 * X2$
- ENTRA502: $SEN13 * X1 * X2$
- ENTRA503: $SEN12 * SEN10 * X1 * X2$
- ENTRA504: $SEN11 * X1 * X2$
- ENTRA505: $0,4s / X504 * X1 * X2$
- SALE505: $0,6s / X505 * X1 * X2$

Acciones:

- Y3 (electroválvula del cilindro eje X del pick and place):
 $(X503 + X504 + X505) * [%MW20.3=0] * X1 * X2$
- Y4 (electroválvula del cilindro eje Z del pick and place):
 $(X501 + X504) * [%MW20.3=0] * X1 * X2$
- Y5 (electroválvula de vacío de la ventosa del pick and place):
 $X501 + X502 + X503 + X504$

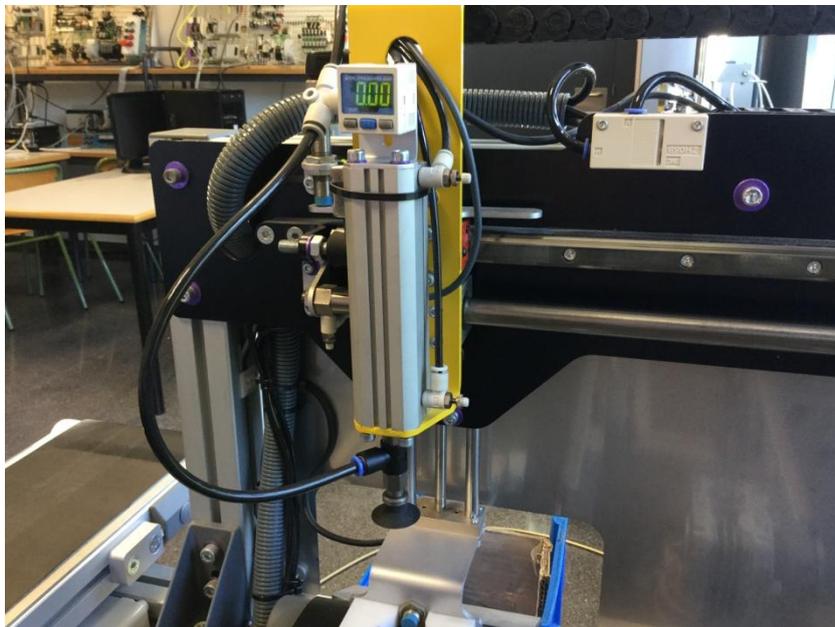


Figura 20: Posición inicial del pick and place

3.4. Servidor OPC

Completada la programación del sistema de clasificado y procesado de piezas, es momento de crear un servidor OPC para compartir los datos de entradas y salidas del sistema y poder implementar el sistema SCADA y la pantalla de visualización en el dispositivo hardware inalámbrico. Los pasos a seguir para la configuración del servidor OPC son:

- 1) *Channel*: se creará un canal que servirá para comunicar al PLC con el servidor. En este caso, se ha denominado CanalTSX.
- 2) *Device*: se indicará el dispositivo con el que se quiere establecer la comunicación. Para el caso Puesto10.
- 3) *Tags*: se añadirán las posiciones de memoria que se quieran controlar, ya sea para leer su estado o para introducir un valor.

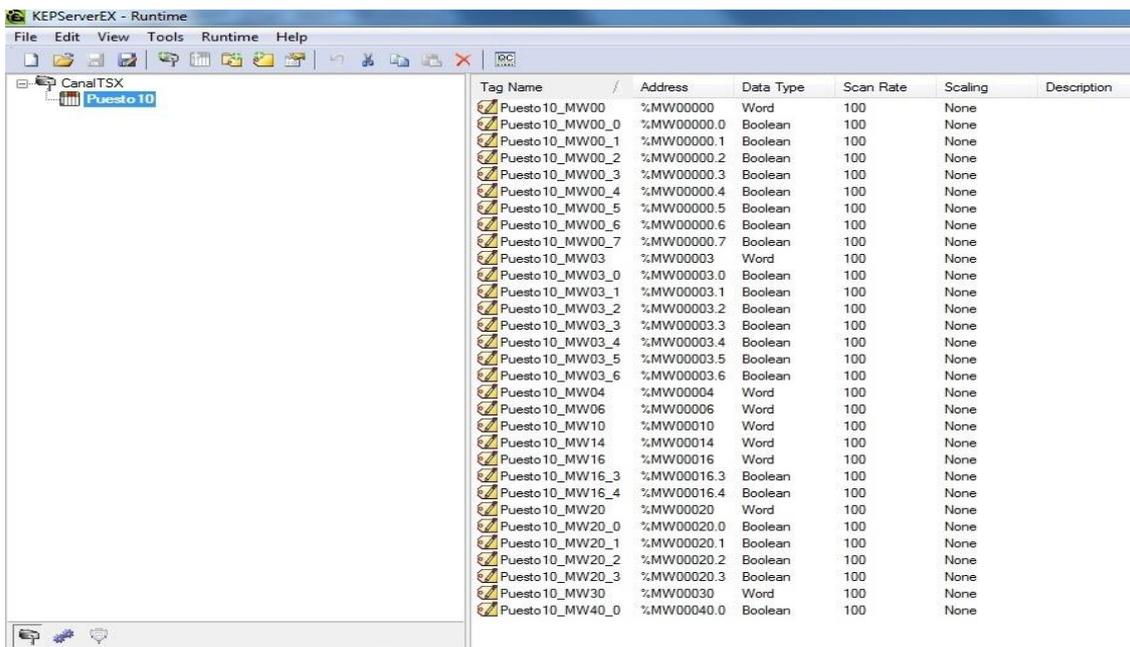


Figura 21: Apariencia del servidor OPC

Una consideración a tener en cuenta en el momento de crear el servidor OPC, es que el software que será utilizado para implementar la pantalla de visualización en el dispositivo inalámbrico no admite la introducción de una palabra (*word*), por lo que será necesaria la creación de variables booleanas para poder trabajar con el dispositivo.

3.5. Sistema SCADA

Tras la creación del servidor OPC, ya es posible el intercambio de datos con el sistema SCADA y el software del dispositivo inalámbrico, sin embargo, en el sistema SCADA previamente se debe crear un servidor I/O y se deben crear las variables compartidas que permitirán conectar las etiquetas del servidor OPC al servidor I/O, permitiendo a *Labview* el acceso a los datos del PLC. Además, será necesario crear un interfaz de usuario para desarrollar la pantalla de visualización, Los pasos a seguir son:

- 1) Creación del servidor I/O, el cual será configurado para conectarse al servidor OPC (*Keplware KEPServerEX*)
- 2) Creación de las variables compartidas que conectan las etiquetas del servidor OPC al servidor I/O (función *Create Bound Variables*)
- 3) Creación de un interfaz de usuario (función VI)

Llegado este momento, el software *Labview* está listo para empezar a desarrollar la pantalla de visualización. Al respecto se destaca:

- a) La división de palabras (*words*) en datos tipo booleano para la creación de visualizadores led, los cuales representarán a los diferentes sensores.

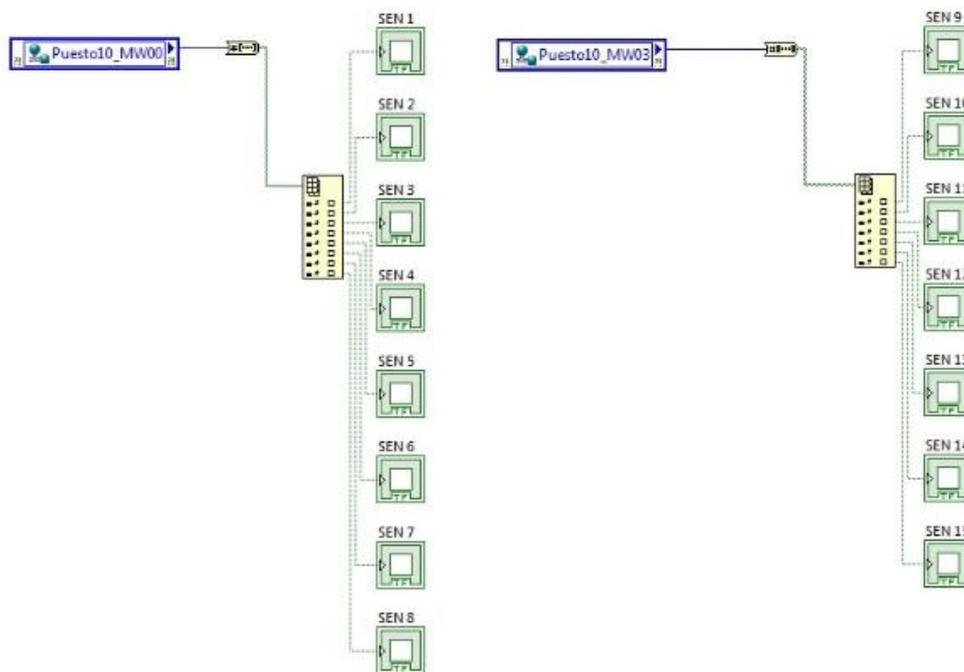


Figura 22: Paso de tipo de dato palabra a booleano

- b) Aunque poco usual, la ramificación de un booleano para la creación de dos indicadores led.

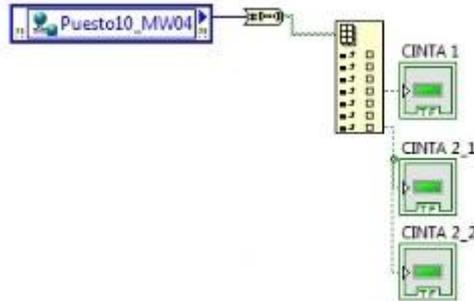


Figura 23: Ramificación de un booleano en dos indicadores led

- c) La inclusión de una estructura de caso (*Case Structure*), que permitirá desde la pantalla de visualización del dispositivo inalámbrico, entrar en *Modo Tablet* –como se verá en el siguiente apartado- para leer o modificar datos sin que se produzcan contradicciones entre el sistema SCADA y la aplicación del dispositivo inalámbrico. Cuando el dato %MW40.0 sea cierto, se desactivará todo lo que aparece en la ventana de estado falso de la *Case Structure*.

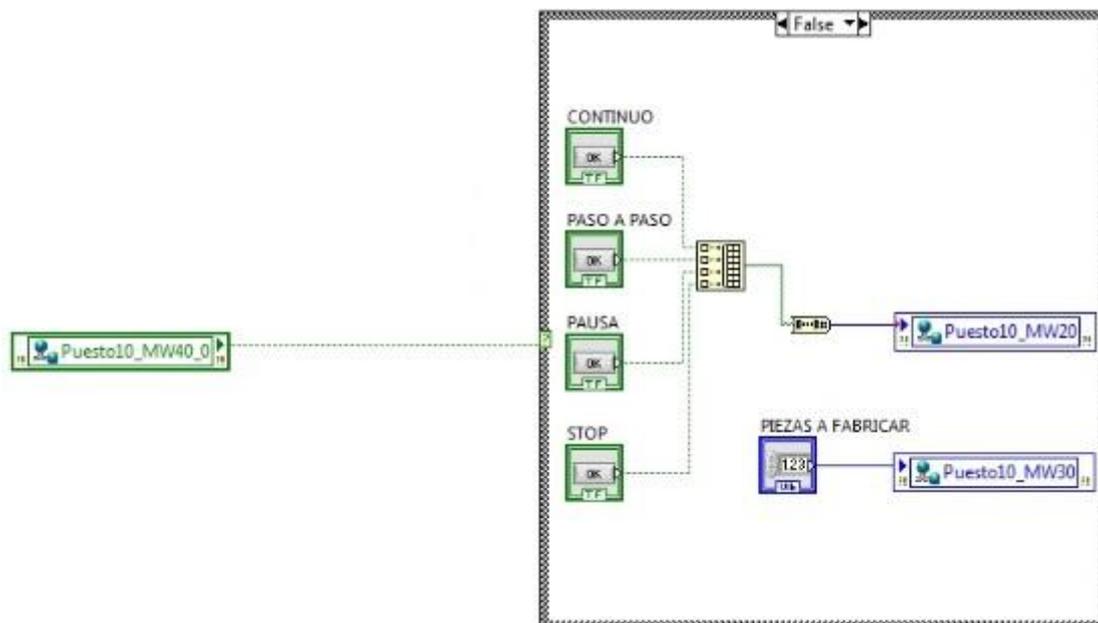


Figura 24: Case Structure

De este modo, la pantalla de visualización del sistema SCADA quedaría:

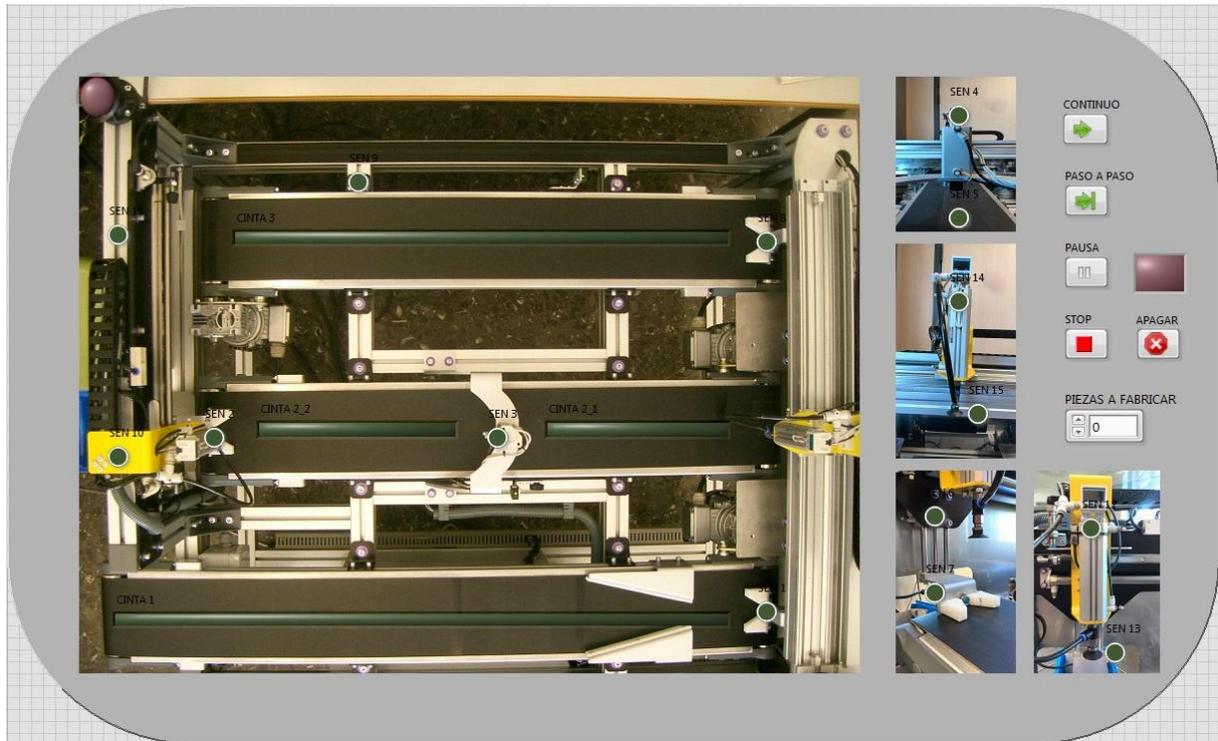


Figura 25: Pantalla de visualización del sistema SCADA

Como se puede observar, además del proceso, han sido incluidos los detalles de los cilindros, la compuerta y la estación de prensado, con el objetivo de que el proceso virtual se asimile lo máximo posible al proceso real. Por otro lado, ha sido implementado un botón de apagado del sistema SCADA para evitar desconexiones incorrectas del mismo.

La botonera que se observa permite cambiar el funcionamiento del sistema dando a elegir entre dos modos de marcha (CONTINUO y PASO A PASO), así mismo, permite realizar paradas del proceso, ya sean interrupciones (PAUSA) para realizar comprobaciones (aunque tiene mayor sentido cuando se realiza desde el dispositivo hardware inalámbrico para realizar el control in situ); o paradas permanentes (STOP) para solucionar cualquier fallo o imprevisto.

Otra posibilidad que permite el sistema SCADA es la elección del número de piezas a fabricar, el usuario le introduce la cantidad y una vez se ha completado el lote se detiene el proceso. A continuación se explica el funcionamiento del contador y su reseteo mediante un temporizador.

En cuanto al número de piezas a fabricar, el contador ha sido combinado con un temporizador para realizar el reseteo del mismo, así una vez se ha completado el número de piezas a fabricar introducido por el usuario, el temporizador manda una señal al contador para indicar la finalización del lote.

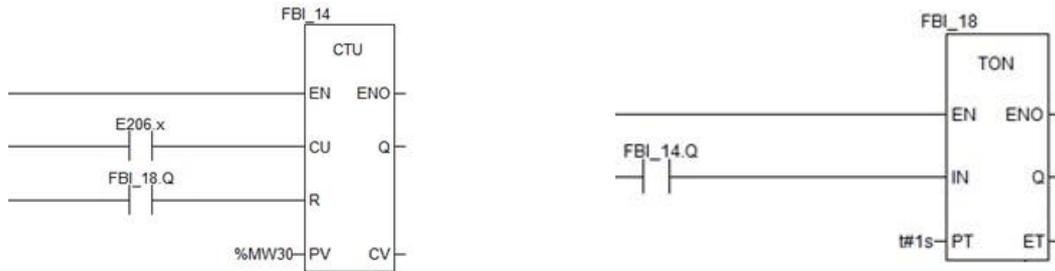


Figura 26: Contador de piezas a fabricar (izquierda) y temporizador de fin de lote (derecha)

Finalmente, el diagrama de bloques que implementa la pantalla de visualización del sistema SCADA ha sido insertado dentro de un bucle temporizador, el cual, con el objetivo de registrar en todo momento el estado de las entradas y salidas del proceso, se actualiza con un periodo de muestreo de 100 milisegundos.

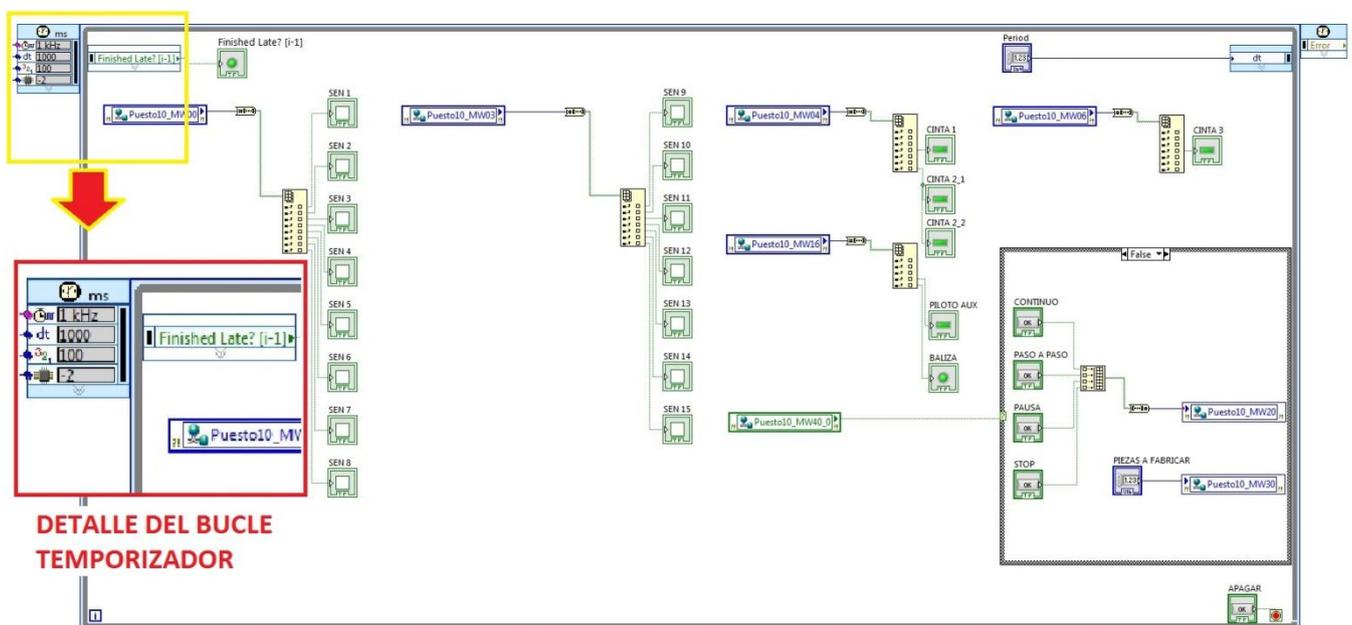


Figura 27: Diagrama de bloques del sistema SCADA con detalle del bucle temporizador

3.6. Implementación en pantalla táctil

Por último, para mejorar el control sobre el proceso y permitir al usuario realizar pruebas de funcionamiento o simplemente trabajar con el sistema de clasificado y procesado de piezas in situ, ha sido implementada una pantalla de visualización similar al sistema SCADA:

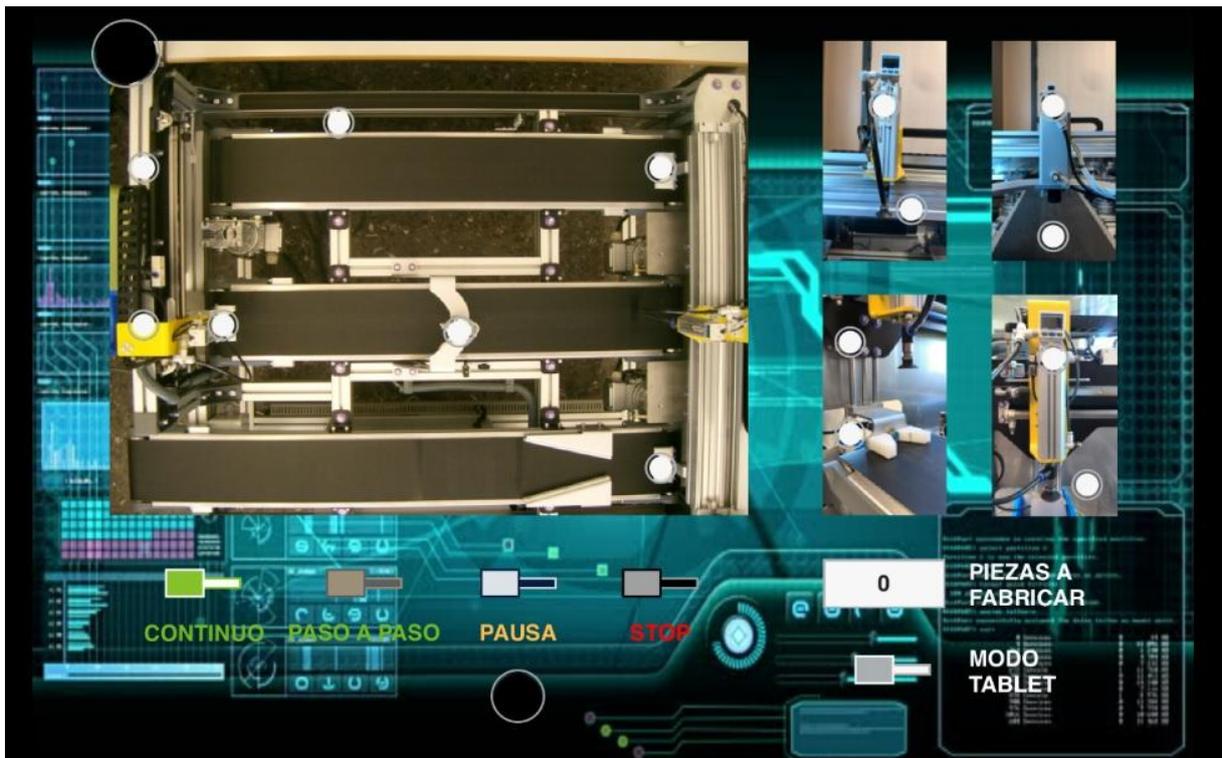


Figura 28: Pantalla de visualización del dispositivo inalámbrico

Como ha sido comentado anteriormente, para evitar contradicciones entre el sistema SCADA y la aplicación portátil, ha sido implementado un interruptor que configura el sistema en *Modo Tablet* deshabilitando las modificaciones desde el sistema SCADA. Finalmente, debido a las limitaciones de estar trabajando con una aplicación para un dispositivo inalámbrico, no se permite configurar el botón de *Pausa* para que actúe como un pulsador, sin embargo el usuario puede asemejar el funcionamiento operando con el interruptor.

4. CONCLUSIONES

Tras completar el desarrollo de la solución, se certifica que han sido cumplidos todos los propósitos que fueron expuestos en el momento de plantear el problema:

- La automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas.
- La creación de un servidor OPC.
- El desarrollo de un sistema SCADA.
- El desarrollo de un sistema de visualización en un dispositivo hardware inalámbrico.

Y se comprueba el funcionamiento del automatismo realizando pruebas de todo tipo (paradas, congelaciones, procesado de un número de piezas concreto, etc...), entregando en todas ellas resultados favorables.

Por otro lado, durante el tiempo que ha sido invertido en el desarrollo de una solución factible para el problema planteado, han sido tratados varios aspectos que han ayudado a profundizar en la materia ya conocida, como es la automatización de un proceso productivo y el desarrollo del sistema SCADA, y otros que han permitido al autor adquirir unos conocimientos nuevos, como son la creación de un servidor OPC y la implementación de una pantalla de visualización en un dispositivo inalámbrico.

5. BIBLIOGRAFÍA

Para elaborar el presente trabajo, han sido consultados los siguientes documentos:

- Artitecnic Automatización, S.L. (2009), “Maqueta célula de procesos industriales automática”
- DISA, “Direcciones de Entrada/Salida para los autómatas TSX Premium”
- National Instruments (2012), “Conecte LabVIEW a cualquier PLC”
- Simarro Fernández, Raúl (2016), “Laboratorio de Automatización y Control, Seminario: Automatización Integrada”
- Díez Ruano, José Luis (2015), “Diapositivas de la asignatura Tecnología Automática”
- Departamento de Proyectos de Ingeniería (2015), “Apuntes Proyectos”, consultado para la elaboración del presupuesto.
- Consellería de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo (2015), “B.O.P. Valencia: Convenio colectivo para la industria, la tecnología y los servicios del sector del metal de Valencia”, consultado para la elaboración del presupuesto.
- Wikipedia (2016), “Automatización Industrial”.

DESARROLLO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE CLASIFICADO Y PROCESADO DE
PIEZAS CON MONITORIZACIÓN Y CONTROL
MEDIANTE PANTALLA TÁCTIL

DOCUMENTO Nº 2: PRESUPUESTO

ÍNDICE DOCUMENTO Nº2: PRESUPUESTO

1. INTRODUCCIÓN	56
2. CUADRO DE PRECIOS	56
2.1. Cuadro de precios nº 1: Precios de la mano de obra	56
2.2. Cuadro de precios nº 2: Precios de los materiales	57
2.3. Cuadro de precios nº 3: Precios unitarios	59
2.4. Cuadro de precios nº 4: Precios descompuestos	60
3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL, PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA Y PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN	62

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente documento se procederá a desarrollar el presupuesto donde será reflejado el coste total del proyecto. Por un lado, se determinarán las mediciones de las unidades de obra (en este caso será tiempo invertido en el desarrollo de cada parte del proyecto) y, por otro, será calculado el precio unitario de cada una de ellas.

2. CUADRO DE PRECIOS

Para obtener los distintos presupuestos del proyecto es necesario elaborar una serie de cuadros de precios que llevarán a determinar el precio de cada unidad de obra.

2.1. Cuadro de precios Nº 1: Precios de la mano de obra

Las retribuciones salariales correspondientes a la mano de obra, se encuentran detalladas en el Convenio Colectivo para la Industria, la Tecnología y los Servicios del Sector del Metal de Valencia, publicado en el Boletín Oficial de la Provincia de Valencia (B.O.P. Valencia) el 16 de octubre de 2015, con vigencia hasta el 31 de diciembre de 2016.

- Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (Clasificación profesional: Técnicos)

CONCEPTO	IMPORTE
Salario Base (Salario Base por día natural + plus convenio por día hábil (incluidos los sábados) + antigüedad consolidada)	1.563,02 + 116,70 = 1.679,72 €
Gratificaciones extraordinarias (Junio, Diciembre: 30 días de salario base y Marzo: 17 días de salario por año trabajado) + antigüedad consolidada)	334,31 €
Determinación de las Bases de Cotización a la S.S.	
– Contingencias Comunes (28,30%)	569,97 €
– Formación (0,70%)	14,01 €
– Desempleo (7,05%)	141,99 €
– Accidentes de Trabajo y Enfermedad Profesional (1%)	20,14 €
– FOGASA (0,20%)	4,03 €
– I.R.P.F 15%	302,10 €
TOTAL MENSUAL	3.066,27 €
TOTAL ANUAL	36.795,24 €
POR JORNADA DE TRABAJO (30 días)	102,21 €
POR HORA DE TRABAJO	12,78 €

Tabla 1: Coste para la empresa por la contratación de un Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Se ha considerado al Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales como técnico debido a que se requiere realizar el máster habilitante en Ingeniería Industrial para equipararse a la antigua profesión de Ingeniero Industrial.

Las gratificaciones extraordinarias han sido prorrateadas en 12 mensualidades y los porcentajes son suma de la aportación del trabajador y la aportación de la empresa, obteniendo el coste total que le supondría a la empresa la contratación del trabajador.

El tiempo total de desarrollo del proyecto ha sido de un mes y dos semanas. Se estima el tiempo de dedicación por parte del Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales en 300 horas de trabajo. Así pues, el precio de la mano de obra asciende a:

EMPLEADO	PRECIO (€/h)	TIEMPO TRABAJADO (h)	IMPORTE (€)
Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	12,78	300	3.834,00
TOTAL MANO DE OBRA			3.834,00 €

Tabla 2: Coste de la mano de obra

2.2. Cuadro de precios Nº 2: Precios de los materiales

En el siguiente apartado, se detallan los costes del hardware y el software que han sido utilizados para la elaboración de este proyecto. Estos son:

Hardware

DISPOSITIVO	PRECIO UNIDAD (€)	TIEMPO AMORTIZACIÓN (h)	PRECIO A AMORTIZAR (€/h)
Portátil Acer TravelMate P253	389,00	7.200	0,0540
iPad Air 2 Oro con WIFI de 16 GB	429,00	7.200	0,0596

Tabla 3: Precio a amortizar por el hardware

Software

PROGRAMA/APLICACIÓN	PRECIO UNIDAD (€)	TIEMPO AMORTIZACIÓN (h)	PRECIO A AMORTIZAR (€/h)
Unity Pro	1.000,00	5.400	0,1852
LabView	4.489,00	5.400	0,8313
KEPServerEX	1.053,54	1.800	0,5853
Data Dashboard	Gratuita	Gratuita	Gratuita

Tabla 4: Precio a amortizar por el software

Para el cálculo de los precios de los dispositivos hardware se han consultado las tablas de amortización que cada año publica la Agencia Tributaria, de donde se obtiene un periodo de amortización de 4 años y se considera que al año se realizarán 6 proyectos similares con una duración aproximada de 300 horas de trabajo cada uno, lo que supone unas 7200 horas.

Por otro lado, para el software, los precios han sido calculados teniendo en cuenta la duración del soporte técnico y el periodo de actualizaciones disponible desde que se realiza la compra, lo que viene a ser el tiempo durante el cual el empleado dispone del servicio completo del software. Así, para *Unity Pro* y *LabView*, el periodo son 3 años, y para *KEPServerEX* el periodo es de 1 año, estimando siempre la realización de unos 6 proyectos al año con una duración de 300 horas de trabajo cada uno.

Así pues, el coste del material asciende a:

DISPOSITIVO O PROGRAMA	PRECIO (€/h)	TIEMPO DE USO (h)	IMPORTE (€)
Portátil Acer TravelMate P253	0,0540	300	16,200
iPad Air 2 Oro con WIFI de 16 GB	0,0596	15	0,894
Unity Pro	0,1852	270	50,004
LabView	0,8313	37,5	31,174
KEPServerEX	0,5853	60	35,118
Data Dashboard	Gratuita	Gratuita	Gratuita
TOTAL MATERIALES			133,39 €

Tabla 5: Coste de materiales

2.3. Cuadro de precios Nº 3: Precios unitarios

A continuación, se listan los precios unitarios de las diferentes unidades de obra:

Nº de Orden	Descripción de la unidad de obra	Medición (h)	Precio (€/h)	Importe (€)
1	(h) Estudio de alternativas	30	1,3219	39,66
2	(h) Automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas	210	9,4021	1.974,44
3	(h) Creación del servidor OPC	22,5	1,2334	27,75
4	(h) Desarrollo del sistema SCADA	22,5	1,7473	39,31
5	(h) Implementación en pantalla táctil	15	2,3933	35,90

Tabla 6: Precios unitarios

- La unidad de obra “Estudio de Alternativas” asciende a un total de TREINTA Y NUEVE EUROS CON SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS
- La unidad de obra “Automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas” asciende a un total de MIL NOVECIENTOS SETENTA Y CUATRO EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
- La unidad de obra “Creación del servidor OPC” asciende a un total de VEINTISIETE EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS
- La unidad de obra “Desarrollo del sistema SCADA” asciende a un total de TREINTA Y NUEVE EUROS CON TREINTA Y UN CÉNTIMOS
- La unidad de obra “Implementación de pantalla táctil” asciende a un total de TREINTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA CÉNTIMOS

2.4. Cuadro de precios N° 4: Precios descompuestos

En este apartado se desglosan las unidades de obra, detallando la mano de obra y los materiales utilizados en cada una de ellas. De este modo, las unidades de obra se desglosan de la siguiente manera:

Nº de Orden	Descripción de la Unidad de Obra		
1	(h) Estudio de alternativas: análisis de las alternativas disponibles en cuanto a tipo de lógica, elementos de control, lenguajes de programación, software de programación, de visualización, de comunicación y para el dispositivo inalámbrico.		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe (€)
0,10	(h) Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	12,7800	1,2780
0,10	(h) Portátil Acer TravelMate P253	0,0540	0,0054
COSTES INDIRECTOS			
3% COSTES INDIRECTOS		1,2834	0,0385
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1,3219

Tabla 7: Precio unidad de obra 1

Nº de Orden	Descripción de la Unidad de Obra		
2	(h) Automatización del sistema de clasificado y procesado de piezas: diseño del automatismo, implementación, establecimiento de la comunicación entre autómatas y pruebas de funcionamiento.		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe (€)
0,70	(h) Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	12,7800	8,9460
0,70	(h) Portátil Acer TravelMate P253	0,0540	0,0378
0,78	(h) Unity Pro	0,1852	0,1445
COSTES INDIRECTOS			
3% COSTES INDIRECTOS		9,1283	0,2738
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			9,4021

Tabla 8: Precio unidad de obra 2

Nº de Orden	Descripción de la Unidad de Obra		
3	(h) Creación del servidor OPC: desarrollo del servidor y pruebas de funcionamiento		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe (€)
0,075	(h) Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	12,7800	0,9585
0,075	(h) Portátil Acer TravelMate P253	0,0540	0,0041
0,083	(h) Unity Pro	0,1852	0,0154
0,375	(h) KEPServerEX	0,5853	0,2195
COSTES INDIRECTOS			
3% COSTES INDIRECTOS		1,1975	0,0359
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1,2334

Tabla 9: Precio unidad de obra 3

Nº de Orden	Descripción de la Unidad de Obra		
4	(h) Desarrollo del sistema SCADA: diseño del sistema y pruebas de conexión con el servidor para visualizar los datos distribuidos		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe (€)
0,075	(h) Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	12,7800	0,9585
0,075	(h) Portátil Acer TravelMate P253	0,0540	0,0041
0,083	(h) Unity Pro	0,1852	0,0154
0,375	(h) KEPServerEX	0,5853	0,2195
0,600	(h) LabView	0,8313	0,4989
COSTES INDIRECTOS			
3% COSTES INDIRECTOS		1,6964	0,0509
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			1,7473

Tabla 10: Precio unidad de obra 4

Nº de Orden	Descripción de la Unidad de Obra		
5	(h) Implementación en pantalla táctil: desarrollo de la pantalla de visualización y pruebas de funcionamiento		
COSTES DIRECTOS			
Rendimiento	Descripción	Precio	Importe (€)
0,05	(h) Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	12,7800	0,6390
0,05	(h) Portátil Acer TravelMate P253	0,0540	0,0027
1,00	(h) iPad Air 2 Oro con WIFI de 16 GB	1,1920	1,1920
0,06	(h) Unity Pro	0,1852	0,0111
0,25	(h) KEPServerEX	0,5853	0,1463
0,40	(h) LabView	0,8313	0,3325
Gratuita	(h) Data Dashboard	Gratuita	Gratuita
COSTES INDIRECTOS			
3% COSTES INDIRECTOS		2,3236	0,0697
TOTAL PRECIO UNIDAD DE OBRA			2,3933

Tabla 11: Precio unidad de obra 5

3. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL, PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA Y PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN

En la siguiente tabla se detalla el Resumen General de Presupuesto:

PRESUPUESTO	IMPORTE
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	2.117,06 €
13% GASTOS GENERALES	275,22 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	127,02 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	2.519,30 €
21% IVA	529,05 €
PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN	3.048,35 €

Tabla 12: Resumen General de Presupuestos