



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**RETROFITTING DEL SISTEMA DE MOTORIZACIÓN DE UN MANIPULADOR
ELECTRONEUMÁTICO CLASIFICADOR DE PIEZAS POR PESO SERVO CONTROLADO
CON HW SIEMENS S7-1500**

Autor:

MARTÍN MARTÍN, SANDRA

Tutor :

**Poncela Méndez, Alfonso Valentín
Dpt: Ingeniería de Sistemas y Automática**

Valladolid, Julio, 2018



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**RETROFITTING DEL SISTEMA DE MOTORIZACIÓN DE UN MANIPULADOR
ELECTRONEUMÁTICO CLASIFICADOR DE PIEZAS POR PESO SERVO CONTROLADO
CON HW SIEMENS S7-1500**

Autor:

MARTÍN MARTÍN, SANDRA

Tutor :

**Poncela Méndez, Alfonso Valentín
Dpt: Ingeniería de Sistemas y Automática**

Valladolid, Julio, 2018

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de fin de grado es la elaboración de un Interfaz Hombre Máquina (HMI) para el control y supervisión de un sistema electroneumático clasificador de piezas por peso. Dicho sistema se encuentra en el laboratorio del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid (EII Uva).

Con la implementación del HMI se pretende que el usuario tenga acceso no solo a la botonera física, sino que además pueda manipular y acceder al resto de variables tanto digitales como analógicas (peso, posiciones reales del manipulador sobre la guía, modos de funcionamiento...). Es decir, se le da al usuario la posibilidad de establecer un diálogo con la máquina en cuestión, pudiendo transmitir órdenes y visualizar la situación del sistema a tiempo real desde una pantalla.

Para conseguirlo, se ha empleado la moderna herramienta de ingeniería "TIA Portal V14" de Siemens que permite crear un entorno gráfico muy intuitivo, unificando todas las tareas de control, visualización y accionamiento.

ABSTRACT

The aim of the TFG is the development of a Human Machine Interface (HMI) for the control and supervision of an electropneumatic system that classifies parts by weight. This system is located in the laboratory of the Department of Systems Engineering and Automation of the School of Industrial Engineers of the University of Valladolid (EII Uva).

With the implementation of the HMI it is intended that the user has access not only to the physical button, but can manipulate and access the rest of the variables both digital and analog (weight, real positions of the manipulator on the guide, operating modes ..). That is, the user can be used to establish a dialogue with the machine in question, being able to send orders and visualize the situation of the system in real time from a screen.

To achieve this, the modern engineering tool "TIA Portal V14" from Siemens has been used to create a very intuitive graphic environment, unifying all control, visualization and activation tasks.

KEYWORDS

- PLC
- Control
- Supervisión
- HMI
- Automation

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría empezar expresando mi más sincero agradecimiento al Profesor Dr. Ingeniero Industrial D. Alfonso Poncela Méndez, director del presente trabajo fin de grado, por su atención en todo momento y por la gran aportación de conocimientos y oportunidades de aplicación de los mismos durante el periodo de realización del trabajo de fin de grado.

Por otra parte, aprovechar para agradecer a mis padres y mi hermana toda la ayuda, el cariño y la comprensión que he encontrado en ellos, por servir siempre de refugio y por sus ánimos en los momentos más difíciles.

Finalmente, agradecer a Mario toda la confianza depositada en mí, así como su apoyo y cariño siempre presentes, volcándose en encontrar mi felicidad y ayudándome día a día a construir mis sueños.

INDICE

INDICE.....	5
1 OBJETIVOS.....	11
2 INTRODUCCIÓN.....	13
2.1 Descripción del sistema actual.....	14
2.1.1 Guía lineal.....	14
2.1.2 Sistema neumático.....	15
2.1.3 Manipulador.....	16
2.1.4 Puesto de llegada de piezas.....	19
2.1.5 Puesto de pesaje:.....	19
2.1.6 Puesto de salida:.....	20
2.1.7 Armario eléctrico.....	21
2.1.8 Red Profinet.....	25
2.1.9 Seguridades:.....	25
2.1.10 HMI.....	27
2.2 Modos de funcionamiento.....	30
2.2.1 Modo manual.....	31
2.2.2 Modo automático.....	31
3 DESARROLLO DEL TFG.....	33
3.1 Implantación del modelo 3D.....	33
3.1.1 Descripción del modelo 3D.....	34
3.2 Programación en TIA Portal.....	37
3.2.1 Bloque de comunicación PLC-HMI.....	37
3.2.2 Configuración de una pantalla HMI.....	44
3.2.3 Insertar variables en el HMI.....	48
3.2.4 Crear una pantalla.....	49
3.2.5 Crear una plantilla.....	50
3.2.6 Inserción de elementos.....	51
3.2.7 Vincular la plantilla a las pantallas del HMI.....	61
3.2.8 Lista de gráficos.....	62
3.2.9 Avisos HMI.....	65
3.2.10 Animaciones en el HMI.....	69
3.3 Pantallas diseñadas.....	71

3.3.1	Principal.....	71
3.3.2	Armario de control	72
3.3.3	Manipulador	74
3.3.4	Guía lineal.....	75
3.3.5	Báscula.....	76
3.3.6	Seguridades	77
3.4	Simulación del HMI en TIA Portal	78
3.5	Conexión con el PLC	79
3.6	Puesta en servicio.....	81
4	ESTUDIO ECONÓMICO	83
4.1	Opción simulación del sistema desde el monitor y PC.....	83
4.1.1	Costes directos	83
4.1.2	Costes indirectos.	85
4.1.3	Coste total del HMI	85
4.1.4	Coste de venta.....	85
4.2	Opción con pantalla HMI KTP1200 Basic PN integrada.....	86
4.2.1	Costes directos	86
4.2.2	Costes indirectos.	88
4.2.3	Coste total del HMI	88
4.2.4	Coste de venta.....	88
5	CONCLUSIONES	89
6	LINEAS FUTURAS	91
7	REFERENCIAS.....	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Vista general.	14
Figura 2 : Compresor de aire.	15
Figura 3 : Unidad de regulación y control de aire.	16
Figura 4 : Apertura y cierre de garra	16
Figura 5 : Giro 90°- 0° del soporte de la garra.	17
Figura 6 : Bajar y subir soporte de la garra.	17
Figura 7 : Avance-retroceso del cilindro de guías	18
Figura 8: Electroválvulas SMC y bornero E/S.	18
Figura 9 : Alimentador de piezas	19
Figura 10 : Célula de carga	19
Figura 11 : Báscula	20
Figura 12 : Puesto de deposición	20
Figura 13: Botonera	21
Figura 14 : Variador Sinamics	22
Figura 15: Autómata y fuente de alimentación	23
Figura 16: Armario eléctrico	24
Figura 17: Focélula	25
Figura 18 : Final de carrera.	26
Figura 19 : Setas de emergencia	26
Figura 20 : PC con HMI antiguo	27
Figura 21 : Herramienta de control	28
Figura 22 : Menú de posiciones de los actuadores	28
Figura 23 : Pantalla de programa automático	29
Figura 24 : Selector Manual/Automático	30
Figura 25: Modelo 3D-Vista general del sistema	34
Figura 26: Modelo 3D-Puesto de alimentación	34
Figura 27: Modelo 3D: Puesto de pesaje.	35
Figura 28 : Modelo 3D-Manipulador	36
Figura 29 : Modelo 3D: Salida de piezas	36
Figura 30 : Bloque de comunicación	37
Figura 31 : Puesta en marcha del equipo	40
Figura 32 : Accionamiento de movimiento de la guía	40
Figura 33 : Señalización de piloto armario	41
Figura 34 : Estado de los sensores de la garra	42
Figura 35 : Estado de las seguridades	42
Figura 36 : Emergencia HMI	43
Figura 37 : Cadena de seguridades	43
Figura 38 : Agregar dispositivo	44
Figura 39 : Elección de pantalla HMI	44
Figura 40 : Pantalla HMI KTP1200 Basic	45
Figura 41 : Conexión con el PLC	45
Figura 42 : Pantallas del proyecto	46
Figura 43 : Ajuste de propiedades de las pantallas	46
Figura 44 : HMI en el árbol de proyecto	47
Figura 45 : Insertar variables en la pantalla	48
Figura 46 : Variables en HMI	48
Figura 47 : Insertar pantalla	49

<i>Figura 48 : Creación plantilla</i>	<i>50</i>
<i>Figura 49 : Modificación de las propiedades de un botón</i>	<i>51</i>
<i>Figura 50 : Modificación de las propiedades en la plantilla</i>	<i>52</i>
<i>Figura 51 : Vincular botón con pantalla</i>	<i>52</i>
<i>Figura 52 : Botones</i>	<i>53</i>
<i>Figura 53 : Introducir selector</i>	<i>54</i>
<i>Figura 54 : Selector Manual/Automático</i>	<i>54</i>
<i>Figura 55 : Selector-Configuración apariencia</i>	<i>55</i>
<i>Figura 56 : Eventos-Vincular a un proceso</i>	<i>56</i>
<i>Figura 57 : Eventos-Vincular a un proceso</i>	<i>56</i>
<i>Figura 58 : Insertar botón</i>	<i>57</i>
<i>Figura 59 : Vincular variable a un botón</i>	<i>58</i>
<i>Figura 60 : Inserción de una imagen</i>	<i>59</i>
<i>Figura 61 : Plantilla general</i>	<i>60</i>
<i>Figura 62 : Vincular la plantilla a una imagen del HMI</i>	<i>61</i>
<i>Figura 63 : Insertar campo E/S</i>	<i>62</i>
<i>Figura 64 : Configuraciones del manipulador</i>	<i>63</i>
<i>Figura 65 : Insertar lista de gráficos</i>	<i>63</i>
<i>Figura 66 : Lista de gráficos</i>	<i>64</i>
<i>Figura 67 : Dirección absoluta de las variables en un DB</i>	<i>65</i>
<i>Figura 68 : Avisos HMI – Programación</i>	<i>66</i>
<i>Figura 69 : Avisos HMI</i>	<i>66</i>
<i>Figura 70 : Avisos HMI</i>	<i>67</i>
<i>Figura 71 : Visor de avisos</i>	<i>68</i>
<i>Figura 72 : Animaciones en HMI</i>	<i>69</i>
<i>Figura 73 : Animaciones HMI</i>	<i>70</i>
<i>Figura 74 : Pantalla principal</i>	<i>71</i>
<i>Figura 75 : Armario de control</i>	<i>72</i>
<i>Figura 76 : Manipulador</i>	<i>74</i>
<i>Figura 77 : Guía lineal</i>	<i>75</i>
<i>Figura 78 : Báscula</i>	<i>76</i>
<i>Figura 79 : Seguridades</i>	<i>77</i>
<i>Figura 80 : Simular HMI</i>	<i>78</i>
<i>Figura 81 : Simulador run time del HMI</i>	<i>78</i>
<i>Figura 82 : Dispositivos y redes</i>	<i>79</i>
<i>Figura 83 : Direcciones Ethernet</i>	<i>80</i>
<i>Figura 84 : Dirección IP del HMI</i>	<i>80</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Entradas al HMI</i>	38
<i>Tabla 2 : Salidas HMI</i>	39
<i>Tabla 3 : Avisos HMI</i>	65
<i>Tabla 4 : Direccionamiento de bits</i>	67

1 OBJETIVOS

El sistema que se desea supervisar, y que más adelante será descrito detalladamente, ha sido sometido recientemente a un retrofitting [1] con el que se consiguió actualizar los equipos de los que antiguamente constaba, a falta de la implantación de un nuevo HMI. Este último, había sido elaborado en Visual Basic [2], aplicación a medida del proyecto original no usable para la solución actual, por lo que con la última renovación a la que se sometió al sistema el interfaz queda inoperativo. Así, surge la necesidad de sustituir este antiguo HMI por otro que emplee herramientas tecnológicas más actuales.

Se ha decidido emplear como herramienta de programación el moderno sistema de ingeniería TIA Portal V14 de Siemens, con el que conseguiremos un mayor número de recursos y un entorno gráfico mucho más intuitivo y sencillo que el que teníamos antes, haciendo posible el diálogo interactivo entre operador y máquina, transmisión órdenes de funcionamiento y visualización de la situación del sistema en tiempo real.

Los objetivos que se marcaron al inicio del trabajo fin de grado fueron:

- Diseñar al menos 7 pantallas que tuvieran las siguientes funcionalidades:
 1. Pantalla general con acceso a las distintas partes del sistema.
 2. Pantalla con la misma funcionalidad que el frontal del armario.
 3. Pantalla con representación del manipulador e indicación el estado de sus sensores.
 4. Pantalla con representación de la guía y en qué posición está la mesa (indicación numérica del sensor de posición).
 5. Pantalla con representación de la báscula y visualización numérica de la última lectura hecha.
 6. Representación del puesto de llegada de pieza (con o sin pieza).
 7. Estado de las fotocélulas y paradas de emergencia.
- Diseñar un modelo 3D del equipo, para conseguir que visualización del manipulador, de la posición de la guía y de las zonas de trabajo obtengan una representación muy semejante al sistema real, haciendo del HMI un sistema de supervisión sumamente intuitivo y original.

2 INTRODUCCIÓN

Hoy en día una máquina no se limita tan sólo a producir, sino que lo ha de hacer de una forma inteligente y energéticamente eficiente, además de que ha de ser capaz de aportar información del proceso a varios rangos de la pirámide de mandos de planta. Aquí es donde entra en juego la “Automatización industrial”, disciplina de la ingeniería que hace uso de sensores, transmisores de campo, sistemas de control y supervisión, recolección de datos y aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

En torno a dicha disciplina se desarrolla el presente trabajo de fin de grado. Más concretamente, se centrará en la supervisión de un sistema clasificador de piezas, haciendo posible un dialogo interactivo entre el operador y el proceso.

Antes de nada, es necesario describir dos conceptos a los que se hará referencia constantemente a lo largo del desarrollo del trabajo de fin de grado:

- PLC o Controlador Lógico Programable: dispositivo electrónico o computadora digital de tipo industrial que permite la automatización de procesos, especialmente industriales, debido a que controla tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones.
- Interfaz hombre máquina (HMI del inglés *Human Machine Interface*): tal y como su nombre indica, es la interfaz de usuario en un proceso o sistema de control de fabricación. Proporciona una representación visual del sistema basada en gráficos y hace posible su monitoreo.

A continuación se describe el sistema del que actualmente se dispone como resultado del retrofitting, así como el antiguo HMI anterior a esta última actualización.

2.1 Descripción del sistema actual

El proceso que se desea monitorizar por medio del HMI consta de un manipulador electroneumático servocontrolado que se desplaza a lo largo una guía lineal y operará de la siguiente manera:

1. Si el modo de funcionamiento seleccionado es el automático, el sistema habrá realizar una secuencia programada.
2. Si el modo de funcionamiento seleccionado es el manual, se le da al usuario de manipular los actuadores a su elección.



Figura 1 : Vista general.

Más adelante se explican los modos de funcionamiento detalladamente, pero antes es conveniente conocer los elementos que forman el equipo y que intervendrán en los modos de operación de éste.

2.1.1 Guía lineal.

El equipo consta de una guía lineal BOSCH de 2500 mm eje X (Figura 1), cuya mesa se encuentra ligada a una correa dentada. El movimiento de esta correa se realiza a través de dos poleas, una en cada extremo de la guía, que se encuentra calada a un servomotor SIMOTICS S-1FK7 de 600V síncrono con una potencia de 0.59 Kw y 2000 rpm.

2.1.2 Sistema neumático:

Formado por un compresor (Figura 2) y una unidad de acondicionamiento y control de aire (Figura 3). Este compresor entrega aire hasta 12 atmósferas.



Figura 2 : Compresor de aire.

La unidad de acondicionamiento y control de aire (Figura 3) se pueden distinguir los siguientes componentes:

1. Filtro antihumedad, recoge toda la condensación producida en la compresión del aire.
2. Filtro antipartículas, encargado del acondicionamiento del aire retirando posibles partículas e impurezas presentes que puedan dañar camisas y pistones de los cilindros.
3. Regulador, se encarga de ajustar la presión original a la presión de trabajo de la instalación (6atm).
4. Engrasador, todo aire comprimido cuenta con un porcentaje de aceite que será suministrado por esta unidad. Necesario para el mejor funcionamiento del sistema.

5. Electroválvula de arranque progresivo, destinado a que la entrada al sistema del aire comprimido se realice de forma progresiva suave y segura.



Figura 3 : Unidad de regulación y control de aire.

2.1.3 Manipulador

Se trata de un manipulador electro-neumático de cuatro grados de libertad formado por cuatro cilindros SMC con finales de carrera magnéticos y señalización luminosa externa. A mayores, se le dotó de una garra neumática de apertura 0-180° con útil para la captura de las piezas.

Todos los grados de libertad con que cuenta el manipulador son controlados mediante maniobra todo-nada, por lo que cada uno de los cilindros que lo constituyen tiene dos posibles posiciones

1. Cilindro de apertura y cierre de garra 0°/180° (Figura 4).

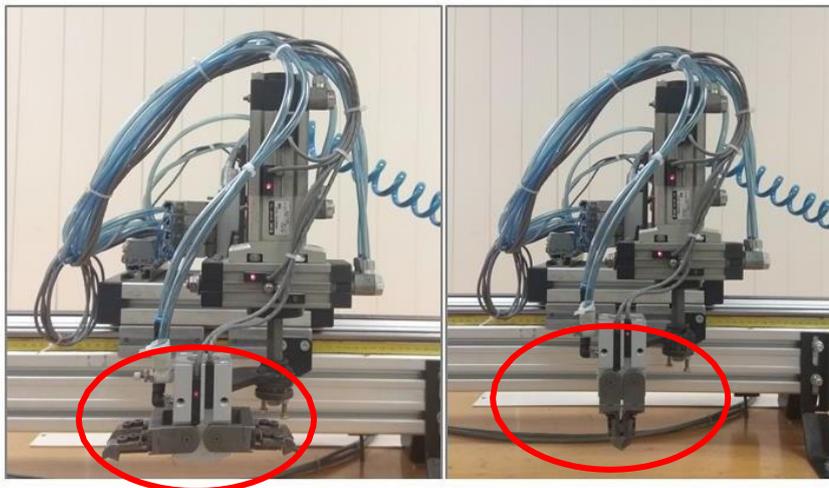


Figura 4 : Apertura y cierre de garra

2. Cilindro rotolinal de giro izquierda-derecha (Figura 5) y de subida-bajada del soporte de la garra (Figura 6).

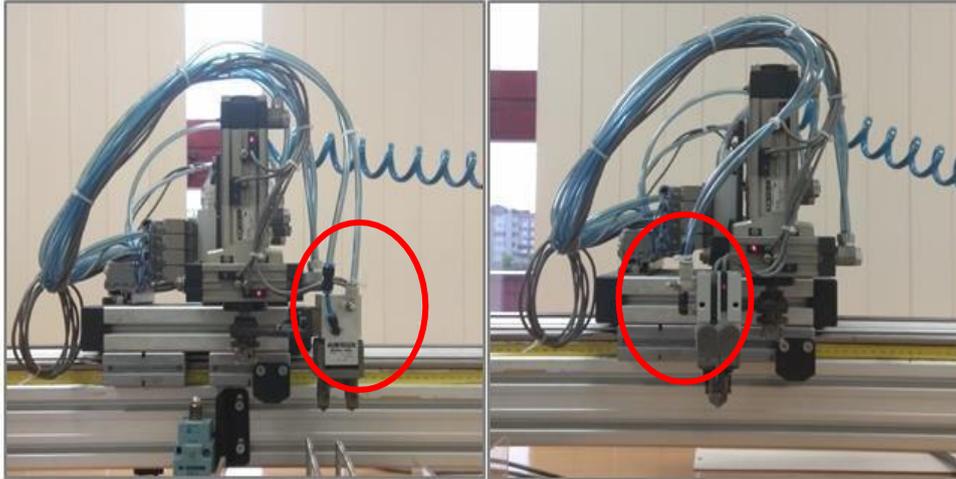


Figura 5 : Giro 90°- 0° del soporte de la garra.

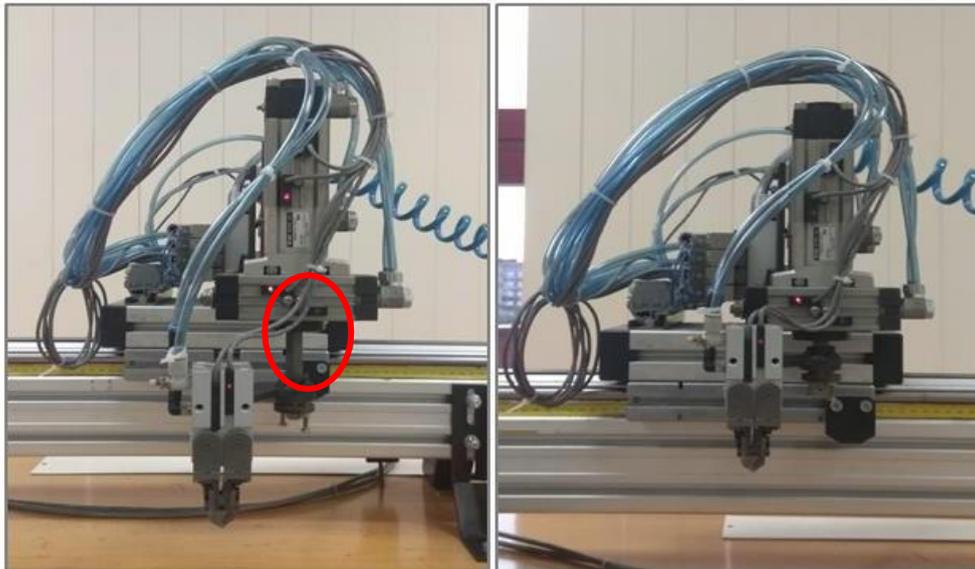


Figura 6 : Bajar y subir soporte de la garra.

3. Cilindro con guías (Figura 7) donde se instala el rotolineal que a su vez sujeta la pinza de apertura 0°/180°.

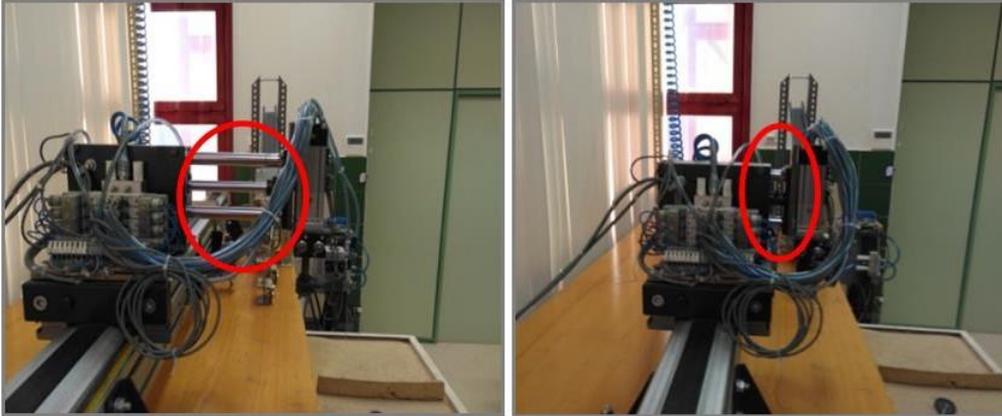


Figura 7 : Avance-retroceso del cilindro de guías

Por otra parte, sobre junto al manipulador van montados los siguientes elementos que hacen posible el accionamiento de los cilindros (Figura 8):

- Placa de electroválvulas con silenciadores.
- Cuatro electroválvulas 5 vías 2 posiciones, también SMC, y bobinas de 0/24 Vdc montada sobre el manipulador.
- Bornero de entradas/salidas dedicadas al manipulador.

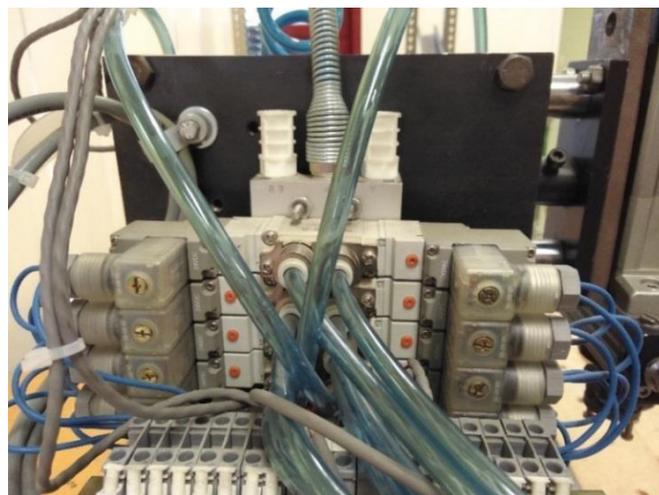


Figura 8: Electroválvulas SMC y bornero E/S.

2.1.4 Puesto de llegada de piezas.

Zona de entrada de piezas al sistema (Figura 9) consta de una trampilla, que se abre o cierra, dosificando así la entrada de piezas. Este cambio de posición de la trampilla se lleva a cabo por el accionamiento de un microcilindro SMC por medio de una electroválvula 5 vías, 2 posiciones y retorno por muelle.

Además, para detectar la presencia de pieza en la zona de recogida a la que tiene que desplazarse el manipulador, hay un detector inductivo OMROM 0/24 Vcc.

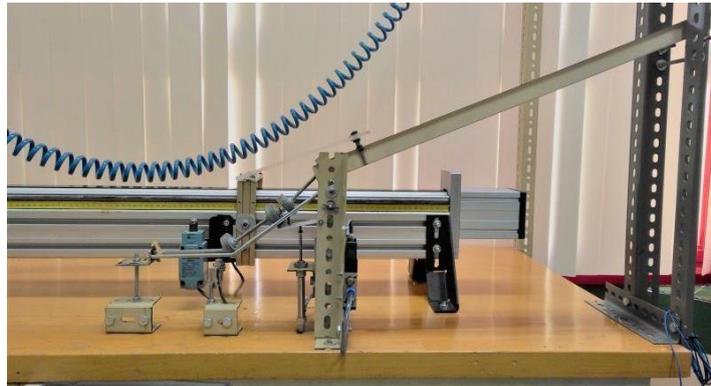


Figura 9 : Alimentador de piezas

2.1.5 Puesto de pesaje:

Para llevar a cabo la clasificación de piezas por peso, se usa una célula de carga situada sobre un plato de esquinas compensadas (Figura 10).

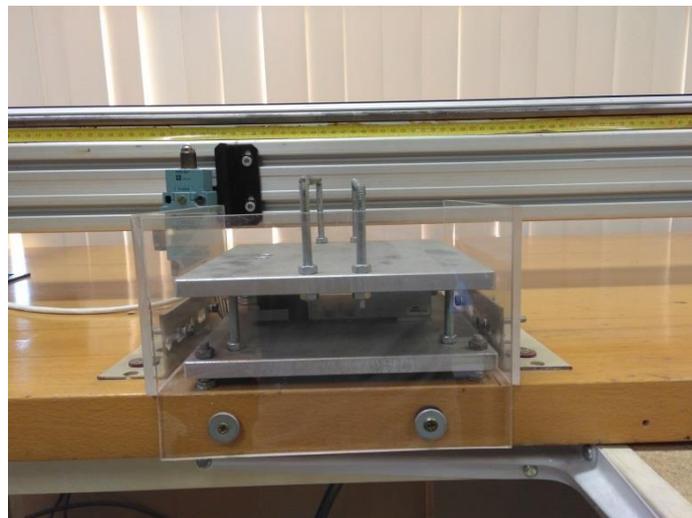


Figura 10 : Célula de carga

La carga máxima de la célula es 7,2Kg, y está conectada a un acondicionador de señal Hottinger Baldwin Messtechnik (Figura 11), que proporciona una salida analógica 0-10V, con precisión de ± 2 g y nos permitirá además visualizar el resultado numérico del pesaje.

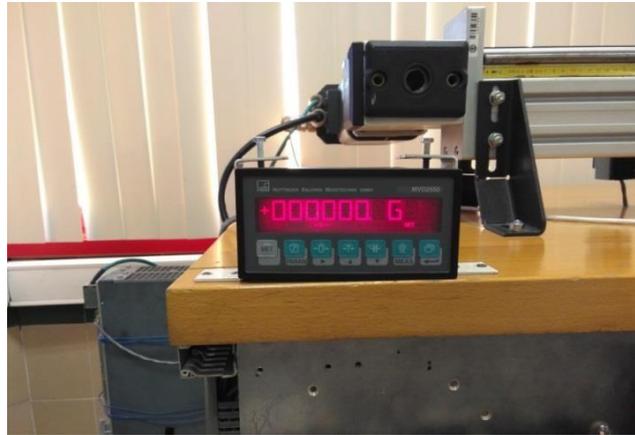


Figura 11 : Báscula

2.1.6 Puesto de salida:

Se trata de una bandeja dividida en 5 zonas (Figura 12).

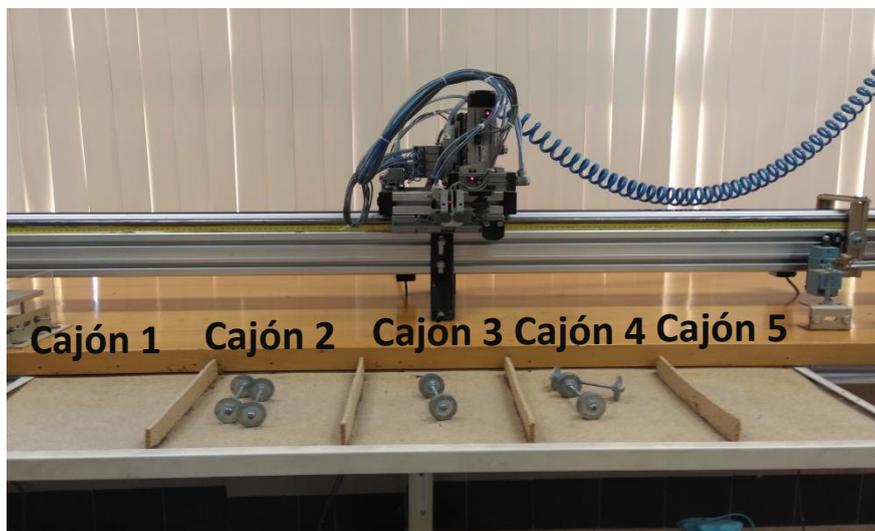


Figura 12 : Puesto de deposición

Según cual haya sido el resultado del pesaje, el manipulador se habrá de desplazar a una cota específica para depositar la pieza en la división de la bandeja correspondiente.

La pieza se depositará en un cajón u oreo según la siguiente clasificación:

- Cajón 1: piezas con un peso menor a 100g.
- Cajón 2: piezas con un peso entre 100g y 150g.
- Cajón 3: piezas con un peso entre 150g y 200g.
- Cajón 4: piezas con un peso entre 200g y 250g.
- Cajón 5: piezas con un peso mayor a 250g.

2.1.7 Armario eléctrico:

Para el control del sistema [1], se cuenta con un armario dispuesto de:

1. **Botonera** que hace posible realizar tareas sencillas de posicionamiento en modo manual. Está constituido por un conjunto de pulsadores, conmutadores y seta de emergencia (entradas), y de lámparas (salidas) (Figura 13).



Figura 13: Botonera

2. **Variador SINAMICS S110** para accionar el servomotor que se encuentra calado a uno de los extremos de la guía BOSCH. Es precisa la combinación de una etapa de potencia (Power Module PM240-2) y una Control Unit (Control Unit CU305) para conseguir el accionamiento (Figura 14).



Figura 14 : Variador Sinamics

3. **Fuente de alimentación**, suministra tensión 24V a lámparas, electroválvulas, sensores, pulsadores o selectores (Figura 16 arriba a la derecha).
4. **Autómata S7-1512c** de SIEMENS, compuesto de :
 - CPU S7-1512C-1PN con 250 kB memoria de trabajo.
 - Dos periféricos digitales integrados E/S con 32 entradas digitales rápidas para señales hasta máx. 100 kHz y con 32 salidas digitales, de las cuales 8 salidas pueden utilizarse como salidas rápidas para funciones tecnológicas.
 - Las entradas se pueden utilizar como entradas estándar y como entradas para funciones tecnológicas. La tensión nominal de entrada es 24 V DC.

- Las salidas se pueden utilizar como salidas estándar y como salidas para funciones tecnológicas. La tensión nominal de salida 24 V DC y la intensidad nominal de salida es de 0,5 A por canal.
- Un periférico analógico integrado E/S con 5 entradas analógicas y 2 salidas analógicas. La tensión se ajusta para cada canal dependiendo de la medición a realiza.
- Una interfaz PROFINET integrado con switch de 2 puertos.
- SIMATIC Memory Card 24Mb.
-



Figura 15: Autómata y fuente de alimentación

5. Elementos auxiliares:

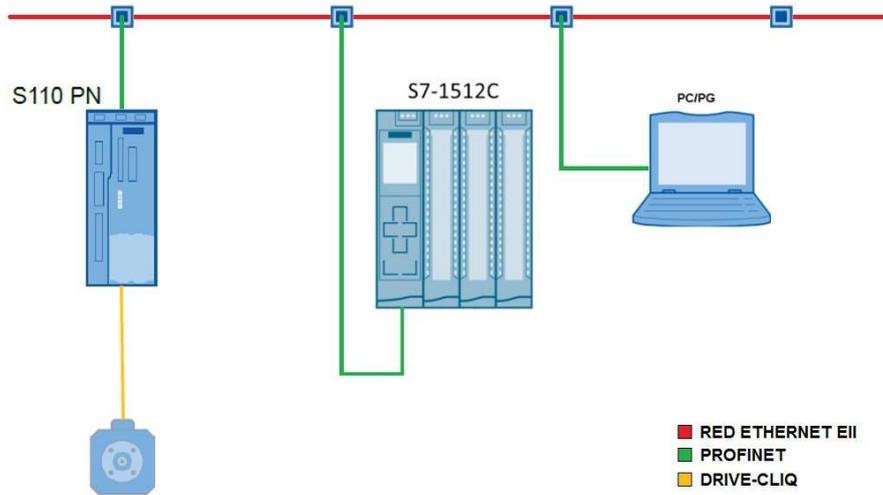
- Interruptor diferencial de 30 mA .
- Dos interruptores automáticos, el primero monofásico de 16 A y el segundo trifásico de 32A,
- Un guardamotor.
- Un regletero: en color marrón tendremos los bornes de salidas y en color azul las bornes de entrada.
- Seccionador general.
- Relés auxiliares.



Figura 16: Armario eléctrico

2.1.8 Red Profinet

El mapa de conexiones de los equipos utilizado hasta ahora es el siguiente:



A este mapa de conexionado se le añadirá la pantalla HMI seleccionada también conectada por PROFINET, pero en este TFG no se dispone del dispositivo físicamente. Se ha optado por controlar el sistema desde la pantalla del PC. En el caso de que en futuro se dispusiera de la pantalla HMI de Siemens, para trabajar con ella simplemente habría que volcar el programa.

2.1.9 Seguridades:

Se cuenta con dos fotocélulas, una en el frontal de la maqueta y otra de forma transversal al pasillo que servirán para detectar la entrada a la zona de trabajo (Figura 17).



Figura 17: Fotocélula

En la mesa de la guía se cuenta con cinco finales de carrera. Dos de ellos de seguridad a los extremos de la guía conectados en serie al bornero de entradas. Los otros tres finales de carrera marcan posiciones fijas en la guía (extremo izquierdo, centro y extremo derecho).



Figura 18 : Final de carrera.

Por otra parte, hay tres setas de emergencia: una en el armario (Figura 13), otra sobre una de las mesas del laboratorio y una tercera situada bajo el alimentador de piezas (Figura 19).



Figura 19 : Setas de emergencia

2.1.10 HMI

Hace un año se llevó a cabo el retrofit del sistema (armario de control, PLC, variador, servomotor, sistemas eléctricos y electrónicos, programa de control) falta del HMI. En el momento de su creación se contaba, por tanto, con dispositivos más antiguos a los descritos anteriormente, por lo que ahora mismo se encuentra completamente inoperativo.



Figura 20 : PC con HMI antiguo

Originalmente se contaba con un autómatas programable SIEMENS SIMATIC S5, CPU103 y un módulo de posicionamiento IP266, que recibía la señal del encoder incremental del servomotor, y en función de su valor y del programa de control genera la señal de consigna hacia el variador. La lectura de la señal procedía del puesto de pesada que se llevaba a cabo a través de un módulo de entrada analógico configurable [2].

El HMI se realizó a medida sobre el PC que había (Figura 20). El diálogo operador-máquina se lograba gracias a la creación de dos aplicaciones que fueron programadas mediante Visual Basic.

Las tareas de comunicación con el PC se realizaban a través de un procesador de comunicaciones serie punto a punto, pues el autómatas no permitía realizarlas a través de su puerto de programación. Así se establecía el diálogo con las dos aplicaciones programadas:

- **“SERVO”**: Con esta aplicación era posible simular la botonera situada en el armario, de tal suerte que cualquier operación sobre uno de sus botones tenía igual efecto sobre el sistema que si se tratara de la botonera real.
- **“CONTROL”**: permitía el control manual, la motorización del estado de los actuadores y la posición del manipulador, y la programación de ciclos en un lenguaje de programación exclusivo para esta aplicación.

Al abrir la aplicación “CONTROL” nos encontrábamos con una pantalla dividida en cuatro zonas: barra de menús superior, zona de supervisión, zona de ejecución manual, y zona de ejecución automática (Figura 21).

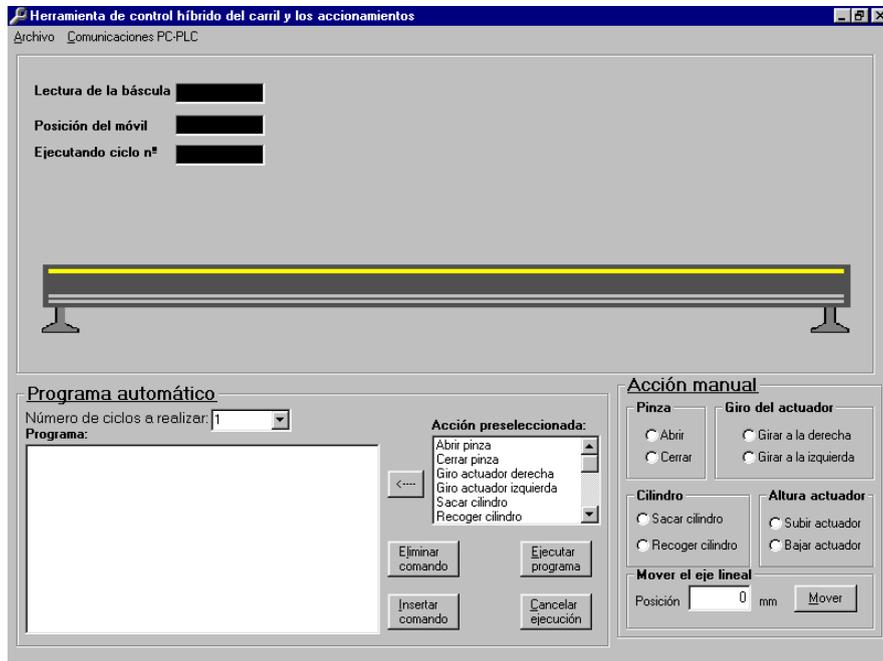


Figura 21 : Herramienta de control

En la parte de acción manual, el usuario tenía la posibilidad de modificar la posición de los actuadores neumáticos que forman el manipulador (Figura 22).

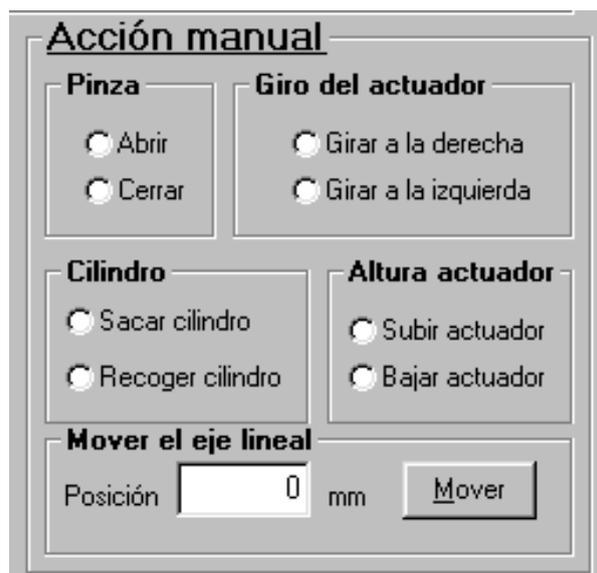


Figura 22 : Menú de posiciones de los actuadores

La parte de acción automática permitía realizar programas de control elaborados en un pseudo-lenguaje de alto nivel (Figura 23).

Esta parte de la pantalla se encuentra a su vez dividida en varias zonas; la central se corresponde con el programa que se está elaborando. A su derecha se encuentra la lista de todas las posibles instrucciones que se pueden ejecutar.

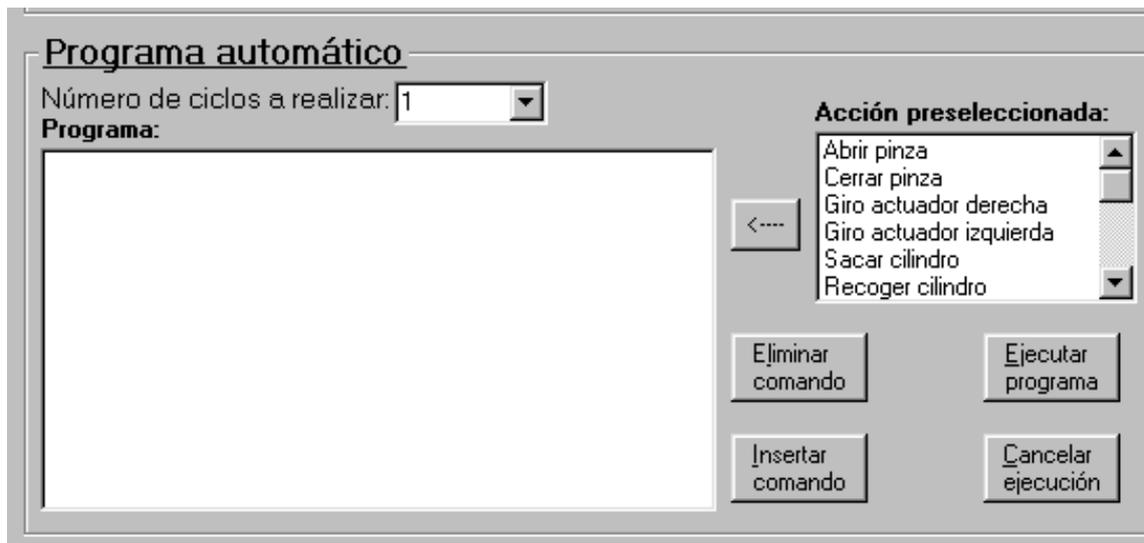


Figura 23 : Pantalla de programa automático

Las acciones de control que permitía programar el pseudo-lenguaje generado son:

- Movimiento de los actuadores:
 - Abrir/cerrar garra
 - Giro actuador derecha/izquierda
 - Sacar/Recoger cilindro soporte
 - Subir/Bajar actuador
- Movimiento absoluto
- Inicio / fin acciones simultáneas: permite la ejecución en paralelo (simultánea) de varias órdenes de movimiento de los actuadores.
- Temporizador: establece un tiempo muerto durante la ejecución del programa.
- Leer peso báscula
- Terminar ejecución: supone la finalización de la ejecución del programa
- Alimentar pieza: Envía la orden al PLC de bajar y subir el cilindro de alimentación de piezas

Con esta herramienta un usuario cualquiera sin conocimientos del Step5 (lenguaje de programación de la antigua CPU existente S5 103), podía “programar” el ciclo de trabajo a voluntad.

Esta utilidad ha sido descartada en el retrofitting hecho, quedando únicamente una maniobra manual y otra automática fija.

2.2 Modos de funcionamiento

El autómatas está programado para que el sistema trabaje en dos modos de funcionamiento (manual/automático) que se controlarán mediante un selector de dos posiciones (MAN/AUTO) situado en la botonera del armario eléctrico.

Sólo se tendrán en cuenta las órdenes dadas desde la botonera cuando el selector correspondiente a la elección de modo se encuentre en posición manual (MAN). Si por el contrario el selector se encuentra en posición automático (AUTO), el PLC debe ignorar cualquier acción que se le indique desde la botonera, exceptuando del botón de MARCHA, PARO, REARME y las seguridades como pulsación de las setas de emergencia, células fotoeléctricas y finales de carrera de seguridad, que sí se tendrá en cuenta.

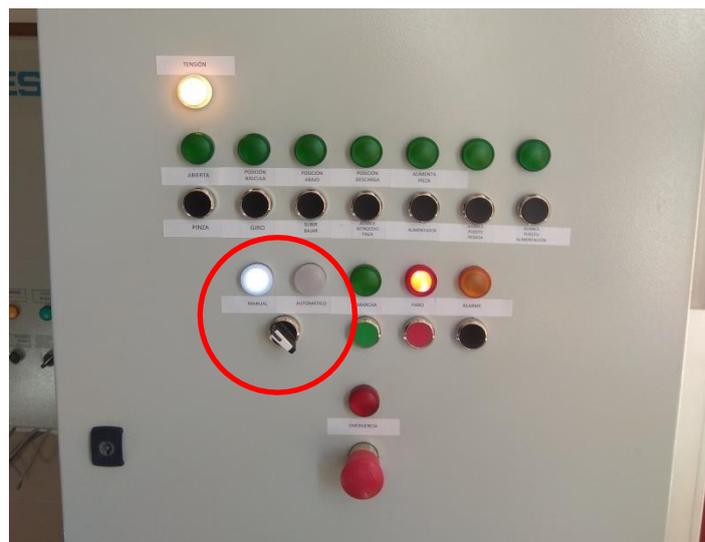


Figura 24 : Selector Manual/Automático

2.2.1 Modo manual

En el caso del modo manual, mediante los pulsadores que se encuentran en el frontal del armario se permitirán al usuario realizar cualquier movimiento del manipulador.

2.2.2 Modo automático:

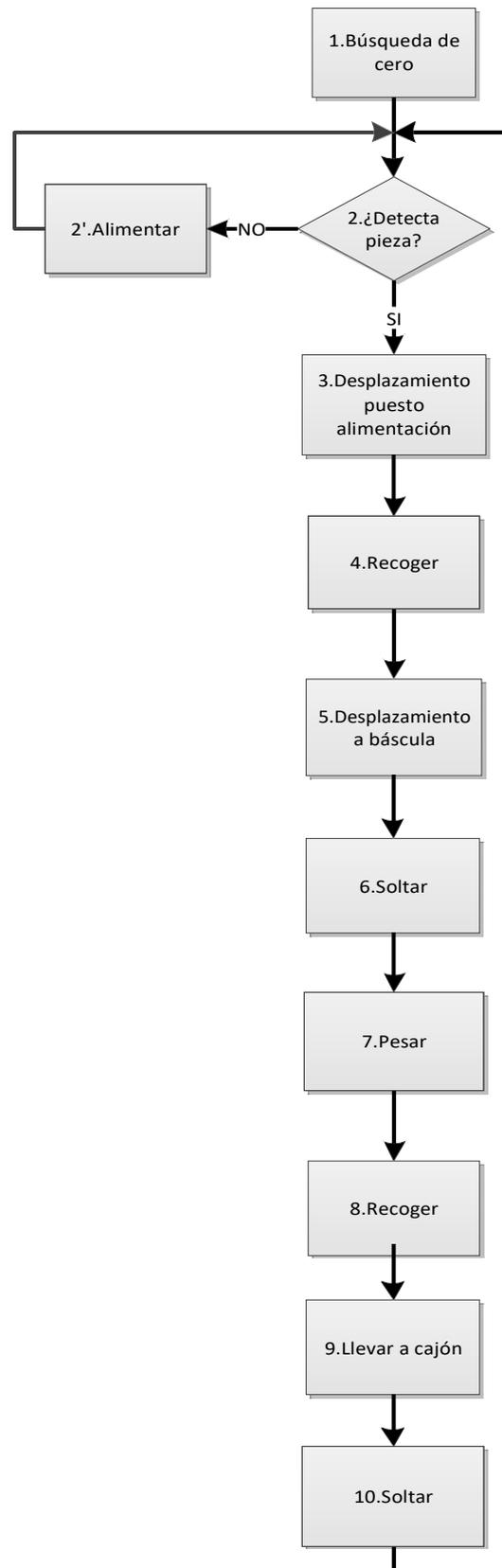
Para el modo automático la maniobra está programada de tal modo que el manipulador se desplace a lo largo de la guía primero hacia la zona de alimentación para recoger pieza , después al puesto de pesada para realizar un pesado, y por último, depositarla en una cota u otra de la bandeja en función de la lectura del acondicionador. Este ciclo aquí descrito se debe repetir tantas veces como piezas haya en la bandeja alimentadora.

Tal y como se indicaba anteriormente, en modo automático el PLC debe ignorar cualquier acción que se le indique desde la botonera, exceptuando las seguridades, por ejemplo, se pulse alguna seta de emergencia o se interrumpa la barrera fotoeléctrica colocada en el frente del sistema.

De forma más explícita, la secuencia a realizar es la siguiente:

1. Búsqueda del cero de referencia en la guía. Una vez se haya seleccionado el modo automático, el manipulador ha de buscar su “cero” o posición origen.
2. Detectar pieza. Mediante un sensor situado en la zona de alimentación se puede detectar la presencia o ausencia de pieza. Si se da este último caso habrá que proceder a alimentar pieza.
3. Una vez se haya detectado la presencia de pieza en la zona de alimentación la guía ha de desplazarse para capturarla.
4. Recoger pieza en el alimentador: Girar 90°, abrir garra, bajar, recoger pieza, cerrar garra, girar 0° y subir.
5. Ir a la báscula de pesaje. El manipulador se desplaza con la pieza a la zona de pesaje.
6. Soltar pieza en la báscula: Bajar garra y abrir garra.
7. Pesar pieza.
8. Recoger pieza de la báscula: Cerrar garra y subir.
9. Ir al cajón correspondiente. Según el resultado de su peso:
10. Soltar pieza en el cajón correspondiente: Avanzar brazo y abrir garra.
11. Volver a empezar el ciclo desde el paso 2.

Secuencia de funcionamiento:



3 DESARROLLO DEL TFG

Tal y como se expuso anteriormente, para la elaboración del HMI se ha utilizado la herramienta de programación TIA Portal V14 de Siemens, con la que se proporciona un interfaz de innovadora, basada en los últimos avances en tecnología de software con amplias librerías de objetos y herramientas inteligentes para configuración gráfica y tratamiento de datos masivo.

En este capítulo se desarrollan los pasos a seguir en TIA Portal así como la descripción del modelo 3D que se usará en el HMI, objetivos marcados al inicio del trabajo fin de grado.

3.1 Implantación del modelo 3D

Con el objetivo de dotar al HMI de una supervisión intuitiva e inequívoca acerca del estado del sistema se ha elaborado un modelo 3D del mismo, de tal suerte que las imágenes que se incorporarán al HMI dará al usuario un vista general del equipo (estado de los actuadores del manipulador, posición de la guía, verificar si se dispone de pieza en el alimentador o no...) mediante una representación que imita en gran medida al sistema real.

La implantación se ha realizado mediante el programa de diseño y modelado en 3D “*Skepchup Pro 2018*” [5].

3.1.1 Descripción del modelo 3D

En la Figura 25, se ofrece la vista general del sistema diseñado con el manipulador, la guía Bosch, el puesto de llegada de piezas, la zona de pesaje, y la de deposición. Tal y como se puede observar se ha conseguido que el diseño 3D imite fuertemente a la realidad.

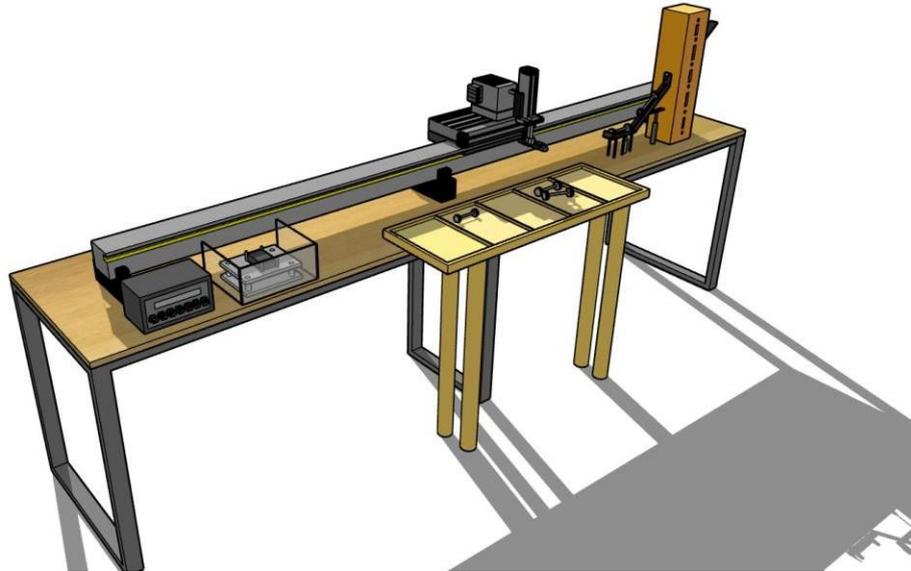


Figura 25: Modelo 3D-Vista general del sistema

En el puesto de alimentación de piezas se ha dibujado tanto el detector inductivo de presencia, como la trampilla acompañada del microcilindro que permite su cierre-apertura.

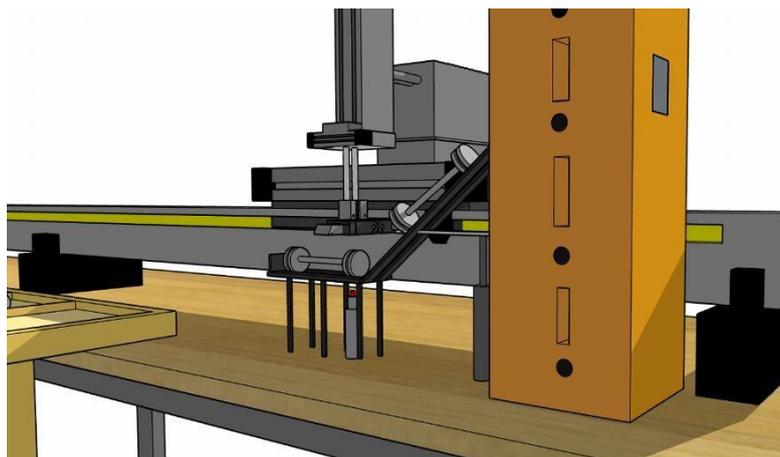


Figura 26: Modelo 3D-Puesto de alimentación

En cuanto al puesto de pesaje, se han diseñado con gran detalle la báscula(incluso los botones) y plato de medida (Figura 27)

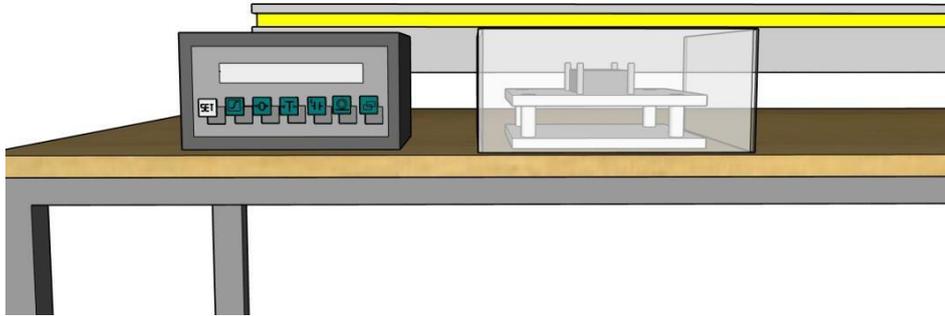


Figura 27: Modelo 3D: Puesto de pesaje.

El elemento que más trabajo lleva es el manipulador (Figura 28), ya que se han diseñado tantos modelos del mismo como configuraciones pueda optar el mismo, según la posiciones de los actuadores. Al tener cuatro grados de libertad, se obtiene un total de 16 posibles situaciones:

- Posición 0: Pinza Abierta- Brazo abajo- Brazo delante - Giro 90°.
- Posición 1: Pinza Abierta- Brazo abajo- Brazo adelante - Giro 0°.
- Posición 2: Pinza Abierta- Brazo abajo- Brazo atrás - Giro 90°.
- Posición 3: Pinza Abierta- Brazo abajo- Brazo atrás - Giro 0°.
- Posición 4: Pinza Abierta- Brazo arriba - Brazo adelante - Giro 90°.
- Posición 5: Pinza Abierta- Brazo arriba - Brazo adelante - Giro 0°.
- Posición 6: Pinza Abierta- Brazo arriba - Brazo atrás - Giro 90°.
- Posición 7: Pinza Abierta- Brazo arriba - Brazo atrás - Giro 0°.
- Posición 8: Pinza Cerrada- Brazo abajo - Brazo adelante - Giro 90°.
- Posición 9: Pinza Cerrada- Brazo abajo - Brazo adelante - Giro 0°.
- Posición 10: Pinza Cerrada- Brazo abajo - Brazo atrás - Giro 90°.
- Posición 11: Pinza Cerrada- Brazo abajo - Brazo atrás - Giro 0°.
- Posición 12: Pinza Cerrada- Brazo arriba - Brazo adelante - Giro 90°.

- Posición 13: Pinza Cerrada- Brazo arriba - Brazo adelante - Giro 0°.
- Posición 14: Pinza Cerrada- Brazo arriba - Brazo atrás - Giro 90°.
- Posición 15: Pinza Cerrada- Brazo arriba - Brazo atrás - Giro 0°.

En la figura inferior se muestra el diseño del manipulador cuando se encuentra con la garra abierta, el cilindro con guías en posición de avance y el cilindro rotolineal desplazado hacia abajo y sin girar (0°).

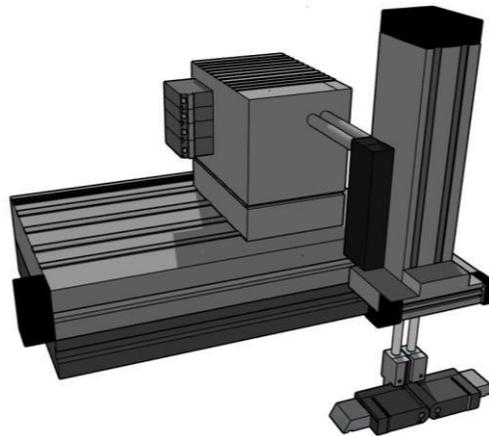


Figura 28 : Modelo 3D-Manipulador

Por otra parte, para depositar las piezas analizadas se han diseñado las cinco bandejas de las que consta el sistema real (Figura 29).

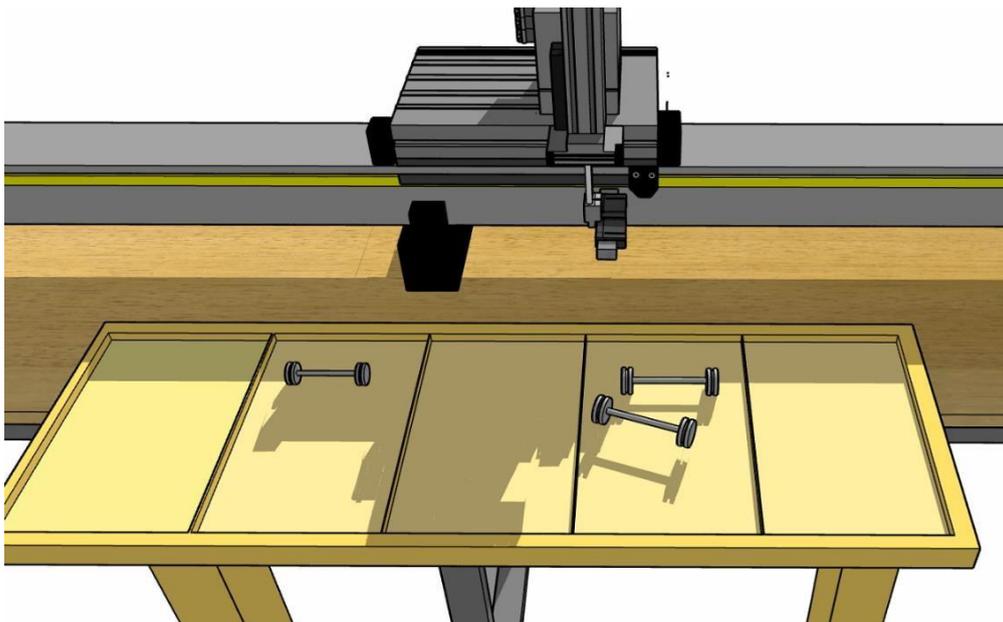


Figura 29 : Modelo 3D: Salida de piezas

3.2 Programación en TIA Portal.

3.2.1 Bloque de comunicación PLC-HMI

Como en cualquier proceso de programación, lo primero que se debe hacer es declarar las señales de entrada y salida con las que se va trabajar.

En la figura inferior (Figura 30) se pueden observar las funciones y los bloques de datos creados.

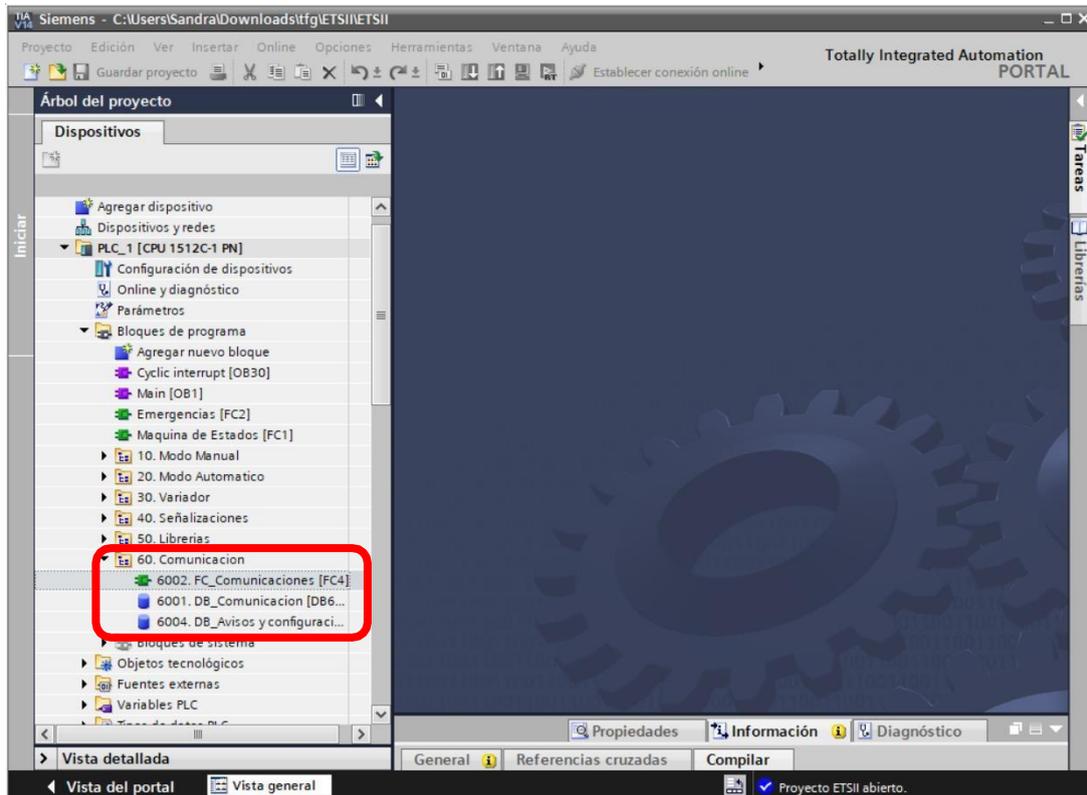


Figura 30 : Bloque de comunicación

Se podría trabajar directamente con las variables del PLC, pero para hacer el trabajo más ordenado y distinguir rápidamente cuales son las variables utilizadas por el HMI se ha creado una nueva DB de datos llamada "6001.DB_Comunicacion". En este bloque, se ha diferenciado entre lo que serán las entradas al HMI y las salidas que éste proporciona, es decir lo que el PLC manda al HMI y lo que éste manda al PLC.

Las entradas al HMI serán el estado de los actuadores, de los sensores y de las seguridades (Tabla 1).

Entradas a HMI	DETALLES
REM	Trabajo remoto o con la botonera del armario.
MOD	Selector de modo manual/automático
ERR	Error en el sistema
ON	Señal de marcha/ paro del sistema
SGA	Sensor garra abierta
SGC	Sensor garra cerrada
SG0	Sensor giro del cilindro a 0°
SG90	Sensor giro del cilindro a 90°
SBA	Sensor subida actuador
SSU	Sensor bajada actuador
SAV	Sensor avance actuador
SRE	Sensor retroceso actuador
SPI	Sensor detecta pieza en la zona alimentación
POS	Posición sobre la guía
LEC	Lectura de la báscula
EME	Pulsador emergencia del HMI
EMC	Seta Emergencia cuadro
SEM	Seta Emergencia de la mesa
EMG	Seta emergencia guía
FOT	Fotocélula

Tabla 1: Entradas al HMI.

En cambio, las salidas del HMI serán órdenes que mandar al sistema (Tabla 2).

Salidas del HMI	DETALLES
REM	Trabajo remoto o con la botonera del armario
MOD	Selector si el modo manual o automático.
MAR	Puesta en marcha de la máquina.
PAR	Paro de máquina.
REA	Reseteo de las variables
GAR	Pulsador abrir/cerrar la garra
GIR	Electroválvula giro a 0°/90°
BAJ	Electroválvula subir/bajar garra
AVA	Electroválvula avance/retroceso
ALI	Electroválvula alimentador
GDE	Ordenar desplazamiento del manipulador hacia la derecha
GIZ	Ordenar desplazamiento del manipulador hacia la izquierda
EME	Variable para notificar emergencia desde el HMI

Tabla 2 : Salidas HMI

Ahora, hay que asegurar que las órdenes que mandemos desde el HMI funcionan de igual manera, y no interfieren, con las ordenadas desde la botonera física. Es decir, que si por ejemplo, se ordena “*abrir alimentador*” desde el HMI el actuador correspondiente responda de igual manera que si lo ordenáramos desde la botonera física. Esto se logra introduciendo nuevas condiciones sobre lo ya programado en el autómatas.

En la función “Máquina de estados [FC1]” aseguramos el poder poner en marcha el equipo también desde el HMI, sin pisar las señales que mandamos desde el armario. Si el pilotaje se va a llevar a cabo desde el HMI la señal REM(remoto) ha de tener valor 1, y el equipo solo hará caso a las órdenes enviadas desde el HMI. Por el contrario, si el sistema va a ser pilotado desde la botonera del armario, con REM=0, ha de funcionar haciendo caso a las señales enviadas desde dicha botonera (Figura 31).

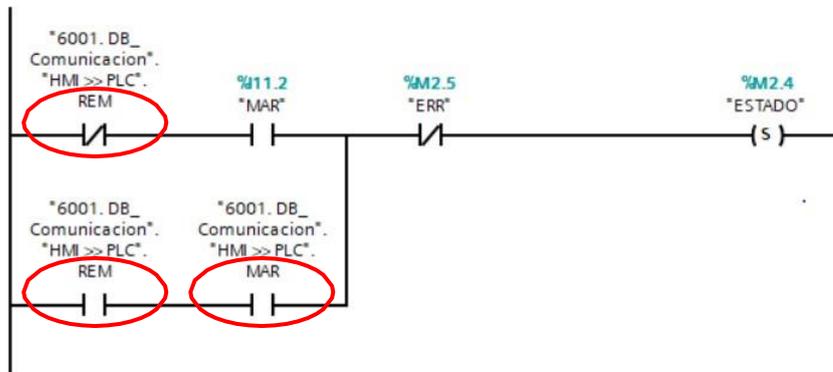


Figura 31 : Puesta en marcha del equipo

De forma similar hay que operar en los restantes segmentos del bloque.

En la siguiente función que nos encontramos en el programa, “1001.FC_Modo Manual”, hay que añadir las órdenes que mandaremos desde el HMI y que accionaran las electroválvulas del manipulador, del alimentador de piezas, y los movimientos a izquierda o derecha de la guía. Las modificaciones en estos segmentos son iguales pero utilizando las señales correspondientes (Figura 32).

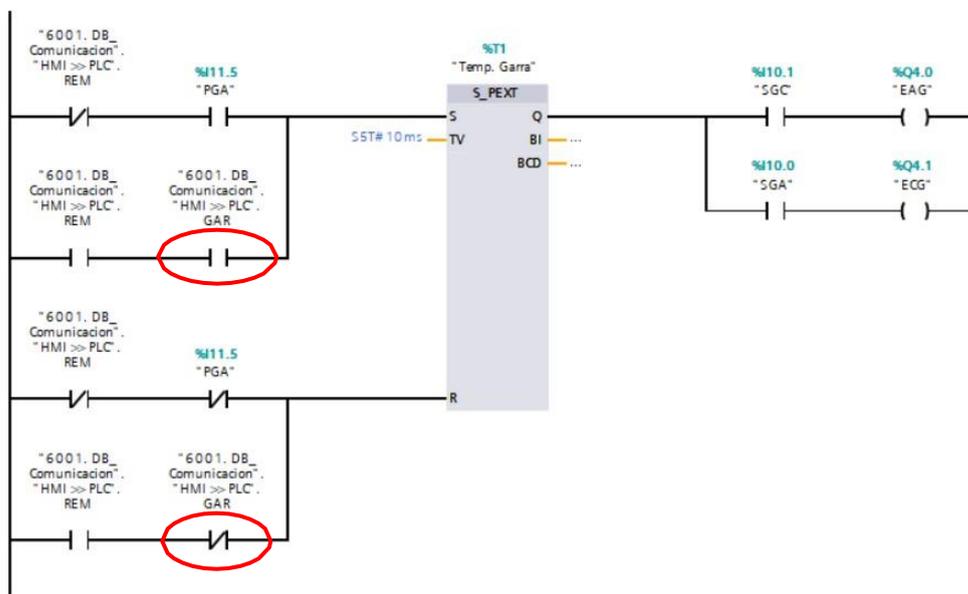


Figura 32 : Accionamiento de movimiento de la guía

Al igual que antes, en los restantes segmentos se opera similar.

En cambio, en los bloques de función del modo automático y del variador no se ha de añadir nada nuevo, ya que la secuencia se va a mantener tal y como se programó en el último retrofitting.

La última función que se tiene que modificar es “4001. Señalizaciones”, de tal suerte que los pilotos de la botonera se iluminen en su debido momento (según lo ya programado) tanto si se está monitorizando el sistema desde el HMI como desde el armario (Figura 33).

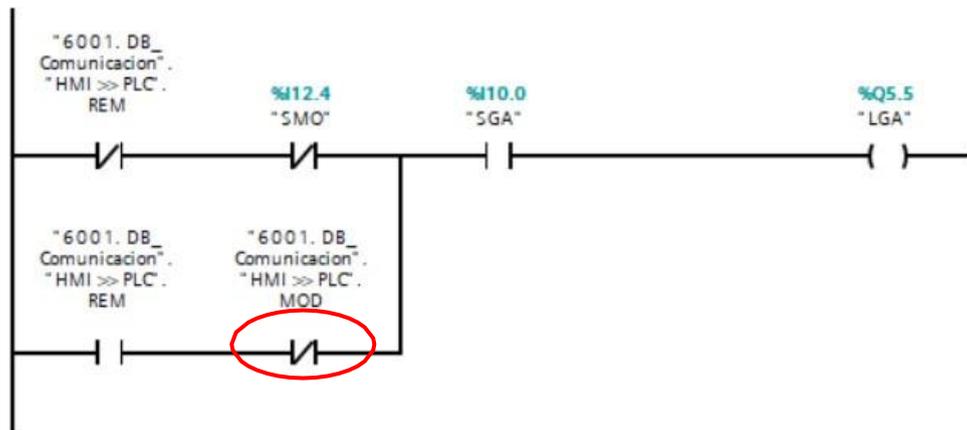


Figura 33 : Señalización de piloto armario

Hasta el momento se han acoplado al programa las **salidas** procedentes del HMI sin más que introducir nuevos contactos. En cambio para trabajar con las **entradas** se ha creado una nueva FC llamada “6002. FC_Comunicaciones”. Al igual que se han establecido una serie de condiciones para hacer lucir los pilotos de la botonera (salidas del PLC), se tienen que programar unas condiciones que activen luces o reproduzcan movimientos en la pantalla HMI.

Las entradas al HMI van a ser el estado de los sensores, de los actuadores, de las emergencias, la posición de la guía, o el resultado del pesaje. Estos datos son los que interesan al HMI para poder proporcionar al usuario un diagnóstico del estado del sistema.

Dado que estas señales son en realidad entradas al PLC, para poder gestionarlas desde el HMI se tienen que vincular a sus estados. Es decir, por ejemplo, cuando la garra del manipulador esté abierta, el sensor correspondiente mandará un uno lógico a la entrada del PLC "I10.0-SGA", y de forma instantánea la variable declarada en el HMI como "SGA (sensor garra abierta)", recogerá esta información (Figura 34).

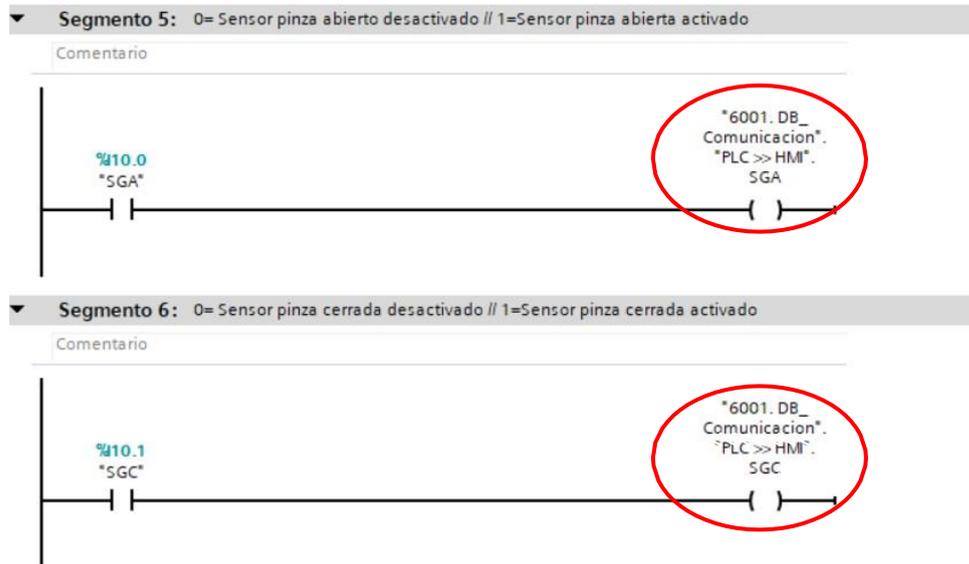


Figura 34 : Estado de los sensores de la garra

Se opera de forma similar con los restantes sensores.

En esta misma función se programan los avisos y emergencias que se pueden dar en el sistema.

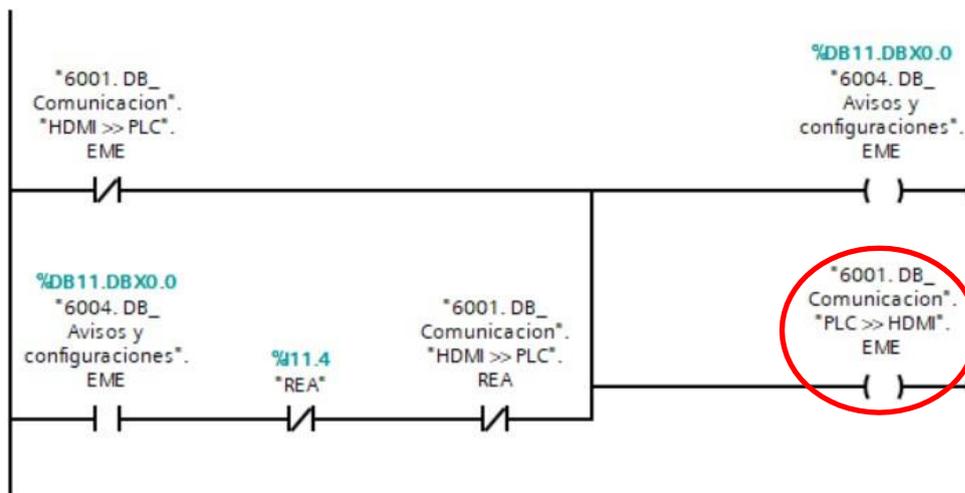


Figura 35 : Estado de las seguridades

El bloque de datos que aún no se ha mencionado, “6004. DB_Avisos y configuraciones”, está formado también por las señales de emergencia. Su uso se comprenderá mejor más adelante, cuando se cree una pantalla de avisos en el HMI.

De igual manera que en la botonera física, cuando se activa alguna de las emergencias es necesario rearmar, por lo que es conveniente hacer lo mismo cuando se da la emergencia desde el HMI. Lo conseguimos de la siguiente manera:

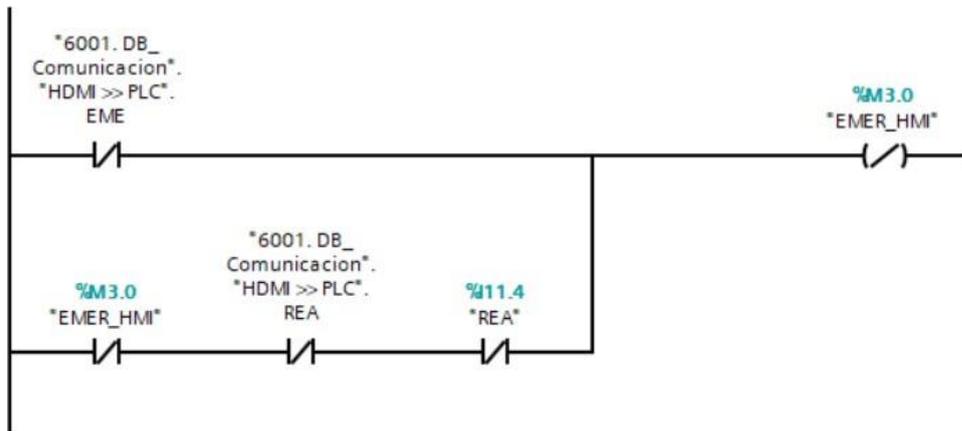


Figura 36 : Emergencia HMI

Y luego, en la función “Emergencias [FC2]” hay que añadir a la cadena de seguridades la señal de emergencia que se envía desde el HMI (Figura 37).

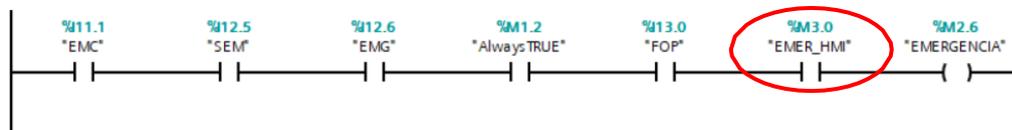


Figura 37 : Cadena de seguridades

3.2.2 Configuración de una pantalla HMI

A continuación se desarrolla un manual para introducir una pantalla HMI a un proyecto y los pasos para su configuración [3].

En este caso ya partimos de un proyecto TIA Portal con la programación de las maniobras, por lo que el primer paso es añadir el dispositivo HMI al proyecto. Para ello, hay que situarse en la pantalla principal “*Vista del proyecto*”, aquí se puede observar que ya hay un dispositivo en uso, se trata del PLC. Una vez aquí, hay que seleccionar “*Agregar dispositivo*”.

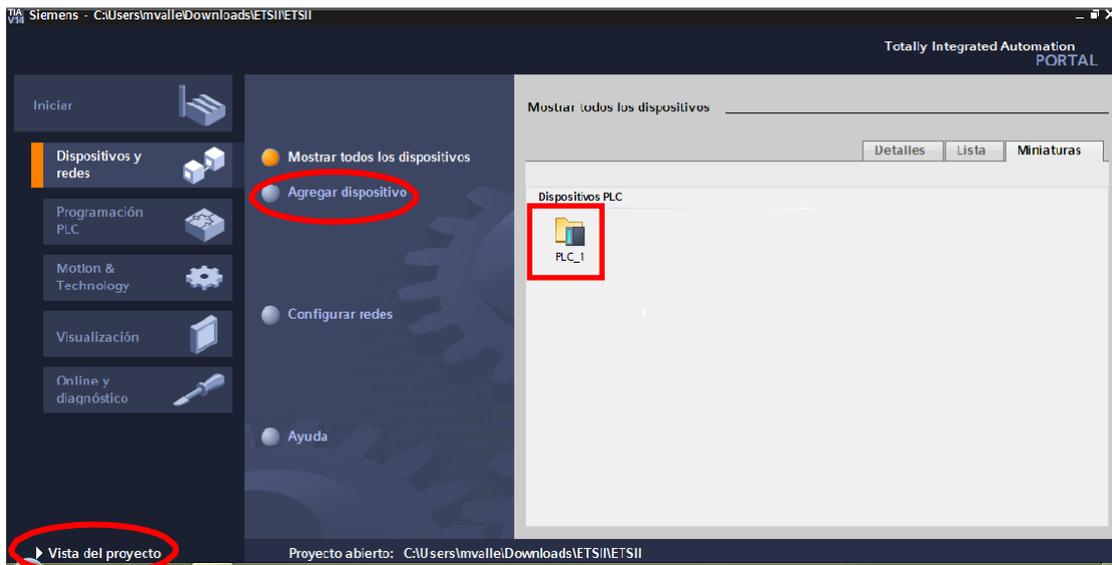


Figura 38 : Agregar dispositivo

Aparecerán así los diferentes dispositivos que se pueden añadir, en este caso se ha elegido una pantalla “*KTP1200 Basic PN*” de 12” con un puerto para conexión Profinet.

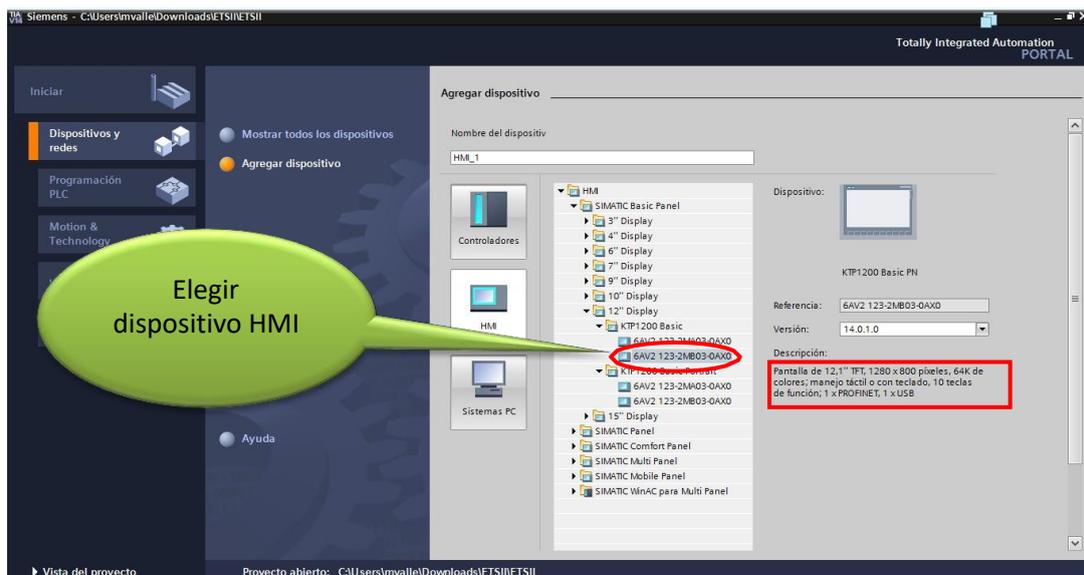


Figura 39 : Elección de pantalla HMI

El dispositivo seleccionado es:

- SIMATIC HMI KTP1200 Basic PN
- Referencia del producto: 6AV2123-2MB03-0AX0
- Basic Panel
- Tecla / operación táctil
- Pantalla TFT de 12 "
- 65536 colores
- Interfaz PROFNET
- Configurable a partir de WinCC Basic V13 / STEP 7 Basic V13.



Figura 40 : Pantalla HMI KTP1200 Basic

Tras seleccionar el dispositivo con el que se va a trabajar, aparecerá una pantalla de configuración.

Lo primero que hay que hacer es conectar con el PLC

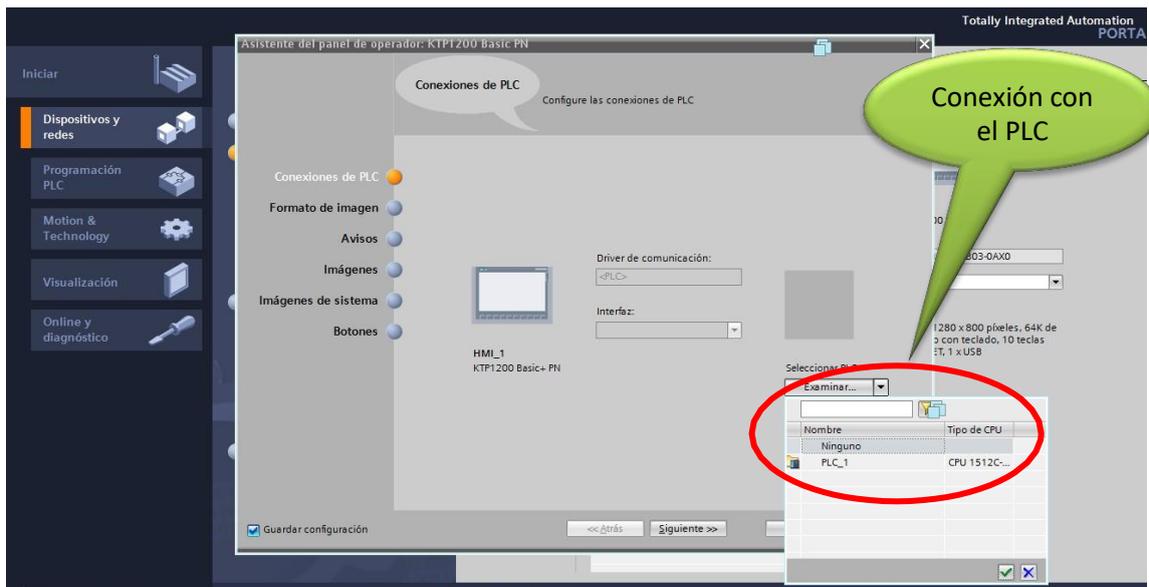


Figura 41 : Conexión con el PLC

Además aparecen opciones que permitirán configurar la pantalla a gusto del usuario:

- Formato de imagen: da la posibilidad de elegir el color de fondo de la pantalla y decidir si se desea visualizar la hora y fecha en las pantallas. Se dejará como está y más adelante se modificará el color según decida el usuario.
- Avisos: permite habilitar o deshabilitar diferentes tipos de avisos. Por ahora se quedará como viene predeterminadamente.
- Imágenes: se puede seleccionar cuantas pantallas van a ser programadas, en este caso son 7. Por lo tanto, además de la imagen raíz se han de añadir 6 más.



Figura 42 : Pantallas del proyecto

- Imágenes del sistema: Seleccionar que imágenes se van a utilizar.
- Botones: Se puede decidir que botones aparecen como predeterminados en las pantallas, así como su ubicación. En este caso se han situado en la parte de debajo de la pantalla y simplemente se han añadido el botón “salir”, “idioma” e “imagen principal”. Más adelante se añadirán los símbolos de los restantes botones.

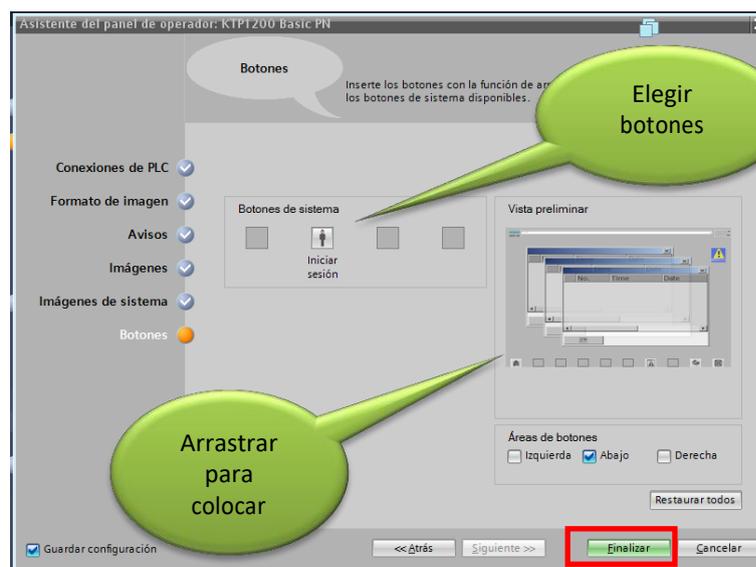


Figura 43 : Ajuste de propiedades de las pantallas

Finalmente pulsar “Finalizar” (Figura 43). Se añadirá así el dispositivo HMI a nuestro árbol de proyecto (Figura 44).

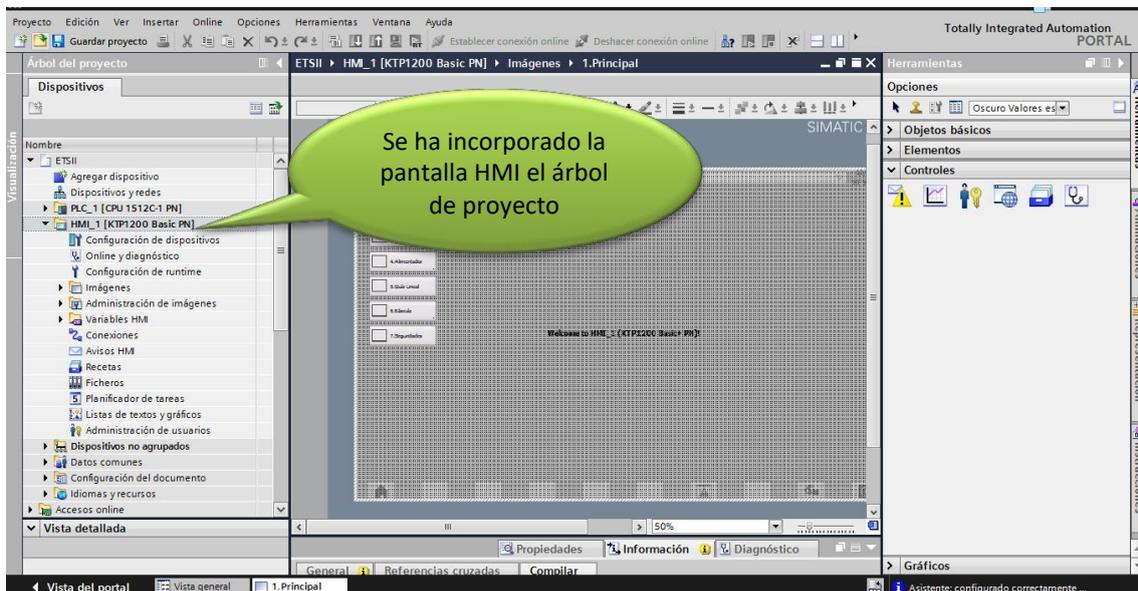


Figura 44 : HMI en el árbol de proyecto

Una vez añadido el dispositivo HMI, el objetivo será ir programando individualmente cada una de las pantallas según sus funcionalidades

3.2.3 Insertar variables en el HMI.

Las variables que se van a utilizar en el HMI han sido creadas en un bloque de datos , pero para poder visualizarlas en el HMI hay que hacer lo siguiente:

1. Dentro del Árbol de proyecto clicamos en la sección del “PLC_1” el bloque de datos “6001.DB_Comunicacion”, paralelamente en la sección de “HMI_1” clicamos en la sección “Variables HMI” y dejamos ambas pestañas en paralelo.

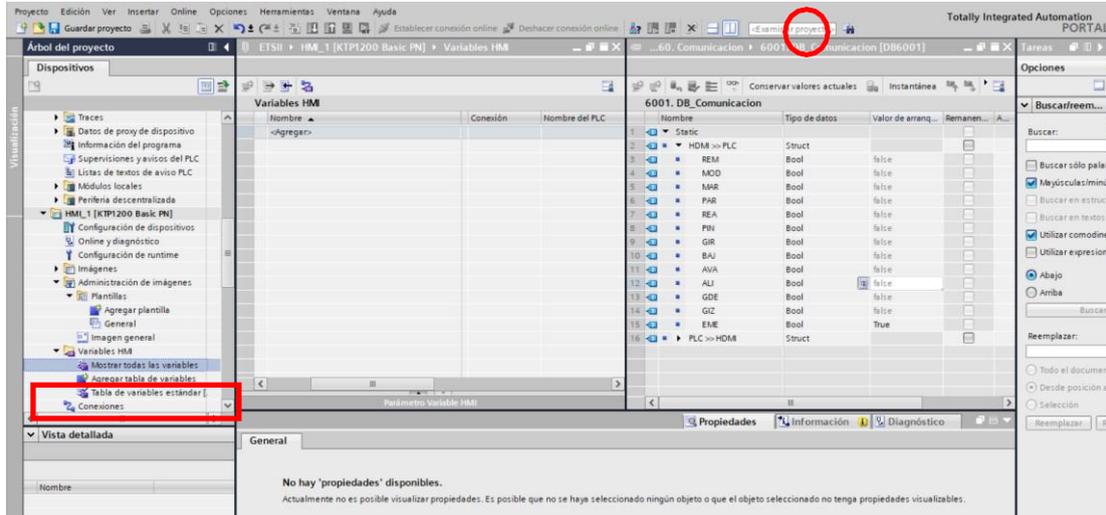


Figura 45 : Insertar variables en la pantalla

2. Ahora tan solo hay que seleccionar las variables del bloque de datos del PLC y arrastrarlas a la pestaña de la izquierda.

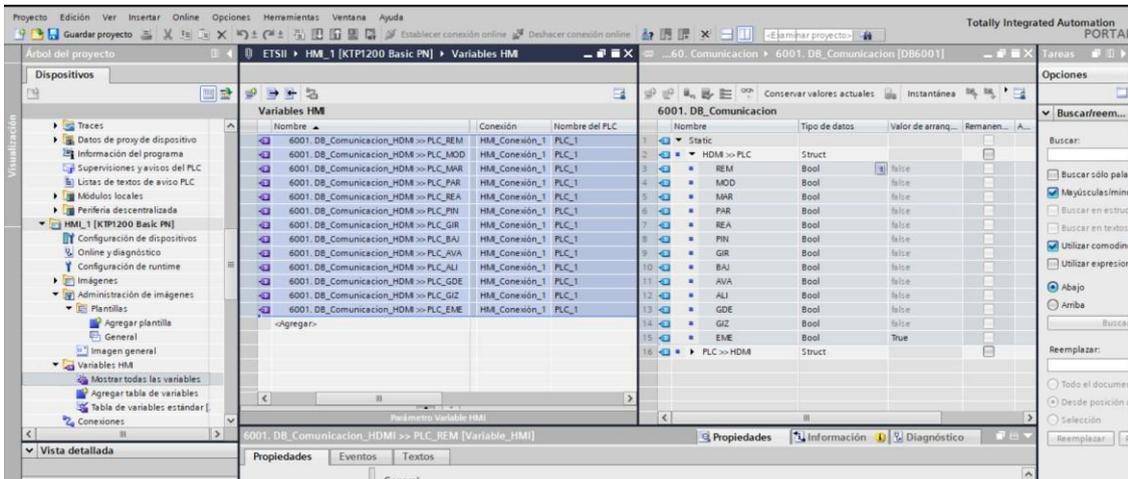


Figura 46 : Variables en HMI

Así ya tendremos dentro del proyecto del HMI las variables, que podremos introducir en la imagen que queramos. También mediante el método de arrastrar directamente la variable a la pantalla obtenemos el mismo resultado.

3.2.4 Crear una pantalla

El siguiente paso será crear las pantallas que se van a programar. Para ello ir al árbol del proyecto y situarse sobre *HMI_1>>Imágenes>>Agregar imagen*.

De todas ellas, una se tiene que asignar como pantalla de arranque (la primera que aparece al arrancar el HMI). Será aquella que tiene un pequeño triángulo verde en el lateral izquierdo (Figura 47)

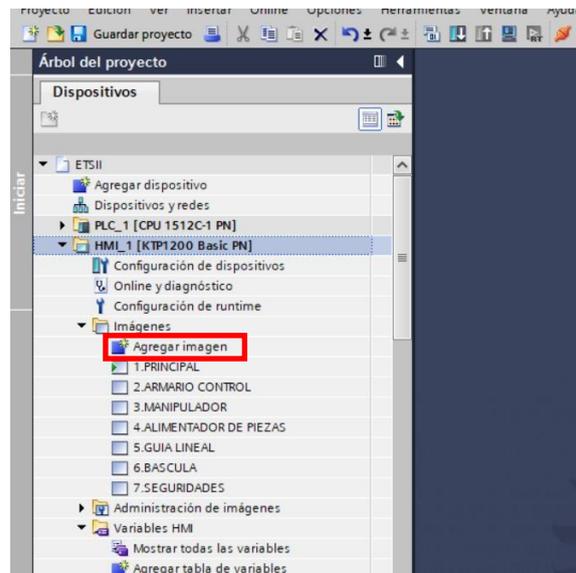


Figura 47 : Insertar pantalla

Para este supervisar el sistema objeto de estudio se han creado las siguientes imágenes:

- PRINCIPAL
- ARMARIO CONTROL
- MANIPULADOR
- GUÍA LINEAL
- BÁSCULA
- SEGURIDADES

3.2.5 Crear una plantilla

En ocasiones es conveniente que varias pantallas compartan algunos botones, textos, fecha y hora, imágenes... para evitar el tener que programar las mismas cosas una y otra vez en diferentes pantallas se crea una plantilla con las funcionalidades que sean comunes, y a partir de ella más tarde se añadirán a mayores los elementos que necesite cada pantalla. Un faceplate o plantilla facilita la inserción de nuevos objetos que se comportan de forma idéntica uno de otros, y por tanto son susceptibles de realizar con ellos una plantilla.

El primer será por tanto crearse una plantilla.

Situarse en el árbol de proyecto, localizar la carpeta correspondiente al *HMI >> Administrador de imágenes >> Plantillas >> Plantilla_1*. Por defecto la plantilla viene con el nombre anteriormente citado, pero se puede cambiar, al igual que el **color de fondo** y el de cuadrícula. (Figura 46).

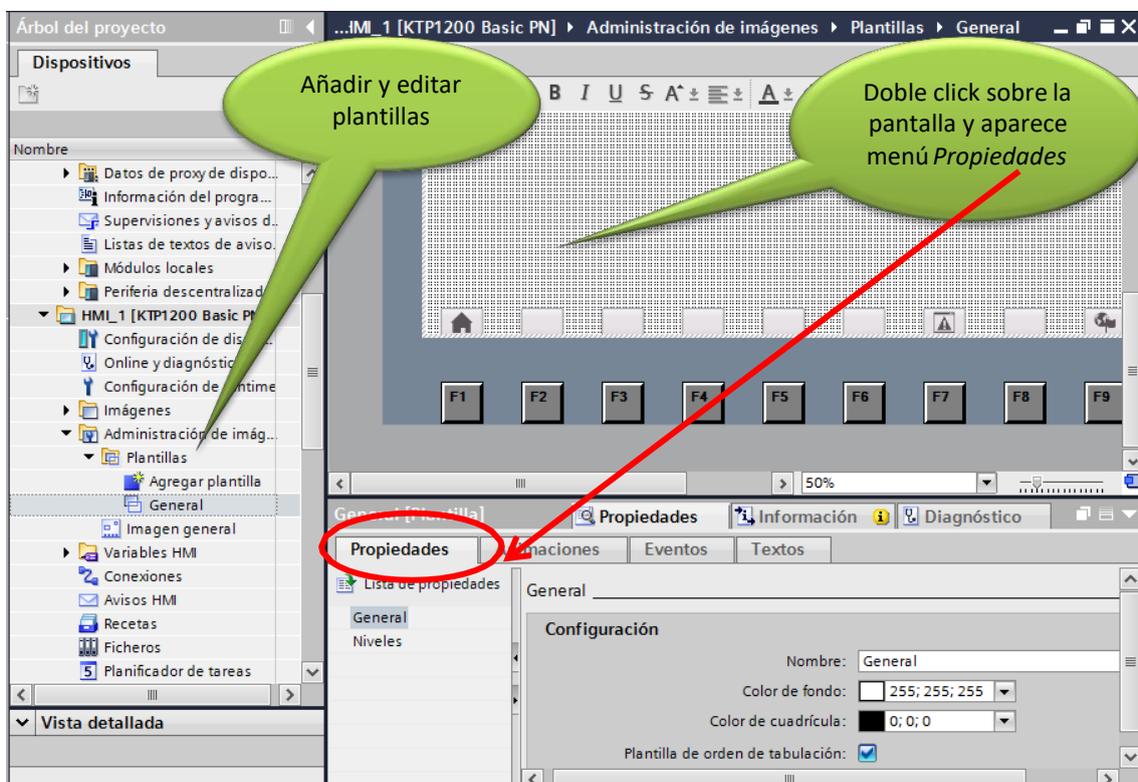


Figura 48 : Creación plantilla

Así, una vez creada, tan solo habrá que añadir una nueva instancia de esta plantilla y configurar el intercambio de datos.

Para este proyecto se han creado dos plantillas, una para la pantalla principal y otra para las demás pantallas, llamadas "*Pantalla principal*" y "*General*" respetivamente.

3.2.6 Inserción de elementos

En el caso de plantilla “General”, se van a llevar a cabo una serie de modificaciones y la inserción de nuevos elementos como botones, selectores, cuadros de texto, etc [6].

En primer lugar los botones de la parte inferior se van a sustituir por otros y se modificará su tamaño. Clicando sobre el botón en la pestaña *Propiedades>>Representación*, podemos modificar su **tamaño**, su color de fondo, su posición en la pantalla... (Figura 48).

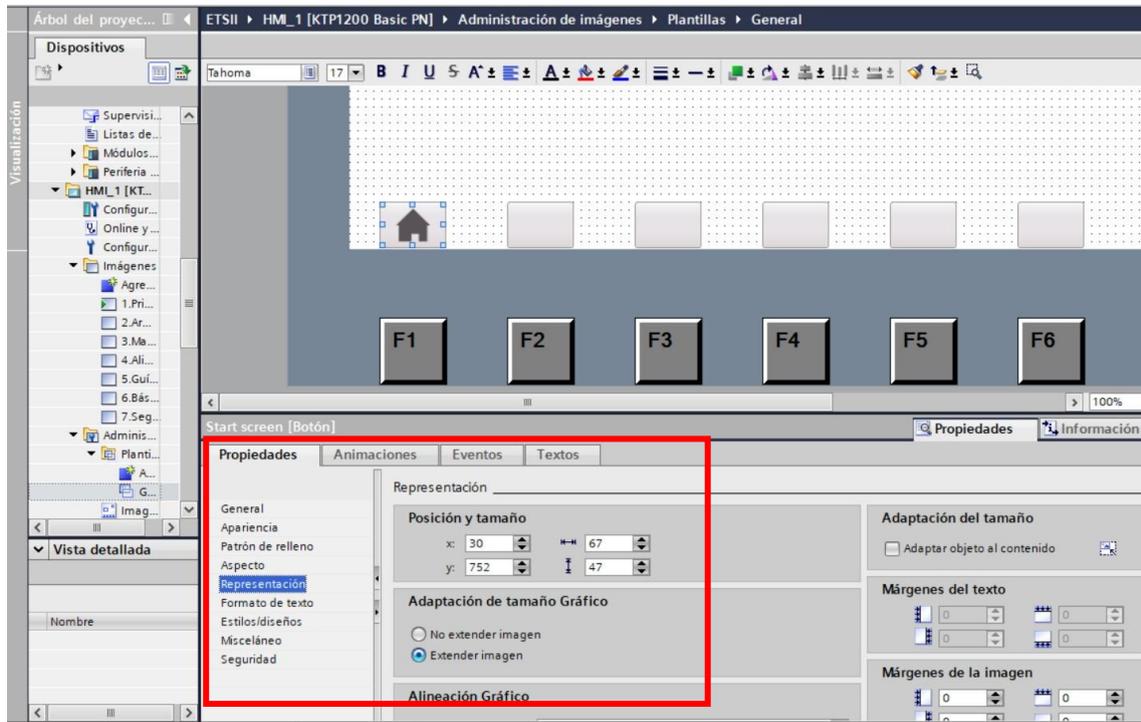


Figura 49 : Modificación de las propiedades de un botón

Se pueden modificar de tamaño y sustituir por otros **gráficos** contenidos en la librería de WinCC o que importemos nosotros mismos. La forma de introducir estos nuevos gráficos es yendo a la parte superior derecha de la pantalla, desplegar la pestaña de *Herramientas* y por último la de *Gráficos*. Aquí podemos encontrar imágenes de diferentes tamaños y formatos.

Una vez localizado el gráfico deseado, lo seleccionamos y arrastramos hasta el botón.

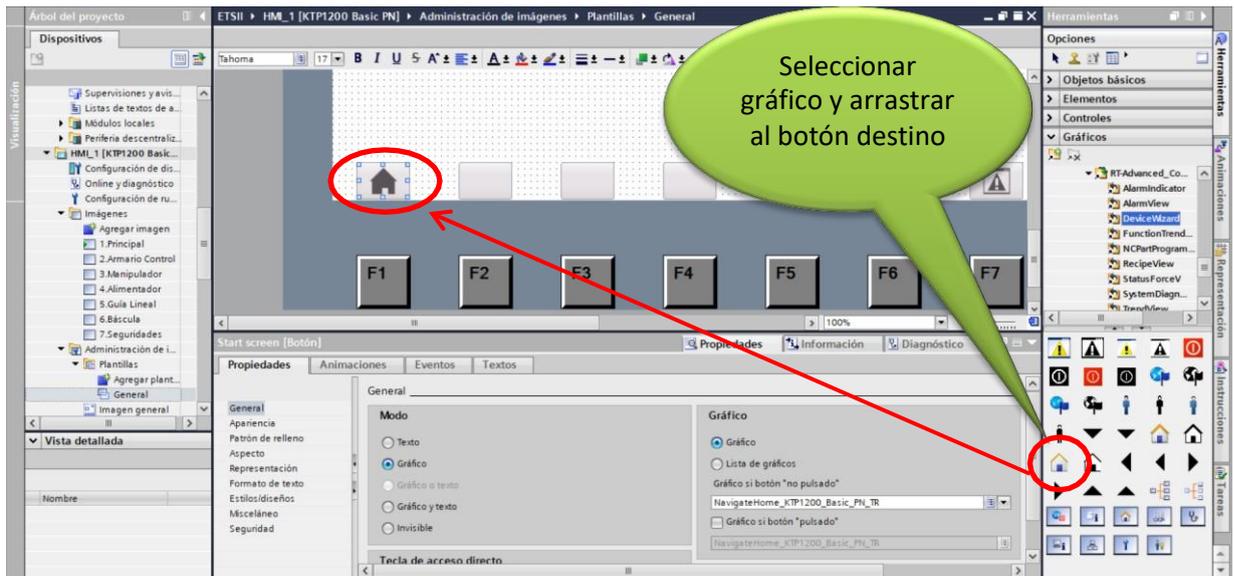


Figura 50 : Modificación de las propiedades en la plantilla

El siguiente paso va a ser vincular el botón a una de las pantallas, es decir, que al pulsarle nos lleve a la pantalla deseada. Esto se consigue en la pestaña *Eventos* >> *Hacer click*. En el desplegable seleccionamos *Activar imagen* y le indicamos cual (Figura 51).

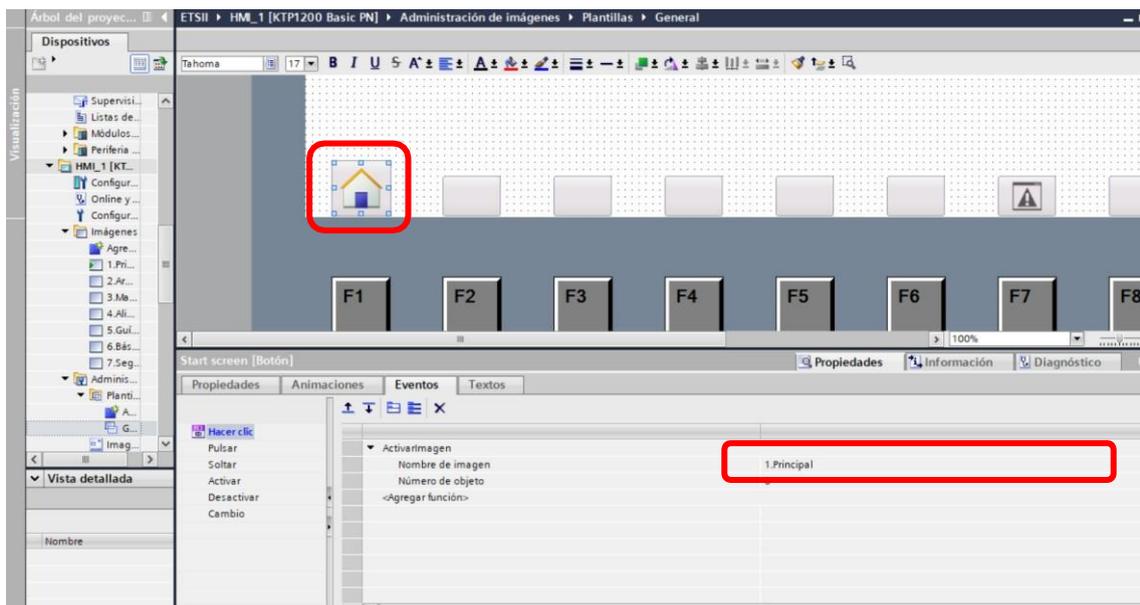


Figura 51 : Vincular botón con pantalla

El mismo proceso seguirá la configuración de los restantes botones, obteniendo finalmente el siguiente resultado (Figura 52):

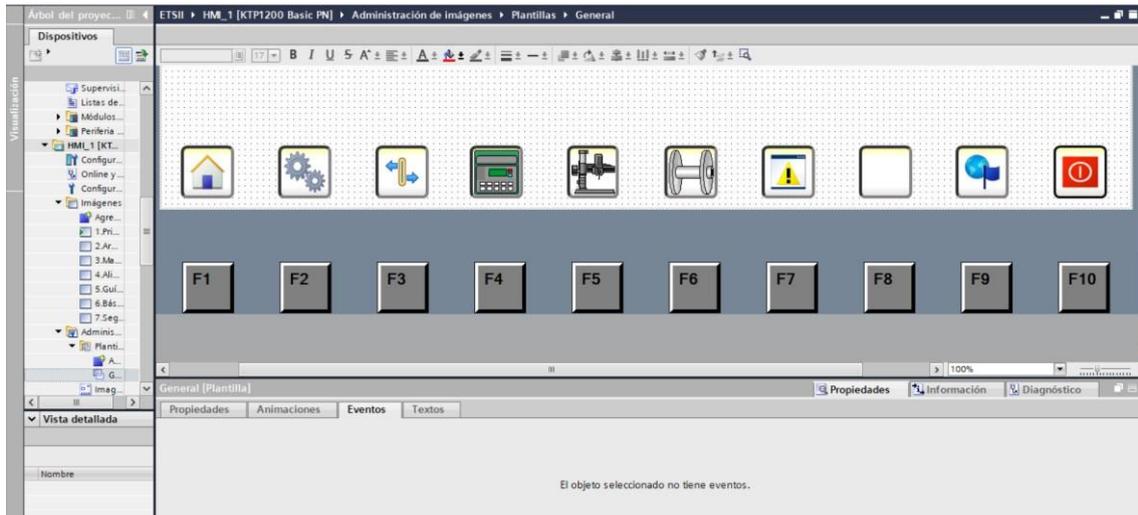


Figura 52 : Botones

Dónde:

- Botón situado sobre F1 : Pantalla Principal
- Botón situado sobre F2: Armario de control
- Botón situado sobre F3 : Guía lineal
- Botón situado sobre F4 : Bascula
- Botón situado sobre F5 : Manipulador
- Botón situado sobre F6 : Alimentador de piezas
- Botón situado sobre F7 : Seguridades
- Botón situado sobre F8 : N/A
- Botón situado sobre F9 : Idioma
- Botón situado sobre F9 : Apagado

Ahora se han de añadir los botones y selectores que queremos que aparezcan en todas las pantallas. Resulta interesante contar con:

- Selector Remoto/Local.
- Selector Automático/Manual.
- Selector Marcha/Paro.
- Pulsador del Rearme.
- Pulsador de emergencia.

Para añadir un **selector** ir a la pestaña *Herramientas>>Elementos* (Figura 53).

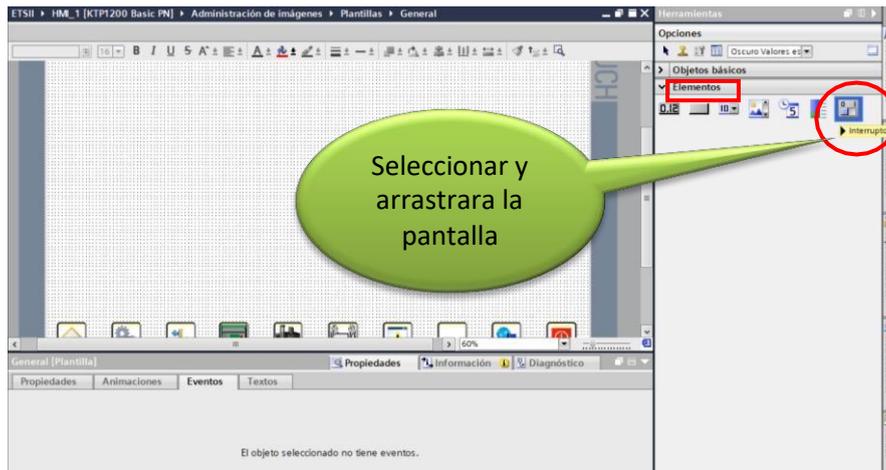


Figura 53 : Introducir selector

Al igual que con los botones que anteriormente se han situado en la parte inferior de la pantalla, en el caso de los selectores también se pueden modificar propiedades como el color, el tamaño, el ancho del borde, el radio angular de las esquinas, etc. Todo ello se hace seleccionando el elemento desde la pestaña *Propiedades*, al igual que la elección del texto que se desea que tenga el selector.

- En el apartado *General* se vincula a la variable deseada y se escribe el texto que aparecerá dependiendo de si la conmutación es a ON o a OFF. Se van a tratar de **señales de salida** del HMI. En este caso, el selector Manual/Automático (Figura 54) se configura vinculándolo a la variable *MOD* creada en el bloque de datos "6001.DB_Comunicacion" de tal suerte, que al conmutar a ON el sistema estará en modo Automático y al conmutar a OFF pasará a modo manual.

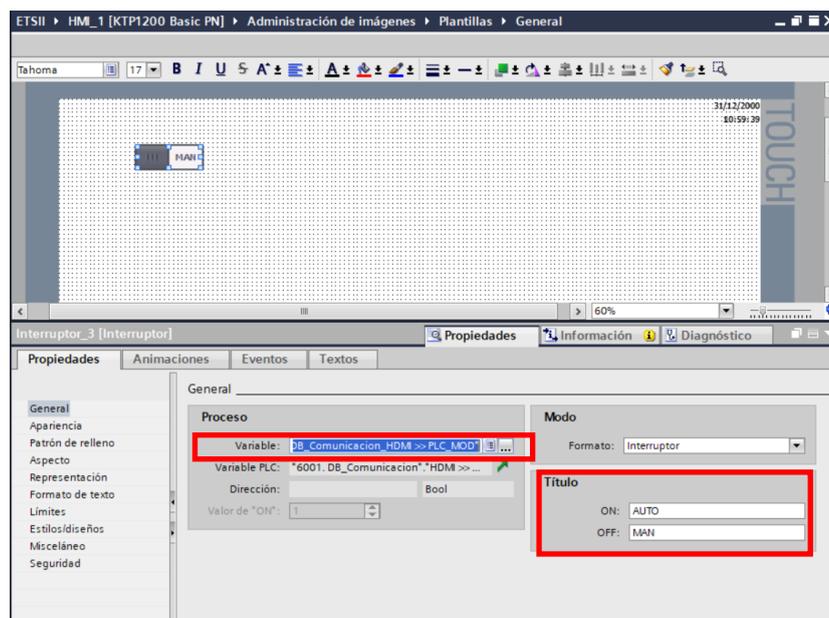


Figura 54 : Selector Manual/Automático

- En el apartado *Apariencia* elegimos los colores del elemento y del texto, seleccionamos el estilo y el ancho de borde, y se da la opción de redondear las esquinas del elemento según se desee (Figura 55).

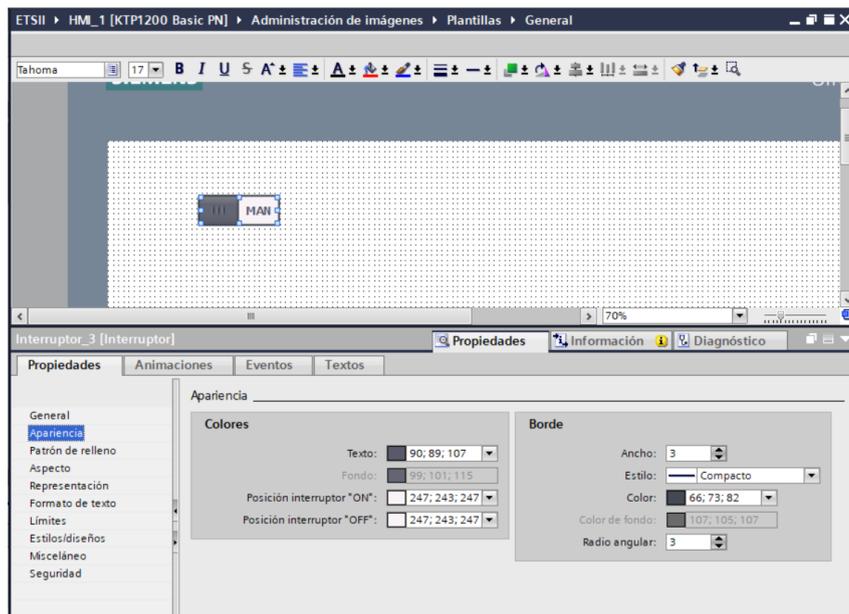


Figura 55 : Selector-Configuración apariencia

- Los demás apartados de *Patrón de relleno*, *Aspecto*, *Representación*, *Formato de texto...* también sirven para modificar las cualidades estéticas del elemento como el tamaño o el estilo de letra del texto.

La pestaña *Eventos* da la posibilidad de vincular el estado del selector a un proceso o cambio de estado de otra variable. Por ejemplo, al cambiar de modo manual a modo automático resulta útil que el equipo se pare y pida un rearme, esto se puede conseguir fácilmente de la siguiente manera:

- Ir a la pestaña *Eventos*>>*Conmutar a ON*, en el desplegable *Añadir función* seleccionar *Todas las funciones*>>*Desactivar bit*. A continuación seleccionar la señal que se desea desactivar cuando del conmutar cambie de manual a automático o viceversa, recordemos que han de ser las señales que se han declarado como salidas del HMI. En este caso lo que se busca es que al cambiar el selector de posición el bit de “*marcha*” pase a cero (Figura 56).

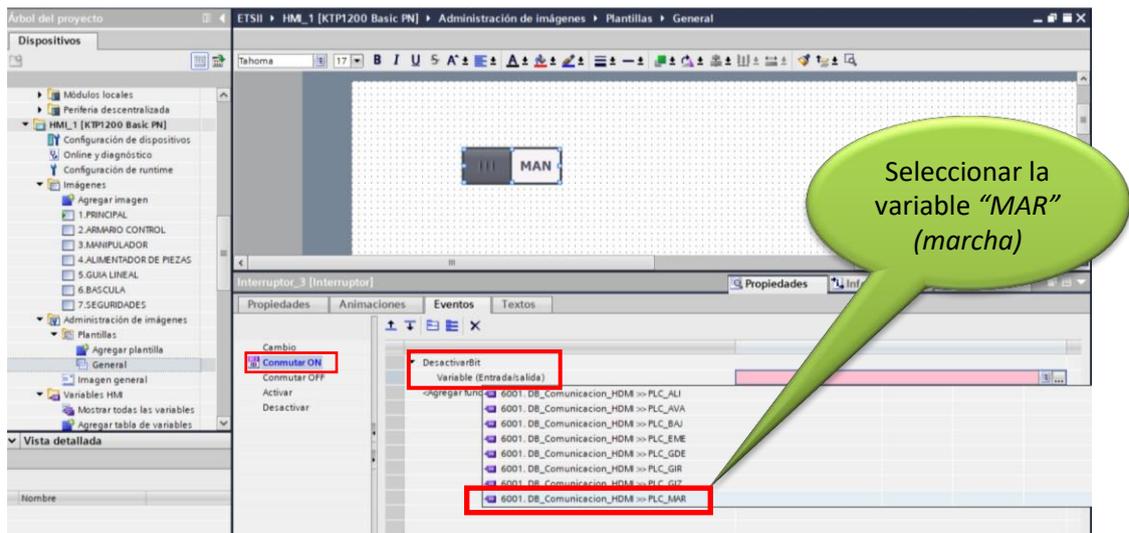


Figura 56 : Eventos-Vincular a un proceso

- Realizar la misma operación para el campo *Conmutar a OFF* (Figura 57).

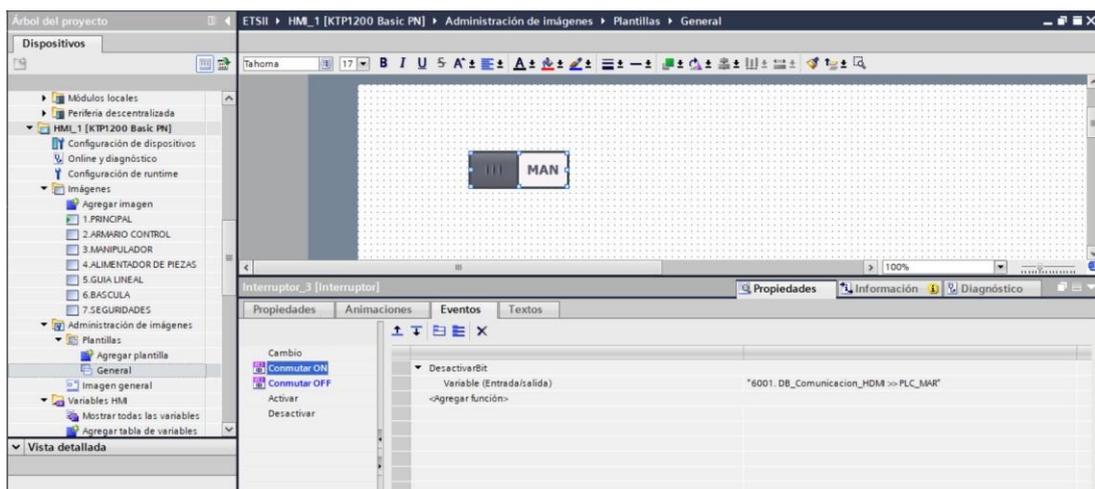


Figura 57 : Eventos-Vincular a un proceso

Para añadir un **pulsador o botón** ir a la pestaña *Herramientas>>Elementos*, seleccionar y arrastrar a la posición de la pantalla deseada (Figura 58).

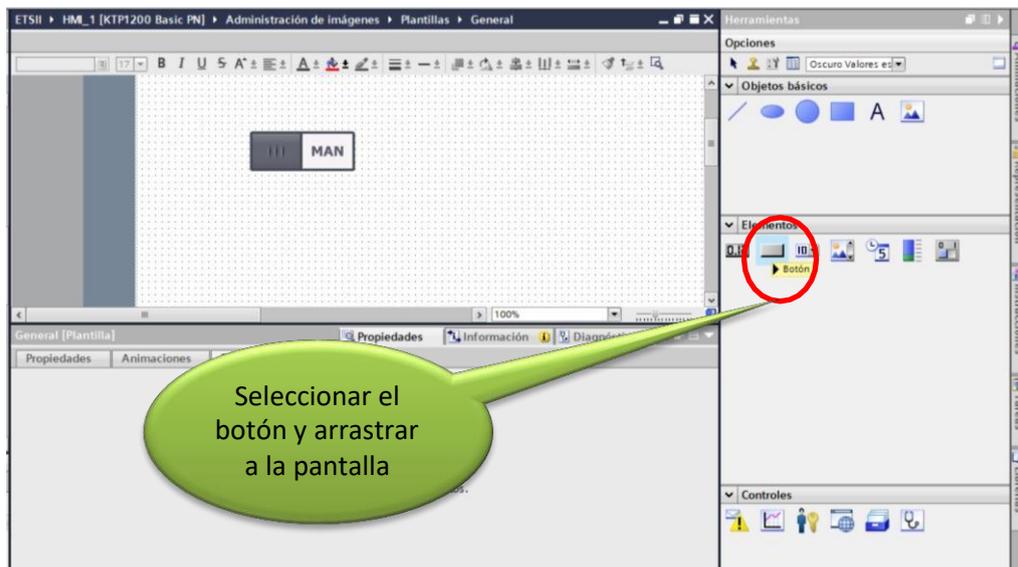


Figura 58 : Insertar botón

Una vez arrastrado a la pantalla, de igual modo que en el selector, damos al elemento la apariencia que deseemos.

Los botones también hay que vincularlos a una variable para que al pulsarlos activen la señal que deseemos. Esto se consigue seleccionando el botón, en la pestaña *Eventos*. Si lo que deseamos es que al pulsar el elemento se active una señal, hemos de ir a *Ir a la pestaña Eventos>>Pulsar*, en el desplegable *Añadir función* seleccionar la opción que interese.

En este caso el botón que se va a configurar es el correspondiente al rearme, tratando de simular el comportamiento que tiene el pulsador de la botonera física del armario de control. Por lo tanto lo que necesitamos es que al pulsar el elemento se active el bit de rearme (declarado en el bloque de datos como *REM*), y al soltar el mismo, el bit se ha de desactivar.

Esto se consigue en *Todas las funciones*>>*Activar bit* seleccionando la variable *REM*, y en *Todas las funciones*>*Desactivar bit* y seleccionando la misma variable (Figura 59).

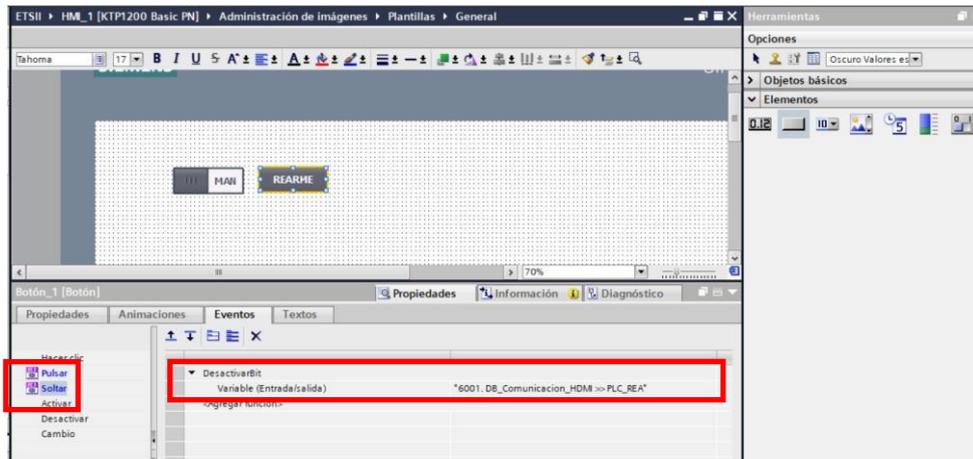


Figura 59 : Vincular variable a un botón

Para los restantes botones y selectores se opera de manera similar:

- Selector Remoto/Local: se vincula la salida del HMI que indica si se trabaja de forma local (armario eléctrico) o de forma remota (desde el HMI), *REM=0* y *REM=1* respectivamente. De tal suerte que al conmutar el selector a ON se activa el modo remoto, y al conmutar a OFF se desactiva.
- Selector Marcha/Paro: se vincula a salida *MAR*, puesta en marcha del sistema cuando vale 1, y para cuando vale 0.
- Pulsador de emergencia: activa a nivel bajo, se vincula a la señal *EME*.

Figuras básicas como rectángulos, círculos, elipses, líneas, cuadros de texto o inserción de imágenes se pueden conseguir arrastrando desde el apartado *Herramientas>>Objetos básicos* (Figura 60). Una vez desplazado el objeto, deberemos seleccionar el archivo que queremos asociar para ello deberemos ir a *Propiedades >> General* y desde aquí insertar un gráfico nuevo que este guardado en la biblioteca de imágenes del PC, o elegir entre los que ya vienen en la librería de TIA Portal (Figura 50).

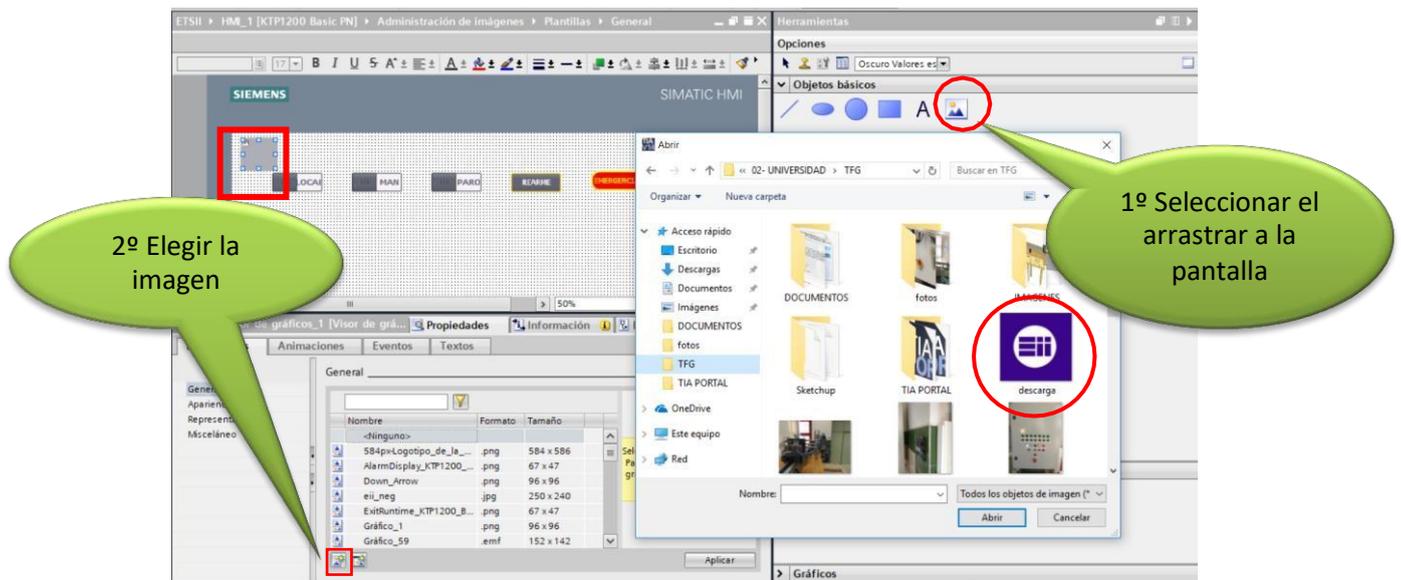


Figura 60 : Inserción de una imagen

La inserción de una imagen o un logo también se puede hacer directamente arrastrando la imagen desde nuestra biblioteca de imágenes del PC.

Configurando los selectores y botones restantes e introduciendo unos cuadros de texto obtenemos el siguiente resultado:

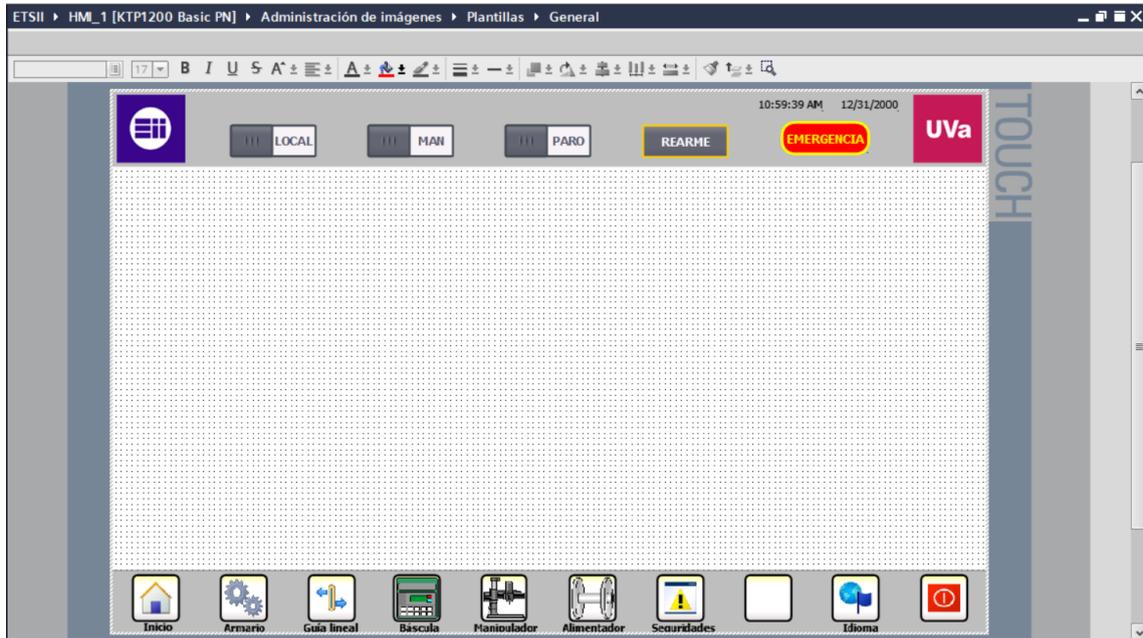


Figura 61 : Plantilla general

3.2.7 Vincular la plantilla a las pantallas del HMI

Una vez lograda la plantilla, se trabajará sobre ella añadiendo los elementos que sean necesarios en cada pantalla.

Para hacer la pantalla que simulará el armario de control con la botonera situarse sobre el árbol de proyecto y seleccionar la imagen del HMI que se ha creado con el nombre de “*Armario de control*”. Sobre la pantalla ir a *Propiedades* >> *General* y seleccionar la plantilla deseada.

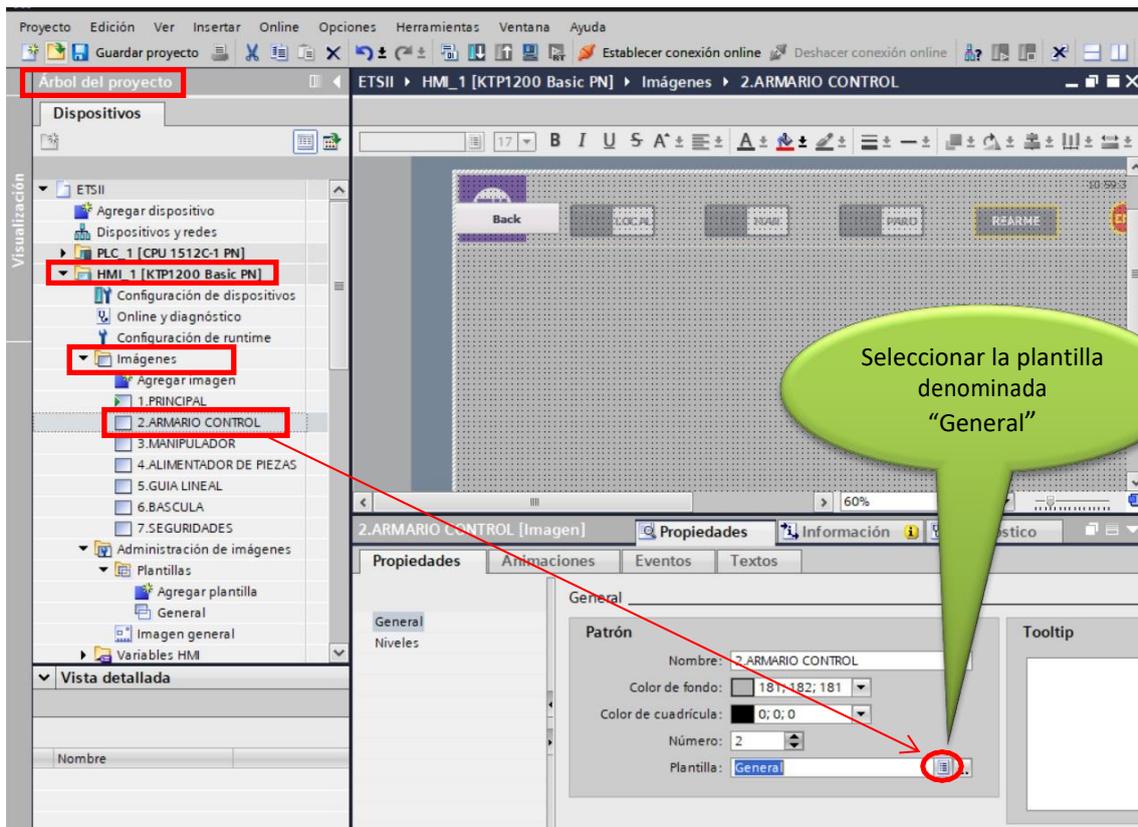


Figura 62 : Vincular la plantilla a una imagen del HMI

Como se puede observar en Figura 62, se aprecia la plantilla creada anteriormente de fondo. Esto implica que todo lo que hay en la plantilla aparecerá en la pantalla *Armario control*, y ahora a mayores se le añadirán las funcionalidades correspondientes.

En la pantalla *Armario control*, se emplearán elementos que ya se han mencionado anteriormente y se ha explicado cómo trabajar con ellos: un selector, pulsadores, círculos y rectángulos, introducción de logotipos e imágenes.

3.2.8 Lista de gráficos

La pantalla *Manipulador* va a recoger la el estado de los actuadores que lo forman, dando lugar a diferentes configuraciones.

Lo que se pretende conseguir es que en la pantalla HMI aparezca una imagen representando la posición de los actuadores. La forma de que aparezcan diferentes imágenes según una señal determinada es introduciendo un campo E/S en la pestaña *Herramientas>>Elementos* (Figura 63).

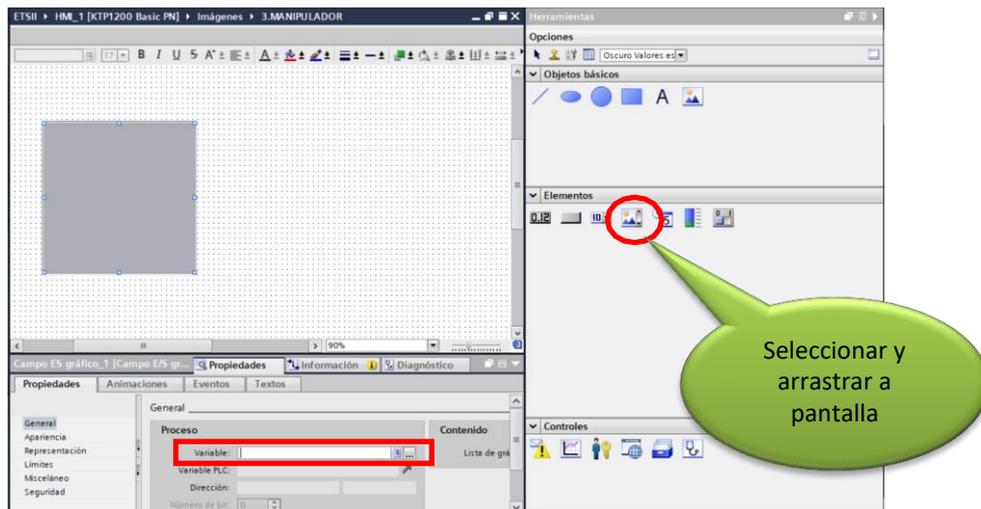


Figura 63 : Insertar campo E/S

Este elemento pide ser vinculado a una variable, pero en este caso lo que se necesita no es un *variable* booleana que solo tiene dos posibles estados (cero o uno), sino una tipo *Word* que está formado por 16 bits, justo la cantidad de posibles configuraciones que puede adoptar el manipulador (tal como se indicaba en el apartado 3.1.1 cuando se describe el manipulador). Lo que se hará por tanto es vincular el estado de los sensores del manipulador a cada uno de los 16 bit.

Dado que el manipulador tiene un total de cuatro grados de libertad, en total hay 16 posibles situaciones del manipulador que se han denominado de la siguiente manera:

En el bloque de datos “6002.DB_Avisos y configuraciones” se ha creado una variable tipo word (llamada “Conf”) con la que se va a trabajar en la función “6002.FC_Comunicaciones” de tal suerte que cada posición del manipulador se le va a asignar un entero (Figura 64)

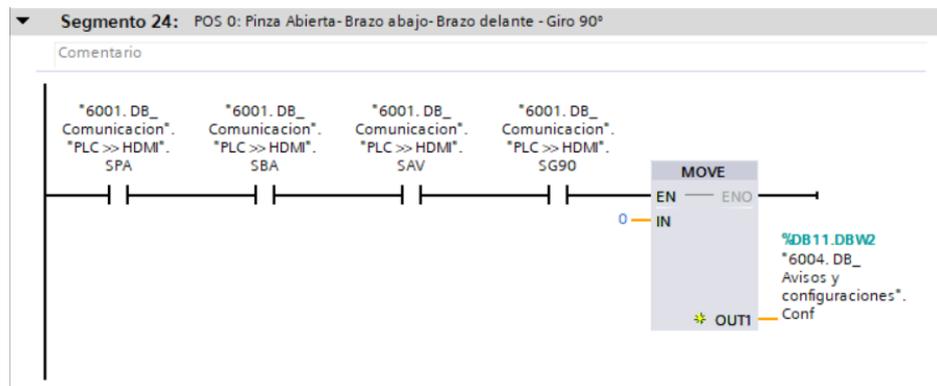


Figura 64 : Configuraciones del manipulador

Con las 15 restantes posibles posiciones del manipulador se hace lo mismo.

Ahora se crea una **lista de gráficos** que recoge imágenes del manipulador según el estado de los actuadores: en el árbol de proyecto ir a *HMI_1>>Listas de textos y gráficos*. Agregar una nueva lista (Figura 65).

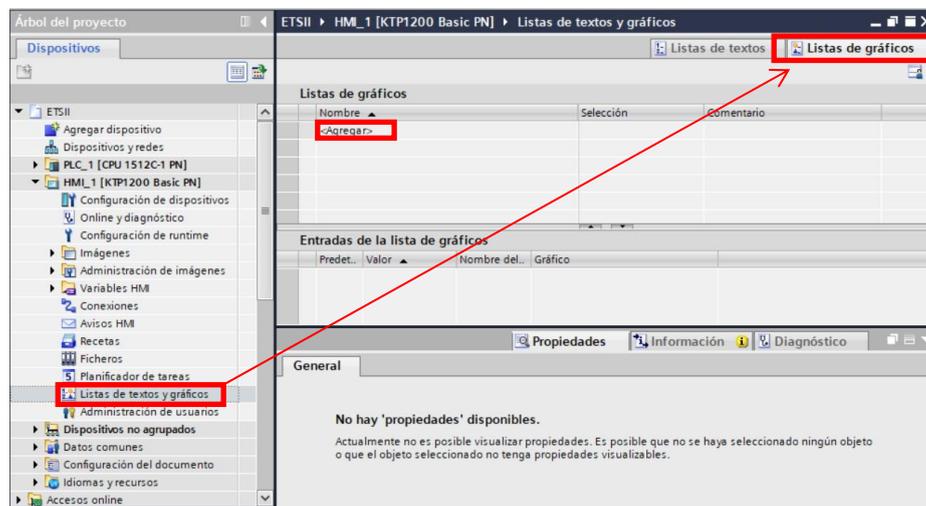


Figura 65 : Insertar lista de gráficos

En la pestaña *Entrada de la lista de gráficos* se va asignando a cada número la imagen deseada arrastrándola desde la librería de imágenes del PC (Figura 66).

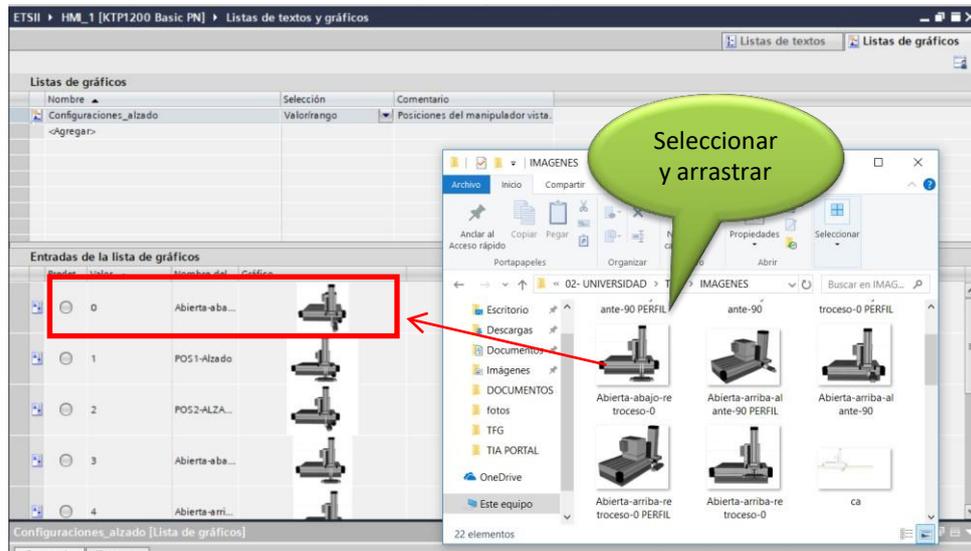


Figura 66 : Lista de gráficos

Volviendo de nuevo a la pantalla HMI, hay que vincular la variable con la que se desea que el campo E/S anteriormente introducido en la pantalla vaya evolucionando. En este caso la variable ha de ser la ya mencionada *Conf* (tipo word) , de tal suerte que según el valor que adquiera en el campo E/S aparecerá una imagen u otras. También, en el apartado *Contenido>>Lista de gráficos* seleccionar la lista anteriormente creada.

3.2.9 Avisos HMI

Con intención de poder hacer un diagnóstico, conocer el estado de las emergencias y la configuración adoptada por el manipulador, se crea un bloque de datos "6002.DB_Avisos y configuraciones". La variable correspondiente a la configuración adoptada por el manipulador ya se ha utilizado en el anterior apartado (Lista de gráficos). Estas señales serán también entradas al HMI (Tabla 3).

AVISOS HMI	DETALLES
EME	1= Emergencia HMI no activa // 0= Emergencia HMI activa
EMC	1= Emergencia cuadro no activa // 0=Emergencia cuadro activa
SEM	1= Emergencia mesa no activa // 0=Emergencia mesa activa
EMG	1= Emergencia guía no activa // 0=Emergencia guía activa
FOT	1= Fotocélula no activa // 0= Fotocélula activa

Tabla 3 : Avisos HMI

Los avisos son realmente útiles para diagnosticar el estado de las seguridades, por ello para este trabajo se ha dedicado una pantalla a supervisar el estado de estas mediante una tabla que muestra que seguridad no está en correcto estado, así como un historial que indica la hora a la que se produjo el acontecimiento.

Los avisos del HMI necesitan una dirección de disparo (no una variable booleana), por lo que la forma de llamar a las variables será mediante un direccionamiento absoluto de la DB que contiene las variables que dan lugar a estos avisos. Según las posiciones en las que se han declarado las variables en el bloque de datos, estas tienen diferente dirección (Figura 67).

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...
1	Static			
2	EME	Bool	0.0	false
3	EMC	Bool	0.1	false
4	SEM	Bool	0.2	false
5	EMG	Bool	0.3	false
6	FOT	Bool	0.4	false
7	Conf	Word	2.0	16#0

Figura 67 : Dirección absoluta de las variables en un DB

Las posiciones de memoria por tanto son:

- Emergencia botón HMI : *DB11.DBX0.0*
- Seta emergencia del cuadro: *DB11.DBX0.1*
- Seta de emergencia de la mesa : *DB11.DBX0.2*
- Seta de emergencia de la guía: *DB11.DBX0.3*
- Fotocélula del pasillo : *DB11.DBX0.4*

Los estados de estas variables se han de programar en la “6002. FC_Comunicaciones” (Figura 68).

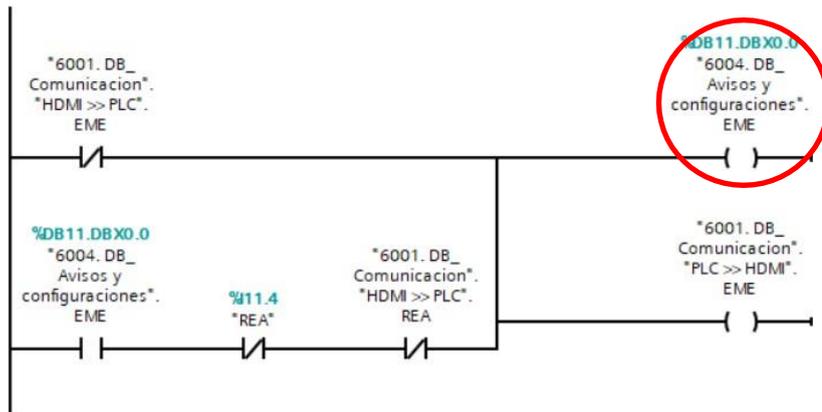


Figura 68 : Avisos HMI – Programación

El siguiente paso es ir al árbol de proyecto *HMI_1 >> Avisos HMI*. Se abre una pestaña con varias columnas, de las cuales las interesantes son el texto de aviso, la categoría y la bit de disparo (Figura 69).

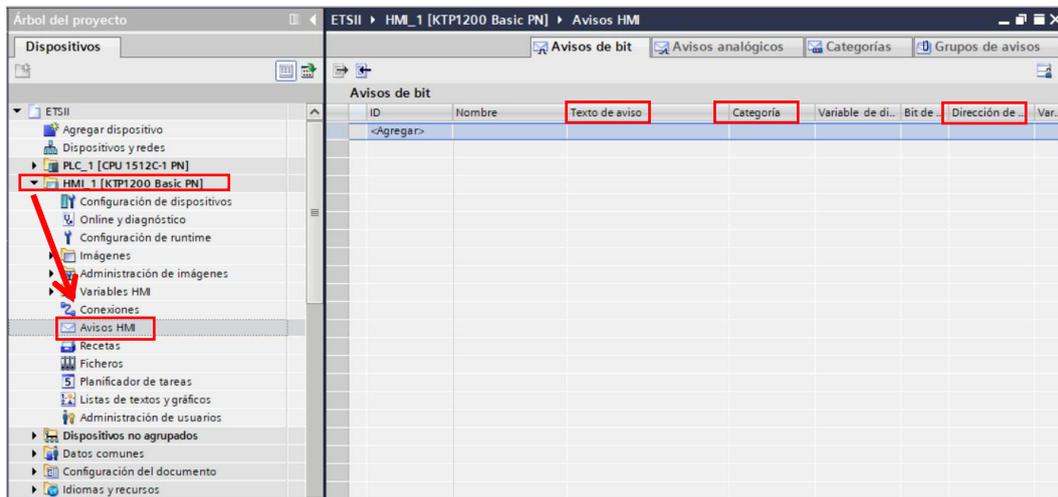


Figura 69 : Avisos HMI

La columna primera, ID, es simplemente el número de aviso que se le asigna. En la columna de *texto* se ha de poner el mensaje que se desea que aparezca cuando salte el aviso. La columna de *categoría* nos permite elegir entre:

- Errors
- Warnings
- Acknowledgement : con acuse de recibo.
- No Acknowledgement : sin acuse de recibo.

Y en la columna de la *bit de disparo* se indica el bit que ocupa la variable dentro de la DB creada. La forma de llamar a los bits con respecto a la dirección que ocupa sigue el siguiente patrón:

Bit en DB	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Bit disparo	8	9	10	11	12	13	14	15

Tabla 4 : Direccionamiento de bits

Aplicando estos pasos a cada una de las variables que interesan, se obtiene lo siguiente:

ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di.	Bit de disparo	Dirección de ...	Variable de ac...	Bit de ...
1	Aviso de bit_1	Emergencia HMI activa	Errors	AVISOS	8	%DB11.DBX0.0	-Ninguna var...	0
2	Aviso de bit_2	Emergencia cuadro activa	Errors	AVISOS	9	%DB11.DBX0.1	-Ninguna var...	0
3	Aviso de bit_3	Emergencia mesa activa	Errors	AVISOS	10	%DB11.DBX0.2	-Ninguna var...	0
4	Aviso de bit_4	Emergencia guía activa	Errors	AVISOS	11	%DB11.DBX0.3	-Ninguna var...	0
5	Aviso de bit_5	Fotocélula activa	Errors	AVISOS	12	%DB11.DBX0.4	-Ninguna var...	0

Figura 70 : Avisos HMI

A todos los avisos se les ha dado la categoría de *Errors* (Figura 69), categoría que tiene acuse de recibo, es decir que cuando alguna de las variables vinculadas a los avisos no esté ok, aparecerá una pantalla emergente, y hasta que no la cierre el usuario manualmente no desaparecerá.

El siguiente paso es ir a la pantalla HMI que se ha titulado *Seguridades*. Una vez en ella, se arrastrará desde la pestaña, al lateral izquierdo, *Herramientas>>Controles* el elemento llamado *visor de avisos* (Figura 71). Desde la pestaña *Propiedades* se puede concretar cuáles son las categorías de aviso que aparezcan en la tabla, así como modificar su apariencia estética, su tamaño, el formato de texto utilizado y el título de las columnas.

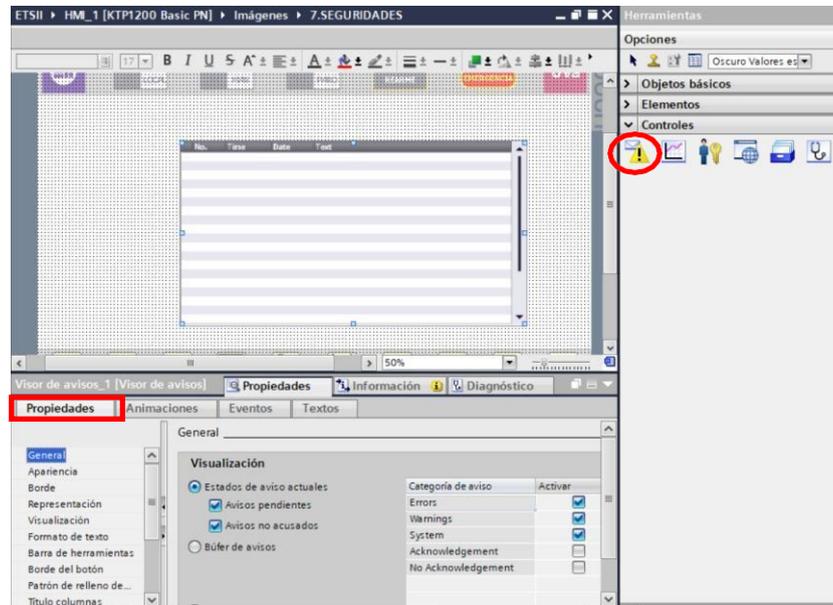


Figura 71 : Visor de avisos

En este caso no hay que vincular el elemento introducido a ninguna variable, habiendo ya hecho la tabla de avisos anteriormente, cuando se de alguno de ellos aparecerá directamente en la pantalla.

3.2.10 Animaciones en el HMI

TIA Portal da la posibilidad de simular funcionalidades del sistema real, tales como el parpadeo el cambio de color de los luminosos en el armario, o el cambio de posición de la guía. A continuación se muestran un par de ejemplos dónde se han utilizado animaciones.

Resulta interesante hacer uso de la herramienta animaciones en la pantalla *Armario Control*. En la imagen inferior (Figura 72) se dibuja el botón correspondiente para el desplazamiento hacia la izquierda de la guía, acompañado de su correspondiente luminoso, que ha de aparecer en verde cuando el botón este pulsado.

Para conseguir que solo este en verde cuando el botón este pulsado, seleccionar el elemento ir a *Propiedades>>Animaciones>>Visualización>>Agregar animación>>Visualización* (Figura 72). El siguiente paso es vincularlo a la variable deseada y a su valor. En este caso necesitamos que sea la misma que su correspondiente botón, es decir la señal de salida del HMI que provoca el desplazamiento a la derecha de la guía, y ha de tener valor 1. Antes de salir de la configuración seleccionar si lo que se necesita es que el círculo este visible o no cuando se den las condiciones de su izquierda.

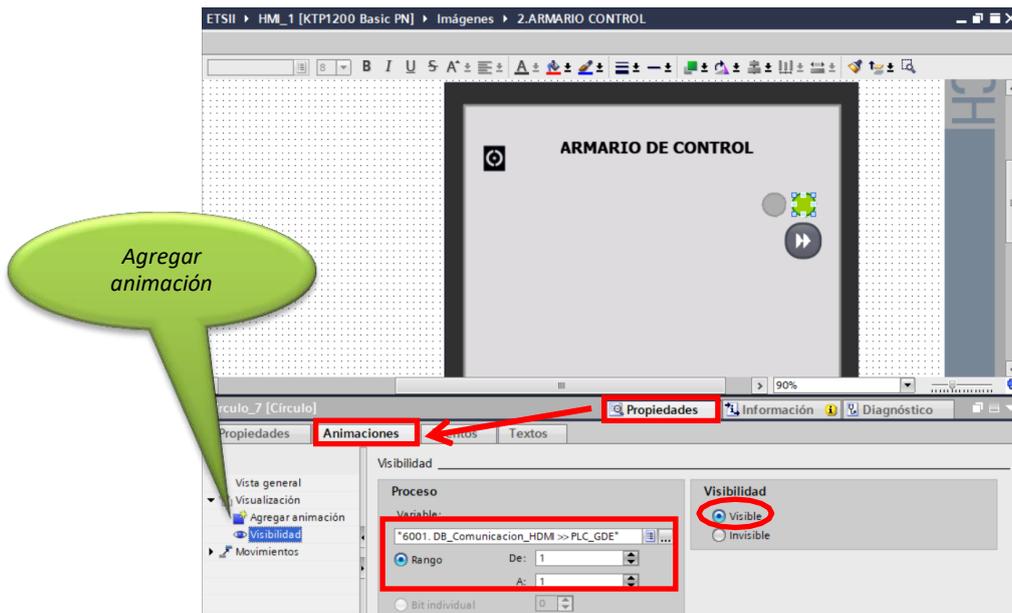


Figura 72 : Animaciones en HMI

Con esto se ha conseguido que cuando la señal que provoca el desplazamiento la derecha de la guía este activa (valor 1) el círculo que aparezca sea el verde, están el resto del tiempo invisible.

El círculo en color gris (Figura 72), indicando que el botón no está pulsado se ha vinculado a la misma señal, pero indicando que esté visible cuando esta valga 0.

Otra animación que resulta interesante, pero no en esta pantalla, es la de **movimiento**. Se ha utilizado en la pantalla titulada *Guía lineal*. Interesa que la guía del HMI se desplace al compás que lo hace el elemento real.

Situarse sobre la imagen del manipulador introducida en el HMI (Figura 73) e ir *Propiedades>>Animaciones>>Movimientos>>Agregar animación>>Movimiento horizontal*. Seleccionar la variable con la que se desea que la imagen varé su posición e indicar el rango de valores entre los que se ha de mover. Por último indicar cuál es la posición final e inicial en la pantalla que se corresponde con los límites inferior y superior del rango.

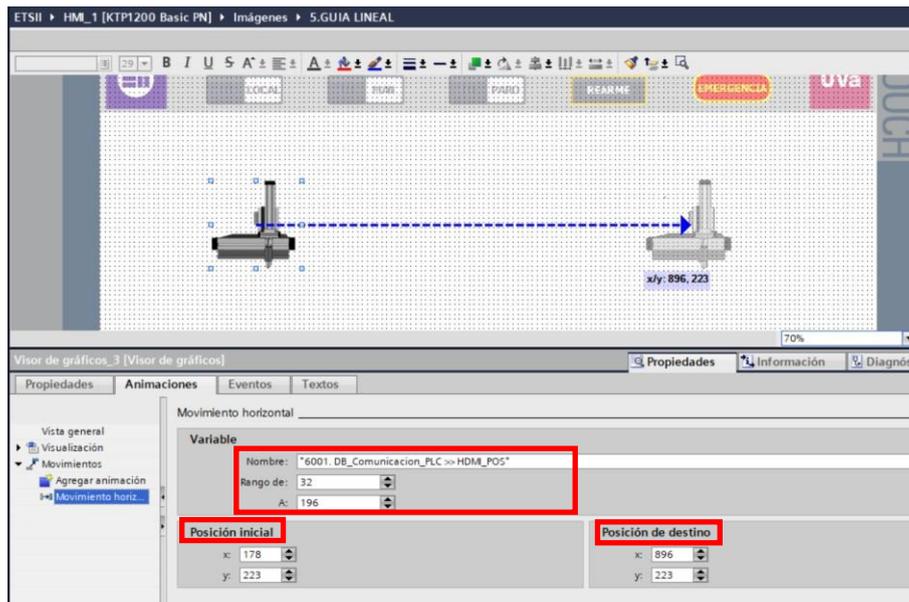


Figura 73 : Animaciones HMI

3.3 Pantallas diseñadas.

Finalmente, aplicando los conocimientos adquiridos en capítulo anterior (2.2 Configuración de una pantalla HMI), se han logrado las pantallas que posteriormente se exponen para la comunicación hombre maquina entre el equipo y la pantalla HMI.

3.3.1 Principal

Se trata de la pantalla con la que arranca la el dispositivo HMI al cargar el programa. Se la ha dotado de una imagen del sistema en cuestión y de los botones que permiten acceder a cada una de las restantes pantallas (Figura 74).



Figura 74 : Pantalla principal

3.3.2 Armario de control

Esta pantalla logra la funcionalidad de la botonera del armario real situado en el laboratorio del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la EII Uva (Figura 75).

Desde esta pantalla se pueden realizar las siguientes acciones:

- Discriminar entre modo manual o automático mediante un selector.
- Poner en marcha el sistema.
- Parar el sistema.
- Movimientos del manipulador:
 - Abrir y cerrar garra.
 - Subir y bajar el cilindro que sostiene la garra.
 - Avanzar o retroceder para ir a posición de reposo o de deposición respetivamente.
 - Girar la garra.
- Desplazar el manipulador a lo largo de la guía.
- Pulsar la emergencia que induce el paro del equipo.
- Rearmar el sistema.



Figura 75 : Armario de control

Desde ésta pantalla también se obtiene la posibilidad de acceder a las demás.

Los luminosos del armario que en la imagen anterior se encuentran en color gris, cambian a color verde en los siguientes casos:

- Luminoso de *Garra*: en verde cuando la pinza está abierta.
- Luminoso del *Giro*: en verde cuando el cilindro que sostiene la garra gira dejando a ésta en perpendicular a la guía.
- Luminoso del botón *Bajar*: en verde cuando que sostiene la garra ha bajado acercándose a la mesa.
- Luminoso del botón *Avance*: en verde cuando que sostiene la garra ha avanzado perpendicular a la mesa.
- Luminoso del botón *Alimentador*: en verde cuando el cilindro que corta o permite la entrada de piezas, está en retorno, permitiendo el paso de piezas.
- Luminoso del botón que indica movimiento a la izquierda: en verde mientras dicho botón este pulsado y provocando el movimiento hacia la izquierda (zona de pesaje).
- Luminoso del botón que indica movimiento a la derecha: en verde mientras dicho botón este pulsado y provocando el movimiento hacia la derecha (zona de alimentación).
- Luminoso sobre el selector: Cuando el sistema está en modo manual, la luz blanca aparecerá sobre la parte del selector que permite entrar en este modo, y cuando el sistema esté en modo automático, la luz blanca aparecerá al lado contrario.
- Luminoso del botón *Marcha*: en verde cuando el equipo se encuentre en marcha.
- Luminoso del botón *Paro*: en verde cuando el equipo se encuentre parado.
- Luminoso del botón *Rearme*: parpadeará en color naranja cuando sea necesario rearmar el equipo (se haya dado un error o una emergencia esté no OK).
- Luminoso de la *Emergencia*: parpadeará en color rojo cuando alguna emergencia no esté Ok.

Como a continuación se verá, todas las pantallas, excepto la principal, están hechas sobre la misma plantilla, por lo que los botones y selectores situados en la parte superior e inferior aparecerán en todas ellas, ya que resulta interesante (y en ocasiones necesario) poder acceder fácilmente a acciones como rearmar el equipo o pulsar una emergencia fácilmente visible

En la parte superior:

- Selector Remoto/Local: en remoto el sistema se controlará desde el HMI, y en local se hará desde la botonera del armario físico.
- Selector Manual/Automático: discriminar entre modo manual o automático.
- Selector Marcha/Paro.
- Pulsador de Rearme: Se ha de pulsar cuando haya saltado una emergencia o algún fallo en el variador para resetear los errores.
- Pulsador de emergencia.

3.3.3 Manipulador

Desde la pantalla “Manipulador” (Figura 76) el usuario puede accionar los cilindros del manipulador, así como visualizar mediante imágenes el estado del mismo. Gracias a la implementación del modelo 3D realizado mediante Sketchup se consigue una gran similitud al sistema real.

Las imágenes que aparecen en pantalla responden a las señales que los sensores envían al PLC, por lo que da al usuario la posibilidad de asegurarse que ningún cilindro se ha quedado bloqueado. Es decir, que si por ejemplo se ha dado la orden de *abrir garra* y en la imagen la garra aparece cerrada, se podrá diagnosticar un fallo en el actuador correspondiente.

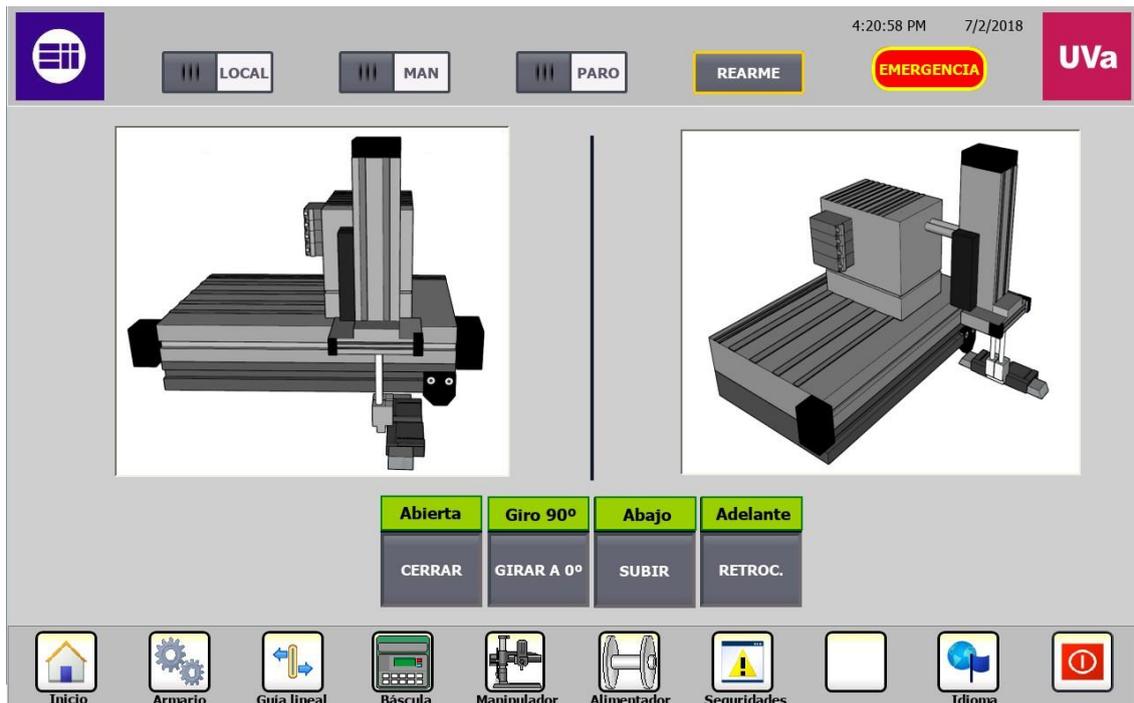


Figura 76 : Manipulador

3.3.4 Guía lineal

Esta pantalla (Figura 77) permite al usuario obtener una visión de todo el sistema: zona de alimentación, zona de pesaje, zona de deposición y manipulador. Desde los botones situados en la parte inferior de la imagen, se puede dar la orden de desplazar la guía a derechas o izquierdas según se desee. Además, la imagen se ha animado de tal suerte que el manipulador virtual se desplaza a lo largo de la mesa simulando las posiciones que el manipulador real toma.



Figura 77 : Guía lineal

3.3.5 Báscula

Esta pantalla muestra la báscula, muy lograda dibujando todo detalle, que proporciona el resultado del peso de la pieza. (Figura 78).

De igual manera que en pantallas anteriores, se puede acceder a las demás mediante los botones de la parte inferior, y realizar funciones como poner en marcha, parar, cambiar el modo de funcionamiento, rearmar y pulsar la emergencia.



Figura 78 : Báscula

3.3.6 Seguridades

Esta pantalla sirve de diagnóstico del sistema. Muestra el estado de todas emergencias y un histórico que recoge los fallos (Figura 79).

Se muestra un texto en color verde cuando las emergencias están OK (setas de emergencia y emergencia del HMI sin pulsar, fotocélula no detecta presencia), y mostrarán el texto “ACTIVA” parpadeante cuando no lo estén.

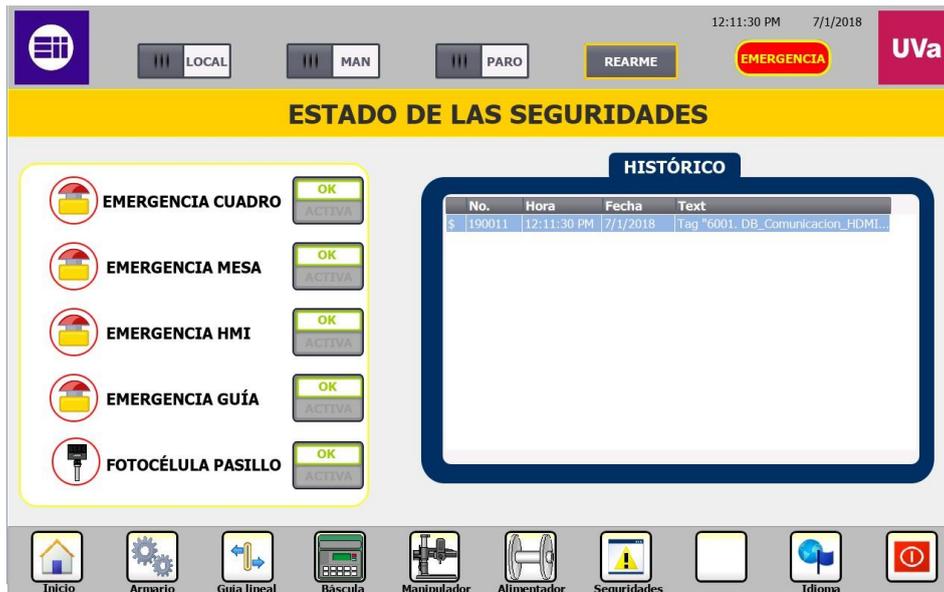


Figura 79 : Seguridades

3.4 Simulación del HMI en TIA Portal

TIA Portal permite simular el comportamiento que tendrían las pantallas programadas al cargarlas en el dispositivo HMI, permitiendo realizar un control sobre el sistema si el PC que contiene dichas pantallas está conectado a la misma red que el autómatas que controla el proceso.

En el caso de este TFG no se ha podido adquirir el dispositivo HMI, por lo que el control se realizará desde el PC, mediante la simulación de las pantallas.

Para simular las pantallas diseñadas, situarse dentro del árbol de proyecto en *HMI_1* y pulsar el icono *simular* (Figura 80).

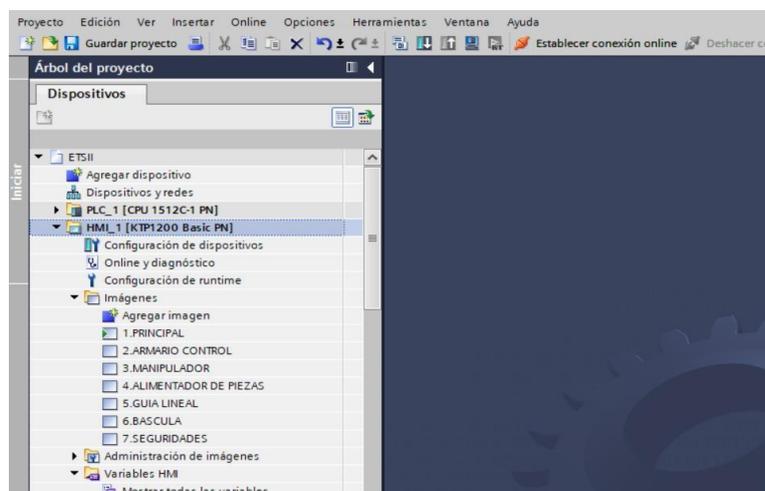


Figura 80 : Simular HMI

Se abrirá una nueva pestaña en el PC, se trata de la aplicación de TIA Portal *WinCC RT (WinCC Real Time)*. Lo primero que aparece es la pantalla principal, y desde ella ya se puede acceder a las restantes (Figura 81).



Figura 81 : Simulador run time del HMI

3.5 Conexión con el PLC

En este trabajo fin de grado no se va a dar el caso de tener que cargar el programa del HMI a un dispositivo físico real ya que, como anteriormente se mencionaba, no se dispone del tal dispositivo, por lo que se limitará a monitorizar el sistema desde un PC de programación.

Si en un futuro se dispusiera de una pantalla HMI, a continuación se exponen los requisitos a cumplir para cargar el proyecto.

En primer lugar, se ha de dar una IP a la pantalla, no ocupada por otro dispositivo y que comparta la misma red que el PLC. Para este ejemplo se ha dado la dirección 157.88.201.2.

Ir al árbol del proyecto y clicar sobre *Dispositivos y redes* (Figura 82). Aparecerá la red Profinet con elementos conectados a ella.

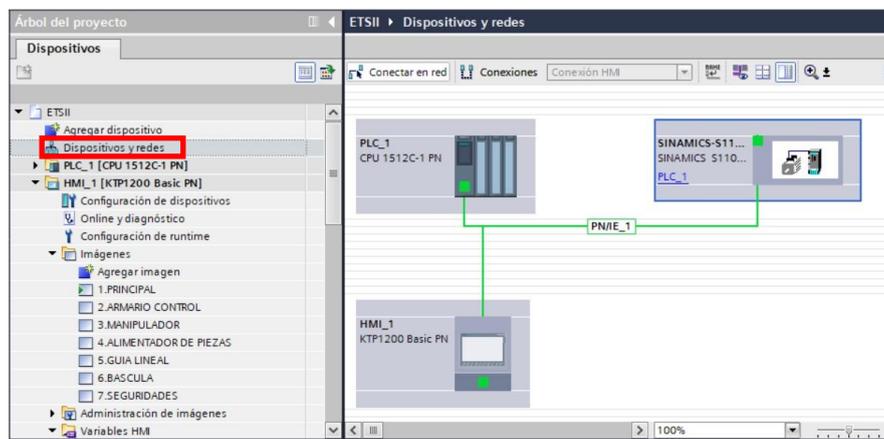


Figura 82 : Dispositivos y redes

Clicar sobre el puerto de conexión de la pantalla HMI e ir a la pestaña *General*>>*Direcciones Ethernet* y en el apartado correspondiente ajustar la IP deseada.

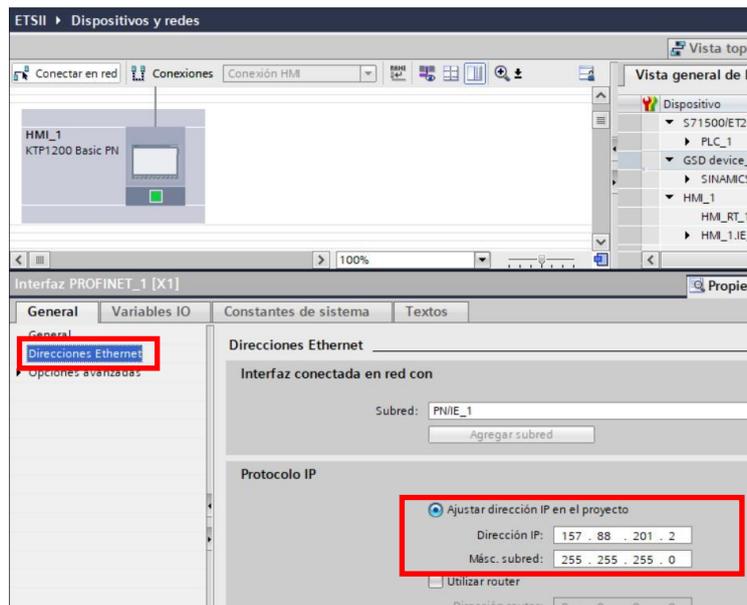


Figura 83 : Direcciones Ethernet

Por otra parte, también se ha de asignar la IP en *HMI_1*>>*Conexiones* (Figura 84), así como indicar el interfaz de comunicación.

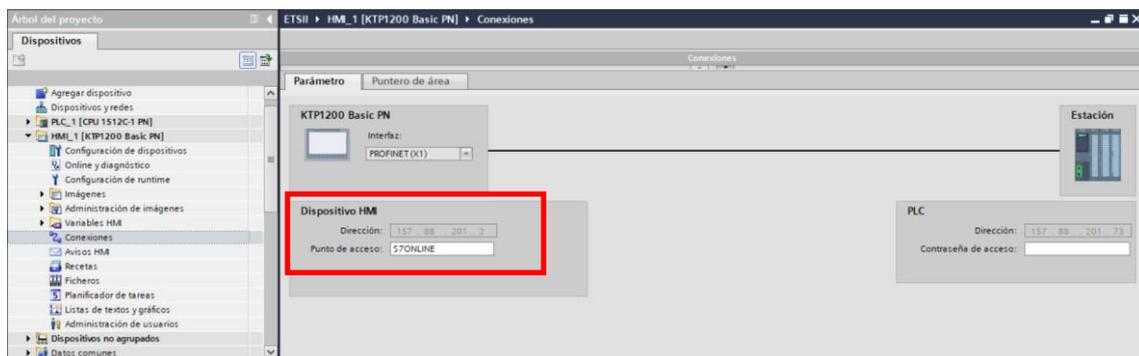


Figura 84 : Dirección IP del HMI

El siguiente paso ya sería conectarse online y buscar el dispositivo HMI, y finalmente cargar el HMI programado.

NOTA: Al transferir el programa al dispositivo HMI este debe estar en modo *Transferencia*.

3.6 Puesta en servicio

Para poder realizar cualquier actividad con el sistema, será necesario seguir los pasos que se indican a continuación para la puesta en servicio.

Puesta en marcha del PLC y variador:

- ✓ Poner en marcha el sistema neumático:
 1. Colocar el interruptor del compresor en la posición AUTO.
 2. Abrir la válvula de salida de aire hacia la placa de acondicionamiento de aire.

- ✓ Poner en marcha del PLC y variador:
 3. Comprobar que el sistema está conectado a la red eléctrica.
 4. Accionar el seccionador general situado a la izquierda del cuadro general.
 5. Subir interruptor diferencial, automáticos y guarda motor situados en la parte superior del interior del cuadro.
 6. Poner en tensión al PLC, activando la fuente de alimentación situada junto a autómata a través de sus interruptores.
 7. Comprobar si la memory card esta introducida en la ranura para SDs de la CPU del autómata.
 8. Cargar programa "TFG_HMI" desde la herramienta TIA Portal v14 en el PLC (sino está cargado).
 9. Abrir el HMI desde el simulador run time (Apartado 2.4 Simulación del HMI en TIA Portal)
 10. Poner en RUN el interruptor de estado de la CPU del PLC.

4 ESTUDIO ECONÓMICO

En el presente capítulo se tratará los costes del trabajo de fin de grado contemplando dos opciones de venta.

4.1 Opción simulación del sistema desde el monitor y PC

4.1.1 Costes directos.

✓ Cálculo de las horas efectivas de trabajo.

Horas de diseño del nuevo sistema de monitorización	100 horas
Horas de diseño del modelo 3D	205 horas
Horas de programación de las pantallas.	400 horas
Horas de puesta a punto del sistema.	150 horas
Horas de redacción de la memoria.	240 horas
<hr/>	
Total horas efectivas empleadas	1050 horas

✓ Coste de personal.

Para los cálculos de este apartado se considerará que el trabajo será realizado por un Ingeniero, el sueldo de la persona se calculará atendiendo a los siguientes conceptos: Sueldo bruto y cotizaciones a la Seguridad Social.

El coste de personal se calcula multiplicando el número de horas empleadas por el coste efectivo de una hora de trabajo.

Sueldo bruto más incentivos (12,20 €/h) según el Convenio internacional de empresas de ingeniería [7].	11.715,41 €
Seguridad Social (35% del sueldo bruto)	3357,45 €
<hr/>	
Total costes de personal	15.072,86 €

✓ **Materiales de oficina.**

Portátil (consola de programación)	1	715,75 €
Disco SSD 960 GB	1	198,35 €
Monitor x2	2	103 €
Coste Microsoft Office Professional	1	49,50 €
Licencia de TIA Portal V14	1	114,50€

Total materiales de oficina **1.284,41 €**

La vida útil de los equipos de oficina es de 5 años, con un valor residual al final de esta de:

- Portátil: 50€
- Disco SSD 960 GB: 10€
- Monitores: 15€

Tras eliminar el valor residual, la amortización mensual de 19,90 €.

Coste imputable al proyecto	6 meses	19,90 €
-----------------------------	---------	---------

Total materiales de oficina **119,44 €**

✓ **Total de los costes directos.**

Sumando las dos partidas correspondientes a los costes directos, se tiene el total de los mismos.

Costes de personal	15.072,86 €
Costes de material de oficina	119,44 €

Total costes directos **15.192,3 €**

4.1.2 Costes indirectos.

Dentro de este tipo de costes pueden imputarse las siguientes partidas.

Servicios administrativos	100,00 €
Consumo eléctrico imputable	40,00 €
<hr/>	
Total costes indirectos	140,00 €

4.1.3 Coste total del HMI

Si sumamos tanto los costes directos como indirectos, se obtendrá el coste total.

Total costes directos	15.193,23 €
Total costes indirectos	140,00 €
<hr/>	
Total coste	15.332,3 €

4.1.4 Coste de venta

Aplicando un margen comercial del 15% el precio de venta quedaría en **17.632,45 €**.

4.2 Opción con pantalla HMI KTP1200 Basic PN integrada

4.2.1 Costes directos.

✓ Cálculo de las horas efectivas de trabajo.

Horas de diseño del nuevo sistema de monitorización	100 horas
Horas de diseño del modelo 3D	205 horas
Horas de programación de las pantallas.	400 horas
Horas de puesta a punto del sistema.	150 horas
Horas de redacción de la memoria.	240 horas
<hr/>	
Total horas efectivas empleadas	1050 horas

✓ Coste de personal.

Para los cálculos de este apartado se considerará que el trabajo será realizado por un Ingeniero, el sueldo de la persona se calculara atendiendo a los siguientes conceptos: Sueldo bruto y cotizaciones a la Seguridad Social.

El coste de personal se calcula multiplicando el número de horas empleadas por el coste efectivo de una hora de trabajo.

Sueldo bruto más incentivos (12,20 €/h) según el Convenio internacional de empresas de ingeniería [7].	11.715,41 €
Seguridad Social (35% del sueldo bruto)	3357,45 €
<hr/>	
Total costes de personal	15.072,86 €

✓ **Materiales de oficina.**

Portátil (consola de programación)	1	715,75 €
Disco SSD 960 GB	1	198,35 €
Monitor x2	2	103 €
Coste Microsoft Office Professional	1	49,50 €
Licencia de TIA Portal V14	1	114,50€

Total materiales de oficina **1.284,41 €**

La vida útil de los equipos de oficina es de 5 años, con un valor residual al final de esta de:

- Portátil: 50€
- Disco SSD 960 GB: 10€
- Monitores: 15€

Tras eliminar el valor residual, la amortización mensual de 19,90 €.

Coste imputable al proyecto	6 meses	19,90 €
-----------------------------	---------	---------

Total materiales de oficina **119,44 €**

✓ **Total de los costes directos.**

Sumando las dos partidas correspondientes a los costes directos y el dispositivo HMI, se tiene el total de los mismos.

Costes de personal	15.072,86 €
Costes de material de oficina	127,97 €
Coste HMI KTP1200 Basic PN	1324,22

Total costes directos **16.621,08 €**

4.2.2 Costes indirectos.

Dentro de este tipo de costes pueden imputarse las siguientes partidas.

Servicios administrativos	100,00 €
Consumo eléctrico imputable	40,00 €
<hr/>	
Total costes indirectos	140,00 €

4.2.3 Coste total del HMI

Si sumamos tanto los costes directos como indirectos, se obtendrá el coste total.

Total costes directos	16.621,08 €
Total costes indirectos	140,00 €
<hr/>	
Total coste	16.761,08 €

4.2.4 Coste de venta

Aplicando un margen comercial del 15% el precio de venta quedaría en **19.275,242 €**.

5 CONCLUSIONES

Una vez concluido el trabajo fin de grado, se ha conseguido un interfaz hombre máquina (HMI) que logra monitorizar el sistema de forma remota, además de dotar al equipo de un análisis de diagnóstico (estado de las emergencias, posición de la guía, estado de los sensores...).

Se han conseguido los objetivos marcados al inicio del trabajo fin de grado:

- Elaboración del modelo 3D mediante *Skepchup*: se ha logrado una gran similitud entre el sistema real y el diseñado, consiguiendo obtener una representación muy intuitiva del mismo en el HMI, y permitiendo, que incluso un usuario que no tenga gran formación acerca de pantallas HMI, pueda trabajar sin complicaciones.
- Diseño las siguientes pantallas de diálogo con el usuario:
 1. Pantalla general con acceso a las distintas partes del sistema.
 2. Pantalla con la misma funcionalidad que el frontal del armario.
 3. Pantalla con representación del manipulador y e indicación el estado de sus sensores.
 4. Pantalla con representación de la guía y en qué posición está la mesa (indicación numérica del sensor de posición).
 5. Pantalla con representación de la báscula con su respectiva visualización numérica.
 6. Representación del puesto de llegada de pieza (con o sin pieza).
 7. Estado de las fotocélulas y parada de emergencia.

6 LINEAS FUTURAS

Como trabajo complementario a este trabajo fin de grado, se plantea la realización del interfaz a través del servidor web de del propio autómeta. Esto permitirá que los usuarios autorizados monitorizasen y administrasen el sistema a través de la red, pudiendo llevar a cabo evaluaciones, diagnóstico salvando grandes distancias. La monitorización y evaluación es posible sin STEP 7, tan solo se requiere un navegador web [4].

Por otra parte, también sería interesante poder manejar el HMI desde un dispositivo Smartphone, haciendo posible la visualización del estado del sistema sin más que encender nuestro móvil o tableta.

El equipo queda a disposición de futuros estudios teóricos y prácticos, habiéndose generado toda la documentación necesaria para un mantenimiento o modificación.

7 REFERENCIAS

- [1] Blázquez, M., 2017 “Retrofitting de un sistema manipulador electro-neumático servoncontrolado clasificador de piezas por peso mediante PLC S7-1500”, Proyecto de fin de Máster, Universidad de Valladolid.
- [2] Sáez, J., 1999, “Manipulador electro-neumático controlado en posición mediante servomotor de C.A.”, Proyecto de fin de carrera ETSII, Universidad de Valladolid.
- [3] Siemens Support, “Documentación didáctica SCE para la solución de automatización homogénea Totally Integration Automation (TIA)” (último acceso 16-Junio-2018).
- [4] Siemens Support, “Manual de función Webserver” (último acceso 04-Julio-2018).
- [5] Manual Sketchup Pro 2018 - <https://saltaalavistablog.blogspot.com/2018/03/sketchup-curso-y-manual-de-usuario-en-espanol.html> (último acceso 30-Marzo-2018)
- [6] Manual de pantallas HMI TIA Portal - <http://www.infopl.net/descargas/162-siemens/pantallas-hmi> (último acceso 15-Junio-2018).
- [7] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO: “Convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos” - <https://www.boe.es/boe/dias/2017/01/18/pdfs/BOE-A-2017-542.pdf>. (último acceso 8-Julio-2018).