



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS
INDUSTRIALES**

**PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y
MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON
AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y
MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON
LABVIEW**

AUTOR: IVAN PASCUAL GARRIDO

TUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso académico: 2017/2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Raúl Simarro, por su tutorización en este proyecto y por toda la implicación y ayuda prestada a lo largo del mismo.

También me gustaría aprovechar la ocasión para agradecer a mis padres su incansable e incondicional apoyo y sin los que, literalmente, no sería nada.

Y a mis amigos, sin los que sí sería algo, pero que lo hacen todo mucho más fácil.

RESUMEN

En el presente proyecto, se ha desarrollado e implementado la automatización de un proceso de carácter industrial constituido por tres subprocesos diferentes y coordinados entre sí para permitir el manipulado, clasificado y posterior procesado correspondiente de piezas. Para realizar dichas tareas, se requirieron, respectivamente, las siguientes maquetas Fischertechnik de uso educativo: un brazo robot capaz de manipular piezas mediante aspiración al vacío en un espacio tridimensional, un clasificador en función del tipo de pieza y una estación con tratamiento de horno y fresadora.

La implementación del automatismo se ha llevado a cabo con autómatas programables (PLC), más concretamente los modelos Modicon TSX Premium de la casa Schneider, programados mediante el *software* Unity Pro M con el fin de conseguir el funcionamiento deseado. Debido a las limitaciones, para gobernar los tres subprocesos, ha sido necesaria la utilización de dos autómatas convenientemente comunicados a través de una red Ethernet TCP/IP.

Finalmente, se ha abordado la programación de una aplicación SCADA por medio del programa LabVIEW que permite, de forma remota y en tiempo real, por una parte, visualizar un esquema simplificado del proceso completo y, por otra, gestionar su funcionamiento gracias a un panel de control que incluye funciones como la configuración de diferentes modos o el aviso mediante alarmas de posibles problemas con las piezas. Para ello, el programa hace uso de las variables de interés previamente distribuidas a la red a través de un servidor OPC.

Palabras clave: automatización, Fischertechnik, PLC, comunicación, SCADA, servidor OPC.

RESUM

En el present projecte, s'ha desenvolupat i implementat l'automatització d'un procés de caràcter industrial constituït per tres subprocessos diferents i coordinats entre si per a permetre el manipulats, classificat i posterior processat corresponent de peces. Per realitzar aquestes tasques, es van requerir, respectivament, les següents maquetes Fischertechnik d'ús educatiu: un braç robot capaç de manipular peces mitjançant aspiració al buit en un espai tridimensional, un classificador en funció del tipus de peça i una estació amb tractament de forn i fresadora.

La implementació de l'automatisme s'ha dut a terme amb autòmats programables (PLC), més concretament els models Modicon TSX Premium de la casa Schneider, programats amb el *software* Unity Pro M per tal d'aconseguir el funcionament desitjat. A causa de les limitacions, per governar els tres subprocessos, ha estat necessària la utilització de dos autòmats convenientment comunicats a través d'una xarxa Ethernet TCP/IP.

Finalment, s'ha abordat la programació d'una aplicació SCADA per mitjà del programa LabVIEW que permet, de forma remota i en temps real, d'una banda, visualitzar un esquema simplificat del procés complet i, de l'altra, gestionar el seu funcionament gràcies a un panell de control que inclou funcions com la configuració de diferents modes o l'avís mitjançant alarmes de possibles problemes amb les peces. Per a fer-ho, el programa empra les variables d'interés prèviament distribuïdes a la xarxa a través d'un servidor OPC.

Paraules clau: automatització, Fischertechnik, PLC, comunicació, SCADA, servidor OPC.

ABSTRACT

This project has consisted of developing and implementing the automation of an industrial process composed of three different subprocesses and coordinated with each other to allow the manipulation, classification and corresponding processing of pieces. To carry out these tasks, the following Fischertechnik models of educational use has been required: a robot arm capable of handling pieces by vacuum aspiration in a three-dimensional space, a classifier depending on the type of piece and a station with oven and milling machine treatment.

The automatism implementation has been carried out with PLCs, more specifically the Schneider TSX Premium models, which have been programmed using the Unity Pro M *software* to achieve the desired performance. Due to limitations, it has been necessary to use two PLCs conveniently communicated through an Ethernet TCP / IP network to control the three subprocesses.

Finally, the implementation of a SCADA application has been addressed by means of the LabVIEW program that allows, remotely and in real time, on the one hand, to visualize a simplified diagram of the entire process and, on the other hand, to manage its operation by a control panel that includes functions such as configuration of different modes or warning by alarms of potential problems with pieces. To do this, the program has used the variables of interest previously distributed to network through an OPC server.

Keywords: automation, Fischertechnik, PLC, communication, SCADA, OPC server.

CONTENIDO DEL PROYECTO

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

DOCUMENTO N°2: DEFINICIÓN DE VARIABLES

DOCUMENTO N°3: DISEÑO DEL AUTOMATISMO

DOCUMENTO N°4: MANUAL DE USUARIO

DOCUMENTO N°5: PRESUPUESTO



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y
MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON
AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y
MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON
LABVIEW

DOCUMENTO N°1: MEMORIA

AUTOR: IVAN PASCUAL GARRIDO

TUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso académico: 2017/2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Objetivos.	7
2. Introducción.	8
2.1. Antecedentes.	8
2.2. Motivación.....	8
2.3. Especificaciones.....	9
2.4. Legislación.	10
3. Estudio de alternativas.	11
3.1. Tipo de lógica.....	11
3.2. Elementos de control.	12
3.3. Autómatas.	14
3.4. Lenguajes de programación.	15
3.5. <i>Software</i>	16
3.5.1. Programación del autómeta.	16
3.5.2. Comunicación.	17
3.5.3. Control y supervisión.....	18
4. Descripción del equipo.	19
4.1. Robot manipulador de vacío.	19
4.2. Clasificador con reconocimiento de color.....	20
4.3. Estación de multiprocesado.	21
4.4. Contenedores y piezas.	21
5. Desarrollo de la solución.	23
5.1. Esquema de interacción del sistema.....	23
5.2. Aplicación real del proceso.	24
5.3. Disposición del equipo y recorrido de las piezas.....	27
5.4. Metodología de programación de los autómatas.....	30
5.5. Programación del primer autómeta.	31
5.5.1. Implementación y descripción de los GRAFCET.	32
5.5.2. Funciones especiales.	33
5.6. Programación del segundo autómeta.	35
5.6.1. Implementación y descripción de los GRAFCET.	36
5.6.2. Funciones especiales.	38
5.7. Comunicación entre autómatas.	39

5.8. Servidor OPC.....	40
5.9. Aplicación SCADA.	41
6. Conclusiones.....	45
7. Líneas futuras.	46
8. Bibliografía.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Autómata Modicon TSX-Premium de la marca Schneider.	15
Figura 2. Nodo CAN1 del autómata.....	15
Figura 3. Nodo CAN2 del autómata.....	15
Figura 4. Problemática con drivers específicos (izquierda) y solución mediante servidores OPC (derecha) (Aguilar Hanco, 2008).....	17
Figura 5. Manipulador de aspiración al vacío Fischertechnik (RO-BOTICA Global S.L., 2017b).....	19
Figura 6. Clasificador con reconocimiento de color Fischertechnik (RO-BOTICA Global S.L., 2017a). .	20
Figura 7. Estación de multiprocesado Fischertechnik (RO-BOTICA Global S.L., 2017c).....	21
Figura 8. Tipos de piezas.	22
Figura 9. Tipos de contenedores.	22
Figura 10. Esquema de interacción del sistema.	23
Figura 11. Acero laminado en frío (GyJ Empresas de Acero, 2017).	26
Figura 12. Cajera de titanio (Revistatope, 2018).....	26
Figura 13. Disposición del equipo.	28
Figura 14. Recorrido de una pieza tipo 2 en modo clasificado (izquierda) y clasificado+multiprocesado (derecha).	29
Figura 15. Recorrido de una pieza tipo otro en modo multiprocesado.	29
Figura 16. Vista estructural para el PLC 1.....	31
Figura 17. Implementación del contador de pulsos de la cinta del clasificador.	32
Figura 18. Implementación de la advertencia de contenedor lleno.	33
Figura 19. Implementación de la función FIFO.	34
Figura 20. Implementación de la función INT_TO_TIME.	34
Figura 21. Implementación de la función INITCHART para el PLC 1.....	35
Figura 22. Vista estructural para el PLC 2.....	35
Figura 23. Implementación del contador de piezas finales de tipo 1.	37
Figura 24. Configuración de las entradas del brazo.	38
Figura 25. Implementación de los eventos del brazo.	38
Figura 26. Implementación de la función INITCHART para el PLC 2.....	39
Figura 27. Pestaña de exploración E/S del PLC 1.....	40
Figura 28. Pestaña de exploración E/S del PLC 2.	40
Figura 29. Comunicación OPC para las variables del PLC 1 (izquierda) y del PLC 2 (derecha).....	41
Figura 30. Estructura del proyecto en LabVIEW.....	42
Figura 31. Diagrama de bloques del SCADA.....	42
Figura 32. Panel frontal del SCADA con las variables asociadas.	43
Figura 33. El resto de pestañas del panel frontal del SCADA con las variables asociadas.	43
Figura 34. Panel frontal activo del SCADA.....	44

1. Objetivos.

El presente proyecto tiene como objetivo principal desarrollar e implementar la automatización de un proceso de carácter industrial constituido por tres subprocesos diferentes y coordinados entre sí para permitir el manipulado, clasificado y posterior tratamiento correspondiente de piezas. El mencionado proceso debe ser monitorizado y ofrecer la posibilidad de ser controlado por los trabajadores de la planta, que se conciben como los usuarios finales.

Se deberán cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar el sistema automático para cumplir con el funcionamiento del proceso.
- Implementar mediante el *software* de programación Unity Pro M el código que consiga dicho funcionamiento deseado.
- Establecer la comunicación entre los autómatas programables que gobiernan los distintos subprocesos, necesaria para la validez del anterior código.
- Publicar los datos de interés del sistema a la red a través de un servidor OPC.
- Utilizar esos datos en el programa LabVIEW tanto para la monitorización como para la gestión del proceso completo por medio de una aplicación SCADA.

Asimismo, se ha tenido en gran consideración la búsqueda del equilibrio óptimo en la interacción del usuario con el sistema. De este modo, se pretende que no sea necesaria su supervisión constante, pudiendo funcionar de forma totalmente autónoma y con la contemplación de alarmas en caso de suceder algún tipo de problema. Pero al mismo tiempo, el usuario debe poseer un importante poder de personalización sobre el proceso, incluyéndose así distintos modos de funcionamiento y una compleja configuración manual de parámetros, entre otros.

2. Introducción.

A lo largo de este apartado se pondrá de manifiesto el contexto sobre el que se sitúa este proyecto dentro del amplio campo de la ingeniería industrial, comentando a su vez todos los factores tenidos en cuenta previamente a su resolución y que motivaron el deseo de realización del mismo.

Constituirá de esta manera una primera aproximación al desarrollo de la solución final, necesaria para la comprensión de los apartados posteriores en los que se profundizará de forma mucho más detenida y con elevado nivel de detalle.

Finalmente, se tratará, a modo de simple mención, la normativa aplicable a este proyecto.

2.1. Antecedentes.

En los últimos años, la automatización y control de procesos industriales ha cobrado una enorme relevancia, convirtiéndose en imprescindible para cualquier empresa de este sector que pretenda ser mínimamente competitiva. Se está asistiendo, por tanto, a una acelerada transición hacia la llamada Industria 4.0 (también conocida como 4ª revolución industrial, Industria inteligente o Ciberindustria del futuro), que persigue la puesta en marcha de fábricas inteligentes capaces de adaptarse a las necesidades y a los procesos de producción, así como a una asignación más eficiente de los recursos (Visual Technology Lab, 2017).

Es por eso que existe una demanda marcadamente creciente por parte de estas empresas de ingenieros que posean las competencias requeridas para llevar a cabo el diseño y la implementación de sistemas automatizados de una manera eficaz pero también eficiente, siempre sin olvidar la igual de importante necesidad del subsiguiente mantenimiento.

En consecuencia, no supone ninguna extrañeza encontrar gran cantidad de trabajos de fin de grado que también se contextualicen en esta área de la ingeniería, y que a la postre no hacen más que evidenciar un reflejo de la realidad anteriormente comentada en el mundo laboral actual.

2.2. Motivación.

La realización de este proyecto es el resultado de la curiosidad surgida a lo largo de todas las asignaturas de las que se nutre el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales relacionadas con el complejo mundo de la automática (Sistemas Automáticos, Tecnología Automática y, en especial, Laboratorio de Automatización y Control), así como del férreo deseo de ampliar conocimientos acerca de esta rama en vistas a una posible especialización futura en el máster que habilita para la profesión de Ingeniero Industrial.

En esta última asignatura mencionada, se llevaron a cabo seminarios de introducción a los campos del control por computador, filtrado de señales, robótica y automatización, obteniéndose en el último la mayor satisfacción y la sensación de que la profundización en esa dirección era necesaria.

Así pues, la elección de ese seminario para ambientar el trabajo final de la asignatura fue clara y se implementó la automatización de un proceso constituido por una estación de clasificado y otra de multiprocesado de piezas.

Siguiendo con esa necesidad de ahondar en la materia, se planteó la posibilidad de considerar un proceso más completo y, por tanto, complejo, aprovechando parte del trabajo ya efectuado, con el propósito de materializarse en un proyecto final de grado. Por consiguiente, se decidió añadir un tercer subproceso al sistema que permitiese la manipulación automática de las piezas por medio de un robot de aspiración al vacío y eliminase la poco efectiva manipulación manual anterior. Ahora sí, se planteaba un proceso productivo totalmente autónomo en el que la intervención humana solo sería imprescindible para su puesta en marcha, comportando inevitablemente un incremento considerable de la dificultad en la solución a adoptar, pero que, aun así, era merecedor del esfuerzo.

La elección de trabajar con maquetas de procesos reales enriquece aún más la experiencia, pues brinda la posibilidad de observar los avances conseguidos y afrontar los problemas surgidos con un alto nivel de inmersión, y aprendiendo a valorar con responsabilidad las limitaciones tanto físicas como técnicas que aparecen en todo tipo de proyectos.

El uso del *software* de LabVIEW es otra de las claras motivaciones, ya que ofrece una gran libertad de programación y permite la elaboración de interfaces amigables e intuitivas para el usuario. Además, cabe destacar que es ampliamente utilizado en las empresas del sector.

Indudablemente, contribuir (de manera muy humilde) en la transición hacia la digitalización de las fábricas mencionada en el subapartado anterior supone un gran aliciente, el cual, junto con la voluntad de experimentar un primer acercamiento a la forma de trabajar de un profesional de la automática, consolida un fuerte estímulo que servirá de elemento motivador durante toda la realización del proyecto

2.3. Especificaciones.

El desarrollo de la solución surge de las necesidades y exigencias del cliente, y está limitado, a su vez, por las características de los equipos utilizados, la legislación vigente y el presupuesto disponible.

Teniendo en cuenta esas condiciones, el sistema deberá ser capaz de cubrir como mínimo las siguientes consideraciones generales:

- La contemplación de tres posibles modos de funcionamiento en cuanto al tratamiento de las piezas: clasificado, multiprocesado o clasificado con multiprocesado. En este último, el tiempo de acción del horno y la fresadora que componen la estación del multiprocesado variará en función del tipo de pieza que se haya detectado con anterioridad en el clasificador.
- Estos modos podrán actuar también de forma automática (producción continua y en base a parámetros por defecto) o manual (producción ajustada a la demanda del usuario y con los parámetros solicitados).
- Además de la elección de modos y la configuración de parámetros manual (cantidad de piezas, tiempo de horno y tiempo de fresadora, para cada tipo de pieza), el usuario será

advertido mediante la interfaz de cualquier contratiempo con las piezas y dispondrá de un botón de paro de emergencia para posibles problemas no detectables por el sistema. En ambos casos, el proceso se detendrá por completo y no se volverá a iniciar hasta que se solucione el problema, se pulse el correspondiente botón de reinicio y, posteriormente, el de marcha.

- De igual forma, la interfaz debe visualizar de manera clara un esquema simplificado de los tres subprocesos con todos los sensores y actuadores de interés, así como el estado de los contenedores iniciales, intermedios y finales de piezas, advirtiéndole al usuario en caso de que alguno esté completo y contemplando botones con los que se pueda indicar al sistema que ya han sido descargados.
- El tercer subproceso será el brazo robot manipulador y se encargará de liberar al humano de la tarea de transportar las piezas entre el clasificador, el multiprocesado y los diferentes contenedores. Considerará la configuración establecida por el usuario y actuará en consecuencia, siempre evitando posibles colisiones con otras partes del sistema, ya que se trata de un elemento móvil.

El objetivo último de estas especificaciones del producto es la definición de un perfil del proyecto, es decir, un conjunto de restricciones que permita definir y limitar el campo de soluciones en el que debe hallarse cualquier propuesta que pretenda ser solución al problema planteado (Departamento de Proyectos de Ingeniería, 2018).

2.4. Legislación.

Este proyecto está sometido a las condiciones que dictamina la legislación vigente pertinente y a la que se pasa a hacer mención expresa a continuación:

- **EN ISO 13849-1:2006.** Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño (Gutiérrez, 2018).
- **EN ISO 13849-2:2004.** Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relativas a seguridad. Parte 2: Validación (Gutiérrez, 2018).
- **IEC 61131-3.** Estandarización de los lenguajes de programación para los controladores lógicos programables (IEC, 2018b).
- **UNE-EN 60848:2013.** Lenguaje de especificación GRAFCET para diagramas funcionales secuenciales (AENOR, 2016).
- **IEC 62541.** Especificaciones de la arquitectura unificada OPC (IEC, 2018c).
- **IEC 60870-5-104.** Definición del uso de una red TCP/IP como medio de comunicación (IEC, 2018a).

3. Estudio de alternativas.

Para llegar a alcanzar todos los objetivos y cumplir con las especificaciones, la realización del proyecto se puede abordar por distintos caminos. Es por ello que se requiere de un estudio previo de las soluciones alternativas referentes a cada área más viables y comúnmente utilizadas en la actualidad, para finalmente alcanzar un grado de conocimiento suficientemente sólido que permita elegir, de entre todas ellas, la que mejor satisface el funcionamiento deseado.

Así pues, se sopesarán con detenimiento los puntos fuertes y débiles de cada alternativa y se comentará de manera argumentada la elección última.

3.1. Tipo de lógica.

La tecnología a utilizar para el diseño del automatismo admite dos variantes, que determinarán los elementos físicos involucrados y la forma de llevar a cabo la implementación.

- Con la **lógica cableada**, los automatismos son implementados de forma física mediante circuitos cableados, utilizando para ello contactos auxiliares de relés electromagnéticos, contactores de potencia, relés temporizados, relés contadores, válvulas óleo-hidráulicas y neumáticas, así como demás elementos según las necesidades demandadas, y permitiendo la ejecución de tareas de forma secuencial.

Presenta las siguientes ventajas:

- Mayor fiabilidad en instalaciones pequeñas y en lugares críticos donde la seguridad de personas y máquinas no estaría asegurada si dependiese de la lógica programada.
- Sencillez y facilidad de ejecución para aquellos sistemas cuyo nivel técnico es bajo, sin complejidades (S.B.M., 2018).

Entre los inconvenientes se encuentran:

- Elevada dificultad y coste en cuanto a montaje y reparación.
- Gran volumen y peso.
- Tolerancia limitada a las modificaciones. Para cambios a mayor escala, se requiere un rediseño del circuito completo.
- Dificultad en el diseño de automatismos complejos debido al número limitado de maniobras.
- Necesidad de un gran número de elementos de protección.

- La **lógica programada**, en cambio, sustituye los elementos utilizados en los circuitos de mando por autómatas o relés programables. El control del sistema se lleva a cabo con la reconfiguración de la programación mediante *software* incorporado, sin necesidad de modificar el cableado.

En este caso, la lógica programada ofrece algunas ventajas más respecto a la primera alternativa comentada:

- Menor coste económico.
- Menor espacio requerido.
- Gran flexibilidad para cambios en el sistema, tanto grandes como pequeños.

- Mayor facilidad en el diseño de automatismos complejos.
- Posibilidad de comunicaciones entre varios sistemas.
- Mantenimiento sencillo.

En cuanto a los inconvenientes, cabe destacar:

- Robustez limitada y, por tanto, mayor vulnerabilidad ante condiciones adversas.
- Necesidad de mano de obra cualificada para llevar a cabo las tareas de implementación y mantenimiento.

Por lo que a este proyecto se refiere, se necesita una tecnología capaz de admitir la implementación de un sistema considerablemente complejo (pues consta de tres subprocesos diferentes con sus respectivas funcionalidades), la comunicación eficaz entre todos ellos y la posibilidad de realizar modificaciones importantes en caso de verse alteradas las condiciones del proceso o las exigencias del cliente. Dicho esto y considerando todas las características expuestas más arriba (Ribas, 2018), la única alternativa apta es el uso de la lógica programable.

3.2. Elementos de control.

Una vez establecido el tipo de lógica a emplear, se procede a estudiar los tipos de controladores más utilizados en la industria actual en pos de escoger aquel que mejor gestione el sistema mediante el procesamiento y la transmisión de datos.

- La **tarjeta de adquisición de datos** (DAQ del inglés *data acquisition*) se emplea para obtener una muestra de una variable física, como por ejemplo voltaje, temperatura o nivel de sonido. Esto se consigue mediante la señal de un sensor (sistema analógico) que se transforma en un dato reconocible y registrable por un sistema digital para poder ser interpretado por un ordenador y, finalmente, utilizado mediante *software* con un fin específico (JM Industrial Technology SA, 2018).

Las principales ventajas son:

- Inclusión de conversores de datos A/D y D/A.
- Gran capacidad de almacenamiento.
- Tratamiento de magnitudes físicas.
- Rapidez de procesamiento debido a la disponibilidad completa de la memoria del ordenador.

Y las principales desventajas:

- Coste económico elevado.
 - Necesidad de ordenador y su correspondiente espacio.
 - Posible ralentización de tareas a causa del sistema operativo y otras funciones del ordenador.
 - Programación compleja.
 - Riesgo ante posibles fallos del ordenador, pues toda la gestión del proceso pasa por este.
- Por otro lado, también son utilizados los circuitos integrados programados conocidos como **microcontroladores**. Compuestos por una unidad central de procesamiento (CPU), una

memoria y periféricos de Entrada/Salida, permiten automatizar procesos y procesar información (Rubén E., 2017).

Las ventajas que presentan son:

- Portabilidad, debido a su reducido tamaño.
- Facilidad de incorporación directa al dispositivo que gobiernan.
- Integración en su interior de elementos como temporizadores, convertidores o puertos de Entradas/Salidas.
- Coste reducido.

En cuanto a las desventajas, estos controladores ofrecen:

- Alta complejidad en la programación
 - Poca adaptabilidad a ampliaciones futuras.
 - Necesidad de componentes externos para su funcionamiento.
- En último lugar, el **Controlador Lógico Programable** (PLC) es el tipo más común. Se trata de un equipo electrónico basado en microprocesadores que emplea memorias programables y regrabables (RAM) para almacenar algoritmos que permitan seguir una lógica de control en un entorno principalmente industrial (Martínez, 2013).

Entre sus ventajas, cabe destacar:

- Gran cantidad de E/S.
- Posibilidad de adición de módulos externos.
- Variedad de lenguajes de programación, estandarizados según la norma IEC 61131-3 (véase el apartado 2.4).
- Habitualmente portables y poco pesados.
- Sencillez en la programación.
- Monitorización directa del proceso.
- Facilidad de comunicación con otros PLC o dispositivos diferentes.
- Inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a altas temperaturas e impactos (ideal para entornos industriales).
- Gran adaptabilidad a cambios o ampliaciones del sistema.

Estos son sus mayores inconvenientes:

- Coste habitualmente elevado.
- Disponibilidad de un espacio considerable para su colocación.
- Necesidad de elementos externos para la comunicación con el proceso a controlar.

Comentados pros y contras de cada elemento (Domínguez González, 2017), ya es posible proceder a la elección del controlador. El PLC destaca claramente por ofrecer las mayores ventajas frente a las dos opciones restantes, coincidiendo muchas de ellas con condiciones imprescindibles para la implementación del proceso de manipulado, clasificado y multiprocesado de piezas. De esta manera, se conseguirá manejar y monitorizar un gran número de E/S con una programación sencilla y que permita reconfiguraciones cuantas veces sea necesario a lo largo de la fase de implementación, asegurando, a la vez, la comunicación entre los PLC.

Por consiguiente, este último elemento descrito será el escogido para encargarse de las tareas de control del sistema.

3.3. Autómatas.

Debido al imparable crecimiento de la automatización en la industria, existe una feroz competencia por dominar el mercado de los autómatas programables (o PLC). Son numerosas las empresas que se dedican al desarrollo y comercialización de estos dispositivos, ofreciendo, a su vez, una gran variedad de gamas y modelos para cubrir las diferentes aplicaciones que demanda la industria.

Algunas de las marcas más utilizadas actualmente son:

- **Allen-bradley.**
- **Siemens.**
- **Omron.**
- **Schneider.**

Pero tan amplia variedad de fabricantes y modelos dificulta considerablemente el proceso de selección, por lo que es importante conocer ciertos criterios que nos faciliten esta tarea clave para el buen desarrollo del proceso a automatizar.

Los principales factores cuantitativos son:

- Ciclo de ejecución.
- Capacidad de E/S.
- Características de las E/S.
- Módulos funcionales.
- Memoria de programa.
- Conjunto de instrucciones.
- Comunicaciones.
- Periferia y programadoras.

En cuanto a los criterios cualitativos, es necesario tener en consideración:

- Ayudas al desarrollo de programas.
- Fiabilidad del producto.
- Servicios del suministrador.

Finalmente, contempladas todas las marcas y criterios de selección (infoPLC, 2017), se va a trabajar con el modelo **Modicon TSX-Premium** de la casa **Schneider**, pues brinda las prestaciones suficientes para cumplir satisfactoriamente con el cometido. Asimismo, se ha tenido en cuenta la disponibilidad, ya que es un autómata que se puede encontrar en los laboratorios del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática (DISA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y, de hecho, ha sido previamente utilizado en otras asignaturas de este departamento, por lo que ya es conocido por el alumno.

El modelo elegido tiene el aspecto mostrado en la *Figura 1* y está compuesto por un módulo de 16 entradas y 12 salidas digitales y por dos Nodos CAN. El Nodo 1 (*Figura 2*) consta de dos módulos: uno con 12 entradas y 8 salidas digitales y otro con 2 entradas y 1 salida analógica. El Nodo 2 (*Figura 3*), por su parte, presenta 12 entradas digitales y 8 salidas digitales en un único módulo.



Figura 1. Autómata Modicon TSX-Premium de la marca Schneider.



Figura 2. Nodo CAN1 del autómata.



Figura 3. Nodo CAN2 del autómata.

3.4. Lenguajes de programación.

Junto con el progreso del hardware de los PLC, ha tenido lugar una evolución paralela de sus sistemas de programación (Piedrafita Moreno, 2003).

En cuanto a los **lenguajes literales**, existen dos posibilidades:

- *Lista de instrucciones (IL)*. Es un lenguaje de bajo nivel, similar al lenguaje ensamblador, donde solo es posible programar una operación por línea. Fue de los primeros lenguajes desarrollados y es ampliamente utilizado para pequeñas aplicaciones y para optimizar partes de una aplicación.
- *Texto estructurado (ST)*. Se trata de un lenguaje de alto nivel empleado para realizar de una manera rápida sentencias complejas que manejen variables con un amplio rango de tipos de datos, incluyendo tanto valores analógicos como digitales. Al mismo tiempo, posee soporte para bucles iterativos, ejecuciones condicionales y funciones matemáticas.

Por otra parte, también son empleados **lenguajes de tipo gráfico**:

- *Diagrama secuencial de funciones (SFC)*. Describe de forma gráfica el comportamiento de un automatismo secuencial mediante una serie de elementos (etapas y transiciones) y determinadas reglas de evolución.
- *Diagrama de contactos (LD)*. Imita el funcionamiento de los circuitos basados en relés eléctricos. No resulta adecuado para la implementación de grandes programas, pero la facilidad de adaptación por parte del usuario es su principal ventaja y lo ha convertido en el más universal de todos, ya que lo incorporan la mayoría de fabricantes de PLC.
- *Diagrama de bloques de funciones (FBD)*. Su programación se basa en bloques que son cableados entre sí de forma análoga al esquema de un circuito. Su uso se centra en programas que impliquen el flujo de información entre componentes de control.

En este caso, no existe una única opción válida, sino que cada parte de la implementación consigue un mejor aprovechamiento con un determinado lenguaje. Por tanto, se optará por una combinación de algunos de ellos, como se verá en detalle a lo largo de esta memoria.

3.5. Software.

En último lugar, se deberá seleccionar el conjunto de programas que mejor gestione las tareas de programación del autómatas, comunicación y control y supervisión.

3.5.1. Programación del autómatas.

El elemento de control escogido necesita ser programado mediante un *software* compatible, el cual también suele ser distribuido por los propios fabricantes de los autómatas. Atendiendo a las marcas anteriormente mencionadas, los programas correspondientes más frecuentes son:

- **RSLogix** para Allen-Bradley.
- **Step7** para Siemens.
- **CX-Programmer** para Omron.
- **Unity Pro** para Schneider.

Debido a la selección del autómatas ya realizada, el *software* a utilizar será el ofrecido por el fabricante Schneider, más concretamente el paquete llamado Unity Pro M.

Se trata de una herramienta que se puede usar para todas las fases de un proyecto de automatización, siendo un *software* común de programación, puesta a punto y explotación de los autómatas Modicon, M340, Premium, Quantum y coprocesadores Atrium (Telemecanique, 2018). Su configuración es 100% gráfica y muy intuitiva, permite todos los lenguajes estudiados y, como ocurría con el PLC escogido, es accesible en los laboratorios DISA y ya ha sido utilizado durante el grado.

3.5.2. Comunicación.

Otro de los grandes objetivos del presente trabajo pasa por distribuir los datos de los PLC a la red para que después puedan ser accesibles a un *software* de control y supervisión de procesos, como se tratará en el siguiente subapartado.

Los fabricantes utilizaban frecuentemente **drivers específicos**. Mediante este tipo de comunicación, cada aplicación necesitaba disponer de los *drivers* o protocolos adecuados para poder compartir datos con otro dispositivo diferente, lo que suponía un problema de compatibilidades.

Los **servidores OPC** (*OLE for Process Control*) resuelven este problema (*Figura 4*) haciendo innecesario que el “cliente” de datos conozca el protocolo o disponga de los *drivers* específicos del “servidor” de datos.

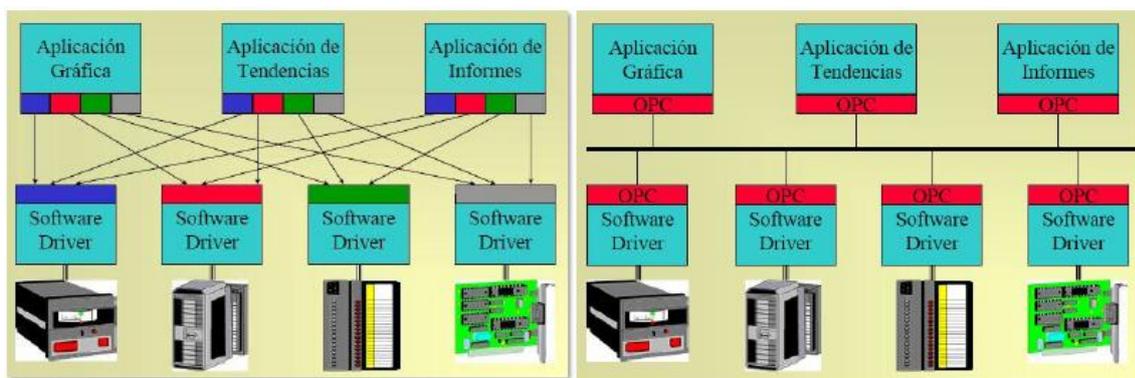


Figura 4. Problemática con drivers específicos (izquierda) y solución mediante servidores OPC (derecha) (Aguilar Hanco, 2008).

Los servidores OPC pueden comunicarse prácticamente con cualquier fuente de datos, pues lo incluyen la mayor parte de fabricantes en sus productos. Está basado en tecnología Microsoft y se realiza a través de la arquitectura Cliente-Servidor, tratándose de una comunicación bidireccional, es decir, pueden leer de y escribir en una fuente de datos (Kominék, 2009).

Ante tanta flexibilidad, OPC es claramente la solución más adecuada. Concretamente, se va a trabajar con National Instruments, pero existe gran cantidad de compañías dedicadas a la distribución de este tipo de servidores, como son Kepware, MatrikonOPC y Wonderware.

3.5.3. Control y supervisión.

Para poder controlar y supervisar el proceso de manipulado, clasificado y multiprocesado de piezas, el usuario necesita disponer de una interfaz gráfica con la que poder interactuar de forma intuitiva. Esto es precisamente lo que consiguen las llamadas aplicaciones **SCADA** (*Supervisory Control and Data Acquisition*), permitiendo mostrar toda la información de interés del proceso productivo y facilitando su gestión e intervención. La realimentación de los sensores y actuadores a nivel de planta se produce en tiempo real y el control se realiza de forma remota.

En la actualidad, los sistemas SCADA son ampliamente utilizados, dado que son capaces de controlar todo tipo de procesos (industriales, basados en infraestructuras, en instalaciones, etc.) y cubren numerosas áreas de trabajo (monitorización, gestión de la producción, mantenimiento, control de calidad, administración, tratamiento histórico de la información, etc.) (Colomer, Melendez y Aiza, 2018).

Algunos de los programas compatibles con la implementación de este tipo de aplicaciones son:

- **Monitor Pro** (Schneider Electric).
- **SIMATIC WinCC** (Siemens)
- **CX-Supervisor** (Omron).
- **LabVIEW** (National Instruments).

Por tratarse de un estándar en la industria y también por su fácil aprendizaje, el *software* diseñado por la compañía National Instruments es el elegido para llevar a cabo esta parte de la implementación.

4. Descripción del equipo.

Antes de profundizar en la exposición de la solución final adoptada, es momento de describir las características del equipo sobre el que se van a aplicar todas las selecciones previas (autómata, lenguajes de programación, *software*, etc.).

Como ya se ha comentado, el proceso completo consta de tres subprocesos: un clasificador de piezas, un robot manipulador de vacío y una estación de multiprocesado (integrada por un horno y una fresadora).

Como es obvio, la utilización de maquinaria industrial real supera, a todos los niveles, el alcance de un trabajo final de grado, pero, por fortuna, el mercado ofrece alternativas de garantía para este tipo de contextos académicos.

En consecuencia, se ha optado por el uso de los productos de la compañía **Fischertechnik**, que desarrolla modelos de entrenamiento basados en operaciones reales existentes en la industria actual. Estos innovadores materiales de aprendizaje proporcionan una experiencia muy cercana y fiel a la realidad, que de otra manera sería muy difícil de conseguir. Su reducido tamaño favorece un manejo cómodo y presentan una gran flexibilidad en cuanto a ampliaciones u otro tipo de cambios. Además, el alumno puede observar de forma inmediata el resultado de cada pequeña modificación en la programación, facilitando significativamente esta labor.

Así pues, se describen a continuación tanto las maquetas de este fabricante finalmente elegidas como los contenedores y las piezas que completan el equipo utilizado para el proyecto.

4.1. Robot manipulador de vacío.

Se trata de un brazo robot de tres ejes capaz de manipular piezas mediante aspiración al vacío de manera rápida y precisa en un espacio tridimensional. Su aspecto es el que muestra la *Figura 5*.

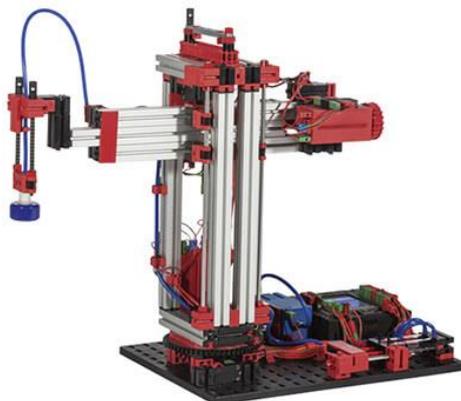


Figura 5. Manipulador de aspiración al vacío Fischertechnik (RO-BOTICA Global S.L., 2017b).

Se ha utilizado la versión de 24 voltios de entrada, que no incluye controlador, pues ya se dispone de un autómata que cubre esta función de control.

Su zona de trabajo queda definida como sigue:

- Eje X de 270°
- Eje Y (avance/retroceso) de 140 mm
- Eje Z (arriba/abajo) de 120 mm

Por otro lado, los elementos incluidos son:

- 3x *encoder*-motor
- 3x sensor final de carrera
- Ventosa de vacío
- Compresor
- Válvula electromagnética

Para mayor comodidad en su manejo, el robot ha sido montado sobre un tablón de madera de dimensiones 257 x 186 x 12 mm.

4.2. Clasificador con reconocimiento de color.

Como queda representado en la *Figura 6*, esta maqueta se usa para distribuir piezas mediante cinta transportadora y empujadores en tres contenedores diferentes según el color identificado.

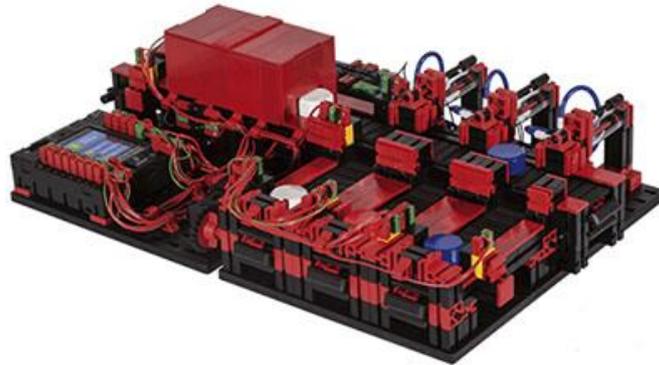


Figura 6. Clasificador con reconocimiento de color Fischertechnik (RO-BOTICA Global S.L., 2017a).

Como en el caso anterior, también se utiliza la versión de 24 voltios.

Los elementos necesarios para su funcionamiento son los siguientes:

- 2x mini-motor
- 7x fototransistor
- 7x lámpara de lente
- 3x válvula electromagnética
- Compresor
- Sensor óptico de color

En cuanto a la superficie sobre la que se monta, las dimensiones son 440 x 310 x 16 mm.

4.3. Estación de multiprocesado.

El tercer y último subproceso es el mostrado en la *Figura 7*. Se trata de un doble procesamiento de piezas: por una parte, se aplica una cocción mediante un horno con puerta neumática corrediza y, por otra, un mecanizado con fresadora. Asimismo, incluye un manipulador de aspiración y una mesa giratoria que sirven de unión entre ambas operaciones, y una cinta transportadora final. Para mayor claridad y por tratarse de la maqueta con más variedad de elementos, se han indicado los más importantes en la propia imagen.

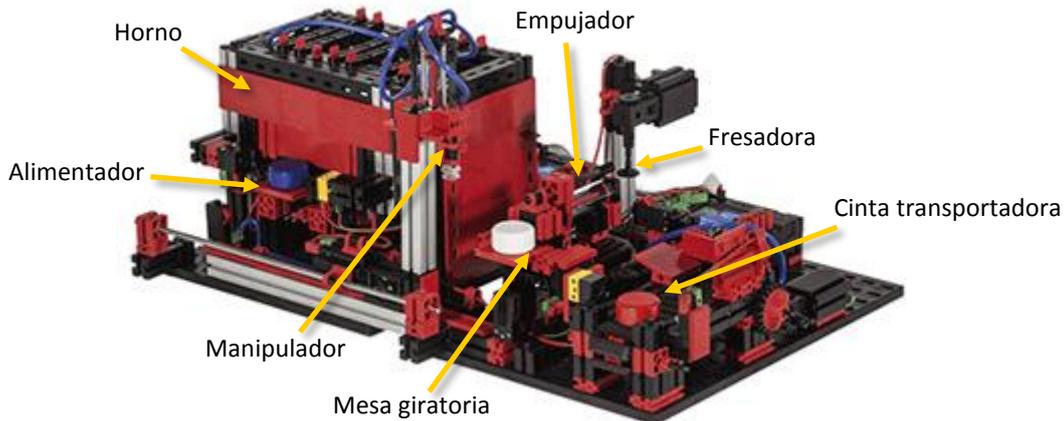


Figura 7. Estación de multiprocesado Fischertechnik (RO-BOTICA Global S.L., 2017c).

Por la misma razón que en los casos anteriores, la tensión de entrada también será de 24 voltios.

Los componentes físicos incluidos en esta maqueta son:

- 4x mini-motor
- 6x sensor final de carrera
- 2x fototransistor
- 2x lámpara de lente
- 4x válvula electromagnética
- Compresor

Como el tamaño es bastante similar al del clasificador, las dimensiones del tablón son las mismas (440 x 310 x 16 mm).

4.4. Contenedores y piezas.

Para acabar, también será necesario describir los diferentes contenedores (exceptuando los que ya contiene la estación de clasificado) y las propias piezas con las que se trabajará.

Como muestra la *Figura 8*, se dispone de piezas circulares estándar de tres colores distintos: blanco, rojo y azul. Las dimensiones son las mismas independientemente del color: 25 mm de diámetro y 14 mm de espesor.



Figura 8. Tipos de piezas.

En cuanto a los contenedores, se han construido de forma muy simplificada mediante piezas de tipo LEGO. En la parte superior de la *Figura 9*, se encuentra el conjunto de contenedores que almacenan las piezas azules, rojas y blancas (de izquierda a derecha) que ya han sido procesadas. El elemento de color amarillo es el contenedor inicial, que simula una forma de almacenaje con cierta inclinación con el fin de facilitar la provisión ininterrumpida de piezas para el robot manipulador. Finalmente, los contenedores destinados a otro tipo de piezas y a piezas rechazadas por el proceso, ocupan la parte inferior izquierda y derecha, respectivamente.

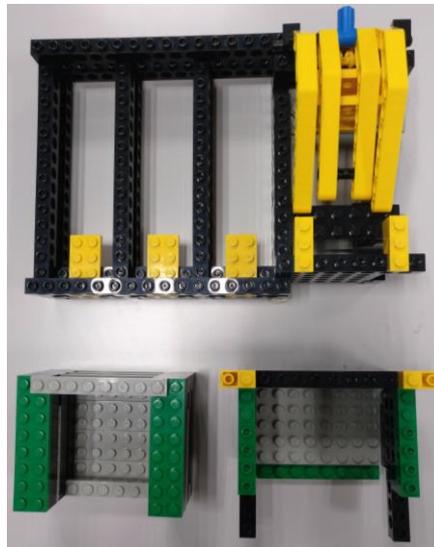


Figura 9. Tipos de contenedores.

La disposición y utilidad de cada componente del equipo utilizado se entenderá mejor a través de las aclaraciones pertinentes que recogen los apartados posteriores.

5. Desarrollo de la solución.

Habiendo estudiado las diferentes alternativas capaces de conseguir los objetivos planteados y con la elección de las que se han considerado más adecuadas ya tomada, se procede al desarrollo detallado de la solución adoptada en cada uno de los apartados que constituyen el presente proyecto.

5.1. Esquema de interacción del sistema.

Antes de abordar aspectos concretos de la solución, es imprescindible tener una visión general del problema a resolver para posteriormente ir dividiéndolo en subproblemas más fáciles de tratar. Para ello, la *Figura 10* es de gran utilidad, pues representa un esquema simplificado de los pasos que componen la solución del sistema completo.

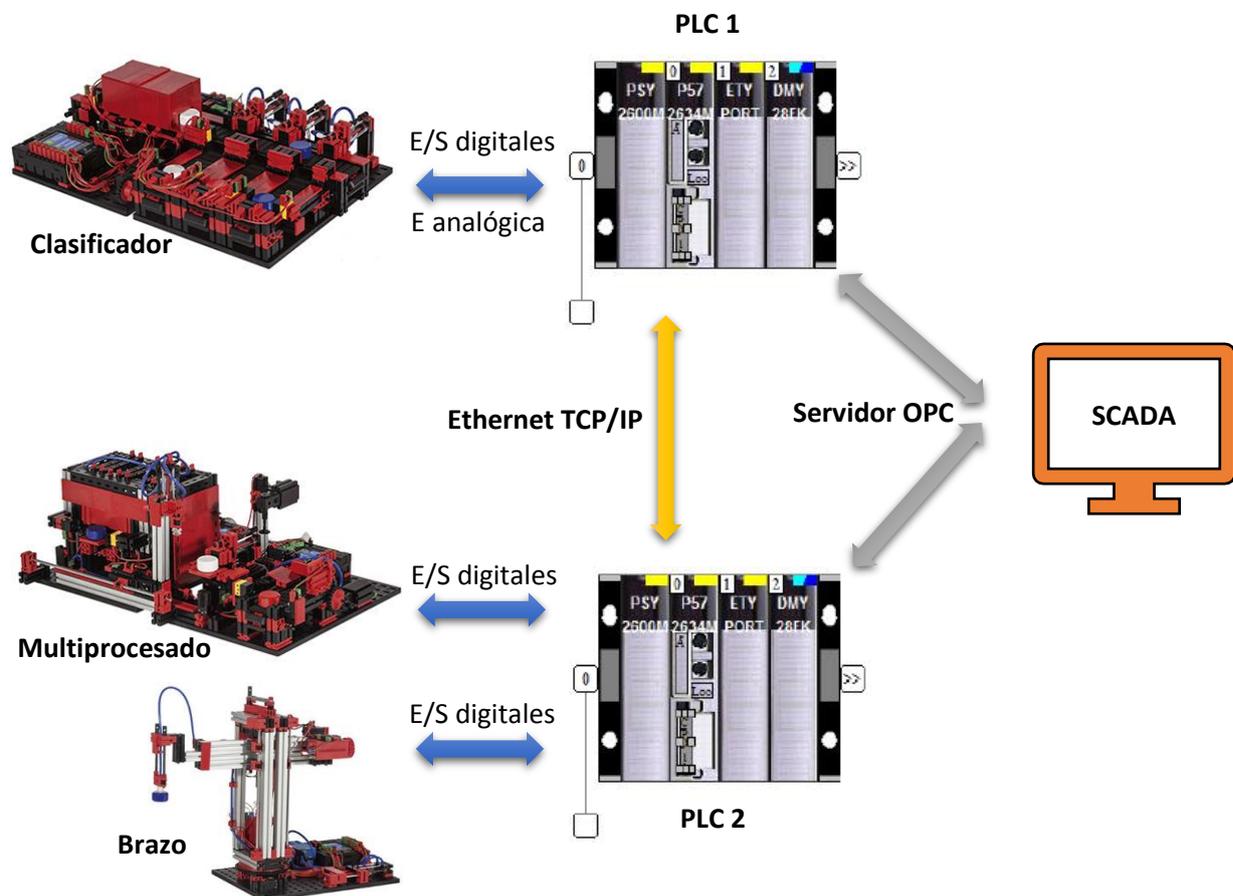


Figura 10. Esquema de interacción del sistema.

Como se observa en dicho esquema, se hará uso de dos autómatas TSX Premium para controlar las tres maquetas, debido a que el número de entradas y salidas de los que estos disponen no son suficientes. El segundo PLC puede gobernar dos maquetas a la vez porque el multiprocesado utiliza los Nodos CAN y el brazo robótico se conecta al módulo DMY28FK (el de la derecha de la imagen). Por su parte, el clasificador emplea los Nodos CAN del primer PLC.

Las flechas azules representan la conexión directa que existe entre las maquetas y sus respectivos autómatas, y que obedecerá a la programación realizada mediante el programa Unity Pro M. Todas las señales tratadas serán digitales excepto el sensor de color del clasificador, que constituirá la única entrada analógica.

En cuanto a la red Ethernet TCP/IP, la flecha de color amarillo refleja la necesidad de comunicación entre ambos autómatas para el correcto funcionamiento de ciertas tareas que requieren de variables que controla el otro autómata. También aquí, la comunicación dependerá de aquello establecido en el correspondiente apartado de Unity Pro M.

Finalmente, la aplicación SCADA de LabVIEW se encargará de visualizar y controlar el proceso completo haciendo uso de las variables obtenidas de los dos autómatas. La transferencia de dichas variables figura en la imagen en forma de flechas de color gris y se realiza mediante la tecnología OPC.

Mención aparte merece la forma de conexión de todos estos elementos, ya que las transferencias no solo obedecen al orden en el que se han expuesto, sino que también pueden efectuarse en el sentido inverso. Las dobles flechas utilizadas en el esquema pretenden expresar de forma explícita esta comunicación bidireccional.

5.2. Aplicación real del proceso.

En este apartado se describirán tanto los modos de funcionamiento que contempla el sistema como los tipos de piezas con las que se trabaja.

Como ya se ha visto, se dispone de piezas de tres colores distintos y el subproceso del clasificador es capaz de distribuirlas en función de ese color. En cambio, para dotar al sistema de un carácter más industrial, se han considerado tres tipos de piezas con características diferentes, más allá del color. De esta manera, se entiende que cada tipo de pieza ha sido etiquetado mediante un código de barras y el clasificador las distingue en base a este parámetro. Esto presenta una importante utilidad, pues pocas son las empresas que trabajan con un único tipo de pieza y puede haber tramos del proceso productivo donde las piezas se mezclen y se transporten juntas independientemente de su tipo, o que directamente el contenedor inicial de todo el proceso sea un combinado de ellas.

Las funciones para las que están capacitadas las tres maquetas se pueden combinar de distintas formas, consiguiendo los tres modos de funcionamiento automático siguientes:

- **Clasificado automático.** En ocasiones, puede ser necesario únicamente el clasificado de los tres tipos de piezas, sin ningún tratamiento adicional. A modo de ejemplo, podría ocurrir cuando no existe una demanda suficiente por parte de los clientes y solo se quiere distribuir las piezas según su tipo para guardarlas en el almacén hasta que esta aumente. En ese caso, la estación de multiprocesado cederá todo el trabajo al clasificador y al robot manipulador. Este último se limitará a transportar las piezas desde el contenedor inicial hasta la cinta transportadora del clasificador (cuando esté preparado para ello). Gracias a la acción del clasificador, cada tipo de pieza terminará en su respectivo contenedor.

- **Clasificado y multiprocesado automático.** Es el modo natural de este sistema y del que se espera un mayor uso. Cubrirá las funcionalidades del modo anterior y, además, el brazo trasladará las piezas del clasificador al multiprocesado para su tratamiento tipificado, esto es, con unos tiempos de aplicación del horno y de la fresadora diferentes en función de su tipo. Finalmente, el brazo volverá a actuar, pero esta vez para almacenar las piezas en su contenedor final correspondiente.
- **Multiprocesado automático.** Se contempla también un tercer escenario: que la empresa quiera tratar otro tipo de pieza para un pedido extraordinario que requiere de unos parámetros temporales diferentes en el multiprocesado. Así pues, el clasificador dejará de tener utilidad y solo se aplicarán los procesos de manipulado y multiprocesado.

Por el hecho de ser modos automáticos, permanecerán activos hasta que se indique la detención del sistema (se acabarán de tratar las piezas que se encuentren en mitad del proceso en ese momento), por lo que la cantidad de piezas tratadas será indefinida, siempre dentro de los límites de los contenedores.

Estas tres modalidades también se podrán ejecutar en modo manual, lo que añadirá ciertas características:

- **Clasificado manual.** Permite fijar el número de piezas que se almacenarán de cada tipo.
- **Clasificado y multiprocesado manual.** Además de la cantidad de piezas, permite modificar los tiempos de horno y fresadora anteriormente mencionados para poderse adaptar a ciertas necesidades puntuales que impliquen algún cambio en este aspecto, aun tratándose de los mismos tipos de pieza.
- **Multiprocesado manual.** El tercer modo de funcionamiento cobra más sentido en su variante manual, ya que, al tratarse de pedidos puntuales, los parámetros del multiprocesado responderán a unas necesidades muy concretas en cada ocasión. Así pues, se podrá configurar tanto la cantidad de piezas como los tiempos de multiprocesado. En cambio, aun siendo inusuales, se ha considerado un tipo de pedido como el más habitual y es el que determina los parámetros por defecto con los que funciona el modo automático.

Por su parte, el modo manual finalizará el proceso cuando se haya almacenado el número de piezas pedidas en su configuración.

La detención inmediata de cualquier modo podrá tener lugar mediante un botón de emergencia o mediante un problema detectado por el sistema, como se explicará en los subapartados referentes a la programación.

Por otra parte, merecen ser comentadas las características de las piezas de las que hace uso la hipotética empresa en cuestión y los tratamientos correspondientes que se le aplican en la estación de multiprocesado:

- **Tipo de pieza 1.** La primera tipología representa placas de acero a las que se le ha aplicado anteriormente un proceso de laminado en frío y que se utilizan en gran variedad de aplicaciones industriales (*Figura 11*). Se aplicará un tratamiento térmico de recocido para eliminar los esfuerzos residuales y el endurecimiento por deformación conseguido durante el proceso en frío; el componente final será blando y dúctil, pero conservará el acabado superficial y una precisión dimensional satisfactoria (R. Askeland, 1998). Como el tiempo real de este tipo de procesos es excesivo para realizar una automatización a nivel académico, se ha escogido un tiempo simbólico que permita visualizar el funcionamiento completo del sistema con mayor dinamismo. Por tanto, la pieza permanecerá 10 segundos en el horno, pero no se detendrá a su paso por la fresadora, ya que no se someten a este tipo de mecanizado.



Figura 11. Acero laminado en frío (GyJ Empresas de Acero, 2017).

- **Tipo de pieza 2.** En este caso, la fresadora sí que cobrará protagonismo, pues el objetivo es mecanizar las cavidades de cajeras destinadas a la industria aeronáutica. Tienen un aspecto similar al que muestra la *Figura 12* y cuando están hechas de materiales difíciles de trabajar mediante arranque de viruta (como aquellos ricos en carbono), se necesita un recocido de ablandamiento previo. Así pues, también con la intención de buscar la máxima simplificación de la realidad, los tiempos de actuación de cada elemento de la estación de multiprocesado serán: 5 segundos para el horno y otros 5 para la fresadora.



Figura 12. Cajera de titanio (Revistatope, 2018).

- **Tipo de pieza 3.** Se trata del mismo tipo de pieza que el del punto anterior, pero con un fresado profundo, en vez de superficial. Por consiguiente, la única diferencia radicaré en el tiempo durante el cual intervendrá la fresadora, estableciéndose los siguientes valores: 5 segundos de recocido y 10 de fresado.
- **Otro tipo de pieza.** Es el tipo de pieza del que se ocupará el sistema cuando se encuentre en modo multiprocesado. Como ya se ha señalado, este tipo no es siempre el mismo y podrán ajustarse sus parámetros en la configuración manual. No obstante, se han definido unos tiempos por defecto para el modo automático, que también se corresponden con cajas de cavidades poco profundas pero fabricadas con materiales más fáciles de tratar. Por tanto, se podrá prescindir del tratamiento térmico previo y los parámetros quedarán de la siguiente forma: 0 segundos de horno y 5 de fresadora.

5.3. Disposición del equipo y recorrido de las piezas.

La distribución de los diferentes componentes del equipo es la que muestra la *Figura 13* y ha sido resultado fundamentalmente de las limitaciones físicas del brazo robótico, ya que debía ser capaz de alcanzar distintas posiciones considerablemente distantes entre sí.

También ha influido de forma significativa la disposición en relación con los dos autómatas que gobiernan los procesos, encontrando finalmente la forma de situarlos suficientemente cerca y sin que los cables de alimentación supusieran ningún obstáculo en la evolución del proceso.

En la imagen se indican las tres maquetas con negrita, las piezas con cursiva y los contenedores con un estilo de fuente normal, lo que, juntamente con las medidas incluidas, definen por completo la disposición exacta del equipo.

Se ha dedicado un apartado de puesta en marcha para el montaje y conexión de todos los elementos, incluido el *software*, en el Manual de usuario, que constituye el documento nº4.

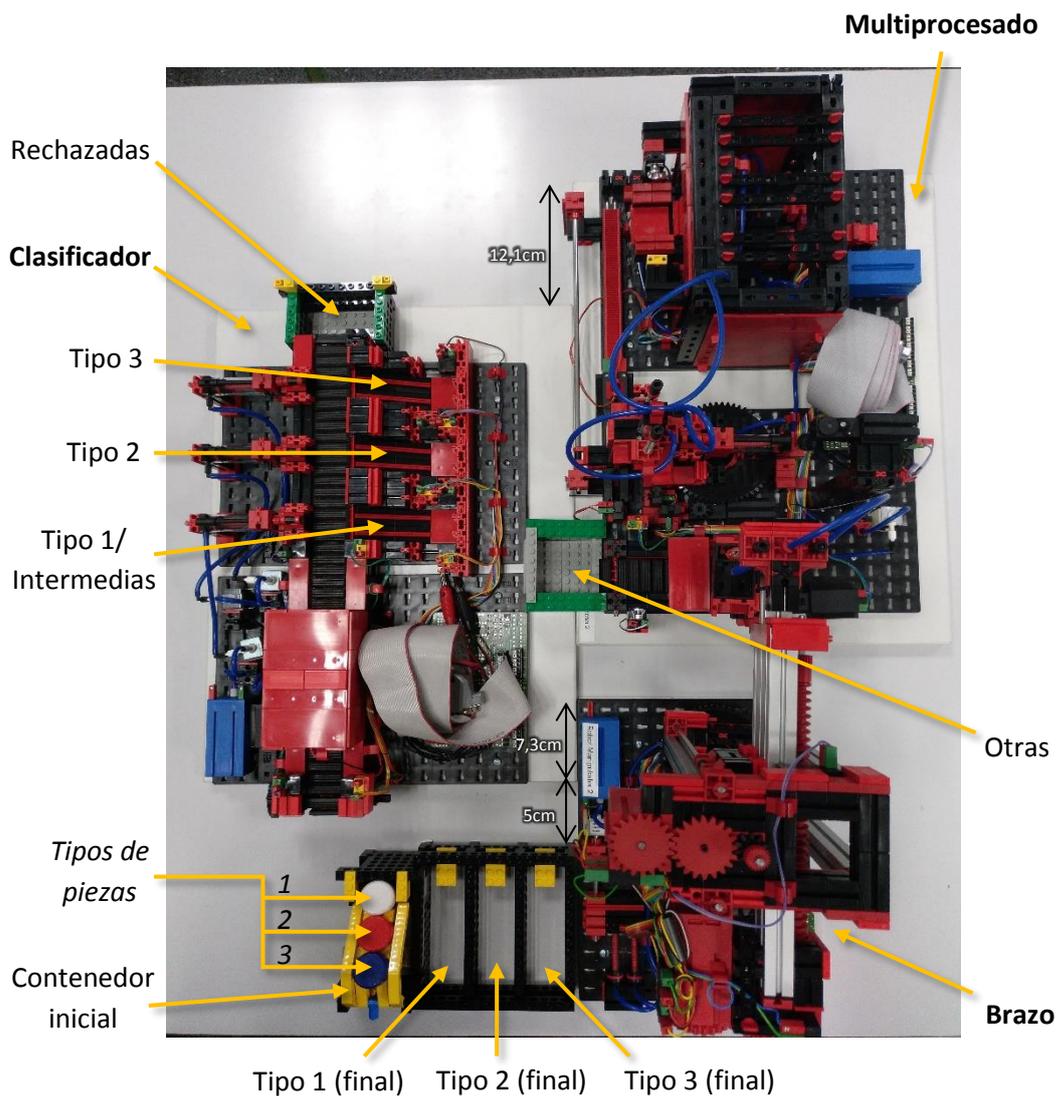


Figura 13. Disposición del equipo.

Conocidos tanto los modos de funcionamiento como la disposición del equipo, es interesante visualizar los diferentes recorridos de las piezas en función del modo y puntualizar ciertas particularidades de cada uno de ellos.

En la *Figura 14*, se observa que el mismo tipo de pieza se almacena en contenedores diferentes del clasificador dependiendo de en qué modo esté trabajando el sistema. Esto se debe a que el brazo no era capaz de alcanzar la posición de los tres contenedores del clasificador, así que se ha utilizado el de tipo 1 (el más cercano al brazo) como contenedor de piezas intermedias en el modo clasificado+multiprocesado. De esta forma, en dicho modo, se almacenarán piezas de los tres tipos en el mismo contenedor antes de pasar al multiprocesado, pero después terminarán en su correspondiente contenedor final (los que están al lado del inicial).

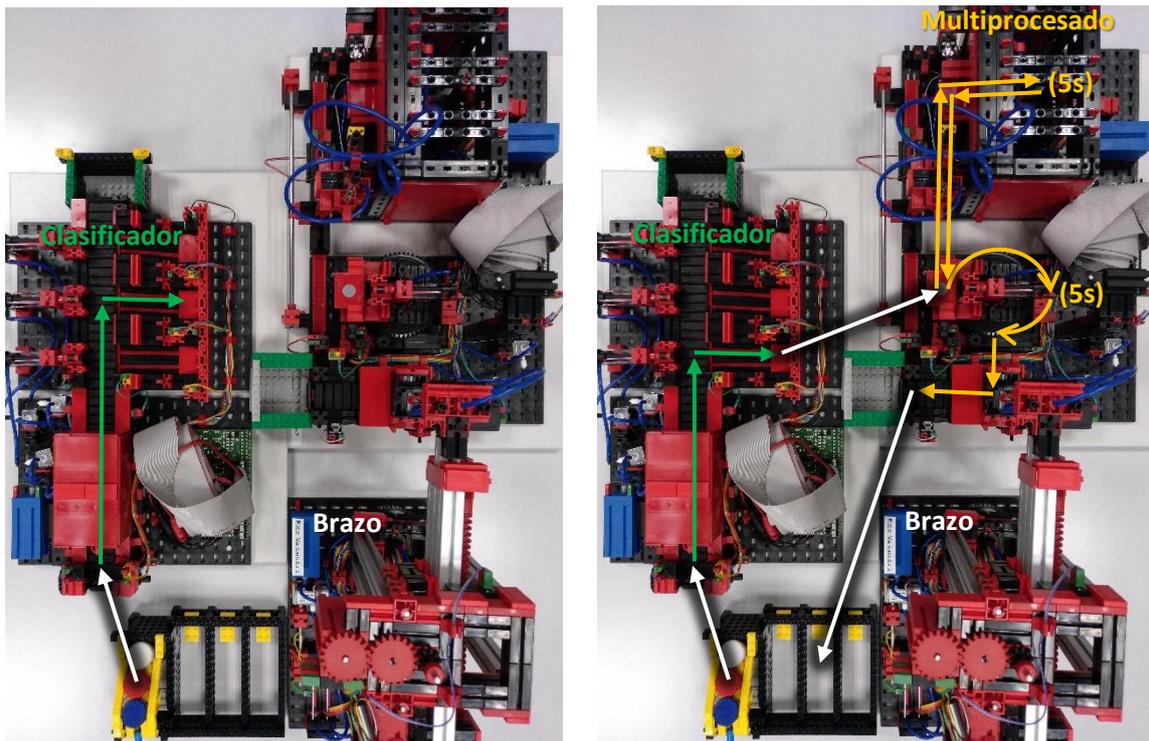


Figura 14. Recorrido de una pieza tipo 2 en modo clasificado (izquierda) y clasificado+multiprocesado (derecha).

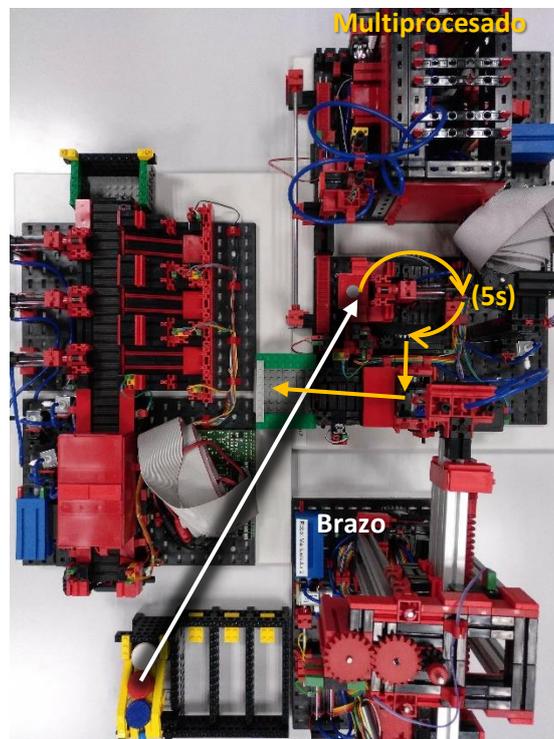


Figura 15. Recorrido de una pieza tipo otro en modo multiprocesado.

Otra particularidad observable en la *Figura 14* es que, en el modo clasificado+multiprocesado, el brazo no deposita la pieza en el alimentador del horno. Esto sería lo natural, ya que así se aplicaría el tratamiento del horno, el manipulador transportaría la pieza hacia la mesa giratoria, donde se le aplicaría el fresado y sería finalmente empujada por el pistón para aparecer por la cinta transportadora. Sin embargo, la posición del alimentador también resultaba excesivamente lejana para el brazo, por lo que se optó por la mesa giratoria como lugar intermedio para depositar las piezas que iban a ser multiprocesadas. En consecuencia, las piezas realizan un recorrido doble para desplazarse hasta el horno y volver de nuevo a la mesa, como se aprecia en la parte derecha de la imagen.

Pero no siempre se produce este recorrido doble, pues en ocasiones no se aplica ningún proceso de recocido al tratarse de piezas tipo otro (*Figura 15*), por ejemplo. En esos casos, se prescinde del viaje de ida y vuelta hacia el horno y se emplea directamente la fresadora.

Asimismo, la *Figura 15* pone de manifiesto que el destino final de las piezas tipo otro es el contenedor que se encuentra justo a continuación de la cinta del multiprocesado, por lo que el brazo solo se utilizará para el suministro de piezas, pero no para el almacenamiento. Esto último ocurre igualmente con el modo clasificado debido a la disposición de los contenedores en el clasificador (parte izquierda de la *Figura 14*), pero no para el modo clasificado+multiprocesado, donde el brazo se encarga de suministrar, almacenar y también transportar las piezas de una maqueta a la otra (parte derecha de la *Figura 14*).

En último lugar, se debe comentar que, debido a las limitaciones en cuanto a la disponibilidad del equipo necesario, las piezas empleadas para el modo multiprocesado han sido las mismas que para los otros modos (blancas, rojas y azules). En cambio, y como ya se ha mencionado, representan otro tipo de pieza distinto cuando está activo dicho modo.

5.4. Metodología de programación de los autómatas.

El objetivo último es implementar el diseño del automatismo que contiene el tercer documento de este proyecto y que constituye un primer paso imprescindible para alcanzar la solución final.

Como ya se ha expresado, se necesitarán dos autómatas y, por tanto, se trabajará con dos archivos de Unity Pro M diferentes: el primer archivo se conectará al primer PLC y contendrá la programación del clasificador, además de otras funciones generales del sistema, y el segundo se conectará al otro PLC y gestionará los procesos del brazo robot y del multiprocesado.

La metodología de trabajo empleada, en cambio, es la misma en ambos casos.

Para introducir el diagrama principal se ha de crear una sección de programa basada en lenguaje SFC, y una vez dibujado este, se han de incluir adicionalmente los comandos de las transiciones y de las acciones. Al hacerse uso de GRAFCET parciales, se deberá habilitar la opción *Permitir token múltiple* que aparece en la ventana *Ajustes del proyecto* de la pestaña *Herramientas*.

Las transiciones se podrán especificar en el propio diagrama SFC cuando sean sencillas (como la activación de una entrada), pero necesitarán de una nueva sección en lenguaje de diagrama de contactos o LD cuando se trate de transiciones algo más complejas (un retardo de tiempo, por ejemplo).

Asimismo, todas las acciones se encontrarán recogidas en otra sección LD, donde se programará la activación de las salidas en función del estado de las entradas del sistema.

Todo esto con la correspondiente definición previa de variables elementales tanto de entradas y salidas asociadas a cada autómata como de otras variables requeridas para el funcionamiento interno del sistema (véase el documento nº2), y la comunicación entre ambos PLC en caso de ser necesario.

La memoria interna de los autómatas ha sido una de las grandes limitaciones, ya que ha impuesto la utilización del mínimo número de secciones posible y de funciones especiales que disminúan la cantidad de etapas y transiciones, con tal de economizar su capacidad de la mejor manera y quedando finalmente un 5,8% de memoria disponible para el primer autómata y tan solo un 0,05% para el segundo. Este es, por tanto, un factor a tener en cuenta y se puede consultar en todo momento en la ventana *Utilización de memoria...* de la pestaña *PLC*.

A modo de mención, para la implementación de estos programas, se ha hecho uso de un archivo de extensión *.co*, que se trata de una configuración imprescindible para los Nodos CAN de los autómatas.

5.5. Programación del primer autómata.

La *Figura 16* es una vista general de la estructura de este primer archivo que se encarga de la gestión del clasificador y que contextualiza el contenido del presente subapartado.

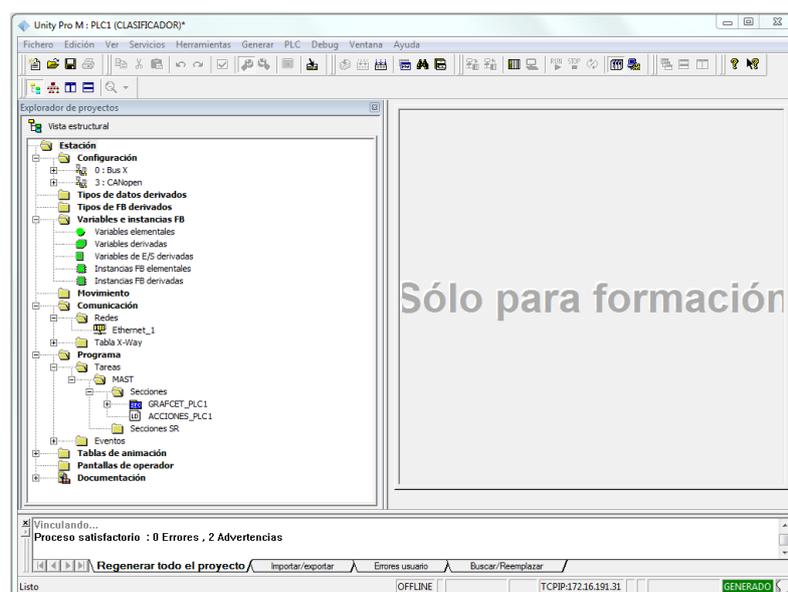


Figura 16. Vista estructural para el PLC 1.

5.5.1. Implementación y descripción de los GRAFCET.

Se procede a describir el concepto general de los GRAFCET más relevantes del primer autómatas, así como su implementación en Unity Pro M cuando presente alguna particularidad. Por tanto, se hará referencia continua a los documentos nº2 y 3 de este proyecto, que recogen la definición de variables y el diseño del automatismo, respectivamente.

Por lo que al **diagrama principal del clasificador** respecta (Figura 3 del documento nº3), el principio de funcionamiento se basa en distinguir los colores en función del rango de voltaje que ofrece la señal analógica I4. Esto se consigue con una divergencia *or* dentro de otra y con dos posibilidades en cada una de ellas: un retardo o una comparación con dicha variable I4. Una vez conocido el color se entra en uno de los tres bloques diferenciados del GRAFCET, donde se vuelven a presentar tres posibilidades para cada color: que se esté trabajando en el modo clasificado y la pieza deba acabar en su correspondiente contenedor (mediante la actuación del pistón en el momento oportuno, determinado por la variable CuentaCinta), que el modo sea clasificado+multiprocesado y deba almacenarse en el contenedor intermedio, o que su contenedor de destino ya esté lleno y, por tanto, deba llegar hasta el contenedor de rechazo. La distinción de estos nueve posibles escenarios (3x3) serán de utilidad para los contadores de piezas que se tratarán más adelante.

Con relación a **las advertencias por problemas con piezas** (Figuras de la 4 a la 10 del documento nº3), se han contemplado aquellos casos detectables por el sistema, es decir, donde se dispone de algún sensor que, a partir de cierto momento y transcurrido un tiempo, puede no emitir la señal que debería en funcionamiento normal. Así pues, se han distinguido siete casos posibles que, a su vez, activan la variable general Error.

Los GRAFCET explicados se han implementado siguiendo la metodología descrita en el apartado 5.4, pero en otros casos pueden ser más fácilmente programables solo mediante lenguaje de contactos, prescindiendo del SFC. Es el caso de los **contadores**, que cuentan con un bloque predeterminado y que, por explicitar un ejemplo, permiten programar el contador de pulsos de la cinta del clasificador (Figura 15 del documento nº3) de la forma que muestra la *Figura 17*.

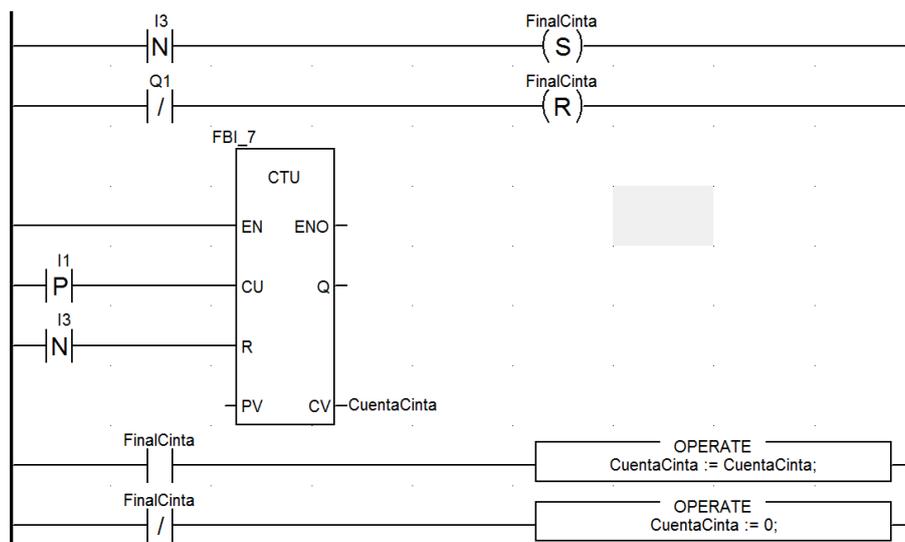


Figura 17. Implementación del contador de pulsos de la cinta del clasificador.

Se ha utilizado este ejemplo porque hace uso de la función OPERATE y de las bobinas SET/RESET con las que también se han implementado otras partes del automatismo.

Otra de las funciones ampliamente utilizadas ha sido el bloque COMPARE. Para ilustrar, se adjunta la *Figura 18*, que hace referencia a la *Figura 11* del documento nº3. La activación de la variable **ContenedorLleno** impedirá la iniciación del proceso hasta que se vacíe dicho contenedor y se vuelva a pulsar el botón de marcha, como se verá en las transiciones iniciales del funcionamiento del brazo (*Figuras 25, 26 y 27* del documento nº3) y la gestión de marcha y paro (*Figura 20* del documento nº3) del segundo PLC.

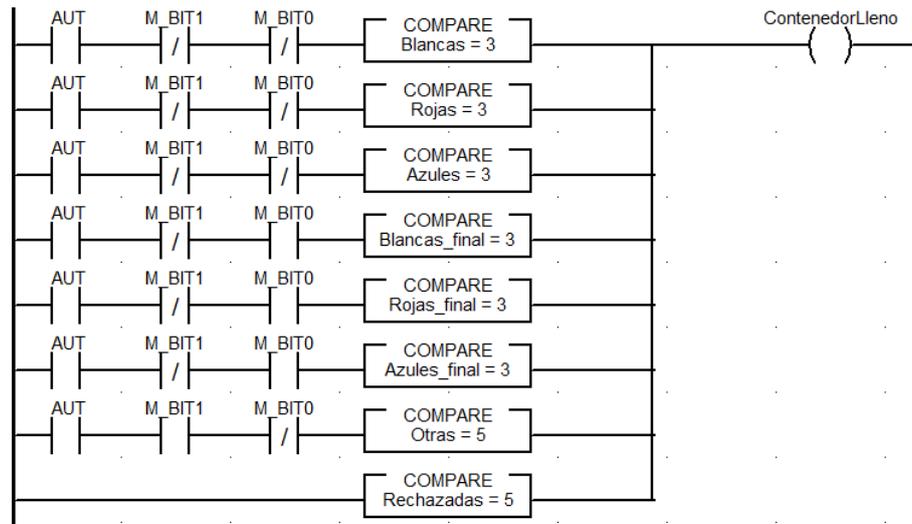


Figura 18. Implementación de la advertencia de contenedor lleno.

5.5.2. Funciones especiales.

Como ya se ha comentado, el contenedor intermedio retendrá piezas de los tres tipos, por lo que resulta esencial que, cuando el brazo transporte una de ellas del clasificador al multiprocesado, el sistema sepa de qué tipo es para aplicarle el tratamiento correcto. Esto se consigue con la función **FIFO** (*First In, First Out*), que materializa el concepto de que “el primer dato que entra es el primero que sale”.

En Unity Pro M se añade mediante el bloque superior de la *Figura 19*, y se ha acompañado con las operaciones inferiores también necesarias. La variable de salida es Tipo y se actualizará al valor de Entrada cada vez que se active la señal de lectura GET_FIFO, que tendrá lugar cuando el brazo realice el traslado de pieza de una maqueta a otra anteriormente comentado.

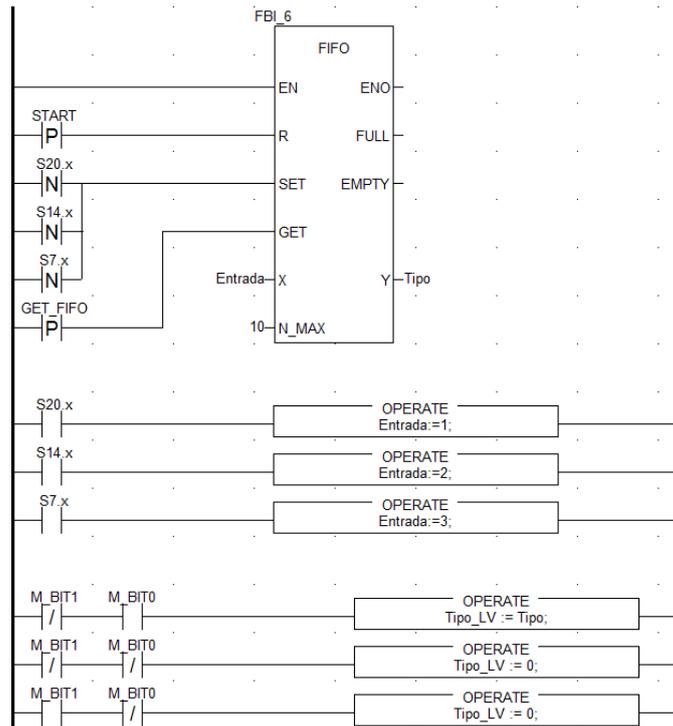


Figura 19. Implementación de la función FIFO.

Dicha función se ha de complementar con las definiciones del tiempo de horno y fresadora atendiendo al Tipo leído y con el bloque **INT_TO_TIME**, lo cual contiene la *Figura 20*. Este bloque trabaja en milisegundos y es imprescindible porque transforma las variables de tipo entero en tipo tiempo, que son las que tienen validez para implementar los retardos en el horno y la fresadora, y que constituirán la duración de cada tratamiento.

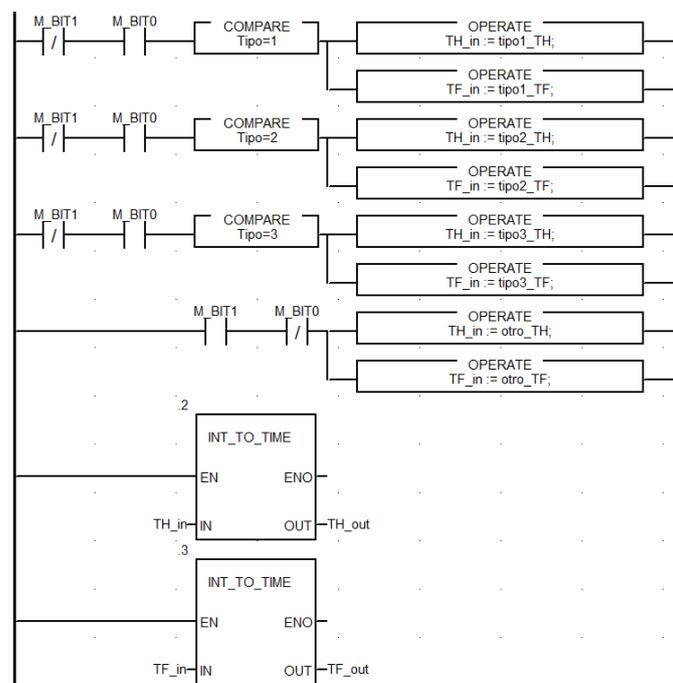


Figura 20. Implementación de la función INT_TO_TIME.

Por último, como todo buen automatismo, no se debe olvidar la inclusión de alarmas. La detención urgente del proceso se podría haber programado en SFC mediante la utilización de divergencias tipo *or* en cada etapa para asegurarse en todo momento de que no hay ninguna alarma activa y, en caso de haberla, interrumpir el funcionamiento, esperar al reinicio del sistema y volver al estado inicial de cada GRAFCET parcial. Pero esto supondría una estructura excesivamente compleja teniendo en cuenta la gran cantidad de etapas con las que se trabaja y disponiendo, además, de una herramienta mucho más simple que obtiene el mismo resultado: **INITCHART**. En la *Figura 21* se aprecia que esta función se implementa en lenguaje LD (al igual que las anteriores) y actúa sobre la sección SFC, donde se encuentran todas las etapas y transiciones de este PLC, mientras esté activa la señal INIT, es decir, cuando se haya producido un problema con las piezas o se haya pulsado el botón de paro de emergencia y hasta que no se pulse el botón de reinicio (*Figura 3* del documento nº3).

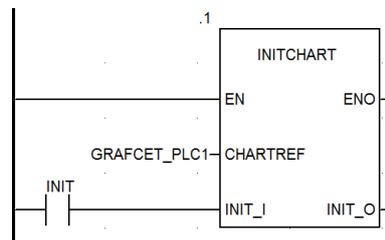


Figura 21. Implementación de la función INITCHART para el PLC 1.

5.6. Programación del segundo autómeta.

Se tratan ahora todas las consideraciones referentes al segundo PLC del que se ha hecho uso, y que ha sido gestionado mediante el archivo de Unity Pro M que presenta el árbol estructural de la *Figura 22* para el control de los subprocesos de manipulado y multiprocesado.

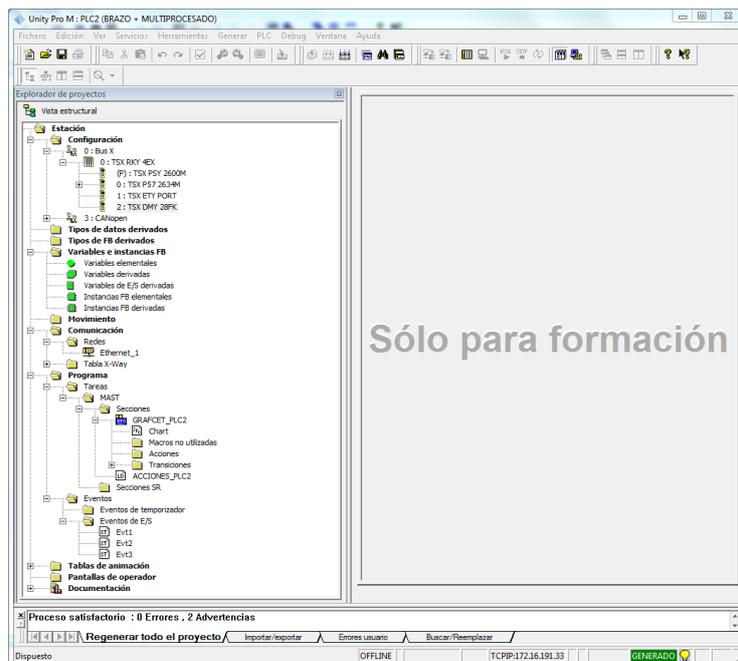


Figura 22. Vista estructural para el PLC 2.

5.6.1. Implementación y descripción de los GRAFCET.

De la misma forma que en el primer PLC, el contenido de esta sección se basa en los documentos nº2 y 3 del proyecto.

Antes de entrar en materia, se debe hacer especial mención a la importancia de la función del brazo manipulador, puesto que es el que realmente gestiona el sistema transportando las piezas a diferentes posiciones en función de, entre otros, el modo seleccionado y el estado del resto de componentes. Las otras dos maquetas, aun también considerando esos parámetros, se limitan a actuar cuando les llega una nueva pieza.

Para la implementación del brazo, se tuvo en cuenta que los posibles **movimientos** que debía realizar siempre eran los mismos, ya que las posiciones de destino son fijas, y que se repetían con frecuencia a lo largo del proceso. Por consiguiente, en vez de programar esos movimientos dentro del GRAFCET principal, se optó por plantear un GRAFCET parcial por cada desplazamiento con un destino diferente por parte del brazo (Figuras 21, 22, 23 y 24 del documento nº3), que se ejecutan cada vez que es necesario en el principal, gracias a la programación de la transición inicial.

La **gestión de marcha y paro** se observa a través de la Figura 20 del documento nº3 y cobra gran relevancia, pues sirve de guía para el resto de GRAFCET de funcionamiento, como se ve en sus transiciones iniciales, para saber si el sistema está listo para empezar a operar o ya ha terminado su cometido.

En cuanto al **funcionamiento principal del brazo**, se ha dividido su implementación atendiendo a los tres modos de trabajo posibles (Figuras 25, 26 y 27 del documento nº3). Para todos ellos, el procedimiento ha sido el mismo: si el modo seleccionado opera en automático, la secuencia de etapas es siempre la misma; y si es manual, se realiza una comprobación inicial mediante la cual, si el número de piezas demandadas aún no es el mismo que el de piezas tratadas se realiza la misma secuencia que en automático, y si ya se ha alcanzado dicha cantidad el proceso finaliza.

Estas secuencias en automático se limitan a implementar los recorridos ejemplificados en el apartado 5.3 de la presente memoria. Por lo que corresponde a la del **modo clasificado+multiprocesado**, se presenta una particularidad porque el brazo contempla tres desplazamientos posibles mientras que en los otros dos modos solo uno. De esta manera, se ha de decidir mediante una *or* cuál será el próximo movimiento, para lo que se han establecido prioridades: la primera es almacenar las piezas en sus contenedores finales si ya han sido multiprocesadas; en caso contrario, se deberán transportar las piezas del clasificador al multiprocesado siempre que las haya y este último no esté activo; y si ninguna de esas dos transiciones tiene lugar, se cargarán piezas al clasificador siempre que exista demanda (modo manual) o ninguno de sus contenedores esté lleno (modo automático).

Para el **funcionamiento del multiprocesado**, ha bastado con un único GRAFCET, en el que la primera actuación es colocar los elementos según una disposición adecuada para que pueda recibir piezas, esto es, la mesa giratoria en la posición del manipulador y el manipulador en el horno, con tal de que no colisione con el brazo. Una vez llega una pieza y con el propósito de no hacer desplazamientos innecesarios, se comprueba si se requiere un recocado: en dicho caso, el recorrido será el de la *Figura 14 (derecha)* y, en caso contrario, el de la *Figura 15*. En cuanto a los tiempos de espera en el horno y

la fresadora, se han utilizado las variables tipo TIME tratadas en el apartado 5.5.2. Otro de los condicionantes que influirá en el recorrido es el modo de funcionamiento, ya que si se encuentra seleccionado el modo clasificado+multiprocesado, la cinta se detendrá cuando la pieza llegue a su parte final para que el brazo la almacene, pero si la selección es solo multiprocesado, la detención tendrá lugar cuando la pieza caiga de la cinta, almacenándose en el contenedor de tipo otro sin intervención del brazo. Finalmente, cabe destacar que el sistema se ha implementado de forma que nunca se encuentra más de una pieza tratándose a la vez en esta estación, puesto que el doble recorrido del horno ya comentado podría ocasionar conflictos en algunas ocasiones.

En lo referente a la detención urgente del proceso, se ha considerado la posibilidad de que se produzca durante la manipulación de alguna pieza mediante la ventosa del brazo o del multiprocesado, por lo que se he implementado el **mantenimiento de la succión** de la forma que muestra la Figura 30 del documento nº3, con tal de evitar la caída de las piezas en este tipo de situaciones.

Siguiendo con las alarmas, también ha sido necesaria la **activación de variables asociadas a ciertos estados GRAFCET** (Figura 32 del documento nº3) que implicaban momentos en los que se podría producir un problema con las piezas detectable. Dichas variables son las que utiliza el primer PLC para realizar esas comprobaciones (Figuras 4, 6 y 7 del documento nº3) y, en su caso, activar la advertencia correspondiente.

Por otra parte, los GRAFCET expuestos en la Figura 31 del documento nº3 materializan la **conversión de algunas señales del brazo**, ya que originalmente son de tipo %I (entradas) y %Q (salidas), pero se han de pasar a palabras (%MW) para poder distribuir las a través de un servidor OPC y ser utilizadas por el SCADA.

Con relación a la forma de programar todos estos GRAFCET, no se presenta ninguna particularidad que no haya sido ya explicada en la metodología a emplear (apartado 5.4) o en la implementación del primer autómata (5.5.1). A modo de ejemplo, por medio de la *Figura 23*, se adjunta la implementación del **contador de piezas** de tipo 1 finales al que hace referencia el GRAFCET superior de la Figura 33 del documento nº3.

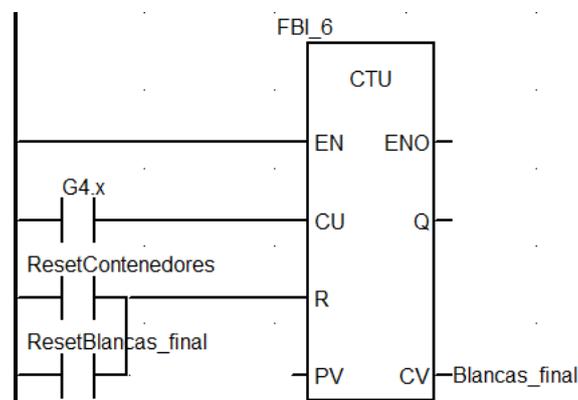


Figura 23. Implementación del contador de piezas finales de tipo 1.

5.6.2. Funciones especiales.

El principio de funcionamiento del brazo recibe un trato especial en lo referente a la programación, siendo necesaria la inclusión de **eventos**. La *Figura 24* muestra la ruta seguida para configurar las entradas del brazo de forma que los *encoders* de cada movimiento puedan ser leídos con la máxima frecuencia (0,1 ms) para no “perdersé” ningún pulso. Así pues, están asociados a tres eventos diferentes que se programan de forma separada mediante texto estructurado, debido a que en este caso presenta una mayor simplicidad en la implementación. Esto último se observa en la *Figura 25*.

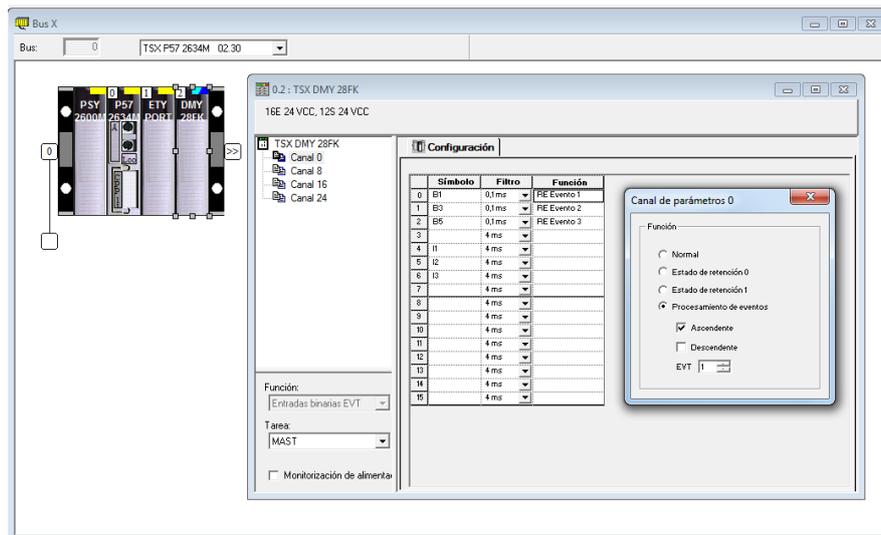


Figura 24. Configuración de las entradas del brazo.

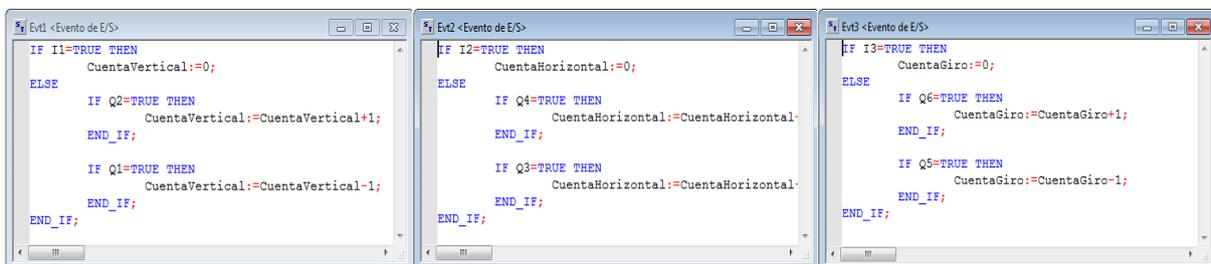


Figura 25. Implementación de los eventos del brazo.

Realizando pruebas sobre los desplazamientos del brazo, se comprobó que si se ejecutaba más de un movimiento de los tres posibles (giratorio, horizontal y vertical) simultáneamente y se desplazaba de una posición a otra sin pasar por la inicial, los contadores de la *Figura 25* presentaban pequeñas descoordinaciones que provocaban que una posición determinada por los tres valores de esos contadores no fuera exactamente la misma transcurridos varios movimientos. Con objeto de evitar este tipo de problemas y siendo clave la posición exacta que alcanza el brazo en cada ocasión, los desplazamientos se programaron con movimientos únicos y volviendo a la posición de reposo (con los tres finales de carrera pulsados) al terminar cada uno de estos desplazamientos. El orden de los movimientos únicos ha sido siempre el mismo para asegurar la no colisión del brazo con el resto del equipo (vertical, horizontal y giratorio para la restablecer la posición inicial, y giratorio, horizontal y vertical para el resto de movimientos). Todas estas consideraciones son apreciables en los GRAFCET relativos al brazo manipulador que contiene el documento nº3 (Figuras de la 21 a la 27).

De la misma forma que ocurría con el primer PLC, se requiere una función que detenga la evolución del proceso en caso de emergencia. Se trata de la herramienta **INITCHART** de la *Figura 26* y sigue el mismo patrón que el explicado en el apartado 5.5.2, pero en esta ocasión se actúa sobre la sección SFC que concierne al segundo autómatas.

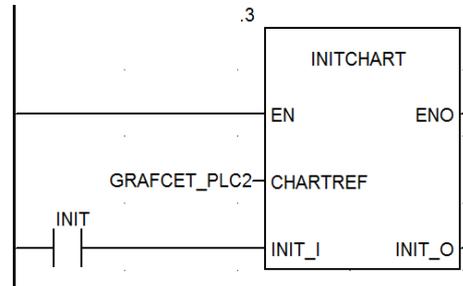


Figura 26. Implementación de la función INITCHART para el PLC 2.

5.7. Comunicación entre autómatas.

A menudo la automatización de un sistema puede estar formado por varios subprocesos controlados localmente que necesitan coordinarse para llevar a cabo la tarea programada.

La red Ethernet TCP/IP permite cubrir esta necesidad de acceder a la información actualizada en otro autómatas programable mediante tres servicios: peticiones de mensajería periódica (peticiones de comunicación punto a punto para la lectura/escritura de variables), datos globales (servicio de intercambio de variables basado en el modelo productor/consumidor) y **exploración de E/S** (para la lectura/escritura de E/S remotas con el modelo punto a punto) (Simarro Fernández, 2018). El que más se adecúa a las necesidades es el último, puesto que permite leer/escribir en cualquiera de los PLC de la red utilizando las direcciones de memoria %MW. En este servicio, los intercambios son automáticos y el mismo autómatas puede funcionar en modo maestro y en modo esclavo de manera transparente, hecho que ocurre en este caso.

La correspondiente programación en Unity Pro M responde al aspecto de las *Figuras 27 y 28* y consigue el efecto que sintetizan los cuadros de texto de la parte superior derecha. Mediante este intercambio, la implementación que contiene el primer archivo ya puede hacer uso de algunas de las variables que habían sido declaradas en el segundo archivo, ya que ahora se encuentran en posiciones de memoria propias, y viceversa.

El punto de vista del PLC1 (maestro) se encuentra reflejado en la *Figura 27*, por lo que la dirección IP que aparece configurada será la del PLC 2 (esclavo). Se han elegido las mismas direcciones de memoria de origen y destino buscando la máxima claridad posible. En cuanto a las variables asociadas a estas direcciones, se pueden consultar las Tablas 2, 3, 8 y 9 del documento nº2, observándose que no necesariamente todas las señales transferidas por un autómatas son declaradas por el otro. Esto último sucede, por ejemplo, cuando una posición %MW contiene diversas variables *booleanas* (falso/verdadero), pero al destinatario solo le son de utilidad algunas de ellas.

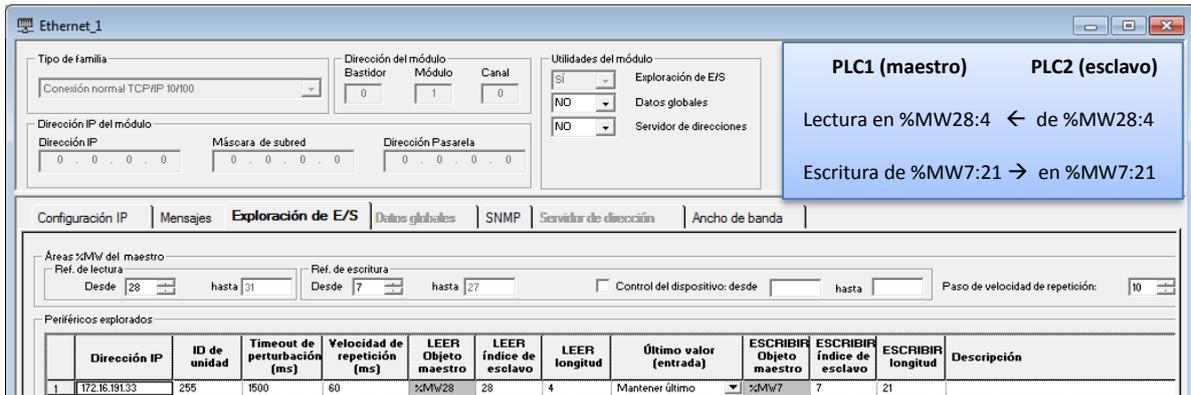


Figura 27. Pestaña de exploración E/S del PLC 1.

Por otro lado, la Figura 28 representa el punto de vista contrario, aunque en esta ocasión no se definen las mismas direcciones de origen y destino debido a que las variables transferidas son señales de las maquetas que ocupan unas posiciones determinadas (de la %MW0 a la %MW6) y entrarían en conflicto entre ellas. Dichas señales también son consultables en el documento nº2 (Tablas 4 y 10), si bien se encuentran junto a las variables destinadas a otras funciones del sistema, ya que no se consideró necesario dedicar una tabla diferente para tan solo dos variables.



Figura 28. Pestaña de exploración E/S del PLC 2.

5.8. Servidor OPC.

El paso previo al desarrollo del sistema SCADA es la configuración del servidor OPC, el cual, como ya se ha reflejado en el estudio de alternativas, será el distribuido por la compañía National Instruments.

El procedimiento pasa por la creación, dentro de un mismo canal, de un dispositivo para cada autómatas con su respectiva dirección IP. Hecho esto, solo queda crear las etiquetas con la posición de memoria asociada a cada variable, tanto para el primer como para el segundo PLC (Figura 29). Es importante destacar que solo se requerirá la comunicación de aquellas variables que vayan a aparecer en la monitorización y control del sistema, esto es, sobre las que se quiera leer/escribir.

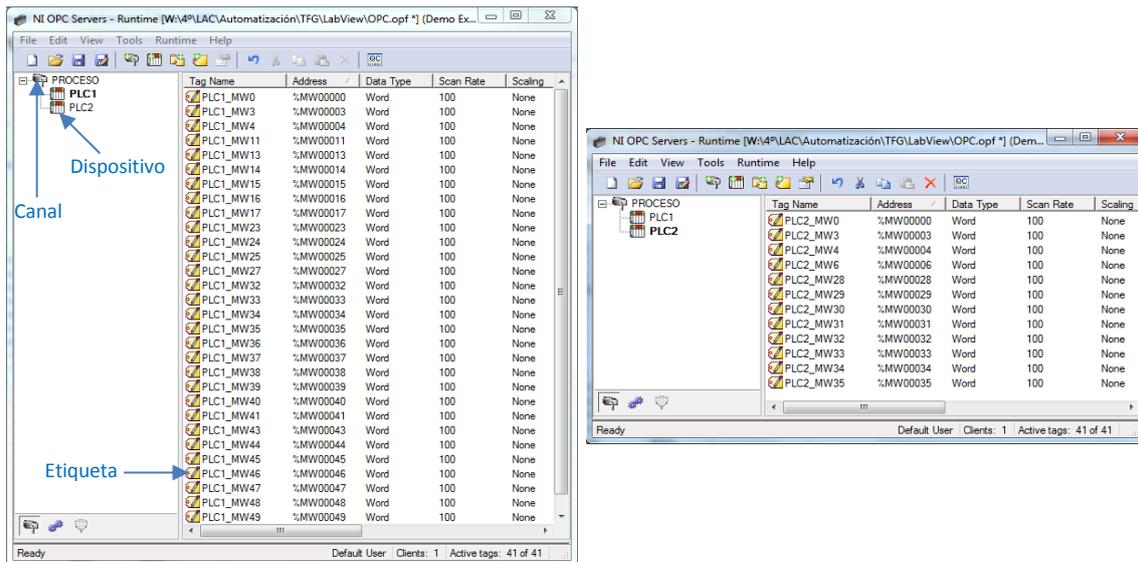


Figura 29. Comunicación OPC para las variables del PLC 1 (izquierda) y del PLC 2 (derecha).

5.9. Aplicación SCADA.

Una vez activa la comunicación con los autómatas a través del servidor OPC, se crea un proyecto en el entorno de programación LabVIEW como el de la Figura 30 que contiene una biblioteca con todas las posiciones de memoria compartidas y un archivo .vi que constituye la aplicación SCADA.

Como todo .vi, se trabajará con una parte interactiva con el usuario llamada panel frontal y otra parte de código fuente conocida como **diagrama de bloques**. En cuanto a esta última, se deberán arrastrar las direcciones directamente desde la estructura de la Figura 30 para configurar su implementación. Así queda representado en la Figura 31, donde a menudo es necesario realizar la conversión de entero a binario y viceversa para la lectura y escritura (respectivamente) de las variables. El marco que contiene todas las variables es una estructura temporizada (**Timed Loop**), encargada de ejecutar el diagrama de bloques secuencialmente con el período que se especifique (en este caso 100ms).

El **panel frontal** se compone por un esquema simplificado del proceso (en el que se ha prescindido de ciertos sensores y actuadores de poco interés) y un panel de control industrial con tres apartados diferenciados. En primer lugar, una estructura de pestañas con selección del modo de funcionamiento, configuración de parámetros manual y un resumen de la cantidad de piezas en cada contenedor. Por otra parte, se dispone de diversos indicadores que advierten de los problemas surgidos con las piezas y de posibles contenedores llenos. Por último, se encuentra la sección principal, pues está dedicada a la gestión del estado del sistema.

Todos los indicadores y controles empleados reflejan o modifican el estado de las variables compartidas. Las Figuras 32 y 33, aparte de mostrar el aspecto del panel frontal, determinan estas relaciones mediante indicaciones con el nombre de cada variable. Ha sido necesario un total de tres capturas para describir el panel de control debido a las tres pestañas de las que consta, ya que no se pueden visualizar simultáneamente.

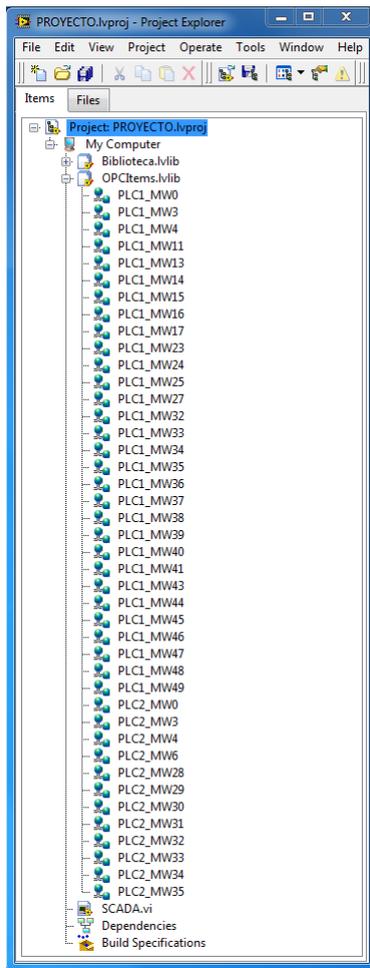


Figura 30. Estructura del proyecto en LabVIEW.

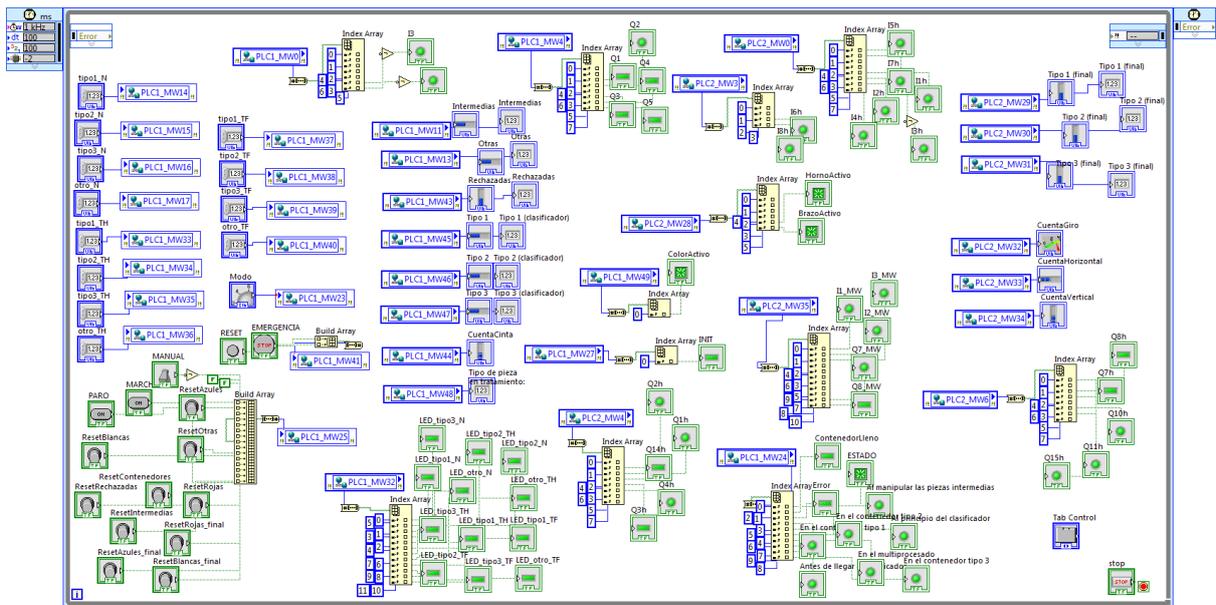


Figura 31. Diagrama de bloques del SCADA.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON LABVIEW

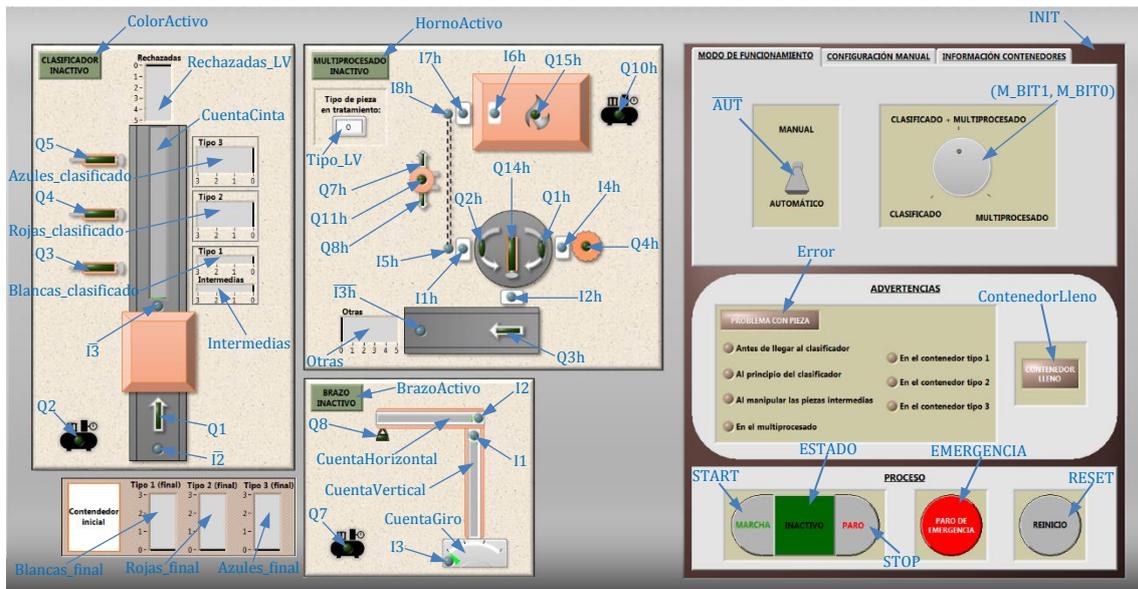


Figura 32. Panel frontal del SCADA con las variables asociadas.

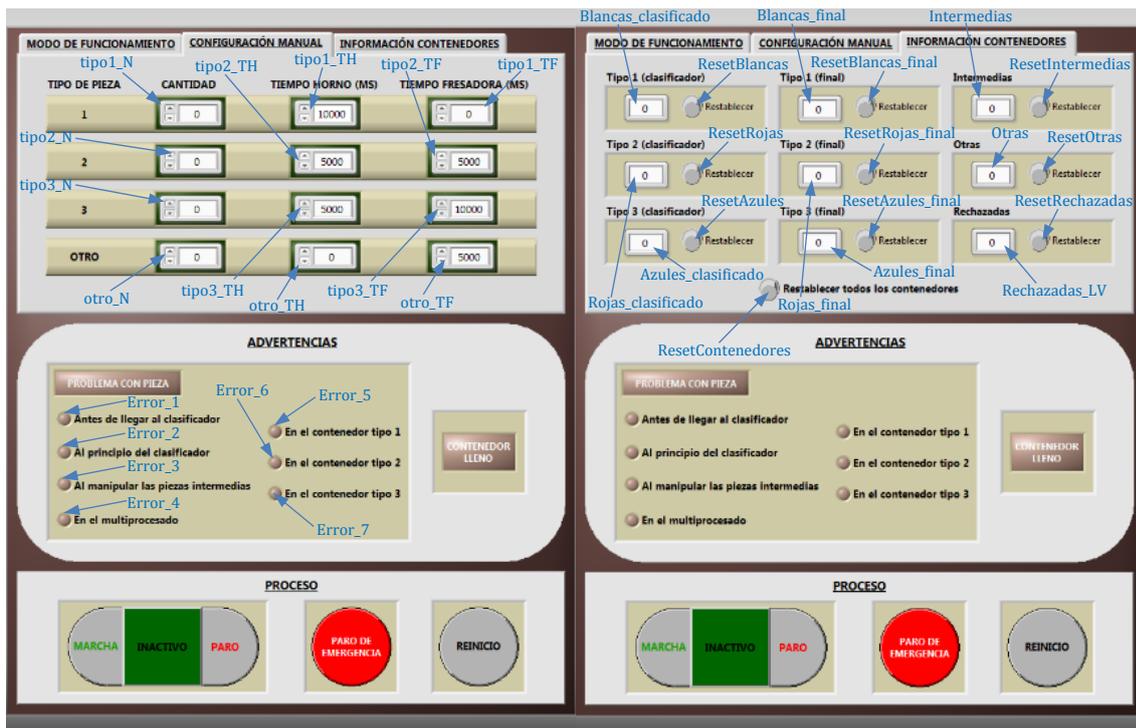


Figura 33. El resto de pestañas del panel frontal del SCADA con las variables asociadas.

No ha sido posible incluir, por falta de espacio, las variables asociadas a los leds que se encuentran detrás de cada parámetro en la pestaña de configuración manual (izquierda de la Figura 33) y que permiten indicar al usuario los campos a configurar en función del modo seleccionado. A modo de ejemplo, para el parámetro “tipo1_N” se utiliza el led representado por la variable “LED_tipo1_N”.

Una vez conocidas las variables con las que trabaja el SCADA, se procede a tratar ciertas particularidades a tener en cuenta sobre la implementación del diagrama de bloques (*Figura 31*):

- Se ha utilizado la **negación** para la variable que determina el modo manual o automático para que estuviese seleccionado por defecto el segundo, y también en el caso de las variables asociadas a los sensores de las cintas, ya que emiten un 1 cuando no detectan pieza y un 0 cuando sí, siendo más visual e intuitivo lo contrario.
- El **selector de tratamiento** ha sido configurado de forma que esté asociado a un dato de tipo U16, esto es, un entero sin signo de 16 bits, de los cuales solo servirán los menos significativos (variables “M_BIT1” y “M_BIT0”). Cada posible selección implica una combinación de estos dos bits diferente: 00 para el clasificado, 01 para el clasificado+multiprocesado y 10 para el multiprocesado. Este principio es del que hacen uso los GRAFCET del documento nº3 cada vez que se realiza una comprobación del modo escogido. En las indicaciones de la *Figura 32* se han referenciado esas dos variables, pero realmente el controlador modifica la posición de memoria entera (%MW23 del primer autómatas, en este caso).
- La estructura de pestañas se ha incorporado mediante la herramienta **Tab Control**, que no se conecta a ninguna dirección de memoria, sino que basta con arrastrar los elementos a la pestaña correspondiente en el panel frontal.
- El establecimiento de los parámetros predeterminados para la configuración manual se ha realizado escribiendo los correspondientes valores y siguiendo la ruta *Edit > Make values default* de la barra de herramientas superior.

Finalmente, la *Figura 34* representa una situación irreal del sistema para poder mostrar la apariencia de los elementos cuando están activos. Así pues, se han utilizado diferentes combinaciones de colores con objeto de facilitar la comprensión por parte del usuario. El resto de consideraciones referentes al funcionamiento y control de esta pantalla se pueden consultar en el documento nº4.

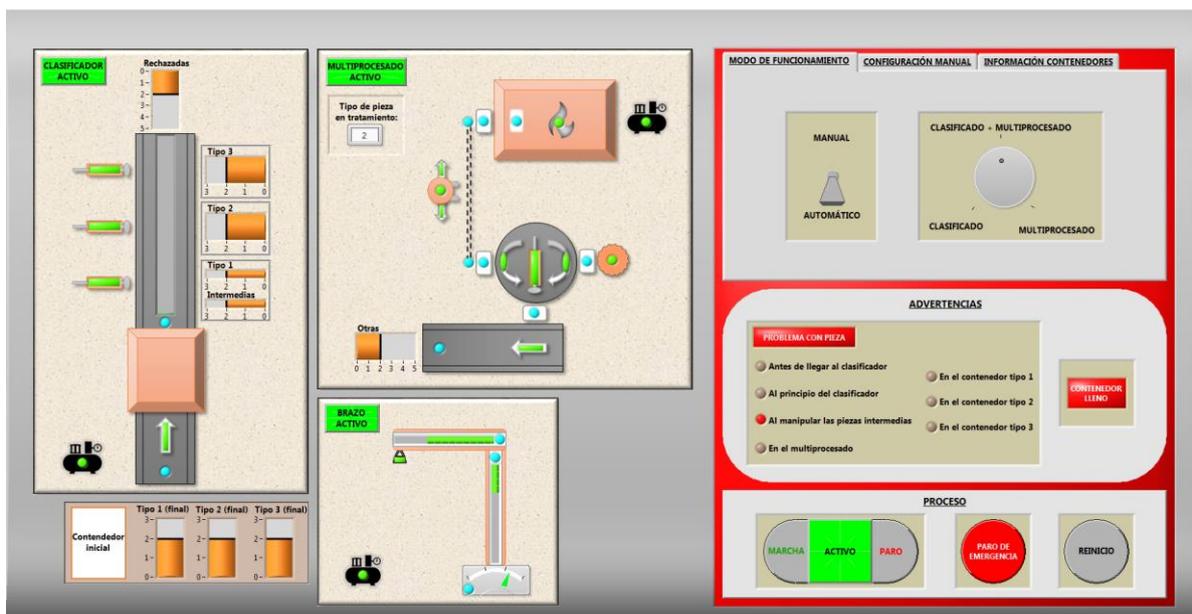


Figura 34. Panel frontal activo del SCADA.

6. Conclusiones.

Tras finalizar el presente proyecto de automatización, se han extraído una serie de conclusiones acerca de la consecución de los objetivos planteados a su inicio y de otros aspectos observados a lo largo de las diferentes fases de ejecución del mismo.

Especial mención merece el cumplimiento con la finalidad principal del trabajo, pues se ha llevado a cabo el desarrollo e implementación de un automatismo capaz de controlar el manipulado, clasificado y procesado múltiple de piezas, monitorizando su funcionamiento a través de un sistema SCADA. Para ello, se han realizado todas y cada una de las tareas específicas, alcanzando los correspondientes resultados, tanto satisfactorios como desfavorables, que se destacan:

- El diseño final del automatismo por medio del lenguaje gráfico GRAFCET cubre por completo las especificaciones demandadas en el apartado 2.3 de esta memoria. En cambio, debido a la complejidad existente y después de gran cantidad de modificaciones, difiere sobremedida del inicial, por lo que hubiera sido más eficiente un estudio previo con mayor profundidad de las posibles dificultades en el diseño para posteriormente realizar un planteamiento más cercano a la solución.
- Se han programado los autómatas con el programa Unity Pro M siguiendo una metodología de trabajo limpia y organizada, facilitando la más que habitual necesidad de cambios y modificaciones, aunque siempre es posible una depuración más exhaustiva del código para detectar comandos repetitivos o mejorables.
- La comunicación entre autómatas ha sido configurada utilizando, siempre que se ha podido, las mismas direcciones de memoria de origen que de destino, con objeto de evitar confusiones en la declaración de variables. El servicio de exploración de E/S a través del cual se comparten estas direcciones, ha funcionado de forma adecuada y según lo esperado.
- La creación de un servidor OPC para la distribución a la red de las direcciones de interés de los autómatas ha sido fácilmente ejecutable, resultando la fase menos problemática del proyecto.
- Sirviéndose de dichas direcciones, se ha desarrollado un sistema de monitorización SCADA completo, a la vez que simple y amigable para el usuario, y en el que tanto el esquema del proceso como el panel de control cupiesen en una misma pantalla en pos de una mayor comodidad en su uso. Asimismo, se ha encontrado el equilibrio óptimo en la interacción del usuario con el sistema, puesto que el funcionamiento es totalmente automático, pero, a su vez, ofrece gran poder de manejo y personalización.

Cabe destacar también la inclusión de diferentes documentos para dividir el contenido del proyecto (memoria, definición de variables, diseño del automatismo, manual de usuario y presupuesto) y que constituyen por sí solos unidades temáticas importantes, especialmente en el caso del manual, pues permite la puesta en marcha y utilización del sistema sin necesidad de más conocimientos.

En definitiva, a pesar de pequeños aspectos a mejorar, se ha conseguido automatizar un sistema con un funcionamiento y control de amplias garantías, y totalmente ajustable para su aplicación a un proceso real de carácter industrial.

7. Líneas futuras.

Finalmente, y a modo de mención, se tratan una serie de posibles modificaciones o ampliaciones del proyecto que supondrían mejoras de considerable interés para la solución final.

En primer lugar, se podría desarrollar un panel de control implementado en un dispositivo de hardware inalámbrico con el propósito de optimizar la interacción usuario-máquina. De este modo, se conseguiría una gran versatilidad en la gestión del proceso, más allá de la utilización del SCADA ya implementado, que está condicionado a la disponibilidad de un puesto con ordenador. Este tipo de dispositivos (tales como tabletas) permiten trabajar sobre la planta *in situ* y no entrañan gran dificultad en su configuración, puesto que se podría hacer uso del mismo archivo de LabVIEW empleado para este proyecto.

Siguiendo con el sistema de monitorización, podría ser interesante un control de usuarios que permita manejar diferentes permisos, así como restringir los accesos no deseados. Supeditando el inicio de la pantalla de usuario a una identificación inicial, se impediría la posibilidad de manipulación por parte de personas ajenas al proceso.

Con relación al funcionamiento del automatismo, las maquetas Fischertechnik ofrecen infinidad de posibles combinaciones entre ellas, por lo que se podría estudiar la inclusión de un cuarto subproceso. Una opción de significativa utilidad sería el almacén elevado automatizado, que substituiría la función de los actuales contenedores con unas mejores prestaciones. Se podría conectar al módulo DMY28FK que queda libre en el primer autómatas (el que controla el clasificador) y solo se deberían complementar las distintas partes del proyecto, siendo útil todo lo realizado hasta ahora.

En cuanto a los autómatas, la elección tomada en el estudio de alternativas admite otras variantes como la consideración de una mayor capacidad de memoria interna para aumentar la libertad en la implementación, que se ha visto limitada a lo largo de algunas fases, o la utilización de un solo autómatas con los módulos suficientes para abarcar todos los subprocesos integrantes y su respectiva programación.

En suma, cualquiera de las ideas a las que se ha hecho alusión aportaría un valor añadido al sistema que se ha desarrollado, pero existen muchas más posibilidades de materialización viable a considerar. Por suerte, este tipo de proyecto no opone resistencia a futuras evoluciones, favoreciendo el proceso de optimización del mismo.

8. Bibliografía.

- AENOR (2016) *Norma UNE-EN 60848:2013*. Disponible en: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0051395#.WyaxHVX7TIV> (Accedido: 17 de junio de 2018).
- Aguilar Hanco, G. (2008) *OPC*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/OPC> (Accedido: 17 de junio de 2018).
- Colomer, J., Melendez, J. y Aiza, J. (2018) *Sistemas de supervisión*. Disponible en: http://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/10/files/sistemas_de_supervision.pdf (Accedido: 17 de junio de 2018).
- Departamento de Proyectos de Ingeniería (2018) «Diseño de productos. Metodología y técnicas. Parte 1. Estudio preliminar». UPV.
- Domínguez González, A. (2017) *Desarrollo e implementación de la automatización para un sistema de mecanizado de piezas con robot manipulador mediante comunicaciones distribuidas con servidor OPC y supervisión SCADA*. UPV.
- Gutiérrez, B. (2018) *Seguridad en maquinaria EN ISO 13849-1*. Disponible en: http://www.infopl.net/files/documentacion/seguridad_normativa/infoPLC_net_Seguridad_Maquina_SEIS_Maquinaria.pdf (Accedido: 16 de junio de 2018).
- GyJ Empresas de Acero (2017) *Lamina Cold Rolled*. Disponible en: <http://pruebas.almasa.com.co/index.php/review/product/list/id/146/category/11/> (Accedido: 25 de junio de 2018).
- IEC (2018a) *IEC 60870-5-104*. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/publication/25035> (Accedido: 16 de junio de 2018).
- IEC (2018b) *IEC 61131*. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/mysearchajax?Openform&key=iec61131&sorting=&start=1&onglet=1> (Accedido: 16 de junio de 2018).
- IEC (2018c) *IEC 62541*. Disponible en: <https://webstore.iec.ch/searchform&q=iec62541> (Accedido: 16 de junio de 2018).
- infoPLC (2017) *Introducción a los autómatas programables (PLC)*. Disponible en: <http://www.infopl.net/documentacion/5-automatas/2659-introduccion-automatas-plc> (Accedido: 19 de junio de 2018).
- JM Industrial Technology SA (2018) *Tarjetas de adquisición de datos*. Disponible en: <https://www.jmi.com.mx/tarjetas-de-adquisicion-de-datos> (Accedido: 17 de junio de 2018).
- Kominek, D. (2009) *OPC: ¿De qué se trata, y cómo funciona? "Guía para entender la Tecnología OPC"*. Canadá. Disponible en: http://www.infopl.net/files/documentacion/comunicaciones/infopl_net_guia_para_entender_la_tecnologia_opc.pdf (Accedido: 20 de junio de 2018).
- Martínez, E. (2013) *Controladores automáticos*. Disponible en: <https://es.slideshare.net/martinezeduardo/controladores-teoria-de-control-24587590> (Accedido: 17

de junio de 2018).

Piedrafita Moreno, R. (2003) *Ingeniería de la automatización industrial*. 2ª. Editado por RA-MA.

R. Askeland, D. (1998) *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*.

Revistatope (2018) *El fresado de cajas de titanio es un reto muy duro*. Disponible en: http://www.revistatope.com/221_art_WALTER_TOOLS_Materiales.html (Accedido: 25 de junio de 2018).

Ribas, J. (2018) *Lógica cableada y lógica programada*. Disponible en: <https://dissenyproducte.blogspot.com/2010/12/logica-cableada-y-logica-programada.html> (Accedido: 17 de junio de 2018).

RO-BOTICA Global S.L. (2017a) *Cinta de clasificación por color 24V*. Disponible en: <http://robotica.com/Producto/Cinta-de-clasificacion-por-color-fischertechnik-24V/> (Accedido: 21 de junio de 2018).

RO-BOTICA Global S.L. (2017b) *Manipulador de aspiración al vacío 24V*. Disponible en: <http://robotica.com/Producto/Manipulador-de-aspiracion-al-vacio-fischertechnik-24V/> (Accedido: 21 de junio de 2018).

RO-BOTICA Global S.L. (2017c) *Multiestación de procesamiento 24V*. Disponible en: <http://robotica.com/Producto/Multiestacion-de-procesamiento-fischertechnik-24V/> (Accedido: 21 de junio de 2018).

Rubén E. (2017) *Microcontrolador – qué es y para que sirve*. Disponible en: <https://hetprostore.com/TUTORIALES/microcontrolador/> (Accedido: 17 de junio de 2018).

S.B.M. (2018) *Sistemas de automatismos, lógica cableada y lógica programada*. Disponible en: <https://tecnologiaelectron.blogspot.com/2013/12/sistemas-de-automatismos-logica.html> (Accedido: 17 de junio de 2018).

Simarro Fernández, R. (2018) «Laboratorio de Automatización y Control. Seminario: Automatización Integrada». UPV.

Telemecanique (2018) «Tutorial Práctico Unity Pro 3.0 - Modicon M340».

Visual Technology Lab (2017) *Industria 4.0*. Disponible en: <https://www.vt-lab.com/industria-4-0/> (Accedido: 16 de junio de 2018).



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y
MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON
AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y
MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON
LABVIEW

DOCUMENTO N°2: DEFINICIÓN DE VARIABLES

AUTOR: IVAN PASCUAL GARRIDO

TUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso académico: 2017/2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.	5
2. Variables del primer autómata.	6
3. Variables del segundo autómata.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Entradas y salidas del clasificador.	6
Figura 2. Entradas y salidas del robot manipulador.....	9
Figura 3. Entradas y salidas de la estación de multiprocesado.....	10

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Entradas y salidas del clasificador.	6
Tabla 2. Variables transferidas del PLC 1 (maestro) al PLC 2 (esclavo).	7
Tabla 3. Variables recibidas del PLC 2 (esclavo) por el PLC 1 (maestro).	7
Tabla 4. Variables destinadas a otras funciones del sistema.	8
Tabla 5. Variables sin necesidad de direccionamiento.	8
Tabla 6. Entradas y salidas del robot manipulador.	9
Tabla 7. Entradas y salidas de la estación de multiprocesado.	10
Tabla 8. Variables recibidas del PLC 1 (maestro) por el PLC 2 (esclavo).	11
Tabla 9. Variables transferidas del PLC 2 (esclavo) al PLC 1 (maestro).	11
Tabla 10. Variables destinadas a otras funciones del sistema.	11

1. Introducción.

En el presente anexo se adjuntan las tablas de todas las variables utilizadas en el diseño del automatismo que recoge el documento nº3. En estas, aparecen el nombre, tipo, dirección de memoria del autómatas asociada y una pequeña descripción de cada una de las variables.

Las señales se han clasificado en dos apartados según el archivo del *software* de programación (en este caso Unity Pro M) en el que se encuentran declaradas y, por tanto, según el autómatas al que están vinculadas.

Para expresar la presencia de distintos tipos de variables, aparecerán diversas tablas en cada apartado.

En primer lugar, se tratarán las entradas y salidas correspondientes a los sensores y actuadores de cada subproceso, acompañadas de una imagen con las principales indicaciones pertinentes para una mejor visualización.

Asimismo, las señales destinadas a la comunicación entre ambos PLC aparecerán en tablas distintas: una para aquellas transferidas y otra para las recibidas. Se facilitará más información a este respecto en el apartado de comunicación entre autómatas que incluye la memoria (5.7).

Pero, además, se definirán otras variables que, aun no estando involucradas en la comunicación ni correspondiendo a ningún sensor o actuador, son igualmente importantes para la evolución correcta del proceso mediante otro tipo de funciones internas y serán empleadas para la monitorización.

Finalmente, también serán necesarias ciertas variables que, por no requerir ningún tipo de transferencia (ni a los subprocesos, ni al otro autómatas, ni a la aplicación SCADA) y solo ser usadas por el propio archivo del programa, aparecerán definidas sin direccionamiento alguno.

A modo de mención, la elección del nombre de algunas de estas señales responde a un lenguaje más coloquial según el cual en algunas ocasiones se ha hecho referencia a las piezas de tipo 1, 2 y 3 como “blancas”, “rojas” y “azules” (respectivamente), a la estación de multiprocesado como “horno” y al robot manipulador al vacío como “brazo”.

2. Variables del primer autómata.

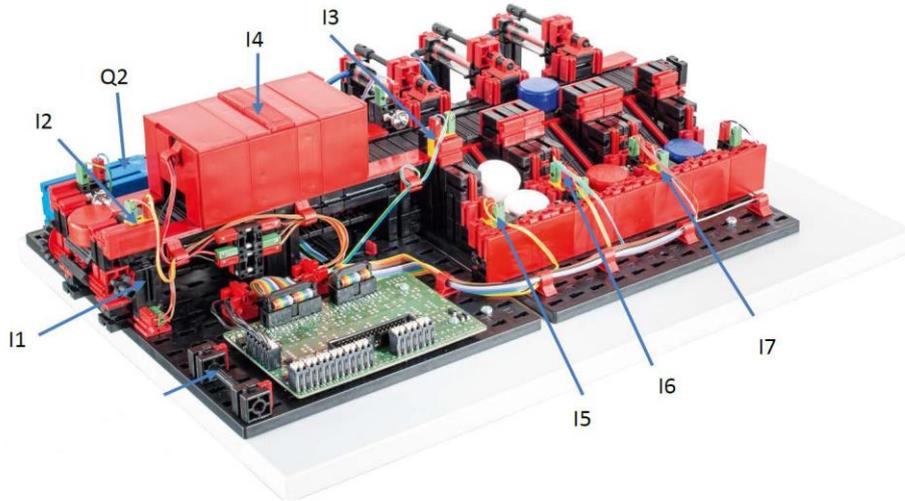


Figura 1. Entradas y salidas del clasificador.

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
I6	BOOL	%MW0.1	Sensor contenedor tipo 2 (clasificador)
I1	BOOL	%MW0.4	Pulsos movimiento cinta (clasificador)
I2	BOOL	%MW0.5	Sensor inicio cinta (clasificador)
I3	BOOL	%MW0.6	Sensor antes de empujadores (clasificador)
I4	INT	%MW1	Sensor tipo de pieza (clasificador)
I5	BOOL	%MW3.2	Sensor contenedor tipo 1 (clasificador)
I7	BOOL	%MW3.3	Sensor contenedor tipo 3 (clasificador)
Q1	BOOL	%MW4.2	Motor cinta transportadora (clasificador)
Q2	BOOL	%MW4.3	Habilitar compresor (clasificador)
Q3	BOOL	%MW4.5	Activar cilindro empujador 1 (clasificador)
Q4	BOOL	%MW4.6	Activar cilindro empujador 2 (clasificador)
Q5	BOOL	%MW4.7	Activar cilindro empujador 3 (clasificador)
Q6	BOOL	%MW6.4	Habilitar señales de entrada del proceso (clasificador)

Tabla 1. Entradas y salidas del clasificador.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON LABVIEW

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
Blancas	INT	%MW7	Contador piezas tipo 1 totales (modo clasificado y clasificado+multiprocesado)
Rojas	INT	%MW8	Contador piezas tipo 2 totales (modo clasificado y clasificado+multiprocesado)
Azules	INT	%MW9	Contador piezas tipo 3 totales (modo clasificado y clasificado+multiprocesado)
Tipo	INT	%MW10	Tipo de pieza detectado en el modo clasificado+multiprocesado
Intermedias	INT	%MW11	Contador piezas intermedias
Rechazadas	INT	%MW12	Contador piezas rechazadas
Otras	INT	%MW13	Contador piezas tipo otro
tipo1_N	INT	%MW14	Piezas tipo 1 demandadas
tipo2_N	INT	%MW15	Piezas tipo 2 demandadas
tipo3_N	INT	%MW16	Piezas tipo 3 demandadas
otro_N	INT	%MW17	Piezas tipo otro demandadas
TH_in	INT	%MW18	Tiempo de homo a la entrada de la función INT_TO_TIME
TH_out	TIME	%MW19	Tiempo de homo a la salida de la función INT_TO_TIME
TF_out	TIME	%MW21	Tiempo de fresadora a la salida de la función INT_TO_TIME
M_BIT0	BOOL	%MW23.0	Bit 0 del selector de modo de funcionamiento
M_BIT1	BOOL	%MW23.1	Bit 1 del selector de modo de funcionamiento
ESTADO	BOOL	%MW24.0	Estado del proceso
ContenedorLleno	BOOL	%MW24.1	Advertencia de algún contenedor lleno
Error	BOOL	%MW24.2	Advertencia de algún problema con las piezas
Error_1	BOOL	%MW24.3	Problema con piezas antes de llegar al clasificador
Error_2	BOOL	%MW24.4	Problema con piezas al principio del clasificador
Error_3	BOOL	%MW24.5	Problema al manipular piezas intermedias
Error_4	BOOL	%MW24.6	Problema con piezas en el multiprocesado
Error_5	BOOL	%MW24.7	Problema con piezas en el contenedor tipo 1
Error_6	BOOL	%MW24.8	Problema con piezas en el contenedor tipo 2
Error_7	BOOL	%MW24.9	Problema con piezas en el contenedor tipo 3
START	BOOL	%MW25.0	Marcha del proceso
STOP	BOOL	%MW25.1	Paro del proceso
AUT	BOOL	%MW25.3	Modo manual/automático
ResetContenedores	BOOL	%MW25.5	Restablecimiento de todos los contenedores
ResetBlancas	BOOL	%MW25.6	Restablecimiento del contenedor tipo 1
ResetRojas	BOOL	%MW25.7	Restablecimiento del contenedor tipo 2
ResetAzules	BOOL	%MW25.8	Restablecimiento del contenedor tipo 3
ResetOtras	BOOL	%MW25.9	Restablecimiento del contenedor tipo otro
ResetRechazadas	BOOL	%MW25.10	Restablecimiento del contenedor rechazadas
ResetBlancas_final	BOOL	%MW25.11	Restablecimiento del contenedor tipo 1 (final)
ResetRojas_final	BOOL	%MW25.12	Restablecimiento del contenedor tipo 2 (final)
ResetAzules_final	BOOL	%MW25.13	Restablecimiento del contenedor tipo 3 (final)
ResetIntermedias	BOOL	%MW25.14	Restablecimiento del contenedor intermedias
TF_in	INT	%MW26	Tiempo de fresadora a la entrada de la función INT_TO_TIME
INIT	BOOL	%MW27.0	Emergencia por problemas con piezas o por paro de emergencia

Tabla 2. Variables transferidas del PLC 1 (maestro) al PLC 2 (esclavo).

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
GET_FIFO	BOOL	%MW28.0	Señal de lectura de la pila para la función FIFO
C4_estado	BOOL	%MW28.1	Estado C4 del PLC2
D5_estado	BOOL	%MW28.2	Estado D5 del PLC2
M28_estado	BOOL	%MW28.3	Estado M28 del PLC2
HomoActivo	BOOL	%MW28.4	Estado de la estación de multiprocesado
BrazoActivo	BOOL	%MW28.5	Estado del robot manipulador
Blancas_final	INT	%MW29	Contador piezas tipo 1 (una vez tratadas en el multiprocesado)
Rojas_final	INT	%MW30	Contador piezas tipo 2 (una vez tratadas en el multiprocesado)
Azules_final	INT	%MW31	Contador piezas tipo 3 (una vez tratadas en el multiprocesado)

Tabla 3. Variables recibidas del PLC 2 (esclavo) por el PLC 1 (maestro).

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
LED_tipo1_N	BOOL	%MW32.0	Led para destacar "tipo1_N" en LabView
LED_tipo2_N	BOOL	%MW32.1	Led para destacar "tipo2_N" en LabView
LED_tipo3_N	BOOL	%MW32.2	Led para destacar "tipo3_N" en LabView
LED_otro_N	BOOL	%MW32.3	Led para destacar "otro_N" en LabView
LED_tipo1_TH	BOOL	%MW32.4	Led para destacar "tipo1_TH" en LabView
LED_tipo2_TH	BOOL	%MW32.5	Led para destacar "tipo2_TH" en LabView
LED_tipo3_TH	BOOL	%MW32.6	Led para destacar "tipo3_TH" en LabView
LED_otro_TH	BOOL	%MW32.7	Led para destacar "otro_TH" en LabView
LED_tipo1_TF	BOOL	%MW32.8	Led para destacar "tipo1_TF" en LabView
LED_tipo2_TF	BOOL	%MW32.9	Led para destacar "tipo2_TF" en LabView
LED_tipo3_TF	BOOL	%MW32.10	Led para destacar "tipo3_TF" en LabView
LED_otro_TF	BOOL	%MW32.11	Led para destacar "otro_TF" en LabView
tipo1_TH	INT	%MW33	Tiempo de homo configurado para piezas tipo 1
tipo2_TH	INT	%MW34	Tiempo de homo configurado para piezas tipo 2
tipo3_TH	INT	%MW35	Tiempo de homo configurado para piezas tipo 3
otro_TH	INT	%MW36	Tiempo de homo configurado para piezas tipo otro
tipo1_TF	INT	%MW37	Tiempo de fresadora configurado para piezas tipo 1
tipo2_TF	INT	%MW38	Tiempo de fresadora configurado para piezas tipo 2
tipo3_TF	INT	%MW39	Tiempo de fresadora configurado para piezas tipo 3
otro_TF	INT	%MW40	Tiempo de fresadora configurado para piezas tipo otro
EMERGENCIA	BOOL	%MW41.0	Paro de emergencia del proceso
RESET	BOOL	%MW41.1	Reinicio del proceso
I3h	BOOL	%MW42.6	Sensor final cinta (multiprocesado)
Rechazadas_LV	INT	%MW43	Contador piezas rechazadas (para LabView)
CuentaCinta	INT	%MW44	Contador de los pulsos de la cinta del clasificador
Blancas_clasificado	INT	%MW45	Contador piezas tipo 1 (modo clasificado)
Rojas_clasificado	INT	%MW46	Contador piezas tipo 2 (modo clasificado)
Azules_clasificado	INT	%MW47	Contador piezas tipo 3 (modo clasificado)
Tipo_LV	INT	%MW48	Tipo de pieza detectado en el modo clasificado+multiprocesado (para LabView)
ColorActivo	BOOL	%MW49.0	Estado del clasificador

Tabla 4. Variables destinadas a otras funciones del sistema.

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
Entrada	INT		Entrada de la pila para la función FIFO
FinalCinta	BOOL		Indica si la pieza esta en la parte final de la cinta del clasificador (después de el sensor "I3")

Tabla 5. Variables sin necesidad de direccionamiento.

3. Variables del segundo autómeta.

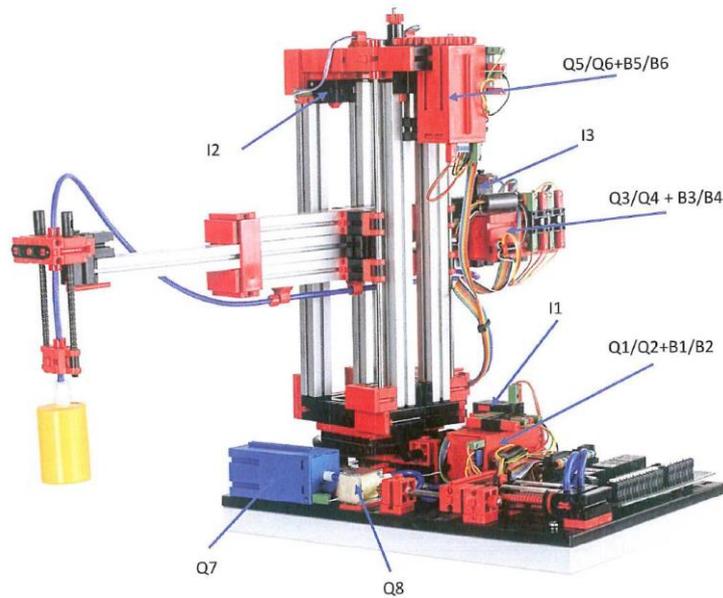


Figura 2. Entradas y salidas del robot manipulador.

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
● B3	EBOOL	%I0.2.1	Pulsos encoder movimiento horizontal (brazo)
● B5	EBOOL	%I0.2.2	Pulsos encoder movimiento giratorio (brazo)
● I1	EBOOL	%I0.2.4	Final de carrera referencia vertical (brazo)
● I2	EBOOL	%I0.2.5	Final de carrera referencia horizontal (brazo)
● I3	EBOOL	%I0.2.6	Final de carrera referencia giro (brazo)
● Q1	EBOOL	%Q0.2.16	Motor movimiento vertical arriba (brazo)
● Q2	EBOOL	%Q0.2.17	Motor movimiento vertical abajo (brazo)
● Q3	EBOOL	%Q0.2.18	Motor movimiento retroceso horizontal (brazo)
● Q4	EBOOL	%Q0.2.19	Motor movimiento avance horizontal (brazo)
● Q5	EBOOL	%Q0.2.20	Motor movimiento giro horario (brazo)
● Q6	EBOOL	%Q0.2.21	Motor movimiento giro antihorario (brazo)
● Q7	EBOOL	%Q0.2.22	Habilitar compresor (brazo)
● Q8	EBOOL	%Q0.2.23	Habilitar succión ventosa (brazo)
● Q9	EBOOL	%Q0.2.24	Habilitar señales de entrada del proceso (brazo)

Tabla 6. Entradas y salidas del robot manipulador.

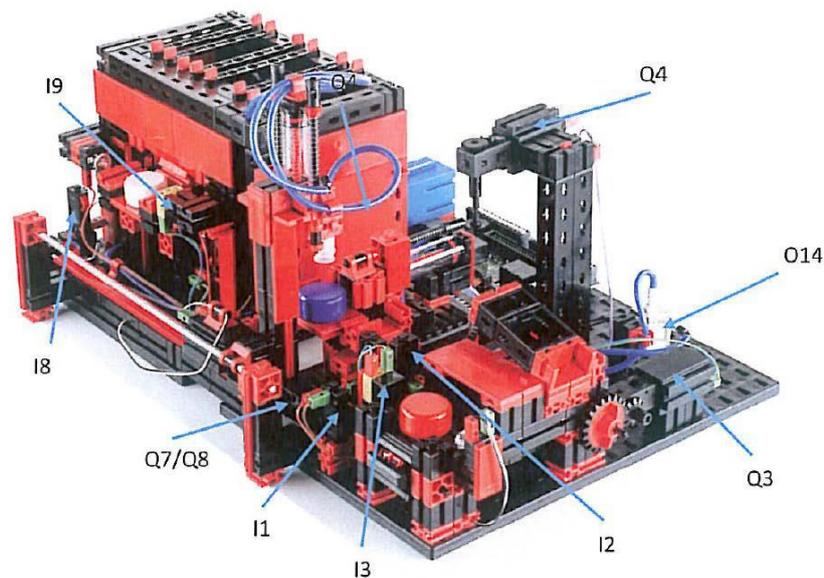


Figura 3. Entradas y salidas de la estación de multiprocesado.

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
I5h	BOOL	%MW0.0	Final de carrera manipulador en mesa (multiprocesado)
I7h	BOOL	%MW0.1	Final de carrera alimentador homo fuera (multiprocesado)
I9h	BOOL	%MW0.2	Sensor pieza en manipulador (multiprocesado)
I11h	BOOL	%MW0.4	Final de carrera mesa en manipulador (multiprocesado)
I2h	BOOL	%MW0.5	Final de carrera mesa en cinta (multiprocesado)
I3h	BOOL	%MW0.6	Sensor pieza en final cinta (multiprocesado)
I4h	BOOL	%MW0.7	Final de carrera mesa en fresadora (multiprocesado)
I6h	BOOL	%MW3.2	Final de carrera alimentador homo dentro (multiprocesado)
I8h	BOOL	%MW3.3	Final de carrera manipulador en homo (multiprocesado)
Q13h	BOOL	%MW4.0	Movimiento puerta homo amba (multiprocesado)
Q14h	BOOL	%MW4.1	Activar cilindro empujador de la mesa (multiprocesado)
Q1h	BOOL	%MW4.2	Motor giro mesa horario (multiprocesado)
Q2h	BOOL	%MW4.3	Motor giro mesa antihorario (multiprocesado)
Q3h	BOOL	%MW4.4	Motor cinta transportadora (multiprocesado)
Q4h	BOOL	%MW4.5	Motor movimiento fresadora (multiprocesado)
Q5h	BOOL	%MW4.6	Motor alimentador homo adentro (multiprocesado)
Q6h	BOOL	%MW4.7	Motor alimentador homo afuera (multiprocesado)
Q15h	BOOL	%MW6.0	Habilitar luz homo (multiprocesado)
Q7h	BOOL	%MW6.2	Motor manipulador hacia homo (multiprocesado)
Q8h	BOOL	%MW6.3	Motor manipulador hacia mesa (multiprocesado)
Q9h	BOOL	%MW6.4	Habilitar señales de entrada del proceso (multiprocesado)
Q10h	BOOL	%MW6.5	Habilitar compresor (multiprocesado)
Q11h	BOOL	%MW6.6	Habilitar succión ventosa (multiprocesado)
Q12h	BOOL	%MW6.7	Movimiento manipulador abajo (multiprocesado)

Tabla 7. Entradas y salidas de la estación de multiprocesado.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON LABVIEW

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
Blancas	INT	%MW7	Contador piezas tipo 1 totales (modo clasificado y clasificado+multiprocesado)
Rojas	INT	%MW8	Contador piezas tipo 2 totales (modo clasificado y clasificado+multiprocesado)
Azules	INT	%MW9	Contador piezas tipo 3 totales (modo clasificado y clasificado+multiprocesado)
Tipo	INT	%MW10	Tipo de pieza detectado en el modo clasificado+multiprocesado
Intermedias	INT	%MW11	Contador piezas intermedias
Rechazadas	INT	%MW12	Contador piezas rechazadas
Otras	INT	%MW13	Contador piezas tipo otro
tipo1_N	INT	%MW14	Piezas tipo 1 demandadas
tipo2_N	INT	%MW15	Piezas tipo 2 demandadas
tipo3_N	INT	%MW16	Piezas tipo 3 demandadas
otro_N	INT	%MW17	Piezas tipo otro demandadas
TH_in	INT	%MW18	Tiempo de homo a la entrada de la función INT_TO_TIME
TH_out	TIME	%MW19	Tiempo de homo a la salida de la función INT_TO_TIME
TF_out	TIME	%MW21	Tiempo de fresadora a la salida de la función INT_TO_TIME
M_BIT0	BOOL	%MW23.0	Bit 0 del selector de modo de funcionamiento
M_BIT1	BOOL	%MW23.1	Bit 1 del selector de modo de funcionamiento
ESTADO	BOOL	%MW24.0	Estado del proceso
ContenedorLleno	BOOL	%MW24.1	Advertencia de algún contenedor lleno
Error_4	BOOL	%MW24.6	Problema al manipular piezas intermedias
START	BOOL	%MW25.0	Marcha del proceso
STOP	BOOL	%MW25.1	Paro del proceso
AUT	BOOL	%MW25.3	Modo manual/automático
ResetContenedores	BOOL	%MW25.5	Restablecimiento de todos los contenedores
ResetBlancas_final	BOOL	%MW25.12	Restablecimiento del contenedor tipo 1 (final)
ResetRojas_final	BOOL	%MW25.13	Restablecimiento del contenedor tipo 2 (final)
ResetAzules_final	BOOL	%MW25.14	Restablecimiento del contenedor tipo 3 (final)
TF_in	INT	%MW26	Tiempo de fresadora a la entrada de la función INT_TO_TIME
INIT	BOOL	%MW27.0	Emergencia por problemas con piezas o por paro de emergencia

Tabla 8. Variables recibidas del PLC 1 (maestro) por el PLC 2 (esclavo).

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
GET_FIFO	BOOL	%MW28.0	Señal de lectura de la pila para la función FIFO
C4_estado	BOOL	%MW28.1	Estado C4 del PLC2
D5_estado	BOOL	%MW28.2	Estado D5 del PLC2
M28_estado	BOOL	%MW28.3	Estado M28 del PLC2
HomoActivo	BOOL	%MW28.4	Estado de la estación de multiprocesado
BrazoActivo	BOOL	%MW28.5	Estado del robot manipulador
Blancas_final	INT	%MW29	Contador piezas tipo 1 (una vez tratadas en el multiprocesado)
Rojas_final	INT	%MW30	Contador piezas tipo 2 (una vez tratadas en el multiprocesado)
Azules_final	INT	%MW31	Contador piezas tipo 3 (una vez tratadas en el multiprocesado)

Tabla 9. Variables transferidas del PLC 2 (esclavo) al PLC 1 (maestro).

Nombre	Tipo	Dirección	Comentario
CuentaGiro	INT	%MW32	Contador de los pulsos asociados al movimiento giratorio
CuentaHorizontal	INT	%MW33	Contador de los pulsos asociados al movimiento horizontal
CuentaVertical	INT	%MW34	Contador de los pulsos asociados al movimiento vertical
I1_MW	BOOL	%MW35.0	Posición de memoria tipo %MW asociada a la entrada "I1"
I2_MW	BOOL	%MW35.1	Posición de memoria tipo %MW asociada a la entrada "I2"
I3_MW	BOOL	%MW35.2	Posición de memoria tipo %MW asociada a la entrada "I3"
Q7_MW	BOOL	%MW35.9	Posición de memoria tipo %MW asociada a la salida "Q7"
Q8_MW	BOOL	%MW35.10	Posición de memoria tipo %MW asociada a la salida "Q8"
I5c	BOOL	%MW39.2	Sensor contenedor tipo 1 (clasificador)

Tabla 10. Variables destinadas a otras funciones del sistema.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y
MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON
AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y
MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON
LABVIEW

DOCUMENTO N°3: DISEÑO DEL AUTOMATISMO

AUTOR: IVAN PASCUAL GARRIDO

TUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso académico: 2017/2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.	5
2. GRAFCET del primer autómeta.....	6
3. GRAFCET del segundo autómeta.....	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funcionamiento del clasificador.....	6
Figura 2. Activación del estado del clasificador.	7
Figura 3. Activación de la señal de detención urgente del proceso.....	7
Figura 4. Advertencia de problema con pieza antes de llegar al clasificador.	7
Figura 5. Advertencia de problema con pieza al principio del clasificador.....	8
Figura 6. Advertencia de problema al manipular las piezas intermedias.	8
Figura 7. Advertencia de problema con pieza en el multiprocesado.....	8
Figura 8. Advertencia de problema con pieza en el contenedor tipo 1.....	9
Figura 9. Advertencia de problema con pieza en el contenedor tipo 2.....	9
Figura 10. Advertencia de problema con pieza en el contenedor tipo 3.....	9
Figura 11. Advertencia de algún contenedor lleno.....	10
Figura 12. Activación de leds para la configuración manual del modo clasificado.....	10
Figura 13. Activación de leds para la configuración manual del modo clasificado+multiprocesado. ..	10
Figura 14. Activación de leds para la configuración manual del modo multiprocesado.	10
Figura 15. Contador de pulsos de la cinta del clasificador.....	11
Figura 16. Contadores de las piezas tipo 1, 2 y 3.....	11
Figura 17. Contadores de las piezas intermedias, rechazadas y de otro tipo.....	12
Figura 18. Gestión de marcha y paro del proceso.....	13
Figura 19. Movimiento del robot manipulador hacia su posición inicial de reposo.....	13
Figura 20. Movimientos del brazo hacia el contenedor inicial (izquierda), el inicio de la cinta del clasificador (centro) y el contenedor de piezas intermedias (derecha).....	14
Figura 21. Movimientos del brazo hacia el manipulador del multiprocesado (izquierda), el final de la cinta del multiprocesado (centro) y el contenedor final de piezas tipo 1 (derecha).....	14
Figura 22. Movimientos del brazo hacia los contenedores finales de piezas tipo 2 (izquierda) y tipo 3 (derecha).....	15
Figura 23. Funcionamiento del brazo en modo multiprocesado.....	15
Figura 24. Funcionamiento del brazo en modo clasificado+multiprocesado.....	16
Figura 25. Funcionamiento del brazo en modo clasificado.....	16
Figura 26. Funcionamiento de la estación de multiprocesado.....	17
Figura 27. Activación de los estados del multiprocesado y el brazo.....	18
Figura 28. Mantenimiento de la succión en caso de estar actuando y que ocurra una emergencia. ..	18
Figura 29. Activación de las variables tipo %MW asociadas a ciertas señales de interés del brazo.....	18
Figura 30. Activación de las variables asociadas a ciertos estados GRAFCET de interés.....	18
Figura 31. Contadores de las piezas finales de tipo 1, 2 y 3.....	19
Figura 32. Activación de la señal de lectura de la pila para la función FIFO.....	19

1. Introducción.

El tercer documento de este proyecto contiene el diseño del automatismo a implementar, que se ha realizado mediante el método gráfico llamado GRAFCET.

Para dicho diseño, se ha recurrido a la metodología de GRAFCET parciales, puesto que ofrece gran variedad de posibilidades de interacción y mayor facilidad de implementación en sistemas complejos que un único GRAFCET global.

Al igual que en la definición de variables, el contenido se ha estructurado en dos apartados diferenciados, atendiendo al autómata al que hacen referencia. Como el nombre de algunas variables se repite, es importante matizar que aquellas que aparecen en el segundo apartado de este documento son las definidas en el segundo apartado del documento nº2. Lo mismo ocurre con el tercer apartado.

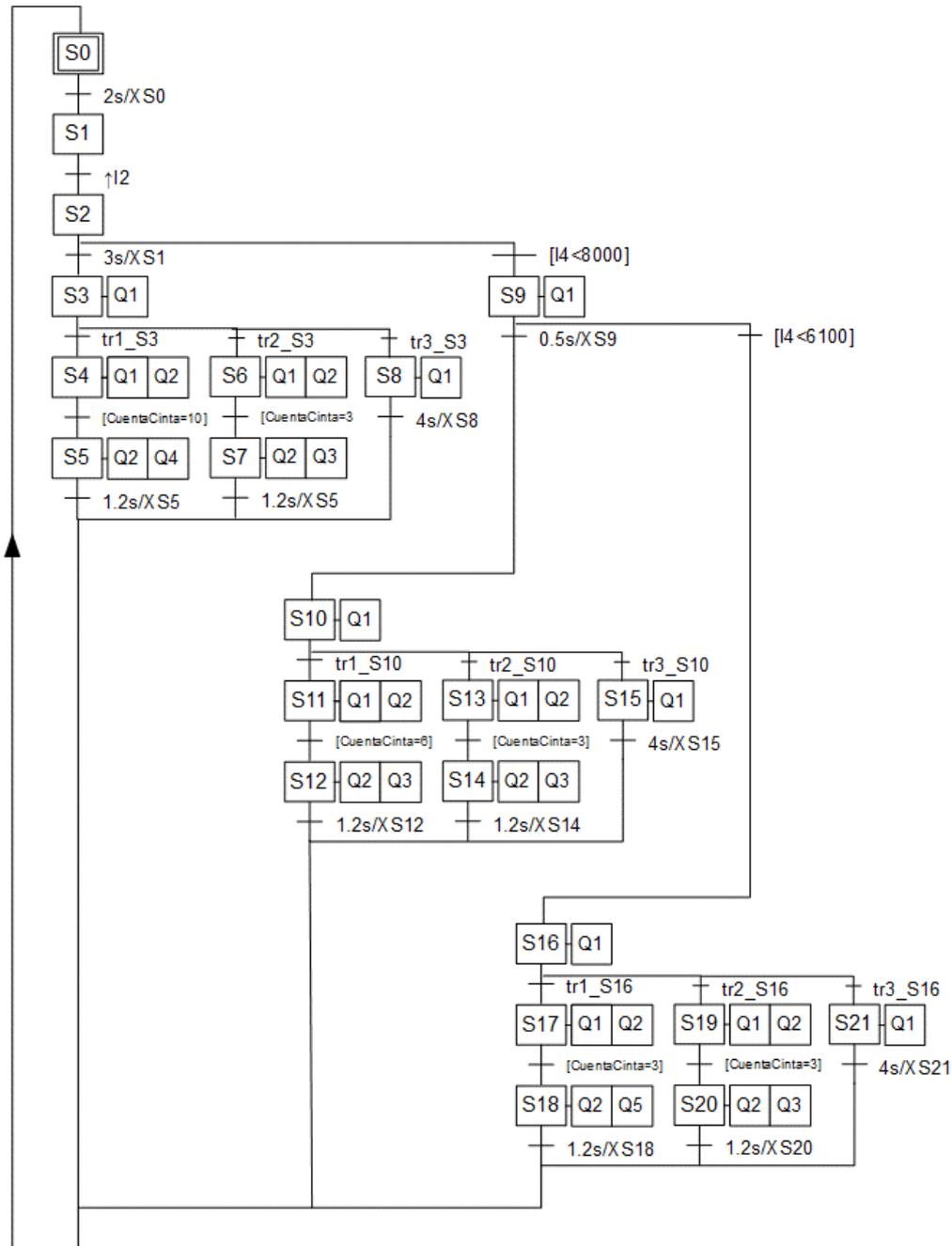
Estos GRAFCET han sido agrupados en base a criterios funcionales y aparecen brevemente descritos con un pie de foto, lo cual será de utilidad para las referencias hechas en el apartado de desarrollo de la solución de la memoria (5.5.1 y 5.6.1), donde se explican algunos de ellos y se expone la forma de implementarlos mediante el *software* de programación de los autómatas.

En cuanto a los GRAFCET que gestionan el funcionamiento del clasificador, brazo y multiprocesado (*Figuras 1, 2 y 3*, respectivamente), se ha optado por no incluir la acción de habilitar las señales de entrada del proceso (variables Q6, Q9 y Q9h, respectivamente) con objeto de no sobrecargar la representación y conseguir una mayor simplificación, ya que esta acción debería aparecer en todas las etapas. Aun así, se han de tener en cuenta.

Con ese mismo objetivo de claridad en la representación, algunas transiciones han sido referenciadas e incluidas por separado debido a su excesiva extensión.

Por último, no se han adjuntado ciertas funciones especiales igualmente necesarias para el correcto desarrollo del sistema, pero difícilmente representables mediante este método. Así pues, se deberán consultar los apartados correspondientes de la memoria (5.5.2 y 5.6.2), que recogen su implementación mediante Unity Pro M, para acabar de definir por completo el diseño del automatismo.

2. GRAFCET del primer autómata.



$tr1_S3 = ([Azules < 3] * AUT * M_BIT1 * M_BIT0) + ([Azules < 3] * \overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Azules < tipo3_N])$
 $tr2_S3 = ([Intermedias < 3] * AUT * M_BIT1 * M_BIT0) + ([Intermedias < 3] * \overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Azules < tipo3_N])$
 $tr3_S3 = (\overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Azules = tipo3_N]) + (\overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Azules = tipo3_N]) + [Azules = 3] + [Intermedias = 3]$
 $tr1_S10 = ([Rojas < 3] * AUT * M_BIT1 * M_BIT0) + ([Rojas < 3] * \overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Rojas < tipo2_N])$
 $tr2_S10 = ([Intermedias < 3] * AUT * M_BIT1 * M_BIT0) + ([Intermedias < 3] * \overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Rojas < tipo2_N])$
 $tr3_S10 = (\overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Rojas = tipo2_N]) + (\overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Rojas = tipo2_N]) + [Rojas = 3] + [Intermedias = 3]$
 $tr1_S16 = ([Blancas < 3] * AUT * M_BIT1 * M_BIT0) + ([Blancas < 3] * \overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Blancas < tipo3_N])$
 $tr2_S16 = ([Intermedias < 3] * AUT * M_BIT1 * M_BIT0) + ([Intermedias < 3] * \overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Blancas < tipo1_N])$
 $tr3_S16 = (\overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Blancas = tipo1_N]) + (\overline{AUT * M_BIT1 * M_BIT0} * [Blancas = tipo1_N]) + [Blancas = 3] + [Intermedias = 3]$

Figura 1. Funcionamiento del clasificador.

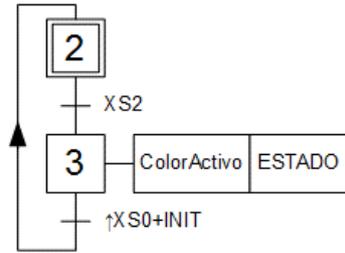


Figura 2. Activación del estado del clasificador.

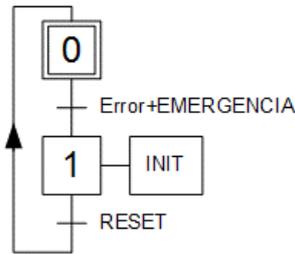


Figura 3. Activación de la señal de detención urgente del proceso.

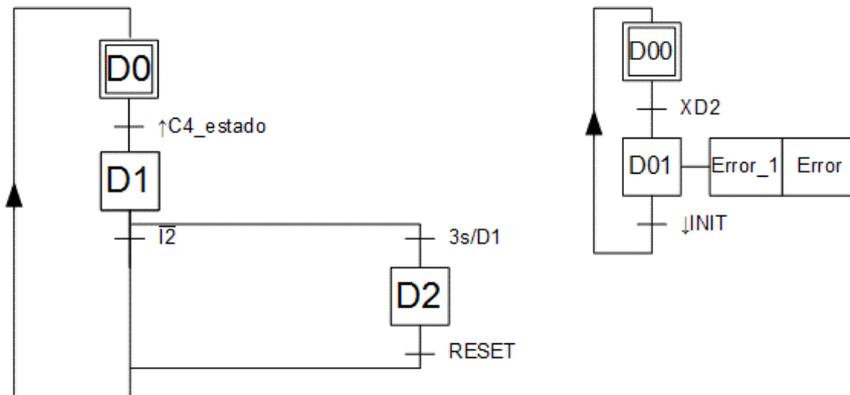


Figura 4. Advertencia de problema con pieza antes de llegar al clasificador.

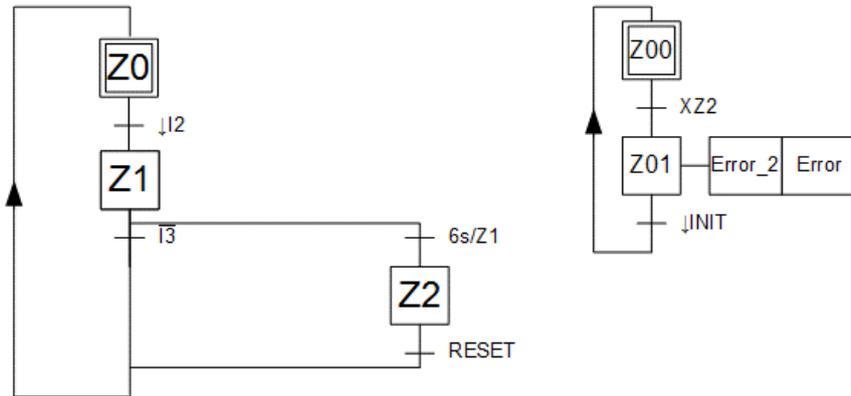


Figura 5. Advertencia de problema con pieza al principio del clasificador.

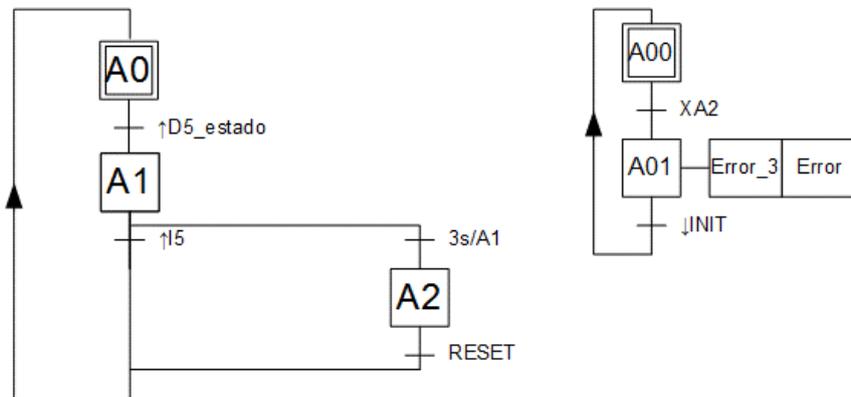


Figura 6. Advertencia de problema al manipular las piezas intermedias.

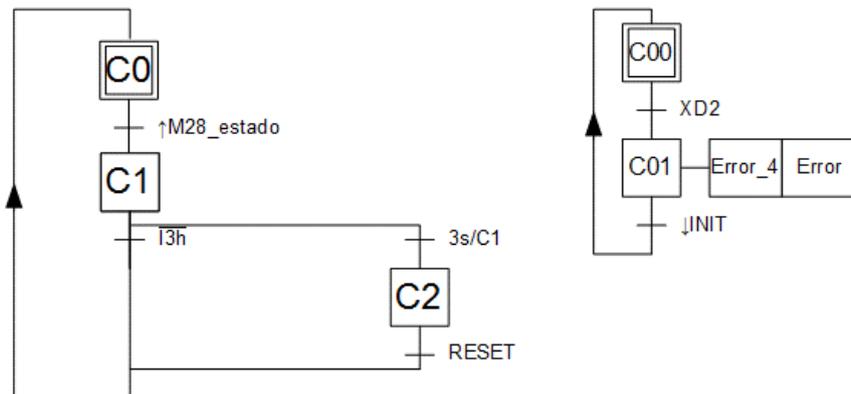


Figura 7. Advertencia de problema con pieza en el multiprocesado.

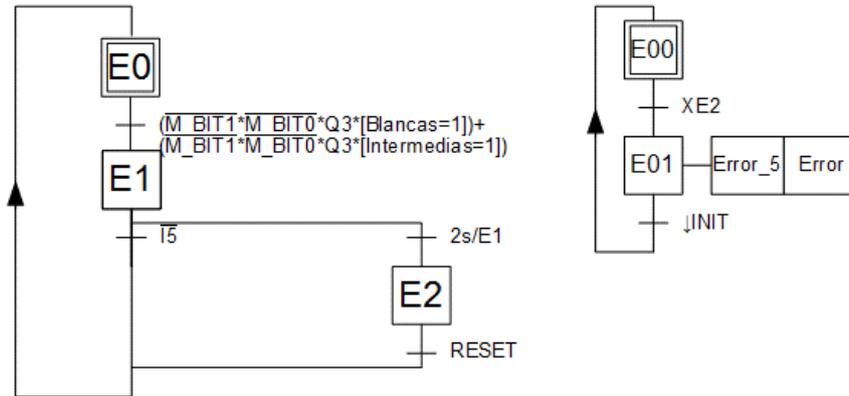


Figura 8. Advertencia de problema con pieza en el contenedor tipo 1.

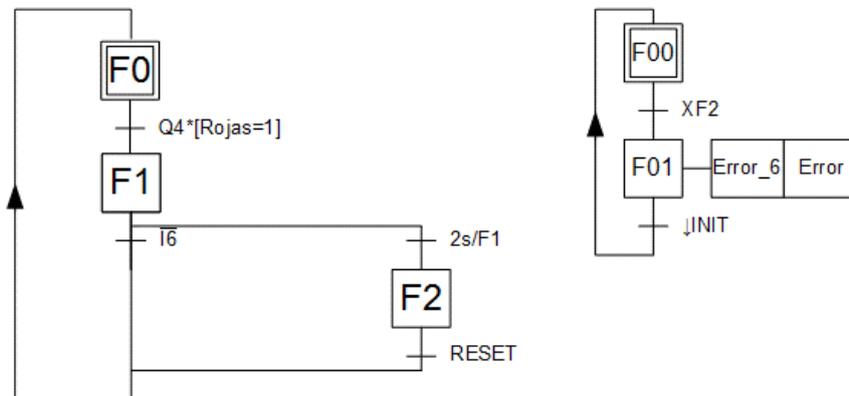


Figura 9. Advertencia de problema con pieza en el contenedor tipo 2.

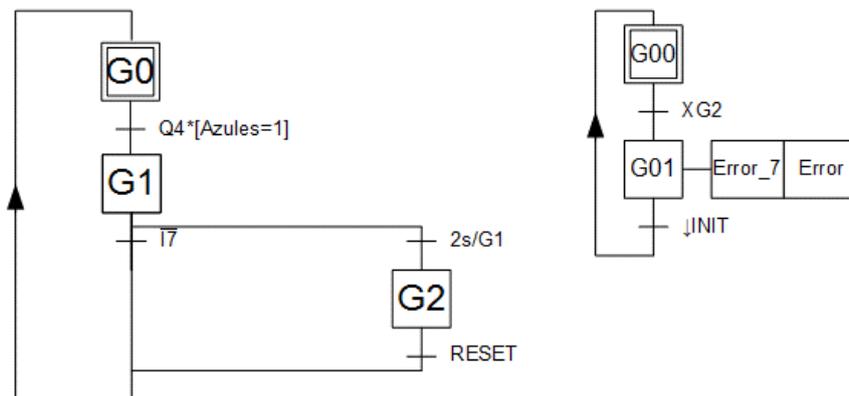


Figura 10. Advertencia de problema con pieza en el contenedor tipo 3.

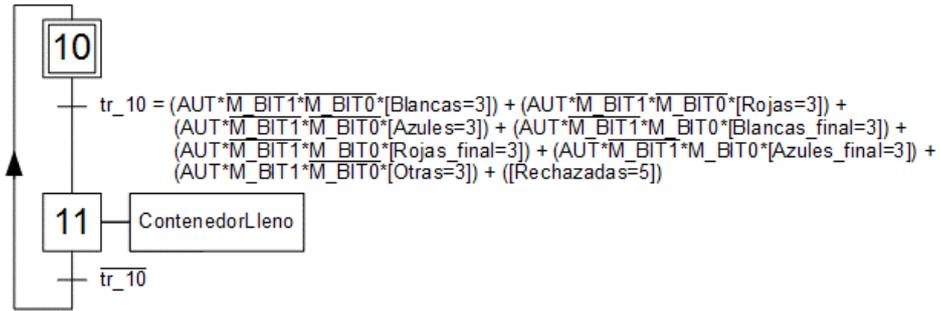


Figura 11. Advertencia de algún contenedor lleno.

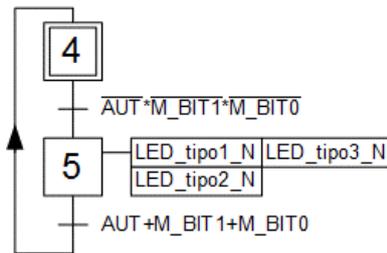


Figura 12. Activación de leds para la configuración manual del modo clasificado.

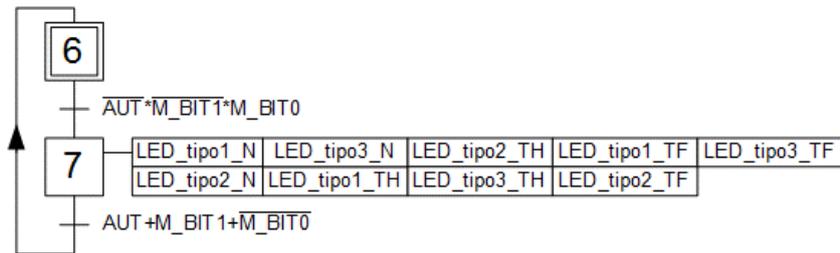


Figura 13. Activación de leds para la configuración manual del modo clasificado+multiprocesado.

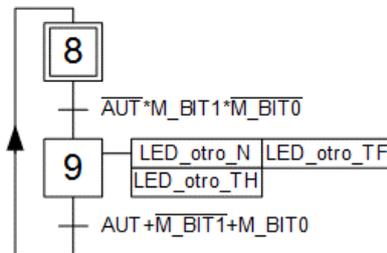


Figura 14. Activación de leds para la configuración manual del modo multiprocesado.

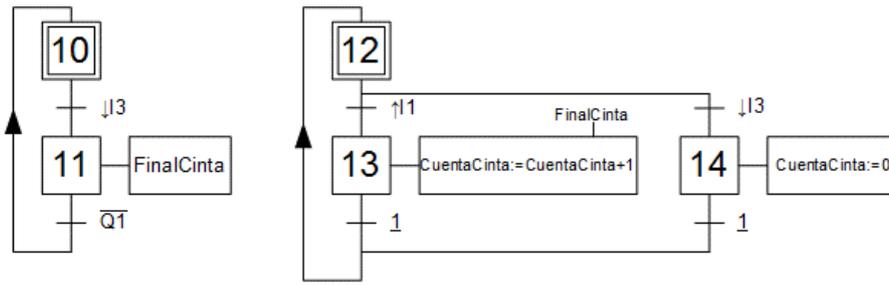


Figura 15. Contador de pulsos de la cinta del clasificador.

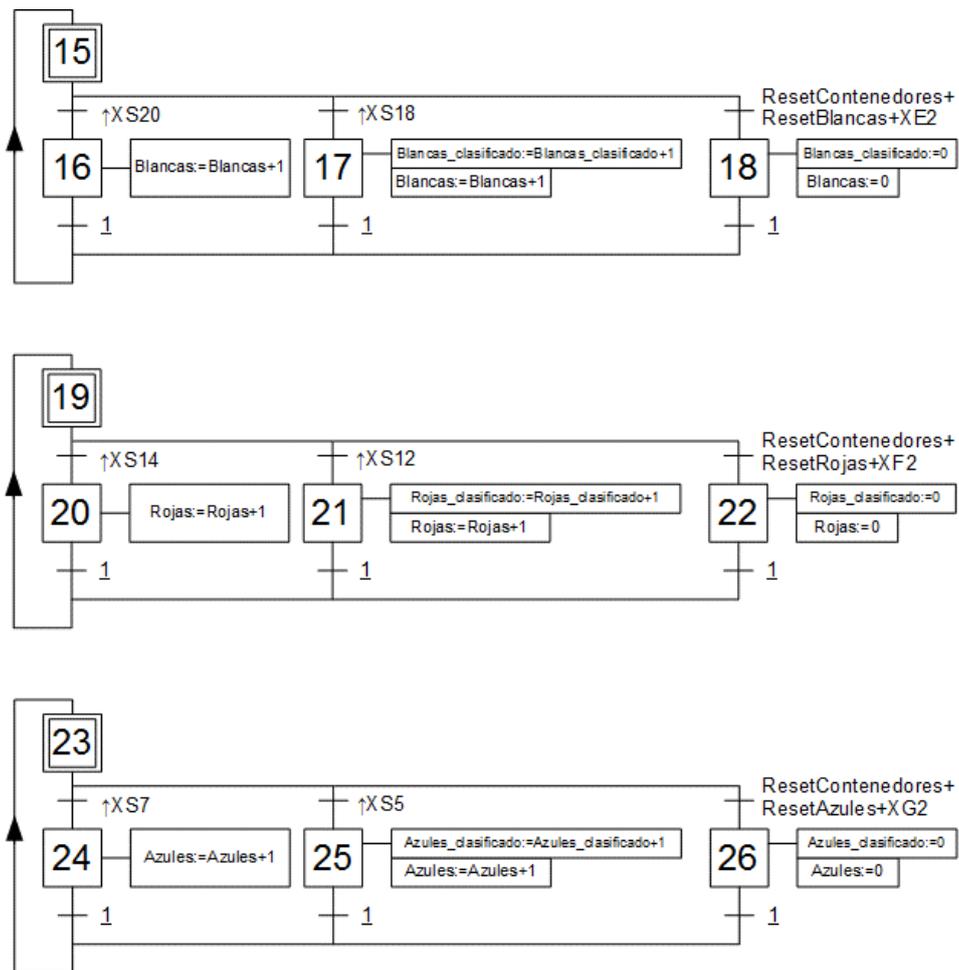


Figura 16. Contadores de las piezas tipo 1, 2 y 3.

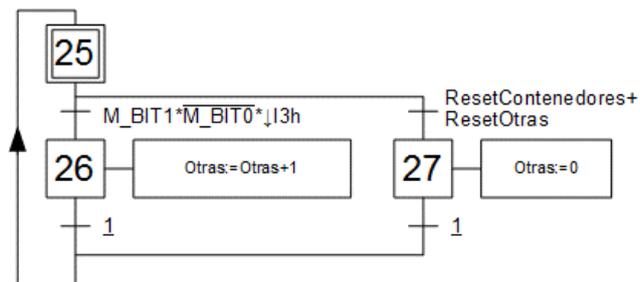
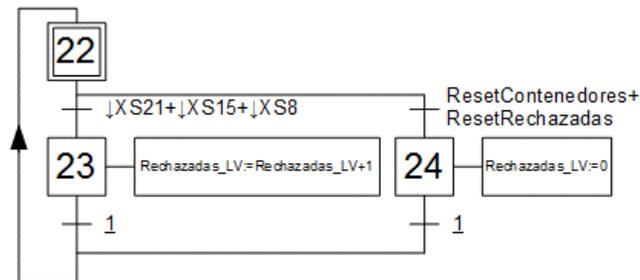
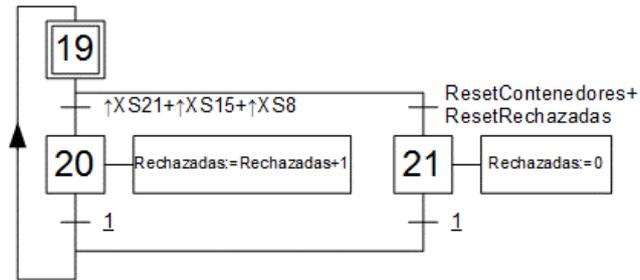
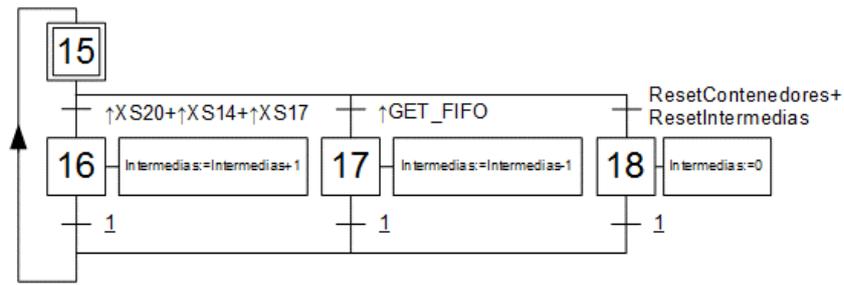


Figura 17. Contadores de las piezas intermedias, rechazadas y de otro tipo.

3. GRAFCET del segundo autómata.

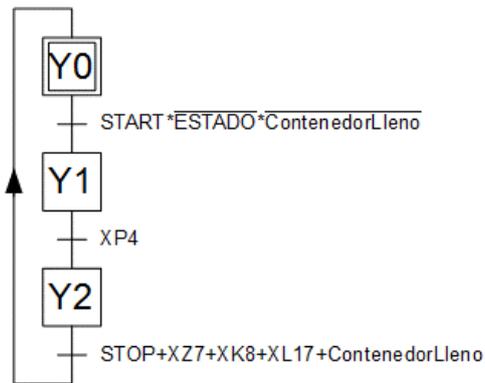


Figura 18. Gestión de marcha y paro del proceso.

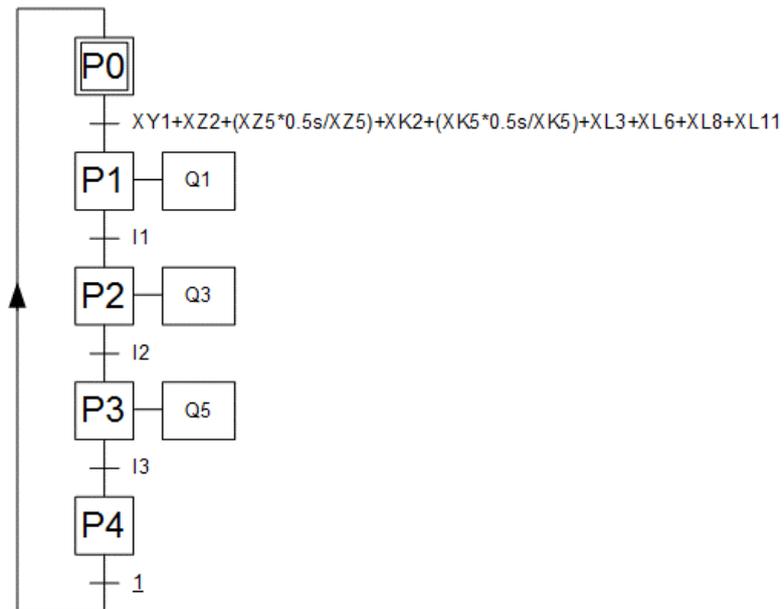


Figura 19. Movimiento del robot manipulador hacia su posición inicial de reposo.

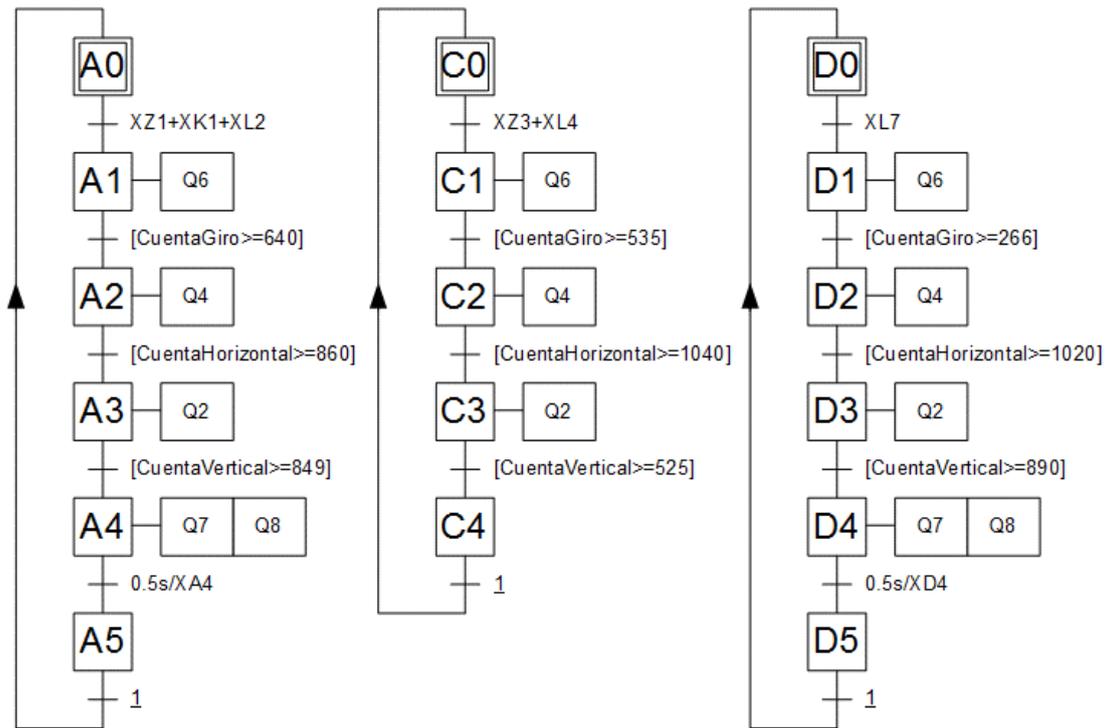


Figura 20. Movimientos del brazo hacia el contenedor inicial (izquierda), el inicio de la cinta del clasificador (centro) y el contenedor de piezas intermedias (derecha).

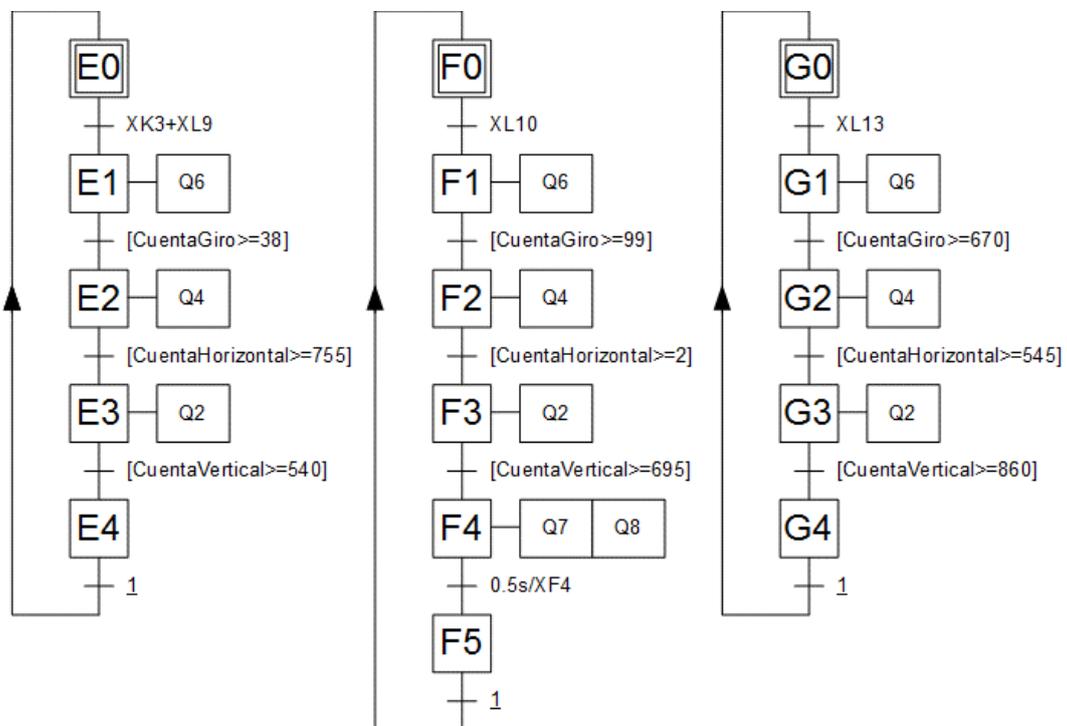


Figura 21. Movimientos del brazo hacia el manipulador del multiprocesado (izquierda), el final de la cinta del multiprocesado (centro) y el contenedor final de piezas tipo 1 (derecha).

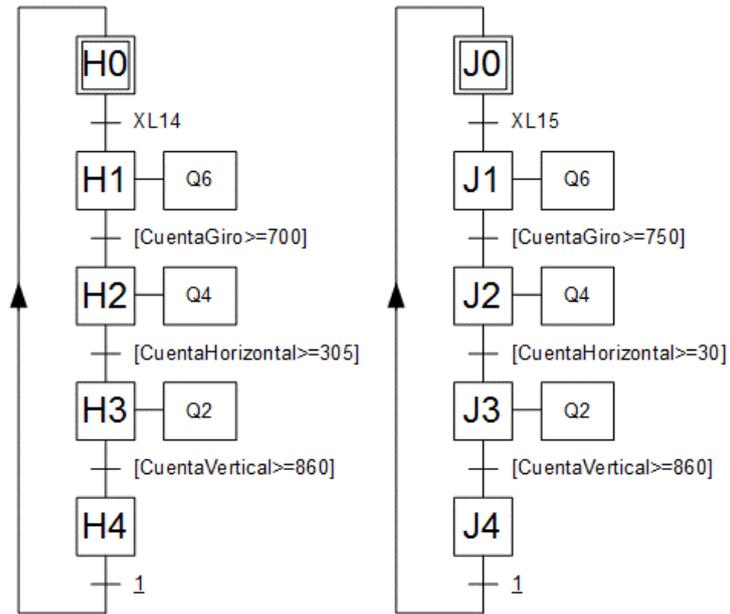


Figura 22. Movimientos del brazo hacia los contenedores finales de piezas tipo 2 (izquierda) y tipo 3 (derecha).

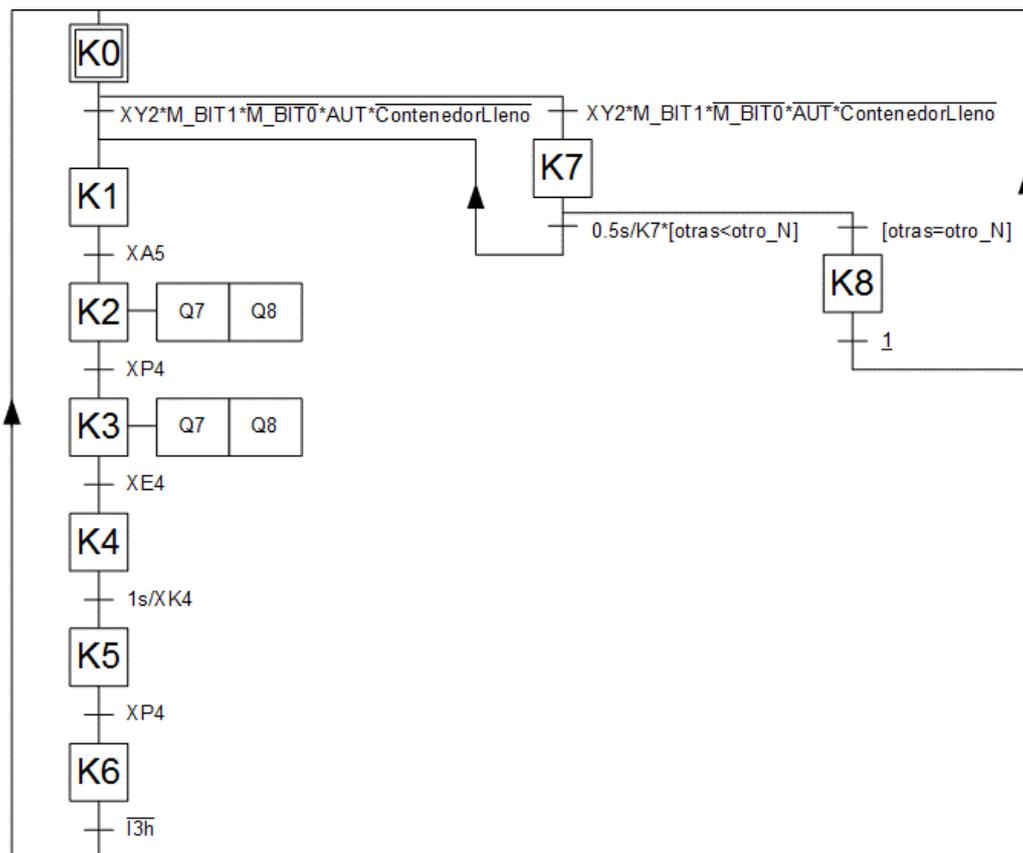


Figura 23. Funcionamiento del brazo en modo multiprocesado.

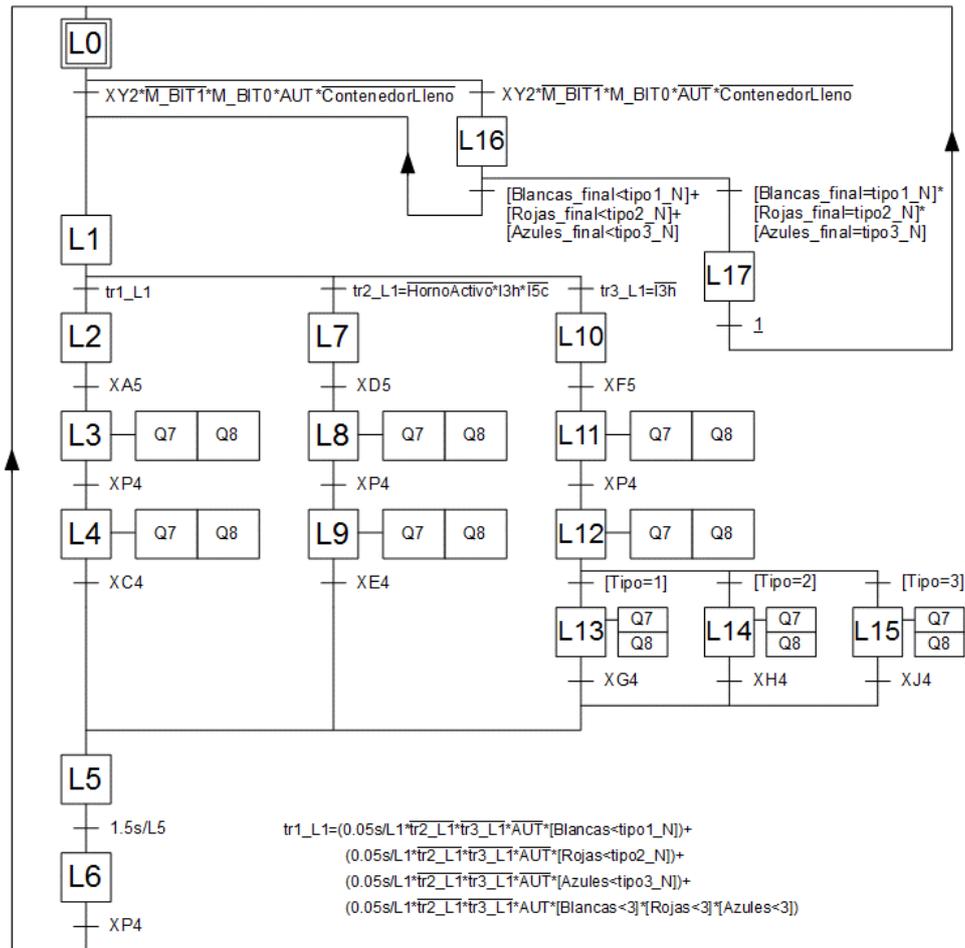


Figura 24. Funcionamiento del brazo en modo clasificado+multiprocesado.

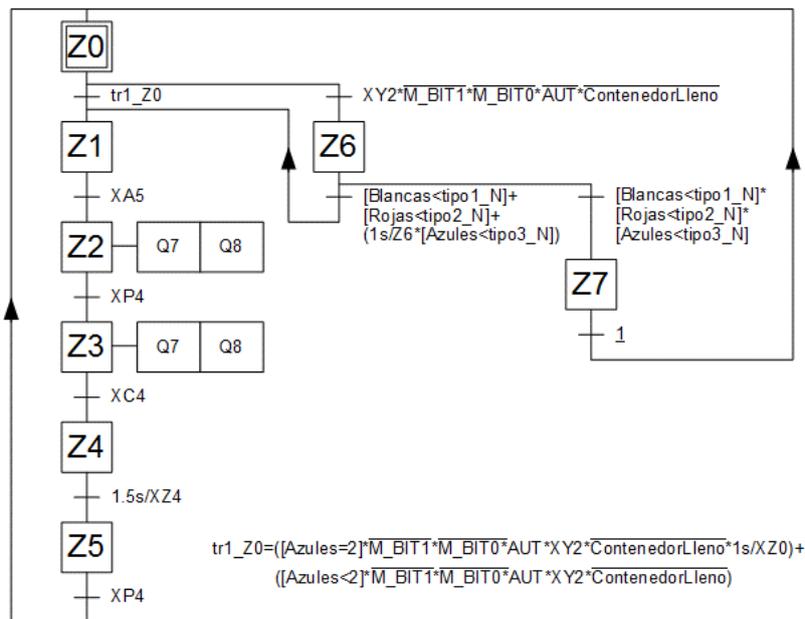


Figura 25. Funcionamiento del brazo en modo clasificado.

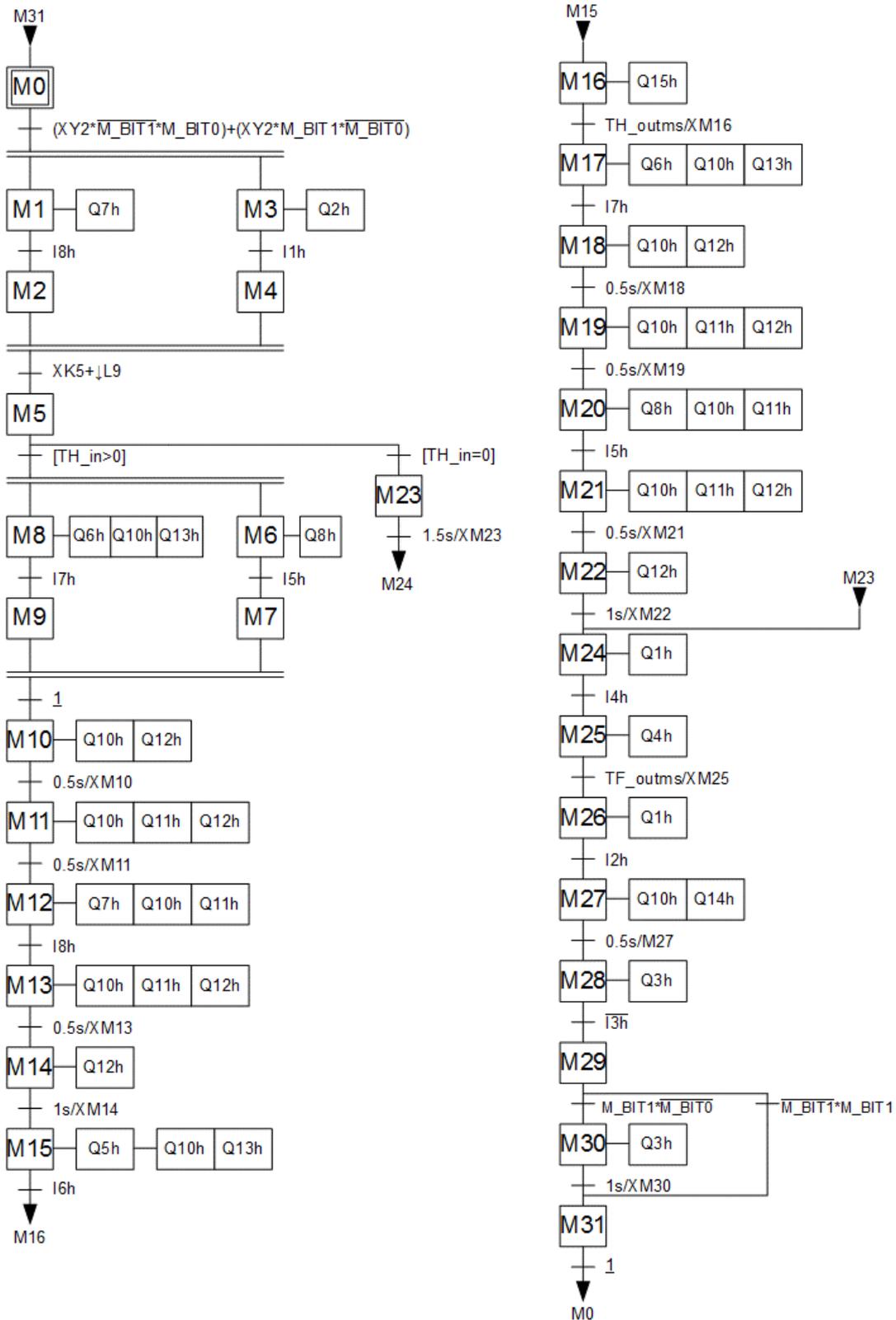


Figura 26. Funcionamiento de la estación de multiprocesado.

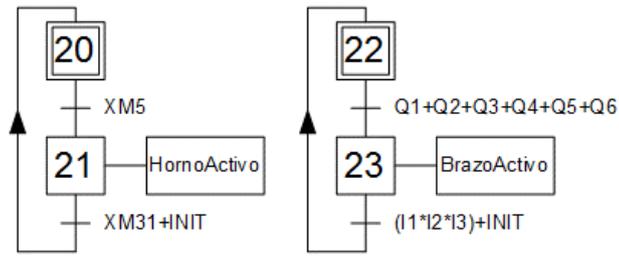


Figura 27. Activación de los estados del multiprocesado y el brazo.

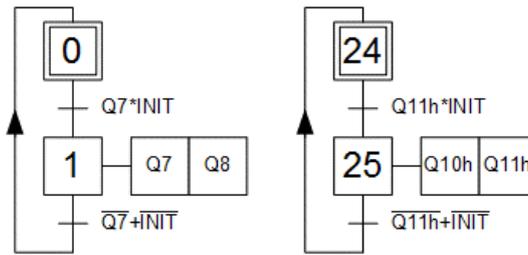


Figura 28. Mantenimiento de la succión en caso de estar actuando y que ocurra una emergencia.

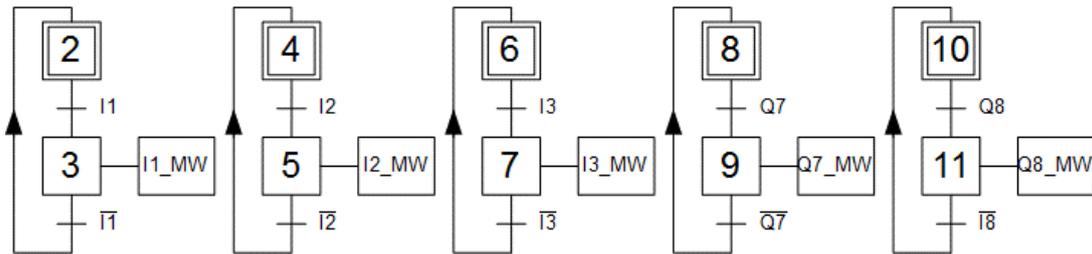


Figura 29. Activación de las variables tipo %MW asociadas a ciertas señales de interés del brazo.

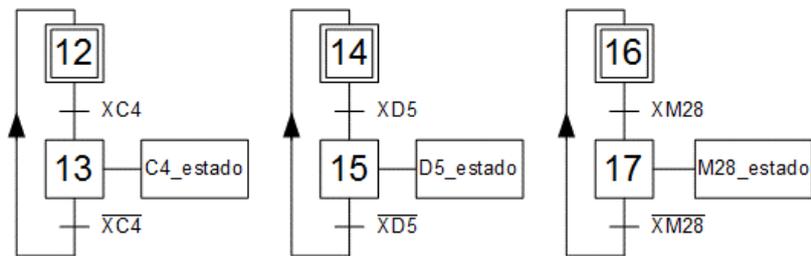


Figura 30. Activación de las variables asociadas a ciertos estados GRAFCET de interés.

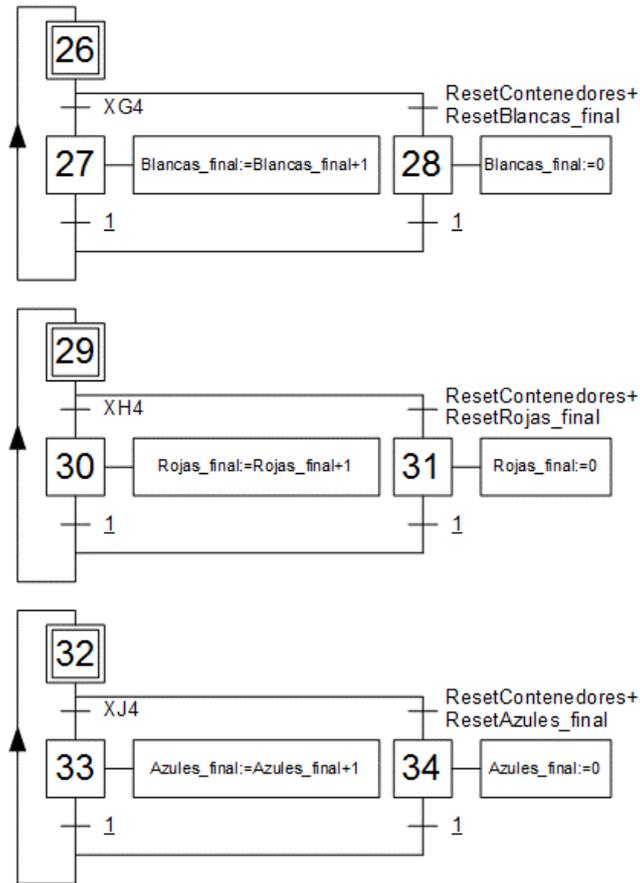


Figura 31. Contadores de las piezas finales de tipo 1, 2 y 3.

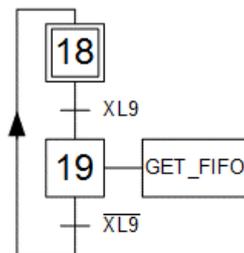


Figura 32. Activación de la señal de lectura de la pila para la función FIFO.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y
MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON
AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y
MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON
LABVIEW

DOCUMENTO N°4: MANUAL DE USUARIO

AUTOR: IVAN PASCUAL GARRIDO

TUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso académico: 2017/2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.	5
2. Puesta en marcha.	5
2.1. Montaje y conexión del equipo.	5
2.2. Unity Pro M.	7
2.3. NI OPC Servers.	8
2.4. LabVIEW.	8
3. Funcionamiento del SCADA.	9
3.1. Modos de funcionamiento.	11
3.2. Marcha y paro.	11
3.3. Emergencias.	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disposición del equipo.	5
Figura 2. Montaje del autómatas.	6
Figura 3. Pestaña PLC de la barra de herramientas.	7
Figura 4. Ventana de Exploración E/S.	7
Figura 5. Ventana de las propiedades del dispositivo.	8
Figura 6. Botón de ejecución del servidor OPC.	8
Figura 7. Botones de ejecución y detención del SCADA.	8
Figura 8. Esquema del proceso.	9
Figura 9. Panel de control.	10
Figura 10. Ejemplo de detención del SCADA por problema con pieza.	12
Figura 11. Ejemplo de detención del SCADA por contenedor lleno.	13

1. Introducción.

El presente documento constituye una guía rápida que permite al usuario conocer cómo controlar el sistema de manipulado, clasificado y multiprocesado de piezas.

Para ello, se detallarán tanto los pasos a seguir para la puesta en marcha del equipo y *software* necesario, como el orden de ejecución de estos. Asimismo, se dedicará un apartado al sistema de monitorización SCADA con las indicaciones y aclaraciones necesarias para poder comprender y controlar su funcionamiento.

2. Puesta en marcha.

2.1. Montaje y conexión del equipo.

La disposición de maquetas, contenedores y piezas que componen el sistema es la que muestra la *Figura 1*. Como se observa, los elementos se colocan paralelos, con cierta distancia entre ellos.

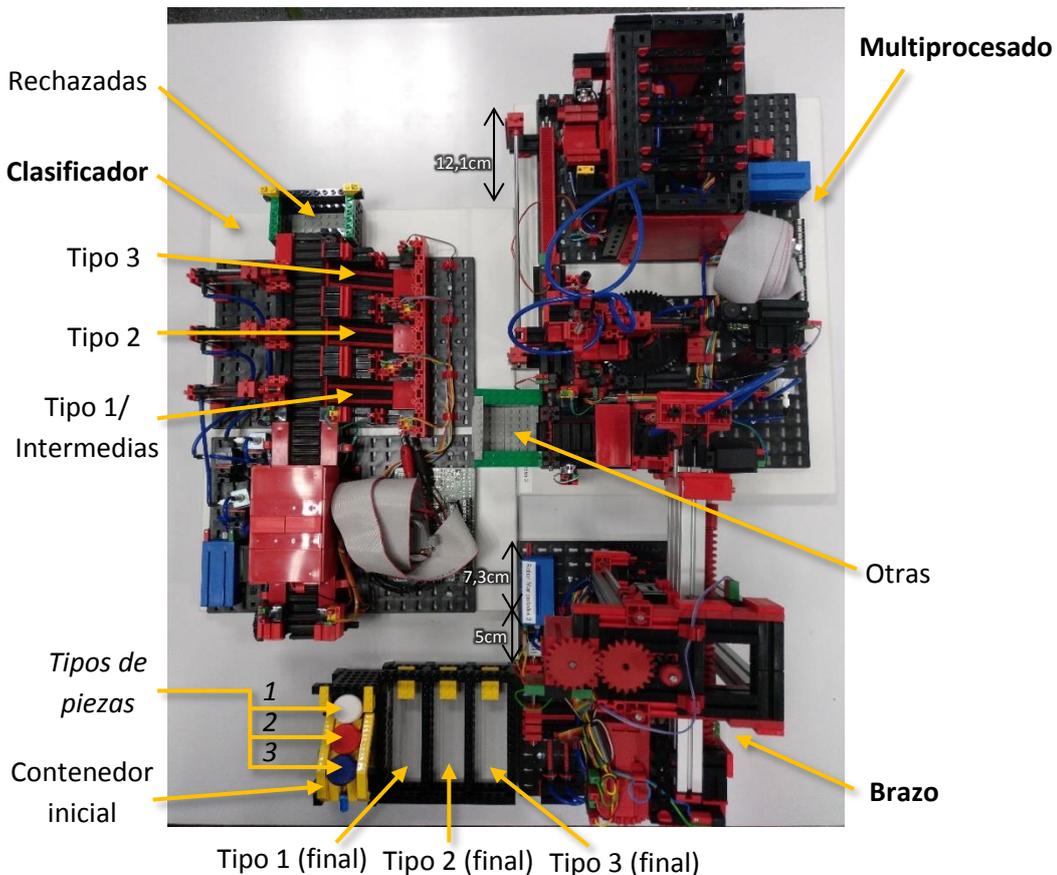


Figura 1. Disposición del equipo.

Realizado el montaje, se pasa a la conexión de las maquetas a los autómatas. En la *Figura 2* se indican los elementos del montaje del PLC sobre los que se va a hacer referencia.

Para el autómata del clasificador, se conectará el cable de alimentación de la maqueta mediante el cable de los Nodos CAN y se insertarán los cables tipo banana de la señal analógica en la entrada 1 y tierra, debiendo estar el interruptor correspondiente hacia la derecha, como muestra la imagen. En cuanto al segundo PLC, la estación de multiprocesado se conectará también a los Nodos CAN y el brazo al módulo DMY28FK.

Finalmente, en ambos casos, se deberá comprobar que el cable de red Ethernet esté conectado y se encenderá el autómata mediante el interruptor de ON/OFF.

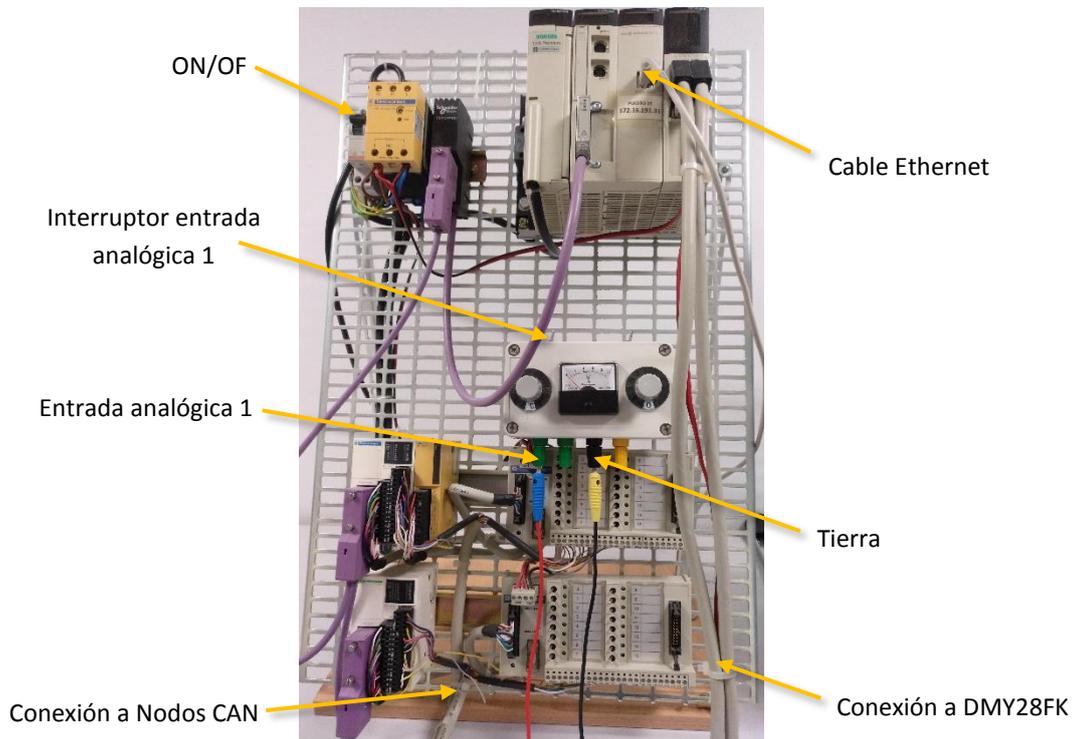


Figura 2. Montaje del autómata.

2.2. Unity Pro M.

Se abrirán los dos archivos de Unity Pro M: “PLC1 (clasificador)” y “PLC2 (brazo+multiprocesado)”. Sus nombres indican las estaciones que gestiona cada autómata, lo que se tendrá que tener en cuenta para el establecimiento de la dirección IP, que se realizará siguiendo la ruta que muestra la *Figura 3*. Una vez accedido a esta pestaña, se escribirá la dirección del PLC que gobierna el clasificador en el primer archivo y el correspondiente al que controla el brazo y el multiprocesado en el segundo.

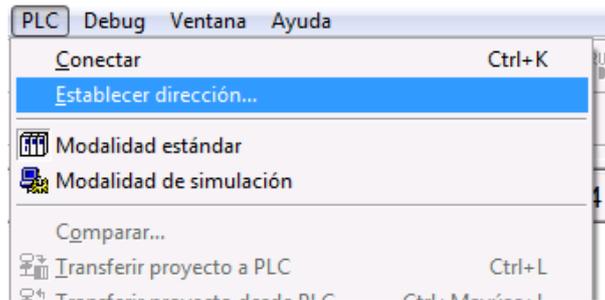


Figura 3. Pestaña PLC de la barra de herramientas.

El siguiente paso será configurar la comunicación entre ellos. Para conseguirlo, desde la *Vista estructural* del *Explorador de proyectos* que aparece a la izquierda del programa, se deberá seguir la siguiente ruta: *Comunicación > Redes > Ethernet_1*. Después se seleccionará la pestaña *Exploración de E/S* (*Figura 4*), y se establecerá la dirección IP del otro autómata, es decir, si se está configurando el archivo del PLC 1, se escribirá la dirección del PLC2, y viceversa.



Figura 4. Ventana de Exploración E/S.

Una vez establecido esto, ya se puede proceder a conectar el programa al autómata desde la misma pestaña de la *Figura 3*, pero en esta ocasión pulsando *Conectar*. A continuación, se pulsará *Transferir Proyecto a PLC* también desde esta pestaña y, finalizado este proceso, se deberá pulsar el botón *Run*, que también aparece en la *Figura 1* en la parte superior derecha. En este momento, el programa ya se estaría ejecutando.

Para finalizar dicha ejecución, se pulsará el botón *Stop* (a la derecha de *Run*) y, si este paro se debe a algún posible error detectado, se deberá pulsar *Inicializar* (también en la misma pestaña *PLC* de la *Figura 3*) y, seguidamente, se repetirá la secuencia del párrafo anterior.

Es necesario respetar el orden expuesto, pero el hecho de a qué archivo aplicarle esos pasos en primer lugar, es indiferente.

2.3. NI OPC Servers.

Es el momento de configurar el servidor OPC. Al igual que con Unity Pro M, a este programa también se le debe indicar los autómatas sobre los que va a actuar. Así pues, se desplegará el canal *PROCESO* y se pulsará dos veces sobre el dispositivo *PLC1*, de forma que aparecerá la ventana de la *Figura 5*, donde se escribirá la dirección IP del PLC que controla el clasificador. Lo mismo se repetirá para *PLC2*, pero esta vez con la dirección del PLC que controla el brazo y el multiprocesado.

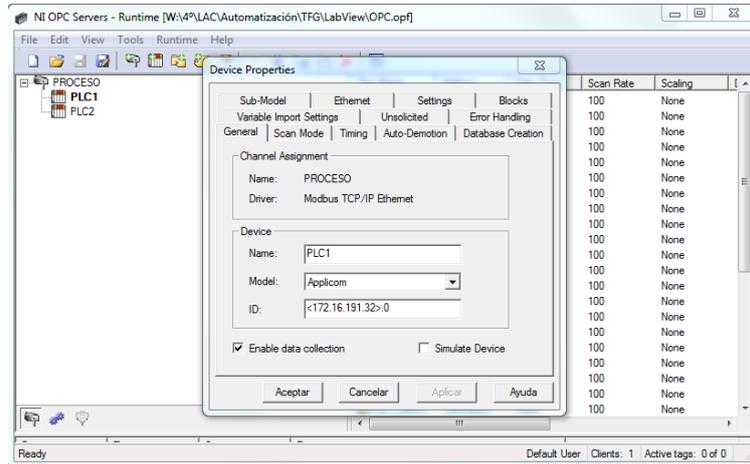


Figura 5. Ventana de las propiedades del dispositivo.

Para ejecutar el programa, solo será necesario pulsar el botón *Quick Client* de la *Figura 6* y cerrar la ventana emergente sin guardar.



Figura 6. Botón de ejecución del servidor OPC.

2.4. LabVIEW.

En el último apartado de la puesta en marcha, se trata la forma de activar la aplicación de monitorización del sistema, la cual, una vez abierto el archivo de extensión *.vi* que contiene el SCADA, se limitará a la pulsación del botón *RUN* de la *Figura 7*. Para la detención del funcionamiento del programa, se usará el botón *STOP*, también indicado en la misma figura.

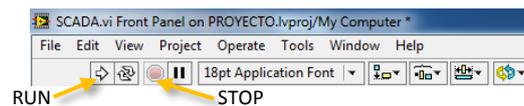


Figura 7. Botones de ejecución y detención del SCADA.

3. Funcionamiento del SCADA.

El SCADA está compuesto por un esquema simplificado de los tres subprocesos que solamente servirá de visualización y por un panel de control en el que, además de mostrarse información general del sistema, se podrán tomar decisiones sobre el funcionamiento.

Esquema del proceso

Presenta la apariencia de la *Figura 8*, que no es más que la representación simplificada de la disposición real mostrada en la *Figura 1* y que, en este caso, simboliza una situación irreal con los indicadores activos para expresar su significado:

- **Leds de color verde:** indican el estado de los actuadores de los subprocesos.
- **Leds de color azul:** indican el estado de los sensores de los subprocesos.
- **Barras de color naranja:** indican la cantidad de piezas que almacena cada contenedor.
- **Leds de “subproceso activo”:** son los indicadores que aparecen en la parte superior izquierda de cada subproceso y muestran su estado.
- **Tipo de pieza en tratamiento:** indica el número del tipo de pieza que se está multiprocesando o un 0 en caso de no estar trabajando en modo clasificado+multiprocesado.

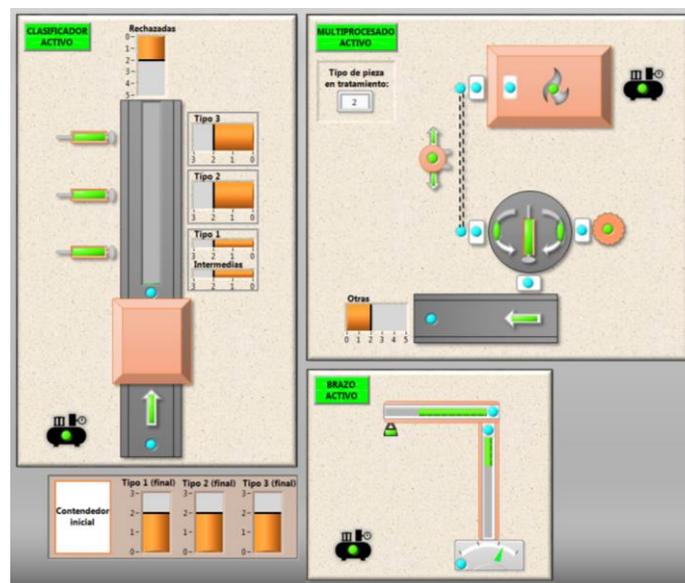


Figura 8. Esquema del proceso.

Panel de control

La parte izquierda de la *Figura 9* muestra el panel mediante el cual se controla el proceso real y cuyos efectos se reflejan en el esquema anteriormente comentado. A la derecha se han añadido las otras dos pesatañas de las que consta el panel, ya que no se pueden visualizar simultáneamente.

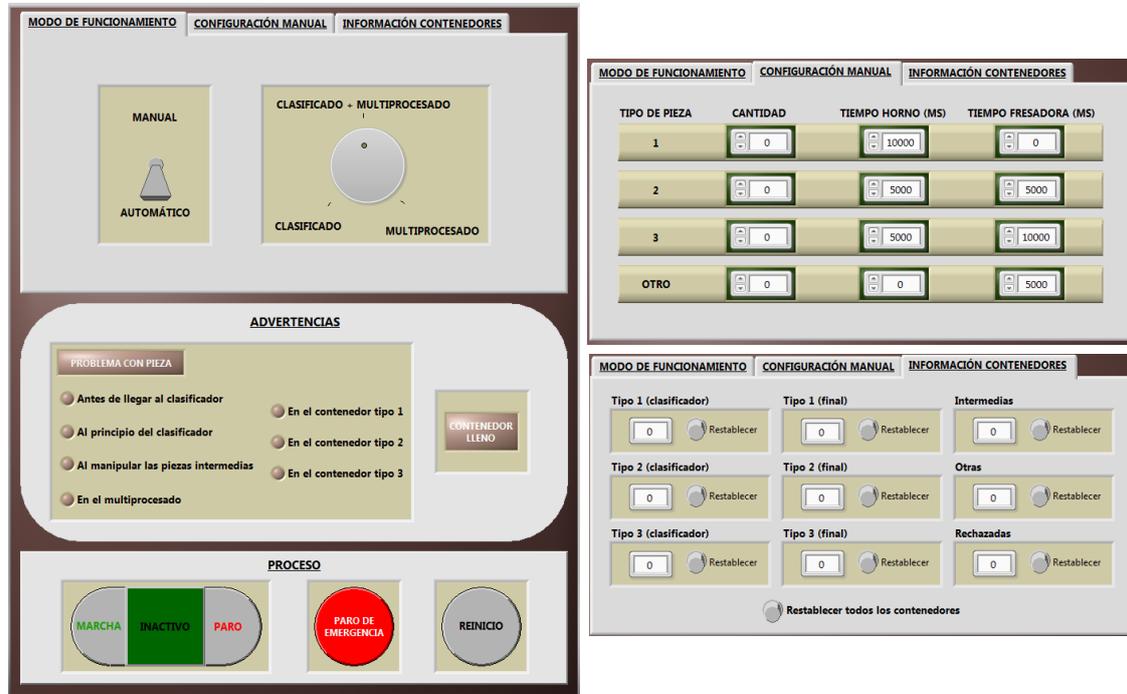


Figura 9. Panel de control.

A continuación, se tratarán las secciones destacadas que se pueden diferenciar en dicho panel:

- **Modo de funcionamiento.** Permite la elección de la forma de trabajar del proceso mediante el interruptor manual/automático y el selector de tratamiento de las piezas.
- **Configuración manual.** En caso de haber seleccionado el modo automático, se mostrarán los tiempos de recocado y fresado predeterminados para cada tipo de pieza. En caso contrario (manual), se activarán los leds indicando cuáles son los parámetros a configurar en función de lo establecido en el selector de tratamiento.
- **Información contenedores.** Resumen de la cantidad de piezas que almacena cada contenedor, y que se encuentra ya expresado gráficamente en el esquema. Permite indicar al sistema que los contenedores ya han sido vaciados mediante los botones de restablecimiento específicos o mediante el general, que actúa sobre todos ellos.
- **Advertencias.** Avisa de posibles contratiempos que impiden la evolución del proceso. Puede tratarse de un contenedor lleno o de un problema con las piezas, en cuyo caso se indicará el lugar aproximado donde ha sucedido.
- **Proceso.** Permite la gestión de las acciones sobre el estado del proceso, con una visualización de dicho estado.

3.1. Modos de funcionamiento.

Las posibles operaciones a las que serán sometidas las piezas se clasifican en los modos siguientes:

- **Clasificado:** permite la distinción y almacenamiento de piezas atendiendo a su tipo.
- **Clasificado+Multiprocesado:** aplicación de un proceso de recocido y/o fresado que variará su duración en función del tipo de pieza, y posterior almacenamiento correspondiente.
- **Multiprocesado:** permite el tratamiento mediante horno y/o fresadora de otro tipo de pieza diferente.

A su vez, cada uno de ellos se acabará de definir con la selección de los siguientes modos de trabajo:

- **Automático:** los parámetros temporales en el multiprocesado son los predeterminados por el sistema y el número de piezas a tratar es indefinido.
- **Manual:** permite determinar el número de piezas necesarias de cada tipo y, en su caso, los parámetros del multiprocesado.

3.2. Marcha y paro.

La secuencia recomendable para la **marcha** del proceso es:

- Selección del modo en la sección *Modo de funcionamiento*
- En caso de haberse elegido el modo manual, configuración de los parámetros en la sección *Configuración manual*. Si se ha optado por el automático, consulta opcional de los parámetros en dicha sección.
- Comprobación de que no existe ningún contratiempo en la sección *Advertencias*.
- Pulsación del botón de **MARCHA** en la sección *Proceso*.

Una vez activo, hay tres formas de **detención**:

- Si se está trabajando en modo automático, se deberá pulsar el botón de **PARO** de la sección *Proceso*, por lo que se acabarán de tratar las piezas que se encuentren en mitad proceso en ese momento.
- En modo manual, el proceso acabará de forma natural cuando se haya almacenado el número de piezas pedidas en su configuración, pero también se puede detener de la forma anterior.
- En ambos casos (manual y automático), se podrá pulsar el botón de **PARO DE EMERGENCIA** de la misma sección para la detención urgente, pero esto se comentará con más detalle en el siguiente subapartado, así como la detención forzada por parte del proceso.

3.3. Emergencias.

Existen dos posibles situaciones de emergencia detectables por el sistema:

- **Problema con pieza.** Se localiza un problema a la hora de tratar las piezas y se detiene el proceso completo inmediatamente, de forma que, si en ese momento alguna de ellas estaba siendo manipulada mediante succión, esta acción no cesará con tal de evitar su caída. Se activará el led de emergencia rojo que enmarca el panel de control, se indicará en la sección *Advertencias* el contratiempo y la zona aproximada donde ha acontecido, y la apariencia resultante será la de la *Figura 10*. La manera de proceder será: comprobar qué ha ocurrido en la planta real, asegurarse de que el equipo no sufre ningún desperfecto y está listo para volver a operar, y pulsar el botón de *REINICIO* de la sección *Proceso*. En ese momento se apagarán los leds de aviso y se desactivará la succión en caso de haberse mantenido activa, por lo que se deberá haber considerado la forma de recoger las piezas que se estaban manipulando sin que sufran ningún daño. A continuación, ya se puede volver a accionar el proceso mediante el botón de *MARCHA* de la sección *Proceso*.

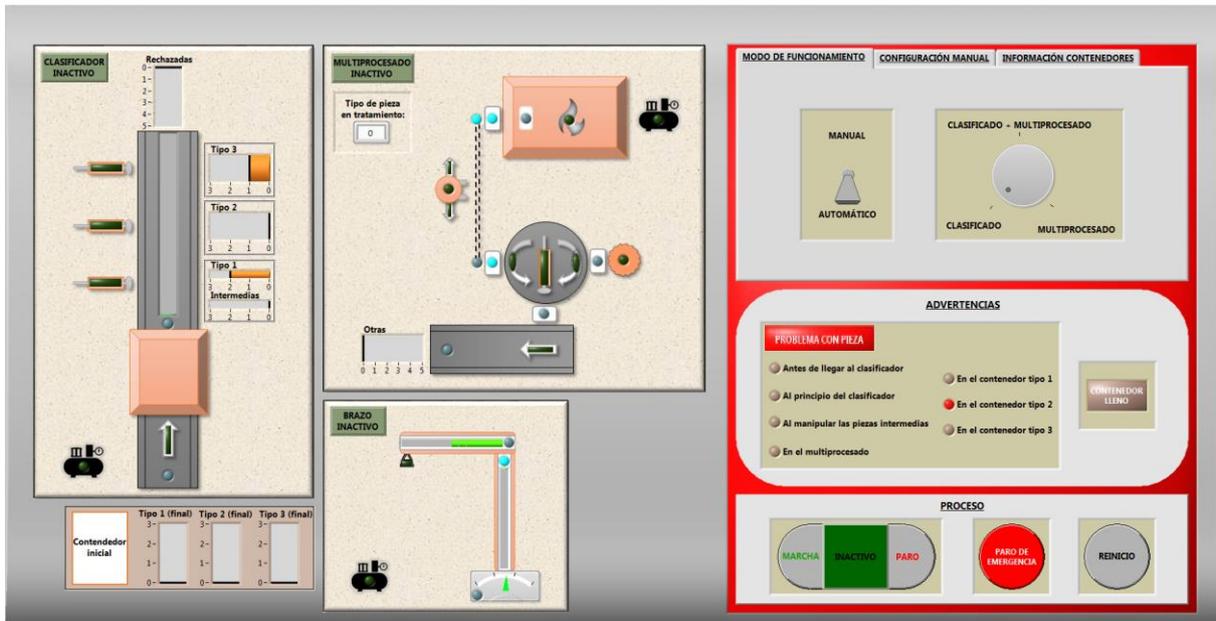


Figura 10. Ejemplo de detención del SCADA por problema con pieza.

- **Contenedor lleno.** Se ha completado la capacidad de alguno de los contenedores y el proceso se detiene, dejando de producir piezas temporalmente (no se trata de una parada inmediata). El aspecto del SCADA será el de la *Figura 11*, donde esta vez solo se señalará el tipo de contratiempo en la sección *Advertencias*, pero no se activará el led que enmarca el panel por considerarse de una gravedad menor. En este caso, la manera de proceder será: vaciar el contenedor en cuestión y indicarlo al sistema mediante el correspondiente botón de restablecimiento de la sección *Información contenedores* (momento en el cual se apagará el led de advertencia) y pulsar el botón de *MARCHA* de la sección *Proceso* para iniciar de nuevo la producción.

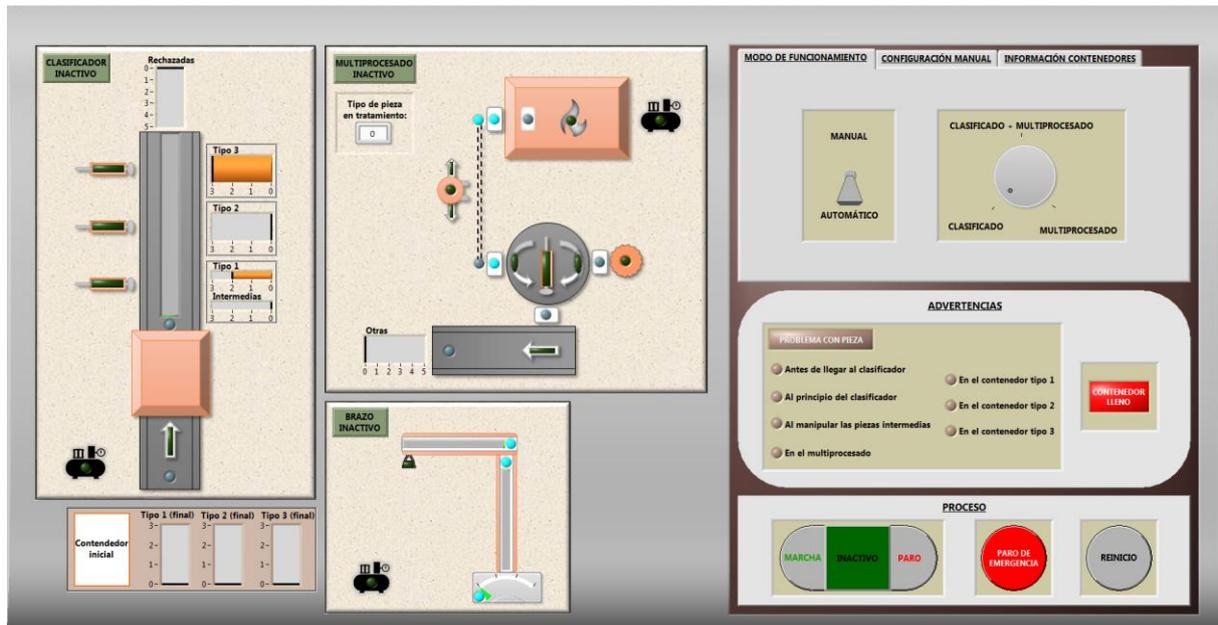


Figura 11. Ejemplo de detención del SCADA por contenedor lleno.

La tercera situación es el **paro de emergencia**, que contempla aquellos casos en los que se necesita detener el funcionamiento de manera inmediata por algún tipo de error que no es capaz de advertir el sistema. Se ejecuta mediante la pulsación del botón *PARO DE EMERGENCIA* de la sección *Proceso*, activa el led que enmarca el panel de control (por lo que la apariencia resultante sería la de la *Figura 10* pero sin los leds de la sección *Advertencias* encendidos) y la manera de proceder en ese momento será la misma que para el caso de un problema con las piezas.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN
SISTEMA DE MANIPULADO, CLASIFICADO Y
MULTIPROCESADO DE PIEZAS CON
AUTÓMATAS TSX PREMIUM Y
MONITORIZACIÓN MEDIANTE SCADA CON
LABVIEW

DOCUMENTO N°5: PRESUPUESTO

AUTOR: IVAN PASCUAL GARRIDO

TUTOR: RAÚL SIMARRO FERNÁNDEZ

Curso académico: 2017/2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Cuadro de mano de obra.....	5
2. Cuadro de materiales.	6
3. Cuadro de unidades de obra.	8
4. Presupuesto de ejecución material.....	10
5. Resumen del presupuesto.....	11

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de mano de obra.....	5
Tabla 2. Cuadro de materiales físicos.....	6
Tabla 3. Cuadro de materiales informáticos.	7
Tabla 4. Cuadro de materiales.....	7
Tabla 5. Cuadro de la unidad de obra 1.	8
Tabla 6. Cuadro de la unidad de obra 2.	8
Tabla 7. Cuadro de la unidad de obra 3.	8
Tabla 8. Cuadro de unidad de obra 4.	9
Tabla 9. Cuadro de unidad de obra 5.	9
Tabla 10. Presupuesto de ejecución material.	10
Tabla 11. Resumen del presupuesto.	11

1. Cuadro de mano de obra.

Las retribuciones salariales correspondientes a la mano de obra se encuentran resumidas en la *Tabla 1*, donde se ha tenido en cuenta que el proyecto está realizado por distintos profesionales, pero con la misma titulación, por lo que el total de horas de trabajo quedará representado por un único actor.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€/h)	CANTIDAD (h)	IMPORTE (€)
MO01	Graduado en ingeniería en tecnologías industriales	18	300	5.400
TOTAL (€):				5.400

Tabla 1. Cuadro de mano de obra.

2. Cuadro de materiales.

En este apartado se reflejan los precios correspondientes al material utilizado a lo largo del proyecto. Esto incluye tanto al equipo físico (*hardware*) como a los paquetes de programación (*software*), que se tratarán por separado.

Hardware

Los elementos físicos empleados, y que recoge la *Tabla 2*, han sido: un ordenador portátil con el que se han estudiado las distintas alternativas posibles para desarrollar la solución y redactado todos los documentos del proyecto; un ordenador de sobremesa mediante el cual se ha llevado a cabo la implementación del automatismo, del servidor OPC y del sistema SCADA; y, por último, los autómatas escogidos en el estudio de alternativas (junto con material auxiliar necesario como los Nodos CAN) y que gobiernan el funcionamiento del proceso.

Para el precio unitario, se ha considerado que el ordenador portátil y el de sobremesa tienen un periodo de amortización de 6 y 8 años respectivamente, funcionando ambos durante 221 días al año y 8 horas al día. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta ninguna amortización para el autómata, ya que se carga al cliente para realizar el trabajo.

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO (€)	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MF01	h	Ordenador de sobremesa	760	0,07	180	12,6
MF02	h	Ordenador portátil	1.300	0,09	120	10,8
MF03	u	PLC Modicon TSX Premium	1.500	1.500	2	3.000
TOTAL (€):						3.023,4

Tabla 2. Cuadro de materiales físicos.

Software

Con relación a los entornos de programación, se adjunta la *Tabla 3* con los programas surgidos del estudio de alternativas y que cubren las principales fases del proyecto. Adicionalmente, se ha incluido el paquete Microsoft Office 365, puesto que también ha sido necesario para la redacción y tratamiento del contenido de los documentos.

Asimismo, también se tiene en cuenta un uso de 221 días al año durante 8 horas al día para la amortización, pero, en este caso, se aplica sobre el precio de las licencias anuales:

- Licencia Unity Pro M: 1.186,84 €/año
- Licencia National Instruments OPC Servers: 1.257 €/año
- Licencia LabVIEW Base: 399 €/año
- Licencia Microsoft Office 365 Personal: 69 €/año

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MI01	h	Unity Pro M	0,67	110	73,84
MI02	h	NI OPC Servers	0,71	20	14,22
MI03	h	LabVIEW Base	0,23	65	14,67
MI04	h	Microsoft Office 365	0,04	70	2,73
TOTAL (€):					105,46

Tabla 3. Cuadro de materiales informáticos.

Para conocer el importe total del material completo, se realiza la suma de los dos cuadros anteriores en la *Tabla 4*.

DESCRIPCIÓN	IMPORTE (€)
Material físico	3.023,4
Material informático	105,46
TOTAL (€):	3.128,86

Tabla 4. Cuadro de materiales.

3. Cuadro de unidades de obra.

A continuación, se dividirá la realización del proyecto en cinco capítulos que constituirán las diferentes unidades de obra (*Tablas de la 5 a la 9*).

Capítulo 1: Estudio de alternativas. Planteamiento del trabajo y análisis de las posibles soluciones.

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MO01	h	Graduado en ingeniería en tecnologías industriales	18	15	270
MF02	h	Ordenador portátil	0,07	15	1,07
	%	Costes directos complementarios		3	8,13
TOTAL (€):					279,21

Tabla 5. Cuadro de la unidad de obra 1.

Capítulo 2: Diseño del automatismo. Representación mediante lenguaje gráfico de la evolución del sistema automático para cumplir con el funcionamiento deseado del proceso.

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MO01	h	Graduado en ingeniería en tecnologías industriales	18	35	630
MF02	h	Ordenador portátil	0,07	35	2,51
	%	Costes directos complementarios		3	18,98
TOTAL (€):					651,48

Tabla 6. Cuadro de la unidad de obra 2.

Capítulo 3: Implementación del automatismo. Programación de los autómatas mediante *software* para el control del proceso.

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MO01	h	Graduado en ingeniería en tecnologías industriales	18	110	1.980
MF01	h	Ordenador de sobremesa	0,09	110	10,11
MI01	h	Unity Pro M	0,67	110	73,84
MF03	u	PLC Modicon TSX Premium	1.500	2	3.000
	%	Costes directos complementarios		3	151,92
TOTAL (€):					5.215,87

Tabla 7. Cuadro de la unidad de obra 3.

Capítulo 4: Desarrollo del sistema de monitorización. Creación de una aplicación de visualización y gestión del sistema mediante la utilización de datos compartidos a través de un servidor.

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MO01	h	Graduado en ingeniería en tecnologías industriales	18	70	1.260
MF01	h	Ordenador de sobremesa	0,09	70	6,43
MI03	h	LabVIEW Base	0,23	65	14,67
MI02	u	NI OPC Servers	0,71	20	14,22
	%	Costes directos complementarios		3	38,86
				TOTAL (€):	1.334,18

Tabla 8. Cuadro de unidad de obra 4.

Capítulo 5: Tratamiento de la información. Recopilación y análisis de los resultados obtenidos y redacción de los documentos del proyecto.

CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (€)	RENDIMIENTO	IMPORTE (€)
MO01	h	Graduado en ingeniería en tecnologías industriales	18	70	1.260
MF02	h	Ordenador portátil	0,07	70	5,02
MI04	h	Microsoft Office 365	0,04	70	2,73
	%	Costes directos complementarios		3	38,03
				TOTAL (€):	1.305,78

Tabla 9. Cuadro de unidad de obra 5.

4. Presupuesto de ejecución material.

Una vez conocido el precio cada una de las unidades de obra, se adjunta el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), que constituye el importe total del coste de los materiales y de la mano de obra necesarios para la ejecución del proyecto (*Tabla 10*).

UNIDAD DE OBRA	DESCRIPCIÓN	IMPORTE (€)
1	Estudio de alternativas	279,21
2	Diseño del automatismo	651,48
3	Implementación del automatismo	5.215,87
4	Desarrollo del sistema de monitorización	1.334,18
5	Tratamiento de la información	1.305,78
TOTAL (€):		8.786,52

Tabla 10. Presupuesto de ejecución material.

5. Resumen del presupuesto.

Para concluir, se expone un resumen del presupuesto final (*Tabla 11*), que incluye el Presupuesto de Ejecución Material (PEM), el Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC) y el Presupuesto Base de Licitación (PBL).

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	8.786,52 €
13% Gastos Generales	1.142,25 €
6% Beneficio Industrial	527,19 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	10.455,96 €
21% IVA	2.195,75 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN	12.651,71 €

Tabla 11. Resumen del presupuesto.

Asciende el presente presupuesto a la expresada cantidad de:

DOCE MIL SEISCIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS CON SETENTA Y UN CÉNTIMOS

