



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Automatización de una instalación de  
simulación de incendios en interiores para el  
entrenamiento de Bomberos

Automation of a Firefighter training  
installation for indoor fire simulation

Autor

Aitor García Sorinas

Directores

César García Hernández  
José Luis Huertas Talón

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2019





Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad Zaragoza**

**ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

**MEMORIA**

Automatización de una instalación de  
simulación de incendios en interiores para  
el entrenamiento de bomberos

Automation of a firefighter training  
installation for indoor fire simulation

Autor: Aitor García Sorinas

Directores: César García Hernández y José Luís Huertas Talón



# INDICE DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>1</b>
1.1. PALABRAS CLAVE	1
<b>2. ABSTRACT</b>	<b>2</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
3.1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	4
<b>4. DESARROLLO</b>	<b>6</b>
4.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	6
4.1.1. Descripción de la instalación	6
4.1.2. Requisitos para el diseño del sistema de control	9
4.2. DISEÑO	10
4.2.1. Elaboración del modelo CAD	10
4.2.2. Diseño del sistema SCADA	11
4.2.2.1. Unidad de Terminal Maestra (MTU)	13
4.2.2.2. Unidad de Terminal Remota (RTU)	13
4.2.2.3. Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	14
4.2.2.4. Red de comunicación de datos	15
4.2.2.5. Instrumentación de Campo	15
4.2.2.6. Lenguajes de programación y Entornos de Desarrollo Integrado (IDE):	16
4.2.3. Diseño del sistema electroneumático	17
4.2.3.1. Planteamiento del sistema de control electroneumático	17
4.2.3.2. Funcionamiento del sistema neumático	19
4.2.4. Diseño del Interfaz Hombre-Máquina (HMI)	21
4.2.4.1. Utilización del HMI	22
4.2.4.1.1. Control de los elementos individualmente	22
4.2.4.1.2. Control de los elementos conjuntamente	23
4.2.5. Selección de los instrumentos de campo	24
4.2.5.1. Selección de los actuadores	25
4.2.5.1.1. Cilindro neumático de doble efecto	25
4.2.5.1.2. Electroválvula de 5 vías y 3 posiciones (5/3)	25
4.2.5.1.3. Electroválvula de 2 vías y 2 posiciones (2/2)	26
4.2.5.2. Selección de las fuentes de alimentación	27
4.2.5.2.1. Fuente de alimentación para las electroválvulas	27

**INDICES**

4.2.5.2.2.	Fuente de alimentación de la placa Arduino	28
4.2.5.3.	Selección de los Sensores	28
4.2.5.3.1.	Sensor de Temperatura	28
4.2.5.3.2.	Sensor de posición	30
4.2.6.	<i>Adaptación de las señales de salida del Arduino para el control de las electroválvulas</i>	32
4.2.7.	<i>Construcción de la maqueta a escala</i>	34
4.2.7.1.	Adaptación del sistema SCADA	35
4.2.7.2.	Diseño de la maqueta	36
4.2.7.3.	Selección de materiales	37
4.2.7.4.	Selección de componentes	38
4.2.7.4.1.	Servomotores	38
4.2.7.4.2.	Sensores de temperatura	38
4.2.7.4.3.	Sensor de presión	39
4.2.7.4.4.	Pulsador	40
5.	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>43</b>

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Instalación de entrenamiento situada en La Almunia de Doña Godina	6
Ilustración 2: Vista aérea de la distribución de la instalación	7
Ilustración 3: Ventana (izquierda) y exutorio (derecha)	8
Ilustración 4: Zona de simulación	8
Ilustración 5: Zona secundaria de seguridad para la supervisión de las maniobras	9
Ilustración 6: Modelo tridimensional de la instalación	11
Ilustración 7: Esquema del sistema SCADA planteado	13
Ilustración 8: Placa de desarrollo Arduino Mega 2560 (Arduino, 2019)	14
Ilustración 9: Interfaz HMI	14
Ilustración 10: Cable de datos USB tipo A-B	15

Ilustración 11: Sistema electroneumático .....	17
Ilustración 12: Contrapeso utilizado para la apertura por gravedad del exutorio .....	18
Ilustración 13: Desplazamiento del vástago del cilindro para el cierre del elemento .....	19
Ilustración 14: Cilindro en posición intermedia .....	20
Ilustración 15: Desactivación del elemento .....	20
Ilustración 16: Composición del interfaz HMI.....	21
Ilustración 17: Conjunto de botones para el control de un elemento dado.....	22
Ilustración 18: Flujo de información para la actuación de un elemento .....	22
Ilustración 19: Secuencia de acciones a llevar a cabo por el usuario para la apertura de un elemento .....	23
Ilustración 20: Botones Switch para el control conjunto de los elementos .....	24
Ilustración 21: Cilindro neumático de dos posiciones (SMC Pneumatics, s.f.) ....	25
Ilustración 22: Electroválvula 5/3 (SMC Pneumatics, s.f.) .....	26
Ilustración 23: Electroválvula 2/2 (SMC Pneumatics, s.f.) .....	27
Ilustración 24: Alimentador de tensión de 24 Voltios (Diotronic S.A., s.f.).....	28
Ilustración 25: Módulo MAX6675 (Diotronic S.A., s.f.) .....	29
Ilustración 26: Conexión SPI entre la placa Arduino y el módulo MAX6675.....	30
Ilustración 27: Potenciómetro lineal con vástago LT-M-0500-P (Gefran, s.f.)....	30
Ilustración 28: Módulo de 8 relés con optoacopladores (Diotronic S.A., s.f.) .....	32
Ilustración 29: Conexiones entre la placa Arduino y las electroválvulas de un elemento para el control de un elemento dado .....	33
Ilustración 30: Maqueta elaborada .....	34
Ilustración 31: Modelo tridimensional de la maqueta .....	36
Ilustración 32: Adaptación del sistema de apertura/cierre de las ventanas de la instalación real (izquierda) para poder ser aplicado en la maqueta (derecha) .....	36
Ilustración 33: Conjunto de elementos impresos en 3D que representan el sistema de apertura las ventanas .....	37



**INDICES**

Ilustración 34: Servomotor Emax ES08A .....	38
Ilustración 35: Sensor de temperatura LM35.....	38
Ilustración 36: Sensor BMP280 (Adafruit Industries, s.f.).....	39
Ilustración 37: Pulsador SPST .....	40





# 1. RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado se va a centrar en el planteamiento y diseño de un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) para ser implementado en una instalación dedicada al desarrollo de simulaciones de incendios en recintos cerrados para el entrenamiento de Bomberos. Esto se va a realizar en una instalación propiedad de la Diputación Provincial de Zaragoza que se encuentra en las instalaciones de entrenamiento del parque de Bomberos de La Almunia de Doña Godina (Zaragoza), la cual además también pertenece al programa europeo SAFED, orientado a la mejora de la preparación y seguridad laboral de los bomberos.

## 1.1. PALABRAS CLAVE

Incendios interiores, bomberos, extinción de incendios, control de procesos, automatización.



## **2. ABSTRACT**

This Final Degree Project will focus on the approach and design of a Supervision, Control and Data Acquisition (SCADA) system to be implemented in a facility dedicated to the development of fire simulations in enclosed spaces for Firefighters training. This is going to be done in a facility owned by the Provincial Council of Zaragoza placed in the training facilities of the Fire station at La Almunia de Doña Godina (Zaragoza), which also belongs to the European SAFED program, aimed at improving the preparedness and work safety of Firefighters.

### 3. INTRODUCCIÓN

En años recientes el porcentaje de población que vive en las ciudades se ha visto aumentado de forma considerable, siendo actualmente del 55% y con la previsión de que este valor alcance el 68% en 2050 (United Nations, 2018). Esto supone la proliferación de grandes edificios y estructuras de viviendas en espacios reducidos, donde la aparición de un incendio en su interior puede resultar catastrófico si no se actúa de manera rápida y efectiva por parte de los cuerpos de bomberos. Es por esta razón que una correcta preparación y entrenamiento de los efectivos de bomberos resulta imprescindible. Con este fin surge el proyecto europeo de formación para bomberos SAFED (del inglés Safety, Fire & Design). Este proyecto tiene como objetivo mejorar la preparación y la seguridad laboral de los bomberos para futuras crisis, emergencias y catástrofes nacionales mediante el desarrollo de un innovador programa de entrenamiento basado en un modelo de simulación, ya probado e implementado con éxito, junto con conocimientos científicos de vanguardia obtenidos a partir de un análisis integral de las necesidades y carencias capacitivas en 3 países: España, Grecia y Chipre. (SAFED, 2018).

La instalación sobre la que se va a implementar el sistema de control diseñado en este proyecto está enmarcada dentro de este programa, además de pertenecer también la Diputación Provincial de Zaragoza (DPZ), encontrándose ya edificada en las instalaciones de entrenamiento que la DPZ posee en el parque de Bomberos de la Almunia de Doña Godina.

La finalidad principal de esta instalación, siguiendo con los objetivos del programa SAFED, es de servir como un escenario de entrenamiento versátil para la formación y entrenamiento de Bomberos en el desarrollo de maniobras de extinción de incendios en espacios cerrados y como campo de pruebas para la posible mejora en la ejecución de dichas maniobras.

### 3.1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal de este proyecto es **el planteamiento y diseño de un sistema de control** que permita, por una parte, gobernar una serie de elementos móviles encargados de regular el flujo de aire en la instalación, y por otra, la obtención de información en tiempo real acerca del proceso que se está llevando a cabo en su interior y de la situación en que se encuentran los elementos móviles anteriormente mencionados.

Teniendo en cuenta estos objetivos y ciertos requisitos citados más adelante (ver apartado 5.1.2), se ha optado por el diseño y programación de un sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, por sus siglas en inglés).

Además, también se elaborará un **modelo tridimensional mediante Diseño Asistido por Computadora** (CAD) de la instalación que podrá ser utilizado en un futuro para simulaciones virtuales, como elemento visual en presentaciones relacionadas con este proyecto o clases teóricas impartidas por el departamento de Bomberos, o como complemento en la demostración de la funcionalidad del sistema.

Una vez finalizado el diseño del sistema SCADA, este será presentado a la DPZ para su posible implementación futura, motivo por el que también se ha decidido la **construcción de una maqueta funcional** en la que se incorpore una adaptación del sistema SCADA con el fin de demostrar su viabilidad.

Para la consecución de los objetivos planteados, se llevarán a cabo 4 fases:

- La **primera fase** consistirá en realizar una investigación científico-técnica con el fin de conocer las características principales de un incendio, haciendo hincapié en los incendios producidos en recintos interiores, y en qué forma y magnitud estas características pueden ser anticipadas y controladas. Los conocimientos obtenidos quedan reflejados en el *Anexo 1*.
- La **segunda fase** se centrará en la elaboración del modelo tridimensional mediante CAD de la estructura, previa visita de campo y medición de la instalación real.
- La **tercera fase**, y sobre la que se centrará este proyecto, consistirá en el diseño y programación del sistema SCADA para el control de la instalación, teniendo en cuenta los requisitos planteados en el apartado 5.1.2.
- Finalmente, en la **cuarta y última fase**, una vez diseñado el sistema de SCADA, se elaborará una maqueta a escala de la instalación en la que se implementará una versión adaptada del sistema SCADA para así poder



exponer visualmente su funcionamiento y evaluar su funcionalidad y la viabilidad de su aplicación en la instalación real.

## 4. DESARROLLO

### 4.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

#### 4.1.1. Descripción de la instalación

La instalación sobre la que se va a desarrollar este proyecto está conformada por cuatro contenedores de carga estándar, como los utilizados para el transporte de mercancías, de 40 pies de longitud, fabricados de acuerdo con la normativa ISO-668 (International Organization for Standardization, 2017).



*Ilustración 1: Instalación de entrenamiento situada en La Almunia*

Estos contenedores, como puede observarse en la ilustración anterior, han sido modificados y unidos para así representar un recinto cerrado, que debe servir tanto para poder simular gran variedad de situaciones que pueden darse en estos recintos, como para la supervisión de forma segura de las maniobras que se están llevando a cabo en su interior. Es por ello que la instalación se divide en 2 partes:

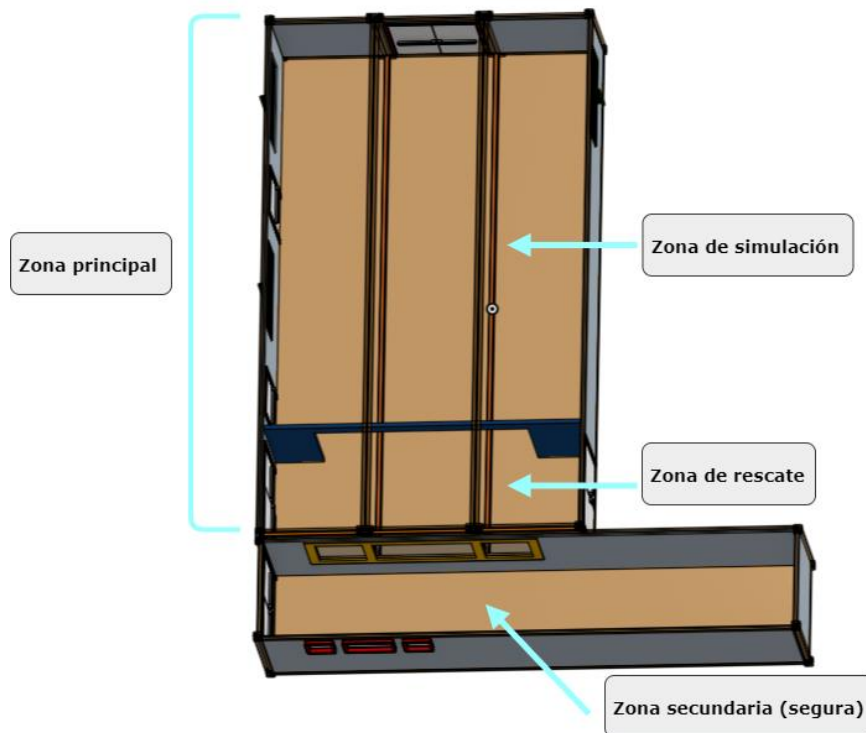
- 1) Una **zona principal** en la que se llevarán a cabo las maniobras de entrenamiento, formada por tres contenedores contiguos unidos lateralmente.

Esta zona principal está a su vez compuesta por dos subzonas:

- Una primera subzona, la **zona de simulación**, sobre la que se llevarán a cabo las maniobras de entrenamiento y que servirá para representar

diferentes tipos de recintos cerrados, como pueden ser viviendas, aulas de colegios, baños públicos, etc.

- Una segunda subzona, la **zona de rescate**, que constará de un pasillo con dos puertas dobles de seguridad a ambos extremos y se utilizará para realizar una rápida evacuación de la instalación si se llegase a dar una situación de emergencia.
- 2) Una **zona secundaria**, formada por un solo contenedor, la cual será una zona segura independiente del resto de la instalación desde donde se operará el sistema SCADA, y servirá como punto de visualización y supervisión de las maniobras llevadas a cabo en la parte principal gracias a una cristalera existente entre ambas partes.



*Ilustración 2: Vista aérea de la distribución de la instalación*

Los elementos constitutivos de la instalación que deberán ser controlados desde el sistema diseñado serán nueve: 3 ventanas y 6 exutorios, todos ellos situados en la zona de simulación. Estos 9 elementos serán accionados mediante sendos cilindros neumáticos de doble efecto.



*Ilustración 3: Ventana (izquierda) y exutorio (derecha)*

Además de estos elementos, la instalación cuenta también con diversas puertas, tanto simples como dobles, que sirven tanto para facilitar las labores de rescate como para otorgar una mayor versatilidad en la simulación de diversos tipos de recintos.

La zona principal está además equipada con un revestimiento resistente al fuego compuesto por placas de yeso laminado reforzadas con un alma de fibra de vidrio (Pladur FOC), evitando así que el fuego pueda poner en peligro la integridad de la estructura y sus elementos, y prolongando la vida de esta.



*Ilustración 4: Zona de simulación*



La zona secundaria únicamente posee una puerta de acceso, una ventana que comunica con el exterior, la cual no requiere ser automatizada, y una cristallera que comunica con la zona principal y permite la visualización de su interior.



*Ilustración 5: Zona secundaria de seguridad para la supervisión de las maniobras*

#### *4.1.2. Requisitos para el diseño del sistema de control*

Para el planteamiento y diseño del sistema de control se deben tener en cuenta los siguientes requisitos:

- El desarrollo de las maniobras de entrenamiento es un proceso que debe ser controlado y supervisado remotamente desde la zona secundaria de seguridad.
- Los elementos móviles a ser controlados (i.e. ventanas y exutorios) diseñar deberán ser accionados por un sistema neumático que contará con cilindros de doble efecto como actuadores, uno por cada elemento.
- El ambiente en que van a trabajar los sensores encargados de la toma de datos para la supervisión del desarrollo del proceso va a estar constituido por temperaturas extremas, no así el de los actuadores, que serán instalados en el exterior de la instalación.

Es por todo ello que se ha decidido diseñar un sistema SCADA para el control de la instalación.

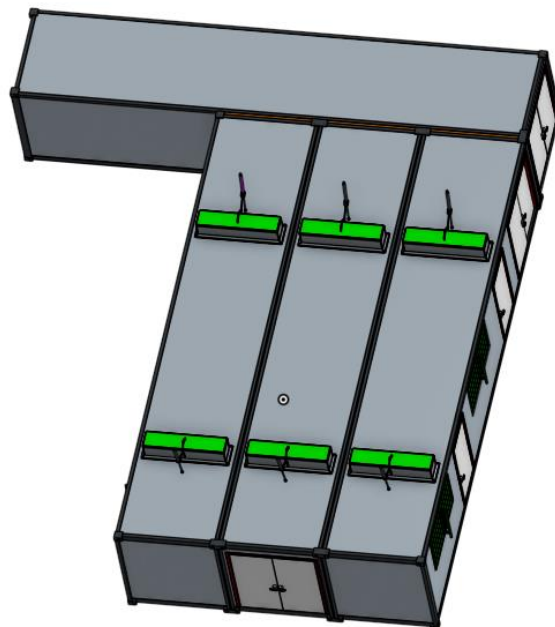
Los sistemas SCADA son un tipo de arquitectura de sistemas de control utilizados para el control, monitorización y análisis en tiempo real y de forma remota de un proceso mediante el uso de ordenadores, microcontroladores, redes de comunicación de datos e interfaces gráficas de usuario (I-SCOOP, s.f.), lo cual se adapta de forma óptima a los requisitos planteados.

## 4.2. DISEÑO

### 4.2.1. *Elaboración del modelo CAD*

Para la elaboración del modelo CAD se ha utilizado el software de diseño asistido por ordenador Solid Edge. Para ello, se ha realizado una visita de campo a la instalación ubicada en La Almunia de Doña Godina, supervisada por los tutores, para conocer de primera mano la instalación y realizar una toma de medidas.

Cabe mencionar que, excepción de las ventanas y los exutorios presentes en la zona de simulación, los cuales se han sido diseñados y fabricados de manera expresa para ser incorporados en la instalación, todos los elementos restantes, desde los contenedores hasta las puertas de seguridad y revestimiento de la instalación, son elementos estándar que pueden ser adquiridos de proveedores externos.



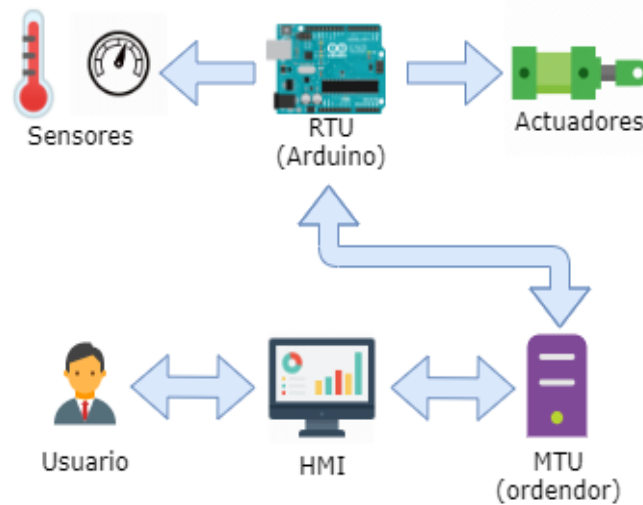
*Ilustración 6: Modelo tridimensional de la instalación*

Mediante la elaboración del modelo CAD se ha obtenido un mejor conocimiento de la instalación, de su distribución y de sus limitaciones, hecho que ha influido en la decisión de seleccionar un sistema SCADA para su control y ha permitido un diseño de este sistema mejor adaptado a la misma.

#### **4.2.2. Diseño del sistema SCADA**

Un sistema SCADA está compuesto por los siguientes elementos ("SCADA Systems", 2018):

- **Unidad de Terminal Maestra (MTU, por sus siglas en inglés):** son los servidores y el software encargado del procesamiento de información y de la comunicación con la instrumentación de campo (i.e. sensores y actuadores) a través de una o varias Unidades de Terminal Remota (RTU), y con el interfaz Hombre-Máquina (HMI), el cuál normalmente es ejecutado desde la esta unidad MTU.
- **Unidad de Terminal Remota (RTU, por sus siglas en inglés):** unidad conectada tanto a la unidad MTU como a la instrumentación de campo y encargada de la lectura de los datos de estado del proceso supervisado, así como del envío de señales para su control. Estos datos obtenidos serán enviados a la unidad MTU para su procesamiento e interpretación.
- **Interfaz Hombre-Máquina (HMI, por sus siglas en inglés):** servirá para posibilitar la interacción entre el usuario y el sistema, presentando los datos obtenidos al usuario y permitiéndole el gobierno de los distintitos elementos que componen la instrumentación de campo.
- **Red de comunicación de datos:** conjunto de elementos tanto de hardware como de software que permitirán el intercambio de información entre los diferentes componentes del sistema.
- **Instrumentación de campo:** elementos encargados de la toma y envío de datos a la unidad RTU (i.e. sensores) y de la ejecución de las diferentes acciones que se deben llevar a cabo para el control del proceso (i.e. actuadores).
- **Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés):** utilizado para el diseño del HMI, programar las funciones y eventos a ejecutar, y especificar las operaciones y cálculos a realizar.



*Ilustración 7: Esquema del sistema SCADA planteado*

#### 4.2.2.1. Unidad de Terminal Maestra (MTU)

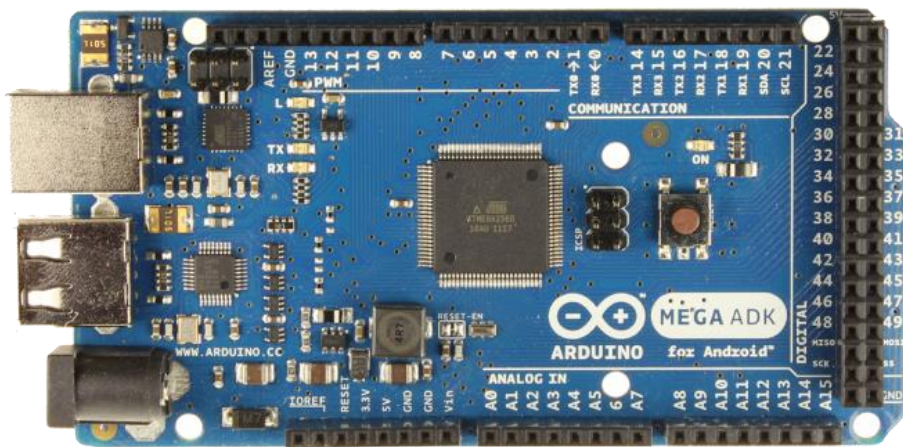
Como MTU se podrá utilizar cualquier ordenador con los únicos requisitos de que cuente con una arquitectura de CPU de 64 bits y tenga instalado como sistema operativo Windows 8.1 o 10.

Esta unidad se encargará también de ejecutar el interfaz HMI desde donde el proceso será supervisado y controlado por parte del usuario.

#### 4.2.2.2. Unidad de Terminal Remota (RTU)

Para ejercer como RTU se ha seleccionado la placa de desarrollo **Arduino Mega 2560**, la cual está basada en el microcontrolador ATmega2560, con 54 entradas/salidas digitales y 16 entradas analógicas.

La elección de una placa de desarrollo Arduino como unidad de terminal remota para el sistema SCADA se debe principalmente a su arquitectura abierta y flexible, a la versatilidad que ofrece para posibles ampliaciones de hardware posteriores y a lo económica que resulta, pues las condiciones en que van a trabajar los componentes no son las óptimas, siendo posible que requieran ser reemplazados tras un cierto periodo uso, resultando este reemplazo fácil, rápido y económico.



*Ilustración 8: Placa de desarrollo Arduino Mega 2560 (Arduino, 2019)*

Para la selección del modelo Mega 2560 se ha tenido en cuenta la necesidad de un alto número de entradas y salidas tanto digitales como analógicas para el control de los diferentes actuadores de la instalación, así como la lectura de los diferentes sensores.

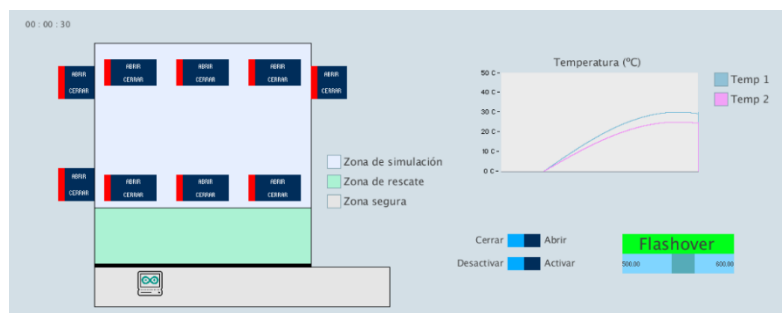
En un principio se requerirán, como se verá más adelante:

- **30 pines digitales**, 27 para el control de las electroválvulas y 3 para la lectura del sensor de temperatura.
- **9 pines analógicos** para la lectura de los potenciómetros lineales.

Quedando de esta forma numerosos pines libres que podrán ser utilizados en futuras ampliaciones de hardware.

#### 4.2.2.3. Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Desde el interfaz HMI el usuario podrá controlar todos los elementos de nuestro sistema mediante una serie de botones, además de poder leer los diferentes datos obtenidos por los diferentes sensores.



*Ilustración 9: Interfaz HMI*

Este interfaz será ejecutado, como ya se ha dicho, desde el ordenador que funcionará como unidad MTU, el cual establecerá una comunicación bidireccional con la placa Arduino (RTU) para el intercambio de información entre ambas unidades. Este interfaz le será mostrado al usuario a través de una pantalla conectada a la MTU y para la interacción con el mismo se requerirá únicamente un dispositivo de entrada como puede ser un ratón o un touchpad.

#### 4.2.2.4. Red de comunicación de datos

La comunicación entre la unidad MTU (ordenador) y la unidad RTU (Arduino) se realizará de forma sencilla mediante un cable de datos que conectará el puerto serie USB (tipo B) de la placa Arduino con un puerto USB (tipo A) del ordenador.



*Ilustración 10: Cable de datos USB tipo A-B*

A nivel de programación, para posibilitar este intercambio de información entre las unidades RTU y MTU, se ha realizado la sincronización de una serie de variables comunes a ambos, mediante la comunicación bidireccional entre los programas diseñados para cada unidad (ver apartado 5.2.2.6).

#### 4.2.2.5. Instrumentación de Campo

El objetivo del sistema SCADA planteado va a ser, por una parte, controlar la apertura y cierre de los elementos de nuestra instalación, y por otra supervisar el estado del desarrollo del fuego en la misma.

Por ello, para la parte del control se requerirán un conjunto de actuadores que, comandados por el RTU de nuestro sistema, se encargarán del gobierno del sistema



neumático. Estos actuadores consisten en una serie de electroválvulas que recibirán señales del RTU (ver apartado 4.2.3.1).

Para la parte de supervisión del desarrollo del fuego, se instalarán, inicialmente, un sensor de temperatura y nueve sensores de posición lineal, uno asociado a cada cilindro, cuya finalidad será la de proporcionar la posición de dicho cilindro en cada instante. Estos sensores proporcionarán mediciones de gran utilidad para el usuario encargado de la supervisión, al cual le serán mostradas mediante la interfaz HMI. Además, en un futuro, se podrían instalar más sensores como los ya incorporados o sensores de diferente naturaleza, como por ejemplo sensores de presión, de forma sencilla gracias a la versatilidad que ofrece el uso de una placa de desarrollo Arduino.

#### *4.2.2.6. Lenguajes de programación y Entornos de Desarrollo Integrado (IDE):*

Para el correcto funcionamiento del sistema SCADA, ha sido necesario el diseño de dos programas diferentes, utilizando un entorno IDE diferente para cada uno:

- Por una parte, para la elaboración y programación de la interfaz HMI se ha utilizado el software Processing, el cual es un software de código abierto y gratuito compuesto por un lenguaje de programación basado en Java que cuenta con un IDE propio (Processing, s.f.).
- Por otra parte, para la programación de la unidad RTU se ha utilizado el IDE de Arduino, el cual también utiliza como lenguaje de programación el lenguaje Processing, lo que ha favorecido la mejor integración e interacción entre ambos programas. Este IDE además ofrece una serie de librerías oficiales que son de gran utilidad a la hora programar este tipo de microcontroladores (Arduino, 2015).

Los códigos de ambos programas han sido comentados de forma exhaustiva con el objetivo de que cualquier persona con unos conocimientos básicos del lenguaje de programación JAVA y manejo de Arduino pueda comprender su funcionamiento y realizar posibles modificaciones de forma sencilla.

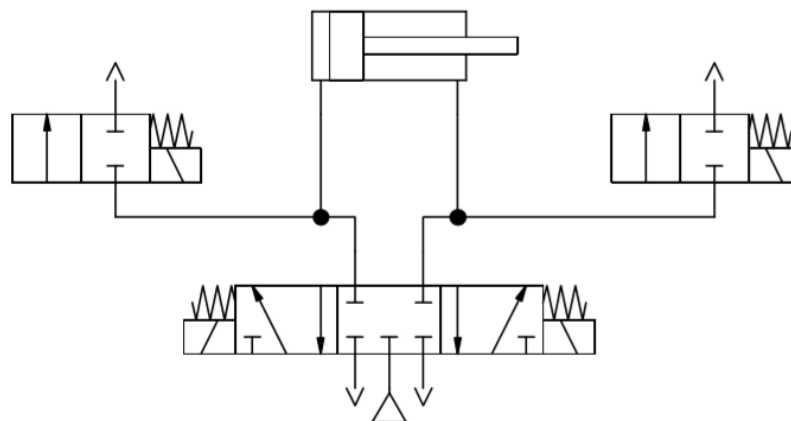


### 4.2.3. *Diseño del sistema electroneumático*

El alcance de este proyecto abarca desde el diseño del sistema SCADA hasta el planteamiento del control digital del circuito neumático, es decir, hasta el diseño del sistema de electroválvulas que se encargarán de gobernar los cilindros neumáticos para la apertura y cierre de los elementos, teniendo en cuenta que los cilindros serán de doble efecto.

#### 4.2.3.1. *Planteamiento del sistema de control electroneumático*

Uno de los principales factores que se ha tenido en cuenta en su diseño ha sido, dadas las características de las maniobras que se realizarán en la instalación, el aspecto de la seguridad. Por esta razón, como se verá a lo largo de este apartado, se ha decidido desarrollar el diseño representado en la siguiente ilustración:



*Ilustración 11: Sistema electroneumático*

En este diseño, cada uno de los nueve elementos a controlar desde el sistema SCADA, los cuales son accionados mediante sendos cilindros neumáticos de 2 posiciones, es controlado por un sistema de tres electroválvulas:

- Una **electroválvula neumática de 5 vías y 3 posiciones** (5/3) con dos bobinas, centro cerrado y retorno por muelle, que se encargará de controlar la apertura y cierre del cilindro.
- **Dos electroválvulas neumáticas de 2 vías y 2 posiciones** (2/2) normalmente cerradas, con una bobina y retorno por muelle, cuyo objetivo principal es que, en ausencia de corriente, ante una contingencia o cuando el elemento sea desactivado desde el HMI (ver apartado 4.2.4.1), se

encarguen de abrir una vía de escape hacia el exterior en el circuito de aire que acciona el cilindro, cortando así la llegada de aire al mismo haciendo que este no ejerza ninguna fuerza sobre el elemento. De esta forma, debido al diseño estructural del elemento, este quedará en posición abierta por acción de la fuerza gravitatoria, permitiendo así una rápida evacuación de los humos presentes en la instalación y facilitando la extinción del fuego. Es decir, estas válvulas serán las encargadas del aspecto de la seguridad en caso de emergencia.



*Ilustración 12: Contrapeso utilizado para la apertura por gravedad del exutorio*

Teniendo en cuenta que el sistema está formado por 3 ventanas y 6 exutorios, se necesitarán un total de 27 de estas electroválvulas, 18 electroválvulas 2/2 y 9 electroválvulas 5/3.

Las señales digitales necesarias para el control de las electroválvulas de un elemento dado serán 3: dos para el control de la electroválvula 5/3 (una para cada una de las dos bobinas) y una, que será duplicada, para el control de las dos electroválvulas 2/2 (con una bobina cada una). Estas señales, que serán enviadas desde los pines digitales de la placa Arduino (RTU), deberán ser debidamente acondicionadas para poder accionar los solenoides de las electroválvulas en función de los requisitos de alimentación eléctrica de las mismas (ver apartadas 4.2.6).

Además, en cada uno de los cilindros, se instalará un potenciómetro lineal asociado al movimiento de su vástago para así conocer su posición en todo momento, y lo que es más importante, saber que el elemento ha alcanzado las posiciones de abierto o cerrado, información que será necesaria para el correcto control del sistema electroneumático planteado.

#### 4.2.3.2. Funcionamiento del sistema neumático

Se va a explicar el funcionamiento del sistema planteado mediante la ejemplificación de la apertura de un elemento:

Supongamos que, partimos de la posición mostrada en la ilustración 12, en la que el cilindro se encuentra en la posición inicial correspondiente a la apertura del elemento (*elemento abierto*), la electroválvula 5/3 se encuentra en su posición central, y la electroválvula 2/2 se encuentra cerrada (*elemento activado*), y el usuario, desde el interfaz HMI, decide cerrar este elemento (ver apartado 4.2.4.1), enviándose así la señal de cierre desde el sistema SCADA (ver ilustración 13).

Esta señal activará la bobina izquierda de la electroválvula 5/2, haciendo que esta adopte su posición izquierda. Esto permitirá la entrada de aire a presión en la cámara izquierda del cilindro, desplazando el vástago y consecuentemente provocando el cierre progresivo del elemento asociado a este.

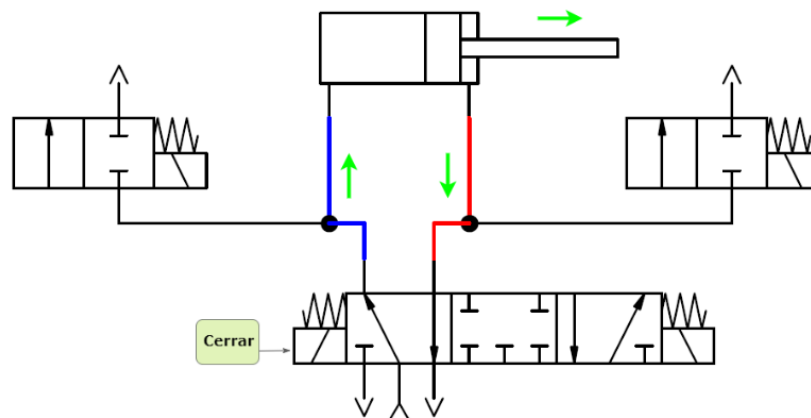
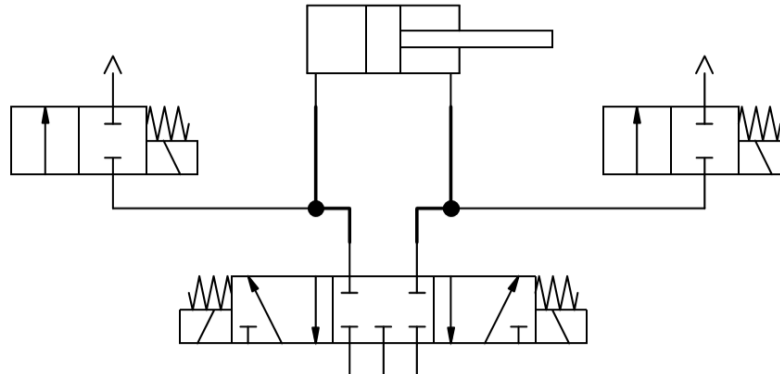


Ilustración 13: Desplazamiento del vástago del cilindro para el cierre del elemento

Desde este punto, el sistema puede evolucionar hacia dos estados diferentes en función de la señal de control enviada desde el sistema SCADA:

- Si la lectura recibida en la unidad RTU desde el potenciómetro lineal indica que se ha alcanzado la posición de cierre, se dejará de enviar la señal a la bobina de la electroválvula 5/3 asociada al cierre del elemento, volviendo esta electroválvula a su posición central, manteniendo el aire en el circuito y quedando así el elemento en su posición de cierre.
- Si en cambio, antes de que el elemento alcance la posición de cerrado, el usuario, desde el interfaz HMI, desactiva el botón "cerrar", la señal dejará de enviarse antes de que se alcance el cierre completo del elemento, sucediendo lo mismo que en el caso previo solo que ahora el elemento quedara en la misma posición en que se encuentra en el momento que se

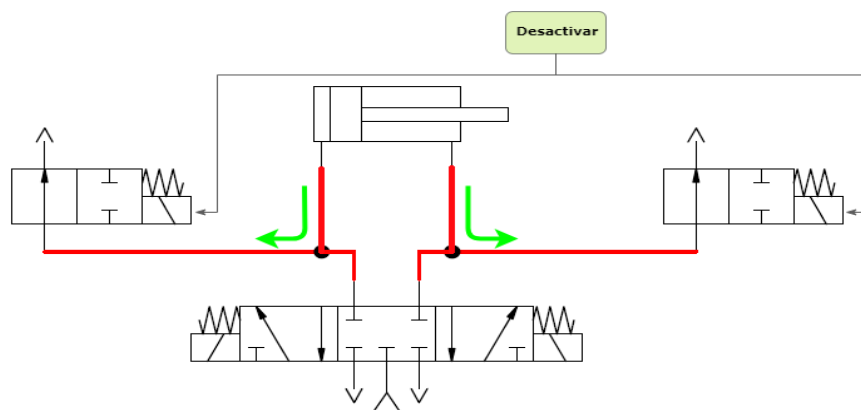
ha dejado de enviar la señal, es decir, en una posición intermedia entre abierto y cerrado (*ver imagen 14*).



*Ilustración 14: Cilindro en posición intermedia*

Si ahora, desde esta posición, se quisiera volver a abrir el elemento, el proceso es idéntico al ya descrito para el cierre, con la única diferencia de que la bobina activada en la electroválvula 5/3 será la correspondiente a la apertura del elemento, y por tanto la posición que adoptará la electroválvula será la derecha, permitiendo la entrada de aire a presión a la cámara derecha del cilindro en vez de a la izquierda.

Finalmente, en caso de que el elemento sea desactivado o se produzca un corte en la alimentación, es decir, que los solenoides de las dos electroválvulas 2/2 dejen de recibir la señal digital de activación, ambas electroválvulas permitirán el paso de aire desde el circuito neumático del cilindro hacia el exterior, perdiendo este toda la presión y por tanto dejando de ejercer fuerza alguna sobre el elemento.



*Ilustración 15: Desactivación del elemento*

De esta forma, como ya se ha dicho, el elemento adoptará su posición de apertura por acción de la fuerza de gravedad al no encontrar resistencia alguna por parte del cilindro.

#### 4.2.4. Diseño del Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Para la creación del interfaz HMI, como ya se ha mencionado anteriormente, se ha utilizado el lenguaje e IDE Processing, especializado en el desarrollo de entornos gráficos.

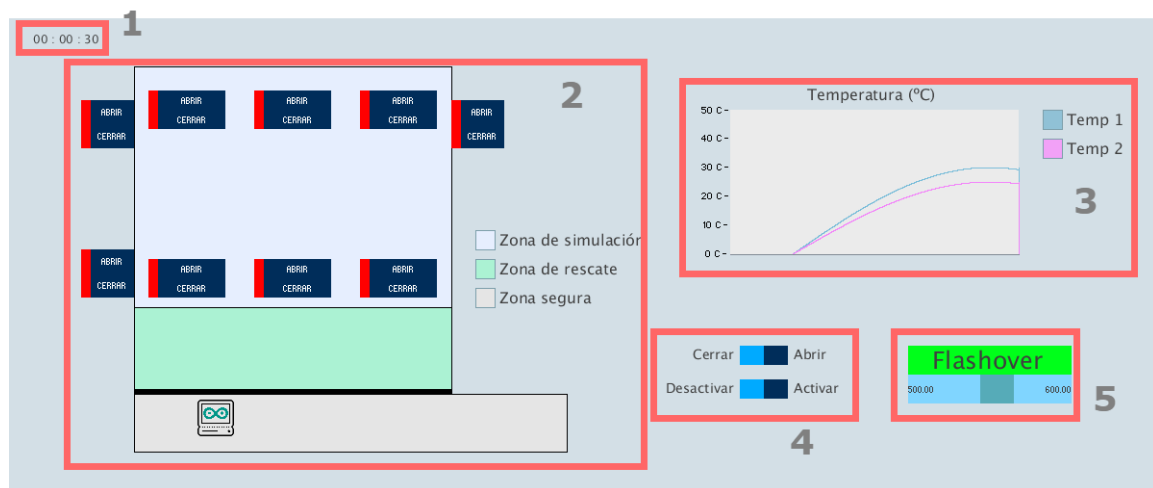


Ilustración 16: Composición del interfaz HMI

La interfaz HMI, como puede verse en la ilustración anterior, presenta 5 partes diferentes:

- **Parte 1:** temporizador de la instalación, el cual muestra el tiempo que el programa se ha estado ejecutando.
- **Parte 2:** dibujo esquemático de la instalación vista en planta, donde se representan las diferentes zonas que componen la misma, y donde se sitúan 9 conjuntos de 3 botones cada uno (ver ilustración 13) que representan los 9 elementos a ser controlados (i.e. ventanas y exutorios).
- **Parte 3:** gráfica de temperatura que muestra las lecturas en tiempo real de los correspondientes sensores situados en la instalación.
- **Parte 4:** botones de tipo "switch" de dos posiciones utilizados para operar todos los elementos simultáneamente.
- **Parte 5:** alarma de peligro del fenómeno Flashover (ver Anexo 1), bajo la cual queda situada una barra de entrada de datos en la que se seleccionarán los valores de temperatura necesarios para evaluar el riesgo de Flashover. Dichos valores, como se puede ver en el Anexo 1, dependen del tipo y cantidad de combustible utilizado, ventilación, etc. Estos valores

pueden variar notablemente de un incendio a otro, permitiendo así al usuario modificarlos de manera sencilla desde el HMI.

#### 4.2.4.1. Utilización del HMI

El control de los elementos que forman parte de la instalación puede realizarse individualmente o de forma conjunta.

##### 4.2.4.1.1. Control de los elementos individualmente

Cada uno de estos elementos va a estar controlado desde el HMI mediante 3 botones: un botón para su activación y desactivación, un botón para su apertura y un botón para su cierre, como puede verse en la siguiente ilustración:

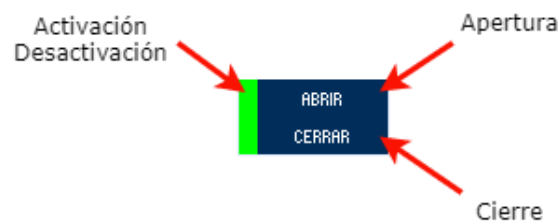


Ilustración 17: Conjunto de botones para el control de un elemento dado

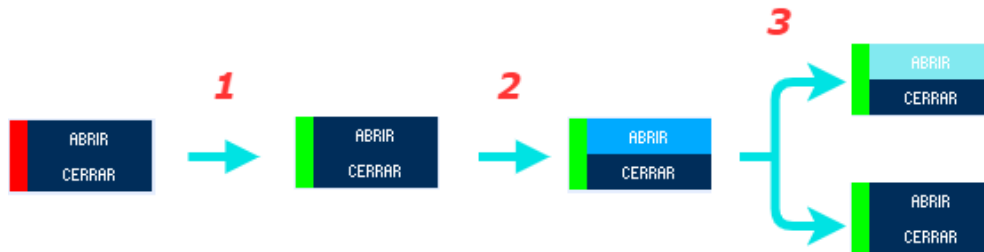
El usuario interactuará con estos botones, los cuales enviarán su estado (pulsado o no pulsado) al terminal MTU desde donde, tras ser procesado, se enviará la señal correspondiente a la unidad RTU. Finalmente, la unidad RTU enviará las señales digitales a las electroválvulas correspondientes en función de la información recibida.



Ilustración 18: Flujo de información para la actuación de un elemento

Además, estos botones, mediante el cambio en su color, también mostrarán el estado del elemento en cada instante (i.e. abriéndose, abierto, activado, etc.).

A continuación, de forma similar a lo realizado en el apartado 4.2.3.2, se ejemplifica el proceso de apertura de un elemento dado:



*Ilustración 19: Secuencia de acciones a llevar a cabo por el usuario para la apertura de un elemento*

- 1) Primero se deberá activar elemento si no lo estaba previamente. Para ello simplemente se debe que pulsar el botón de "activación-desactivación" (de color rojo), pasando este de rojo a verde.
- 2) Una vez activado, se pulsará el botón "abrir" del elemento, el cual pasará de azul oscuro a un azul más claro, indicando de esta forma que se está enviando la señal de apertura a la electroválvula correspondiente. Es importante mencionar que la interfaz HMI no permite pulsar el botón abrir si el botón cerrar del mismo elemento ya lo está, y viceversa.
- 3) Esta señal de apertura será enviada hasta que se dé uno de los siguientes casos:
  - Hasta que se detecte desde el potenciómetro lineal que se ha alcanzado la posición de apertura del elemento, momento en que el botón de apertura cambiará de nuevo de color a un azul todavía más claro, indicando así que el elemento se encuentra completamente abierto y no pudiéndose enviar la señal de nuevo hasta que el potenciómetro lineal indique que el elemento ya no se encuentra en dicha posición.
  - Hasta que, por parte del usuario, se vuelva a pulsar el botón de apertura antes de que se alcance la posición apertura completa, quedando entonces el elemento en un punto intermedio entre las posiciones de apertura y cierre y pasando el indicador al color azul oscuro inicial.

#### 4.2.4.1.2. Control de los elementos conjuntamente

Existe además la posibilidad de controlar todos los elementos que componen la instalación simultáneamente mediante los dos botones tipo "switch" ya mencionados.



*Ilustración 20: Botones Switch para el control conjunto de*

Para ello simplemente se deberán posicionar estos botones en la posición deseada. Por ejemplo, en la imagen anterior todos los elementos han sido activados y se encuentran abiertos o en posición de apertura:

#### *4.2.5. Selección de los instrumentos de campo*



Para la elección de los instrumentos de campo se han tenido en cuenta las condiciones de trabajo de estos, así como la necesidad de ser conectados a la placa Arduino seleccionada.

#### 4.2.5.1. Selección de los actuadores

##### 4.2.5.1.1. Cilindro neumático de doble efecto

Aunque el diseño del sistema neumático, y por lo tanto la selección de los cilindros, no está dentro del alcance de este proyecto, sí que se necesitan conocer algunas de las características de los mismos a tener en cuenta en el diseño del sistema SCADA

Por recomendación de los tutores, los cuales son conocedores de primera mano de la instalación y han estado involucrados en su construcción, se ha considerado el uso del modelo de cilindro *CP96SDB50-500C* de la marca SMC Pneumatics.

Las características de este cilindro consideradas en el diseño del sistema son el recorrido del vástago, necesario en la selección del potenciómetro lineal asociado al mismo, y la presión operativa, necesaria para la adecuada selección de las electroválvulas que lo controlarán.



*Ilustración 21: Cilindro neumático de dos posiciones  
(SMC Pneumatics, s.f.)*

Estos valores son:

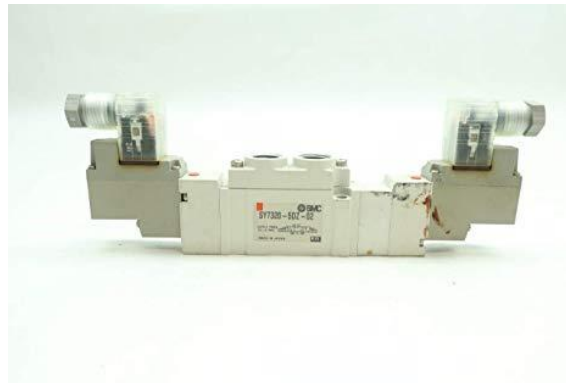
- Recorrido del vástago: 500 milímetros.
- Presión operativa: entre 0.05 y 1 Megapascuales.

##### 4.2.5.1.2. Electroválvula de 5 vías y 3 posiciones (5/3)

El modelo seleccionado para esta electroválvula es el SY7320-5DZ-02F-Q de la marca SMC Pneumatics, cuya característica principal es su bajo consumo eléctrico, haciéndola ideal para ser controlada mediante microcontroladores como la placa Arduino utilizado en este caso.

Características principales:

- Voltaje operacional: 24 V.
- Consumo de corriente: 21 mA.
- Consumo de potencia: 0.5 W.
- Presión operativa: entre 0.1 y 0.7 MPa.
- Conexión eléctrica: conector DIN 43650 de 4 pines.



*Ilustración 22: Electroválvula 5/3 (SMC Pneumatics, s.f.)*

Se requerirán 9 electroválvulas de este modelo, una por cada cilindro.

#### ***4.2.5.1.3. Electroválvula de 2 vías y 2 posiciones (2/2)***

En este caso, el modelo seleccionado es el VXE2130 de la marca SMC Pneumatics, modelo también caracterizado por su bajo consumo eléctrico, cuyas principales características son:

- Voltaje operacional: 24 V.
- Consumo de corriente: 23 mA.
- Consumo de potencia: 1.8 W.
- Presión operativa: entre hasta 1 MPa.
- Conexión eléctrica: conector DIN 43650 de 4 pines.



*Ilustración 23: Electroválvula 2/2 (SMC Pneumatics, s.f.)*

De este modelo serán requeridas 18 electroválvulas, 2 por cada cilindro.

#### ***4.2.5.2. Selección de las fuentes de alimentación***

Serán necesarias dos fuentes de alimentación diferentes, una para la alimentación del circuito eléctrico de las electroválvulas y otra para la alimentación de la placa Arduino.

##### ***4.2.5.2.1. Fuente de alimentación para las electroválvulas***

Teniendo en cuenta el número de electroválvulas requeridas y las características de consumo de estas, en el caso de máximo consumo, es decir aquel en que se encuentren activadas todas las bobinas de las 27 electroválvulas del sistema, los consumos de corriente y potencia serán:

$$\text{Máximo consumo de Corriente} = 18 * 23 \text{ mA} + 9 * 21 \text{ mA} = 603 \text{ mA}$$

$$\text{Máximo consumo de Potencia} = 18 * 0.5 \text{ W} + 9 * 1.8 \text{ W} = 25,2 \text{ W}$$

Por lo que se requerirá una fuente de alimentación satisfaga, como mínimo, estas necesidades.

Considerando estos valores, se ha seleccionado un alimentador del proveedor Diotronic que posee una tensión de salida de 24 Voltios, una corriente de salida de 2,5 Amperios y una potencia de 60 Vatios, valores más que suficientes para satisfacer los requisitos energéticos del conjunto de electroválvulas de nuestro sistema.



*Ilustración 24: Alimentador de tensión de 24 Voltios (Diotronic S.A., s.f.)*

#### ***4.2.5.2.2. Fuente de alimentación de la placa Arduino***

Para evitar la desconexión o apagado de la placa Arduino durante la ejecución del proceso, se ha decidido alimentar dicha placa mediante el Jack de alimentación externa que esta ofrece, de esta forma si se desconectase el cable USB que conecta el Arduino al ordenador, la placa seguiría funcionando, aunque no se podría interactuar con la misma desde el ordenador.

De esta forma nos aseguramos de que el sistema permanece estable ante la posible pérdida de comunicación con el ordenador.

El voltaje recomendado para alimentar la placa a través del Jack de alimentación es de entre 7 y 12 Voltios, por ello se ha seleccionado una fuente de alimentación universal del proveedor Diotronic, con tensión de salida variable entre 3 y 12 Voltios y una corriente de salida de 1 Amperio, permitiendo así variar la tensión de alimentación según las condiciones exigidas a la placa (i.e. al expandir el hardware conectado y alimentado desde la misma).

#### ***4.2.5.3. Selección de los Sensores***

##### ***4.2.5.3.1. Sensor de Temperatura***

Para la selección de este sensor se ha tenido en cuenta principalmente las condiciones de elevada temperatura en las que va a ser utilizado. Por ello se ha optado por utilizar termopares tipo K, los cuales están disponibles a un bajo costo y en una gran variedad de sondas.

Este tipo de termopares tienen un rango de temperaturas operativas, en función del modelo, que van desde los  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Además, poseen una buena resistencia a la oxidación, lo cual en este caso es de importancia. (Thermometrics, s.f.).

El problema que tienen estos termopares es que la señal generada es muy pequeña para poder ser leída por el microcontrolador de la placa Arduino, razón por la que se ha decidido utilizar el módulo convertidor de señal analógica a digital MAX6675 de la marca Maxim Integrated en conjunto con el termopar tipo K.

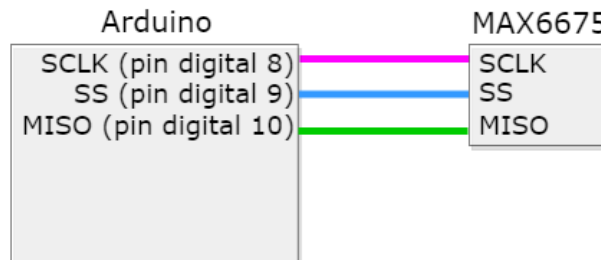


*Ilustración 25: Módulo MAX6675  
(Diotronic S.A., s.f.)*

Este módulo es utilizado para conectar este tipo de termopares a microcontroladores como el de la placa Arduino utilizada. Para la comunicación de la lectura de temperatura desde este módulo al Arduino, se hace uso de una Interfaz de Periféricos Serie (SPI, por sus siglas en inglés). Este interfaz es un estándar para controlar dispositivos digitales mediante un flujo de bits serie regulado de forma síncrona entre los dispositivos conectados (Corelis, 2018).

El protocolo SPI está compuesto por una unidad Maestra, en este caso la placa Arduino, y una unidad Esclava, el módulo MAX6675. Para su implementación en el sistema diseñado se requieren 3 conexiones digitales con la placa Arduino:

- **Conexión de Salida de datos del Esclavo y entrada al Maestro (MISO):** señal encargada de la comunicación del esclavo al maestro.
- **Conexión de Reloj Serial (SCLK):** señal de reloj enviada por el maestro.
- **Conexión de Selección de Esclavo (SS):** señal para seleccionar el dispositivo esclavo a leer.



*Ilustración 26: Conexión SPI entre la placa Arduino y el módulo MAX6675.*

Una de las ventajas del uso de este protocolo de comunicación es que, si se desean añadir nuevos termopares en un futuro, solo se necesita una nueva conexión para la selección del esclavo (SS), es decir, utilizar un nuevo pin digital de la Placa Arduino, por cada nuevo módulo MAX6675, siendo las conexiones MISO y SCLK comunes a todos los módulos MAX6675 esclavos que se conecten.

Además, existen diversas librerías específicas para la utilización de este módulo con el IDE de Arduino, lo cual facilitará su integración en nuestra programación.

#### **4.2.5.3.2. Sensor de posición**

Para la obtención de la posición de los elementos en cada instante, se ha optado por incorporar un potenciómetro lineal en cada cilindro, de forma que este quede asociado el desplazamiento del vástago, permitiendo así conocer la posición de este en todo momento, y por lo tanto la del elemento asociado a dicho cilindro.

El potenciómetro lineal que se incorporara es el modelo *LT-M-0500-P* de la marca Gefran, con un recorrido útil de 500 milímetros, una resistencia variable de 5 Kilo Ohmios y salida analógica, la cual se conectará directamente a los pines de entrada analógicos de la placa Arduino sin necesidad de ningún tipo de adaptación en la señal. El conector eléctrico utilizado con este modelo es un conector DIN 43650 de 4 pines igual al utilizado en las electroválvulas.



*Ilustración 27: Potenciómetro lineal con vástago LT-M-0500-P (Gefran, s.f.).*



Se trata de un potenciómetro robusto con un índice de protección IP60, ideal para las condiciones en que va a trabajar.

Son requeridos 9 de estos potenciómetros, uno por cada cilindro neumático, y por lo tanto se debe disponer de 9 pines analógicos disponibles en la placa Arduino. Este es uno de los motivos por los que se ha seleccionado el modelo Mega, pues dispone de 16 de estos pines.

## 4.2.6. Adaptación de las señales de salida del Arduino para el control de las electroválvulas

Como se ha visto en el apartado 4.2.3.1, cada elemento deberá ser controlado mediante tres señales digitales encargadas de activar o desactivar las bobinas de las electroválvulas. Las salidas de los pines digitales de la placa Arduino pueden llegar a proporcionar una salida de hasta 5 voltios y 20 miliamperios, y un máximo combinado de hasta 800 miliamperios (Arduino, 2019), lo cual, teniendo en cuenta que el voltaje de entrada requerido por las electroválvulas seleccionadas es de 24 voltios y que se requieren 27 de estas electroválvulas, no es adecuado.

Es por ello que se optará por el uso de módulos de relés en combinación con optoacopladores, conectados a una fuente externa de 24 voltios, para la adaptación de las señales procedentes de los pines digitales de la placa Arduino.

Se ha seleccionado, del proveedor Diotronic, un módulo de 8 relés con optoacopladores con una tensión de control de 5 voltios, ideal para ser controlado desde la placa Arduino.

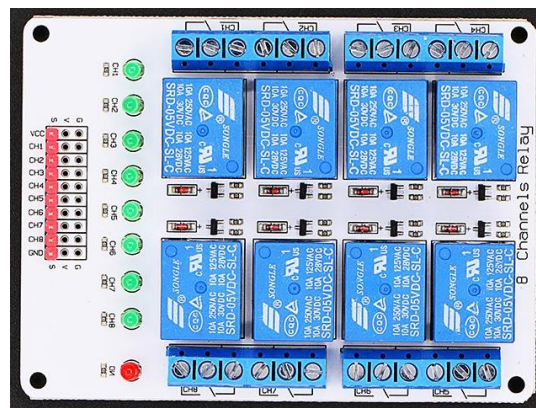
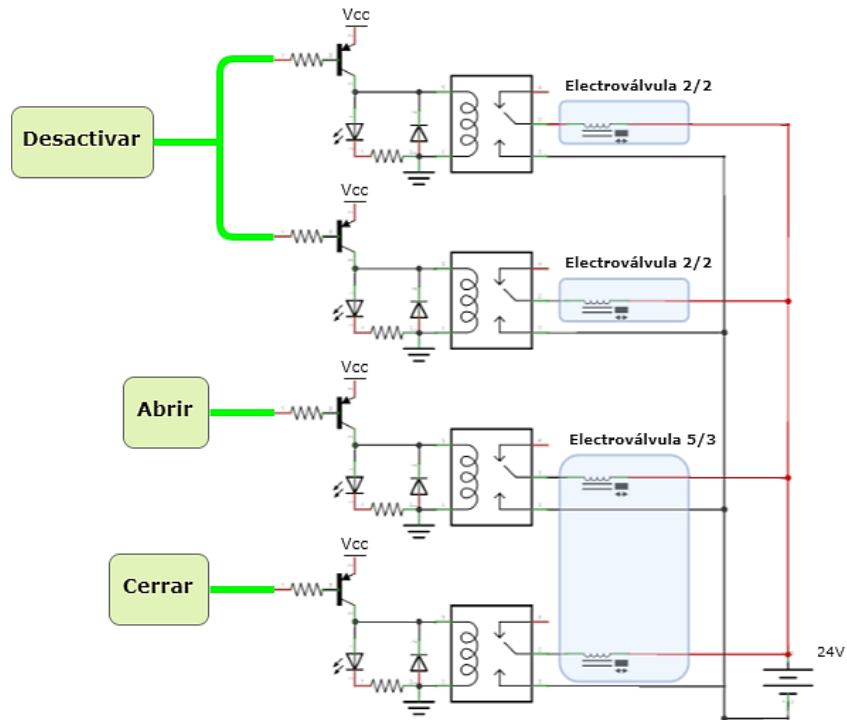


Ilustración 28: Módulo de 8 relés con optoacopladores (Diotronic S.A., s.f.)



Las señales digitales enviadas desde la placa Arduino serán enviadas a los relés asociados a las bobinas de las electroválvulas correspondientes, como se muestra, para un elemento dado, en la siguiente ilustración:



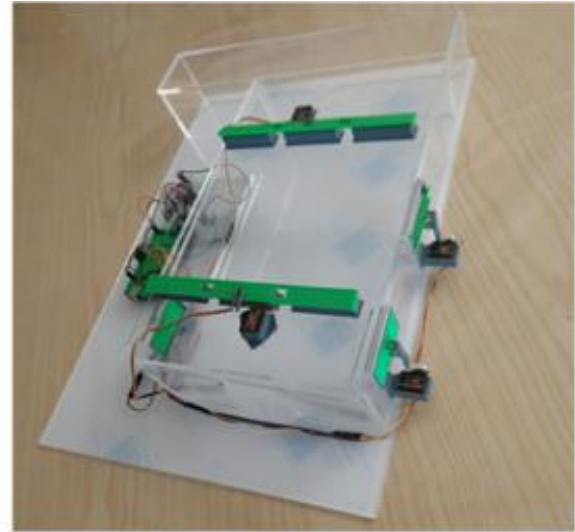
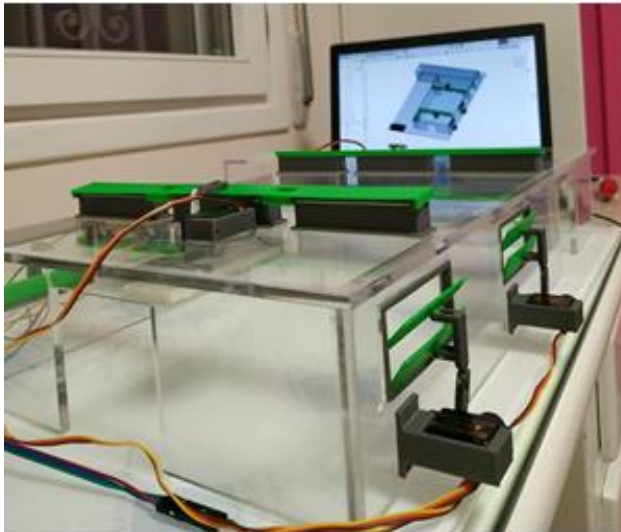
*Ilustración 29: Conexiones entre la placa Arduino y las electroválvulas de un elemento para el control de un elemento dado*

Puede observarse que la señal para la activación y desactivación del elemento es duplicada a la salida del Arduino, por lo que se requerirán 4 relés por cada elemento. Esto hace un total de 36 relés necesarios, es decir, 4 de los mencionados módulos.

Las conexiones entre los diferentes pines de la placa Arduino y las diferentes electroválvulas quedan reflejadas en apartado 2.4.1 del Anexo 2.

### 4.2.7. Construcción de la maqueta a escala

Se ha decidido construir la maqueta a escala 1:30 al considerarse un tamaño suficiente para demostrar la funcionalidad y viabilidad del sistema SCADA diseñado en este proyecto.



*Ilustración 30: Maqueta elaborada*

El sistema SCADA aplicado en la maqueta es una adaptación del sistema que se implementará en la instalación real, con la característica principal de que todos los elementos que forman parte del sistema, a excepción de los instrumentos de campo (i.e. sensores y actuadores), son los mismos que serán utilizados en el sistema SCADA de la instalación real, y que la programación utilizada para ambos sistemas es la misma, con la excepción de las modificaciones necesarias para el control de los instrumentos de campo utilizados en este caso.

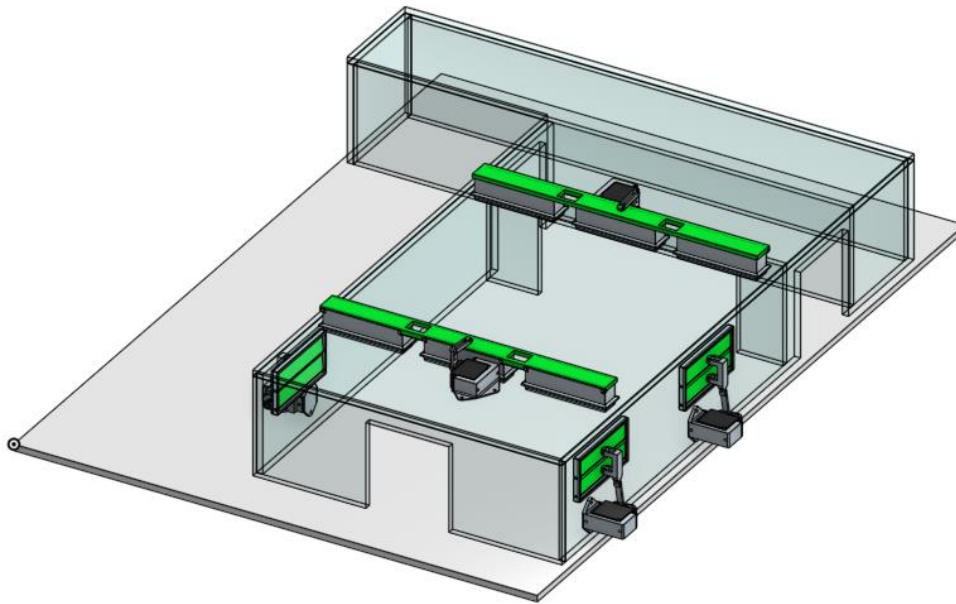
#### 4.2.7.1. Adaptación del sistema SCADA

Las adaptaciones realizadas al sistema con el fin de poder ser aplicado de manera sencilla y económica en la maqueta, sin perjudicar la demostración en la funcionalidad de este, son las siguientes:

- **Sustitución del sistema de electroválvulas y potenciómetros lineales por servomotores:** estos servomotores, por una parte, ejercerán las funciones de cilindro neumático, y su control se realizará únicamente a nivel electrónico, prescindiendo así del circuito neumático, cuya adaptación a la maqueta resultaría de un elevado coste, y por otra, puesto que los servomotores ofrecen la opción de indicar su posición en cada instante, ejercerán también como sensores de posición, función llevada a cabo por los potenciómetros lineales en la instalación real.
- **Disminución del número de elementos a controlar** (i.e. ventanas y exutorios) de 9 a 5, controlando cada fila compuesta de 3 exutorios con un solo servomotor, en vez de utilizar un servomotor por cada exutorio. Las ventanas se controlan individualmente de la misma forma que se realizará en la instalación real. Se logra prescindir así de 4 actuadores, reduciendo el coste final de la maqueta.
- **Modificación de la programación** tanto del RTU (Arduino) como del HMI (Processing), teniendo en cuenta las modificaciones en los instrumentos de campo mencionadas anteriormente. El resto de la programación se ha mantenido intacto.

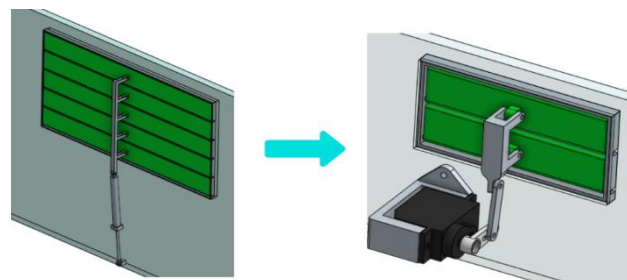
#### 4.2.7.2. Diseño de la maqueta

Para el diseño y dimensionado de la maqueta se ha elaborado, igual que para la estructura real, un modelo tridimensional mediante el mismo software CAD (Solid Edge), a escala 1:30, incluyendo todos los componentes utilizados en la construcción de la misma, como son los servomotores, ventanas, exutorios, soportes, etc.



*Ilustración 31: Modelo tridimensional de la maqueta*

Además, se ha realizado una modificación en el diseño de las ventanas y exutorios para que, considerando la reducción en tamaño, el comportamiento sea similar a los elementos a tamaño real, adaptando también los mecanismos de apertura para que los elementos puedan ser accionados a partir de los servomotores, como se puede apreciar en la siguiente ilustración:



*Ilustración 32: Adaptación del sistema de apertura/cierre de las ventanas de la instalación real (izquierda) para poder ser aplicado en la*

### 4.2.7.3. Selección de materiales

Para la estructura de la maqueta se ha decidido optar por placas de metacrilato debido a la relativa facilidad de trabajar con este material y sobre todo al hecho de que se trata de un material transparente que permite visualizar perfectamente el interior de la estructura. Esto, por ejemplo, supone una ventaja a la hora de realizar simulaciones de las maniobras que se llevarían a cabo en su interior o de evacuación de humos.

Se ha seleccionado un grosor de 5 milímetros para dichas placas con el fin de otorgar robustez a la estructura.

Todos los elementos sobre los que se va a simular la apertura y cierre, es decir las ventanas, los exutorios, los mecanismos de apertura y cierre y los soportes para los servomotores, van a ser elaborados mediante modelado e impresión 3D, a partir del modelo en CAD de la maqueta. El material utilizando para la impresión 3D es ácido poliláctico (PLA), el cual es un termoplástico biodegradable de bajo costo y amplia disponibilidad.



*Ilustración 33: Conjunto de elementos impresos en 3D que representan el sistema de apertura las ventanas*

#### 4.2.7.4. Selección de componentes

El fundamento para la selección de los componentes que formarán parte de la maqueta ha consistido en elegir aquellos que permiten demostrar la funcionalidad básica del sistema a un precio más reducido.

Todos los componentes electrónicos utilizados han sido adquiridos del proveedor Diotronic.

##### 4.2.7.4.1. Servomotores

El servomotor seleccionado es el modelo ES08A de la marca Emax, modelo compacto y económico con un voltaje operativo de entre 4,8 y 6 voltios, lo cual lo hace ideal para su integración en la placa Arduino.



*Ilustración 34: Servomotor Emax ES08A*

##### 4.2.7.4.2. Sensores de temperatura

Para la lectura de temperatura en el interior de la maqueta, considerando que no va a ser necesario medir temperaturas elevadas como las que se medirán en la instalación real, se ha seleccionado el sensor LM35 de la marca Texas Instruments, el cuál es ampliamente conocido y utilizado en aplicaciones con microcontroladores similares, además de tener un precio muy reducido.



*Ilustración 35: Sensor de temperatura LM35*

Este es un sensor calibrado para la medición de temperatura en grados Centígrados, con una precisión de aproximadamente 1 °C y una salida lineal de 10mV por °C. Además, el rango de temperaturas de medición va desde los -55 °C hasta los 150 °C, lo cual es más que suficiente para la lectura de temperaturas en la maqueta.

#### 4.2.7.4.3. Sensor de presión

Debido a lo económico que resulta la utilización de un sensor de presión que cumpla con los requisitos para ser aplicado a la maqueta, se ha decidido añadirlo a la misma de forma que se demuestre la posibilidad de incorporarlo en un futuro en la instalación real, lo cual queda descartado inicialmente debido a lo caro que resulta un sensor cuyos requisitos satisfagan las condiciones extremas en que trabajaría dentro de la instalación, teniendo en cuenta la limitada practicidad que ofrecería en el control del proceso.

Para la lectura de presión en la maqueta se ha seleccionado el circuito integrado BMP280 de la marca Adafruit, el cual utiliza como base el sensor de presión del mismo nombre de la marca Bosch. Este es un sensor de pequeño tamaño y bajo costo con una precisión de 1 hectopascal.



*Ilustración 36: Sensor BMP280 (Adafruit Industries, s.f.)*

Este circuito integrado permite el intercambio de datos con la placa Arduino a través del protocolo de comunicación I2C (Circuit Basics, 2017), haciendo muy sencilla su integración en el sistema SCADA de la maqueta.

#### 4.2.7.4.4. Pulsador

Para ejercer la función de seta de emergencia, se ha utilizado un pulsador SPST normalmente abierto de pequeño tamaño. En este caso, cuando el pulsador es presionado, envía una señal a la placa Arduino, la cual, tras ser procesada, provoca la apertura de todos los elementos de la maqueta independientemente del estado en que se encuentra, de forma análoga a lo que ocurriría en la instalación real al cortar el suministro de aire a los cilindros.



*Ilustración 37: Pulsador SPST*



## 5. CONCLUSIONES

Durante la realización de este proyecto se han ido alcanzando todos los objetivos planteados a su inicio, y así, se han obtenido los siguientes resultados:

- Se ha obtenido un **modelo tridimensional** de la instalación que ha permitido un mejor conocimiento de esta para el posterior diseño del sistema de control a implementar en la misma. Además, también se ha elaborado un modelo para la maqueta, previo a su construcción, con el fin de modelar los componentes que serán impresos en 3D.
- Se ha construido una **maqueta funcional** que imita, de forma adaptada, el sistema de control que se implementará en la instalación real, demostrando así su funcionalidad y la viabilidad de su ejecución, pudiendo además ser utilizada por el cuerpo de Bomberos para la introducción teórica de las maniobras que se van a llevar a cabo previamente a su ejecución.
- Finalmente, se ha obtenido el resultado principal sobre el que se ha centrado este proyecto, el **sistema de control de la instalación** que permite controlar y supervisar el proceso llevado a cabo en su interior de forma remota, facilitando notablemente estas labores al usuario final y asegurando su seguridad.
- Adicionalmente, se ha creado un **manual de instalación**, reflejado en el *Anexo 2*, para guiar al usuario final en la instalación y ejecución del software. También se han especificado las conexiones digitales entre los diferentes componentes del sistema que permiten su adecuado funcionamiento.

Cabe mencionar que, como durante la realización del proyecto no se ha tenido acceso a todos los elementos que lo componen, no se ha podido comprobar integralmente su funcionamiento, por lo que es posible que en su implementación futura puedan llegar a surgir ciertos imprevistos, motivo por el que se ha documentado de forma exhaustiva tanto en la presente memoria, como en los Anexos y programas de control elaborados, el funcionamiento del sistema SCADA diseñado así como el proceso llevado a cabo en su desarrollo, de manera que en un futuro la persona encargada de su implementación pueda solventar estos imprevistos de forma efectiva.

Finalmente, teniendo en cuenta que la estructura ya se encuentra edificada, la última fase a llevar a cabo, previa a la implantación definitiva del sistema, es el diseño del circuito neumático que alimentará el conjunto de cilindros neumáticos.



Una vez hecho esto, esta instalación puede servir como precedente en la estandarización de este tipo de instalaciones para el entrenamiento de bomberos, pues aunque actualmente el cuerpo de Bomberos perteneciente a la Diputación Provincial de Zaragoza (DPZ) cuenta algunas instalaciones para la realización de diferentes tipos de maniobras, estas son escasas, de costosa implementación y poco versátiles, siendo la gran mayoría construidas expresamente para la ocasión, con el alto consumo de tiempo y recursos que ello conlleva. De esta forma, el disponer de un modelo ya desarrollado y convenientemente documentado puede servir, no solo a la DPZ, sino a cualquier organismo público interesado, a llevar a cabo su construcción de manera rápida y efectiva.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Adafruit Industries. (s.f.). Adafruit BMP280 I2C or SPI Barometric Pressure & Altitude Sensor. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.adafruit.com/product/2651>
- AENOR. (2018). UNE-EN ISO 13943:2018 Seguridad contra incendios. Recuperado 19 noviembre, 2019, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0060846>
- Arduino. (2015, 14 abril). Arduino - Software. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.arduino.cc/en/main/software>
- Arduino. (2019, 23 septiembre). Arduino Mega 2560. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/>
- Bus SPI. (2016, 13 noviembre). Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/category/bus-spi/>
- Circuit Basics. (2017, 11 abril). Basics of the I2C Communication Protocol. Recuperado 19 noviembre, 2019, de <http://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>
- Corelis. (2018, 16 mayo). SPI Tutorial – Serial Peripheral Interface Bus Protocol Basics. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.corelis.com/education/tutorials/spi-tutorial/>
- Diotronic S.A. (s.f.). Tienda de electrónica online. Venta de componentes electrónicos e informáticos al por mayor. Recuperado 22 noviembre, 2019, de <https://diotronic.com/> Diotronic. (s.f.-d). ALM067 ALIMENTADOR 3-12V 1A. Recuperado 19 noviembre, 2019, de [https://diotronic.com/alm067-alimentador-3-12v-1a\\_17437/](https://diotronic.com/alm067-alimentador-3-12v-1a_17437/)
- El bus SPI. (2019, 24 octubre). Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.prometec.net/bus-spi/>
- Gefran. (s.f.). LT Con vástago. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.gefran.com/es/es/products/68-lt-con-vastago>
- I-SCOOP. (s.f.). SCADA systems (Supervisory Control and Data Acquisition). Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/scada-supervisory-control-data-acquisition/>
- International Organization for Standardization. (2017, 11 septiembre). ISO 668:2013. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.iso.org/standard/59673.html>
- Manutan. (s.f.). Sonda de superficie termopar tipo K HI 766 B2. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.manutan.es/es/mas/sonda-de-superficie-termopar-tipo-k-hi-766-b2>
- Processing. (s.f.). Overview. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://processing.org/overview/>
- SAFED. (2018) Safety, Fire & Design. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <http://safedinfo.eu/>



- SCADA Systems. (2018, 25 julio). Recuperado 18 noviembre, 2019, de <http://www.scadasystems.net/>
- SMC Pneumatics. (s.f.). SMC Pneumatic Cylinders, Fittings, Valves, and More. - SMC Pneumatics. Recuperado 22 noviembre, 2019, de <https://www.smc-pneumatics.com/>
- Thermometrics. (s.f.). Type K Thermocouple. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.thermometricscorp.com/thertypk.html>
- United Nations. (2018, 16 mayo). Las ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Recuperado 18 noviembre, 2019, de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

