



**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  
Igeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

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

**ANEXOS**

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

Director: César García Hernández y José Luís Huertas Talón





# INDICE DE CONTENIDO

<b>ANEXO 1. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DEL FUEGO</b>	<b>1</b>
1.1.    BREVE INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DEL FUEGO	1
1.1.1. <i>Triángulo y tetraedro del fuego.</i>	1
1.1.2. <i>Fases de un incendio</i>	3
1.1.2.1. <i>Fases de un incendio interior</i>	4
1.1.2.1.1. <i>Fase temprana o de crecimiento</i>	4
1.1.2.1.2. <i>Fase de pleno desarrollo</i>	5
1.1.2.1.3. <i>Fase de decaimiento</i>	5
1.1.3. <i>Fenómenos característicos de un incendio interior</i>	7
1.1.3.1. <i>Flashover</i>	7
1.1.3.2. <i>Backdraft</i>	8
1.2.    BIBLIOGRAFÍA	9
<b>ANEXO 2. MANUAL DE INSTALACIÓN</b>	<b>10</b>
2.1.    INSTALACIÓN DEL SOFTWARE	10
2.1.1. <i>Instalación del Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Arduino</i>	10
2.1.2. <i>Instalación del Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Processing</i>	11
2.1.3. <i>Instalación de librerías</i>	11
2.1.4. <i>Carga del programa en la placa Arduino</i>	14
2.1.5. <i>Ejecución de la Interfaz Hombre Máquina (HMI)</i>	15
2.2.    CONEXIONES CON LA PLACA ARDUINO	16
2.2.1. <i>Conexiones digitales</i>	16
2.2.1.1.    Conexiones con las electroválvulas	16
2.2.1.2.    Conexión con el sensor de temperatura	18
2.2.2. <i>Conexiones analógicas</i>	20
2.2.2.1.    Conexiones con los potenciómetros lineales	20
<b>ANEXO 3. PRESUPUESTO</b>	<b>22</b>
3.1.    INTRODUCCIÓN	22
3.2.    DESARROLLO DEL PRESUPUESTO	22
3.2.1. <i>Presupuesto de la maqueta</i>	22
3.2.1.1.    Material	22
3.2.2. <i>Presupuesto para la implementación del sistema de control SCADA</i>	24



---

**INDICES**

3.2.2.1. Mano de obra _____	24
3.2.2.2. Material _____	25
3.2.3. <i>Presupuesto total</i> _____	26

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Triángulo del fuego (De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera Ayllón, s.f.).....	1
Ilustración 2: Tetraedro del fuego (De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera Ayllón, s.f.).....	2
Ilustración 3: Fases de un incendio interior .....	4
Ilustración 4: Instalación del software de Arduino .....	10
Ilustración 5: Instalación del software Processing .....	11
Ilustración 6: Instalación de librerías para el software Processing .....	12
Ilustración 7: Apertura de la ventana de preferencias en el programa Processing .....	12
Ilustración 8: Ubicación de la carpeta "Sketchbook" .....	13
Ilustración 9: Selección del modelo de placa en el software Arduino.....	14
Ilustración 10: Directorio contenedor de los archivos del programa para Arduino diseñado .....	14
Ilustración 11: Carga del programa en la placa Arduino.....	14
Ilustración 12:Directorio contenedor de los archivos del programa para Processing diseñado .....	15
Ilustración 13: Ejecución del programa HMI desde Processing .....	15
Ilustración 15: Distribución de los elementos de la instalación .....	16
Ilustración 16: Conexiones digitales entre la placa Arduino y las electroválvulas de la Ventana 1 .....	17
Ilustración 17: Conexiones entre la placa Arduino y el termopar .....	18



Ilustración 18: Conexión entre la placa Arduino y el potenciómetro lineal de la ventana 1 .....	20
---	----

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Conexiones con los pines digitales de la placa Arduino .....	19
Tabla 2: Conexiones con los pines analógicos de la placa Arduino .....	21
Tabla 3: Conste material de la maqueta .....	23
Tabla 4: Coste de la mano de obra .....	24
Tabla 5: Coste material de la implantación del sistema SCADA .....	25
Tabla 6: Presupuesto total .....	26





# ANEXO 1. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DEL FUEGO

## 1.1. BREVE INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DEL FUEGO

El eje entorno al cual se centra este proyecto es en el diseño del sistema de control de una instalación para la simulación y desarrollo de incendios, por lo tanto, es imprescindible entender que es y cómo se desarrolla un incendio, y que lo diferencia del término fuego.

Según la norma UNE-EN ISO 13943 (AENOR, 2018) se define el fuego como una combustión auto soportada, puesta en marcha deliberadamente y limitada en su extensión en tiempo y espacio. Esta misma norma define el incendio como una combustión auto soportada que no ha sido deliberadamente puesta en marcha y que no está limitada en su extensión en tiempo y espacio. Es decir, la diferencia entre fuego e incendio radica en la deliberación y control de la combustión iniciada.

### 1.1.1. Triángulo y tetraedro del fuego.

Para que un incendio tenga lugar se requieren principalmente tres elementos: combustible, comburente y una fuente de calor que aporte la energía de activación necesaria. Estos tres elementos forman conjuntamente el conocido como **triángulo del fuego**, si uno de estos tres elementos es suprimido, la combustión no tiene lugar (De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera Ayllón, s.f.).



Ilustración 1: Triángulo del fuego  
(De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera Ayllón, s.f.)



- **Combustible:**

Se entiende por combustible cualquier sustancia o materia con la capacidad de arder ante la presencia de cierta energía de activación. Este se puede encontrar en estado sólido, líquido o gaseoso, aunque la combustión propiamente dicha ocurre en el estado gaseoso.

- **Comburente:**

Un comburente es cualquier sustancia con la capacidad de producir la oxidación del combustible, dando lugar a una reacción muy rápida y altamente exotérmica. Lo más habitual en los incendios es que el comburente principal en la reacción de combustión sea el oxígeno presente en el aire. Éste debe encontrarse en una proporción mínima del 15%, por debajo de la cual el fuego no se propagará. (De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera Ayllón, s.f.).

- **Energía de activación:**

Se define la energía de activación como la energía mínima necesaria para que se produzca la reacción entre el combustible y el comburente. Esta energía aportada puede proceder de diversos focos: químicos, eléctricos, mecánicos, biológico, etc.

Además de estos tres elementos, un análisis más profundo del fenómeno de la combustión ha hecho necesario incluir un cuarto elemento: las reacciones en cadena, obteniéndose así un nuevo modelo conocido como **tetraedro del fuego**.



*Ilustración 2: Tetraedro del fuego (De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera)*



- **Reacciones en cadena:**

Cuando se produce la combustión, se llega a un punto en que se genera mucho más calor del necesario inicialmente. Cuando este exceso de calor se reinvierte en la generación de nuevas reacciones químicas entre combustible y comburente, el proceso se descontrola y el incendio es capaz de auto mantenerse y propagarse en el espacio y el tiempo.

### *1.1.2. Fases de un incendio*

De forma general, todo incendio consta de cuatro fases (Bengtsson, 2001):

- **Inicio:**

Como ya se ha comentado, para que un incendio se inicie son necesarios los tres componentes que forman el triángulo del fuego: combustible, comburente y energía de activación. Una vez el incendio se ha iniciado y alcanza un estado en que el incendio es capaz de auto mantenerse, comienza la fase de desarrollo.

- **Desarrollo:**

En esta fase el incendio se propaga libremente debido a que el oxígeno presente en el ambiente favorece la combustión de los materiales presentes. Al aumentar la temperatura ambiente, se inflaman nuevos elementos y el incendio se propaga. Con el tiempo la concentración de oxígeno en el ambiente disminuye al ser consumido, y la de monóxido de carbono, así como la de otros gases inflamables que no combustionan por la disminución de oxígeno, se incrementa.

- **Propagación:**

El incendio, ya plenamente desarrollado, alcanza grandes dimensiones y se propaga por todos los medios, es decir, tanto por radiación como por convección.

- **Extinción:**

Es la fase final en la que el incendio retrocede hasta apagarse ya sea de forma natural al agotarse el combustible disponible, o de forma provocada por acción del hombre. Evidentemente, es esta segunda forma la que más nos interesa en nuestro proyecto.



### 1.1.2.1. Fases de un incendio interior

Para este proyecto, nos interesa centrarnos en el estudio del desarrollo de los incendios en recintos interiores, por lo que es en este tipo de incendios, y en los fenómenos característicos asociados a los mismos, en los que se va a profundizar más detalladamente.

La forma en que se desarrollan este tipo de incendios difiere de los desarrollados en espacios abiertos en dos aspectos principales: los gases calientes producidos no se evacuan libremente, y la aportación de oxígeno al ambiente en que se desarrolla el incendio se ve limitado por la ventilación del recinto, factor que puede variar notablemente de un incendio a otro.

Los incendios producidos en interiores, como puede verse en la siguiente ilustración, constan de tres fases bien diferenciadas:

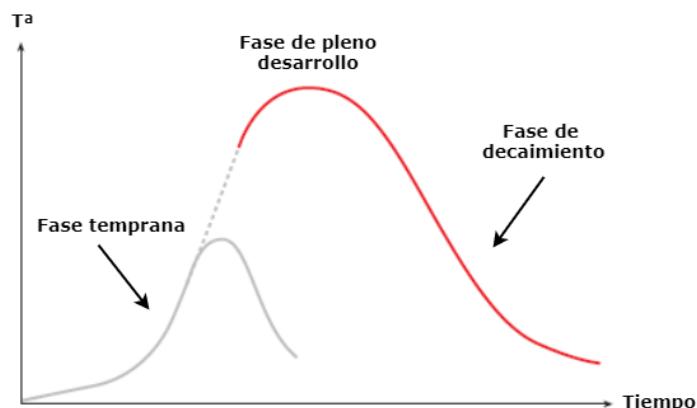


Ilustración 3: Fases de un incendio interior

#### 1.1.2.1.1. Fase temprana o de crecimiento

En el comienzo del incendio, este crece lentamente y su potencia es limitada. El calor es transmitido a sus alrededores por radiación y una columna de convección se forma sobre el mismo transmitiendo calor a las zonas superiores, donde comienzan a acumularse los gases producidos. Estos gases, al ser más calientes y por tanto menos densos que el aire fresco proveniente del exterior, formarán un colchón de gases en la parte superior de la instalación que se encontrará separado del aire fresco mencionado por un plano conocido como plano neutro. En este plano neutro la presión es idéntica a la exterior. La presión en todo el estrato del colchón de gases es mayor a la del plano neutro mientras la del estrato inferior de aire fresco es menor.



En esta fase la temperatura aumenta constantemente y se dispone del suficiente oxígeno para que el incendio siga desarrollándose, por lo que la potencia únicamente se encuentra limitada por la disponibilidad y naturaleza del combustible.

Es en este punto del desarrollo del incendio en el que puede darse uno de los fenómenos más críticos que suceden en los incendios interiores, y que más interés tienen en nuestro proyecto como se verá más adelante: el Flashover.

El **Flashover** es una fase de transición en el desarrollo de un incendio interior en la cual todas las superficies expuestas a radiación térmica alcanzan la temperatura de ignición casi de forma simultánea y el fuego se propaga rápidamente a través de todo el recinto, dando como resultado que el incendio se extienda de forma repentina en la práctica totalidad del recinto (Bengtsson, 2001).

#### *1.1.2.1.2. Fase de pleno desarrollo*

En esta etapa el incendio alcanza su máxima magnitud y temperatura, propagándose libremente al disponer del oxígeno suficiente.

La temperatura y duración de esta fase dependerá de la potencia del incendio, de la disponibilidad de combustible y de las pérdidas de calor en el recinto.

En los incendios que disponen de una ventilación suficiente esta etapa puede prolongarse ampliamente en el tiempo puesto que la potencia del incendio debida al aporte de oxígeno procedente del exterior contrarresta las pérdidas de calor a través de las paredes del recinto.

#### *1.1.2.1.3. Fase de decaimiento*

Finalmente, tras un cierto periodo de tiempo, se alcanza un punto en el que la concentración de oxígeno presente comienza a descender junto con temperatura, fenómeno que puede ser debido a:

- La combustión previa del colchón de gases con el consecuente aumento en el consumo de oxígeno, como sucede tras el fenómeno Flashover.
- La incapacidad de satisfacer la elevada demanda de oxígeno por parte del combustible.
- La insuficiente ventilación en la instalación, superando el consumo de oxígeno al aporte de este.



En este último caso, en el que el incendio se ve limitado por la ventilación, puede darse otro de los fenómenos característicos de incendios en interiores: el Backdraft.

"El **Backdraft** es una deflagración como consecuencia de un aporte de aire repentino a un incendio en un espacio confinado en el que existen productos incompletos de combustión por de la falta de oxígeno" (De la Herrán Souto, Martínez Collado & Cabrera Ayllón, s.f.).



### *1.1.3. Fenómenos característicos de un incendio interior*

A continuación, se va a profundizar en los dos fenómenos característicos y de mayor importancia que se pueden llegar a producir en un incendio interior debido a la peligrosidad e importancia de sus consecuencias, el Flashover y el Backdraft.

#### *1.1.3.1. Flashover*

Como ya se ha visto, el Flashover consiste en la ignición simultánea de la práctica totalidad de las superficies expuestas al incendio, provocada al alcanzarse la temperatura de inflamación de estas debido a la radiación que es emitida por el colchón de gases, provocando una muy rápida propagación del incendio en la instalación.

Para que el Flashover tenga lugar, el incendio debe poseer las siguientes características:

- Una **cantidad de combustible** adecuada para que se genere un colchón de gases, el cuál que emitirá la radiación que alcanzará las superficies expuestas provocando su ignición repentina.
- Una **proporción de oxígeno** suficiente para que la mezcla combustible-comburente pueda darse en todas las superficies de la instalación, de forma que se pueda producir su ignición.

Además, existen una serie de indicadores que delatan la inminencia de un Flashover:

- Existencia de un sistema ventilación en la instalación capaz de proporcionar el oxígeno necesario.
- Aparición de lenguas de fuego o “Rollover” en las superficies del recinto al alcanzar los gases la temperatura de ignición (De la Herrán Souto et al., s.f.).
- Humo denso y de color amarillento o marrón procedentes de los gases de combustión de polímeros que contienen sulfuro o hidrocarburos. (Bengtsson, 2001).
- Y, el mejor indicador de un inminente Flashover, se produce un rápido y repentino aumento en la temperatura de la instalación. Normalmente este fenómeno ocurre a una temperatura comprendida entre los 600 y los 700



°C, aunque este valor puede variar notablemente en función de los combustibles involucrados. (Bengtsson, 2001).

### 1.1.3.2. *Backdraft*

Cuando la ventilación de la instalación es poca o nula, llega un punto en que la demanda de oxígeno por parte del incendio no puede ser satisfecha y se comienzan a acumular productos de combustión incompleta en el colchón de gases procedentes de la combustión, los cuales son altamente inflamables (Bengtsson, 2001). La concentración de estos productos inflamables aumenta conforme disminuye la cantidad de oxígeno.

Si en este punto, se incorpora una nueva fuente de aire fresco al recinto, como puede ser la apertura de una puerta o ventana, el aumento en la concentración de oxígeno que ello conlleva permite la combustión de los productos de combustión incompleta acumulados, produciéndose así la ignición del colchón de gases, que en este momento posee una alta concentración de los mismos, aumentando bruscamente la potencia del incendio y ocasionando una explosión de gran magnitud debida a la rápida expansión de estos gases, cuyas consecuencias pueden ser devastadoras.

Algunos importantes indicadores de un Backdraft inminente son:

- **Color amarillento o marrón de los gases de combustión** debidos a la combustión incompleta del combustible, similar a lo que sucede ante el fenómeno Flashover (Bengtsson, 2001).
- **Oscilaciones en la presión** del interior de la instalación por encima y por debajo de la presión exterior, como si la instalación “respirase” (De la Herrán Souto et al., s.f.).



## 1.2. BIBLIOGRAFÍA

Bengtsson, L. G. (2001). *Enclosure fires*. Huskvarna,, Sweden: NRS Tryckeri.

De la Herrán Souto, A., Martínez Collado, J. C., & Cabrera Ayllón, A. (s.f.). Manual de Incendios. Recuperado 19 noviembre, 2019, de [http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m1/M1\\_Incendios\\_v6\\_00\\_completo/mobile/index.html](http://ceis.antiun.net/docus/pdfsonline/m1/M1_Incendios_v6_00_completo/mobile/index.html)



## ANEXO 2. MANUAL DE INSTALACIÓN

### 2.1. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

Todo el software utilizado en este proyecto, así como los programas de control diseñados, serán proporcionados al usuario final en una memoria Flash USB, de forma que no se requiera la descarga de ningún tipo de software. Se asegura así la funcionalidad de los programas con dicho software, pues futuras actualizaciones en este por parte las compañías distribuidoras podrían ocasionar algún error en la funcionalidad de los programas proporcionados.

Antes de comenzar con la instalación, se debe copiar todo el contenido de la memoria flash USB proporcionada, es decir la carpeta llamada "Proyecto SCADA", en el equipo utilizado, preferiblemente en el directorio "Documentos" del equipo.

#### *2.1.1. Instalación del Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Arduino*

Este IDE es un software de código abierto y gratuito que es proporcionado en la memoria USB.

Para su instalación y posteriores ejecuciones, suponiendo que hemos copiado el contenido de la memoria flash en el directorio "Documentos" del equipo, simplemente debemos dirigirnos a la carpeta:

"Documentos\Proyecto SCADA\Software\Arduino\arduino-1.8.10"

y ejecutar el archivo "arduino.exe":

Este equipo > Documentos > Proyecto SCADA > Software > Arduino > arduino-1.8.10			
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	
tools	17/11/2019 15:20	Carpeta de archivos	
tools-builder	17/11/2019 15:20	Carpeta de archivos	
arduino	13/09/2019 12:23	Aplicación	
arduino.I4j	13/09/2019 12:23	Opciones de confi..	
arduino_debug	13/09/2019 12:23	Aplicación	

*Ilustración 4: Instalación del software de Arduino*



Se recomienda crear un acceso directo a dicho archivo para facilitar su acceso.

Las librerías necesarias para la correcta ejecución del programa diseñado ya se encuentran incorporadas en el software proporcionado.

### *2.1.2. Instalación del Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Processing*

Igual que para el caso de Arduino, se trata de un software de código abierto y gratuito que será proporcionado en la memoria USB.

De forma análoga al caso anterior, simplemente debemos dirigirnos a la carpeta:

"Documentos\Proyecto SCADA\Software\Processing\processing-3.5.3"

y ejecutar el archivo "processing.exe":

Este equipo > Documentos > Proyecto SCADA > Software > Processing > processing-3.5.3		
Nombre	Fecha de modificación	Tipo
jars	17/11/2019 15:20	Carpeta de archivos
lib	17/11/2019 15:20	Carpeta de archivos
modes	17/11/2019 15:20	Carpeta de archivos
tools	17/11/2019 15:21	Carpeta de archivos
processing	03/02/2019 16:37	Aplicación

Ilustración 5: Instalación del software Processing

Se recomienda de nuevo crear un acceso directo al archivo.

### *2.1.3. Instalación de librerías*

Una vez instalado el software, se deben instalar las librerías requeridas por este para la ejecución de los programas.

Para ello deben seguirse los siguientes pasos:

- 1) En primer lugar, debemos dirigirnos a la carpeta:



"Documentos\Proyecto SCADA\Librerías\Processing\processing-3.5.3"

y copiar todos los archivos contenidos en la misma:

Este equipo > Documentos > Proyecto SCADA > Librerías > Processing			
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	
controlP5	17/11/2019 15:17	Carp	
VSync	17/11/2019 15:17	Carp	

Ilustración 6: Instalación de librerías para el software Processing

- 2) Ahora debemos encontrar el directorio de la carpeta "Sketchbook" donde se guardarán las librerías y otros archivos utilizadas por el programa. Para ello debemos ejecutar el IDE de Procesing previamente instalado, y en la pestaña "Archivo" seleccionar la opción "Preferencias", o pulsar a la vez las teclas Ctrl+Coma.

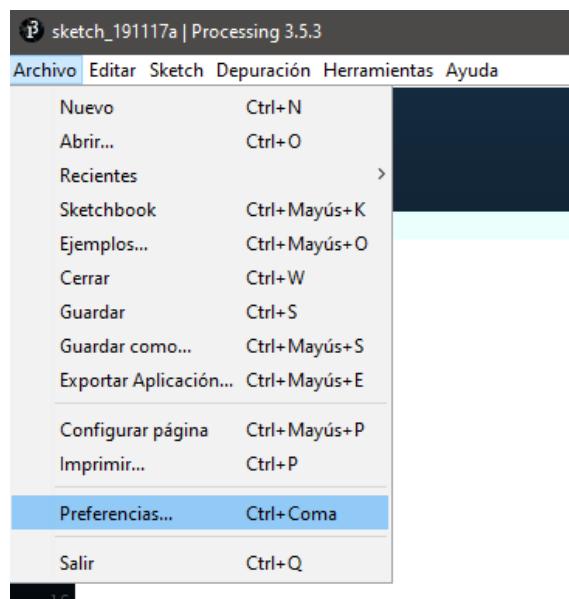
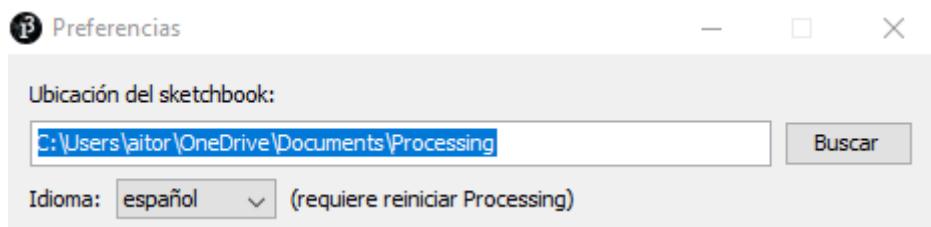


Ilustración 7: Apertura de la ventana de preferencias en el programa Processing



- 3) Una vez en la pestaña preferencias podemos observar el directorio en el que se ubica la carpeta "Sketchbook":



*Ilustración 8: Ubicación de la carpeta "Sketchbook"*

- 4) Ahora debemos dirigirnos a esta ubicación y pegar en el interior de la carpeta "Sketchbook" los archivos copiados en el apartado 1.
- 5) Una vez hecho esto, ya podemos ejecutar el programa que contiene la interfaz HMI.



## 2.1.4. Carga del programa en la placa Arduino

Para cargar el programa que se ejecutará en la placa Arduino debemos:

- 1) Conectar la placa Arduino Mega al ordenador mediante el cable de datos.
- 2) Abrir el IDE de Arduino instalado previamente.
- 3) En la pestaña “Herramientas”, seleccionar el modelo de placa “Arduino/Genuino Mega or Mega 2560”.

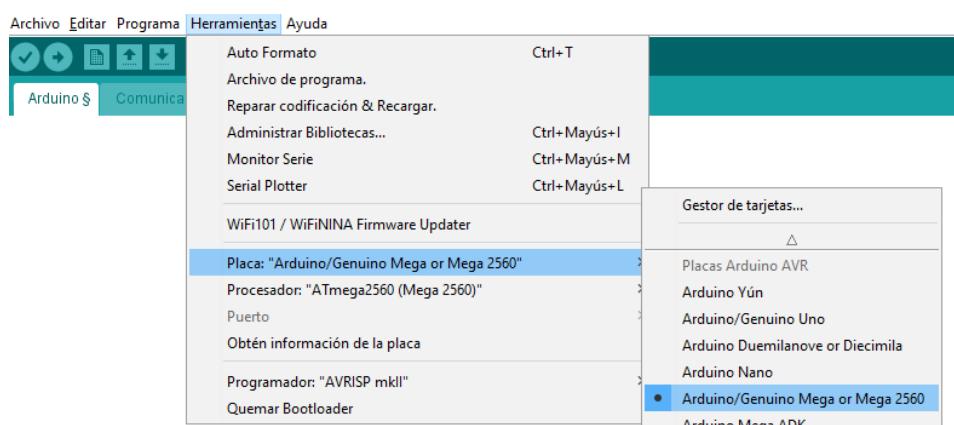


Ilustración 9: Selección del modelo de placa en el software Arduino

- 4) Abrir cualquiera de los archivos contenidos en la carpeta: "Documentos\Proyecto SCADA\Programacion\Arduino"

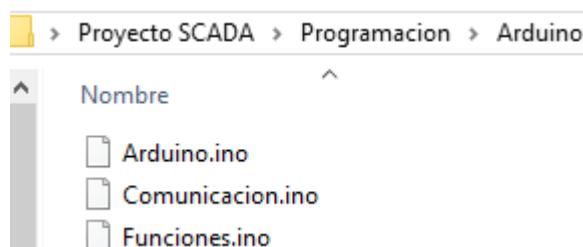


Ilustración 10: Directorio contenedor de los archivos del programa para Arduino diseñado

- 5) Subir el archivo a la placa pulsando sobre la flecha de la esquina superior izquierda (de color amarillo en la siguiente imagen):

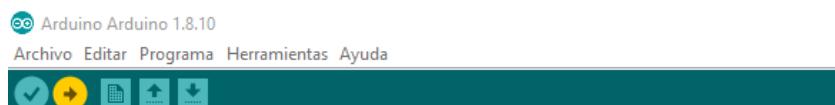


Ilustración 11: Carga del programa en la placa Arduino



- 6) Si todo ha ido bien, tras unos segundos de espera, se nos indicará que el programa se ha subido correctamente.

### 2.1.5. Ejecución de la Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Para ejecutar el programa del interfaz HMI, se deben seguir los siguientes pasos:

- 1) Ejecutar el IDE Processing instalado previamente.
- 2) Abrir, desde este IDE, cualquiera de los archivos contenidos en la carpeta "Documentos\Proyecto SCADA\Programacion\Processing":

Este equipo > Documentos > Proyecto SCADA > Programacion > Processing		
Nombre	Fecha de modificación	Tipo
data	17/11/2019 15:17	Carpeta
Clase_indicador	04/11/2019 10:58	Processi
Comunicacion	04/11/2019 10:58	Processi
config	04/11/2019 10:50	Reservi

Ilustración 12: Directorio contenedor de los archivos del programa para Processing diseñado

- 3) Ejecutar el programa:



Ilustración 13:  
Ejecución del programa  
HMI desde Processing

- 4) Una vez hecho esto, si la placa Arduino está correctamente conectada al ordenador, tras unos segundos de espera, se ejecutará el interfaz HMI.



## 2.2. CONEXIONES CON LA PLACA ARDUINO

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

Antes de indicar que pines son utilizados para cada elemento, conviene diferenciar dichos elementos, para ello se va a asignar a cada elemento su tipo y número para así poder diferenciarlos, como se muestra en la siguiente imagen:

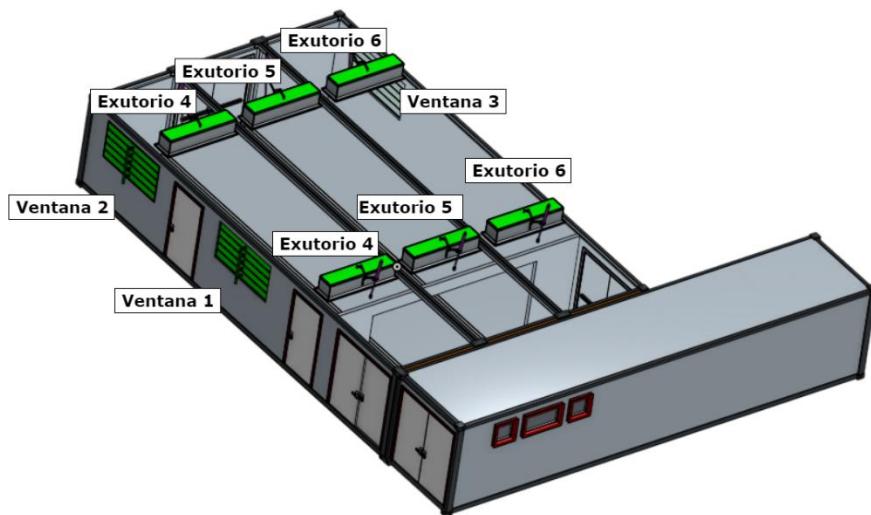


Ilustración 14: Distribución de los elementos de la instalación

### 2.2.1. Conexiones digitales

#### 2.2.1.1. Conexiones con 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, 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 hará uso 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 requerirán un total de 36 relés de estos relés.



Para ello se utilizarán módulos comerciales ya acondicionados para la utilización con microcontroladores como el de la placa Arduino considerada (ver anexo 3), facilitando de esta forma el montaje del circuito electrónico.

En la siguiente imagen se muestran como ejemplo las conexiones para la ventana 1, es decir, las conexiones de la placa Arduino con las tres electroválvulas que se encargan de controlar esta ventana mediante el uso del sistema de relés en combinación con optoacopladores mencionado:

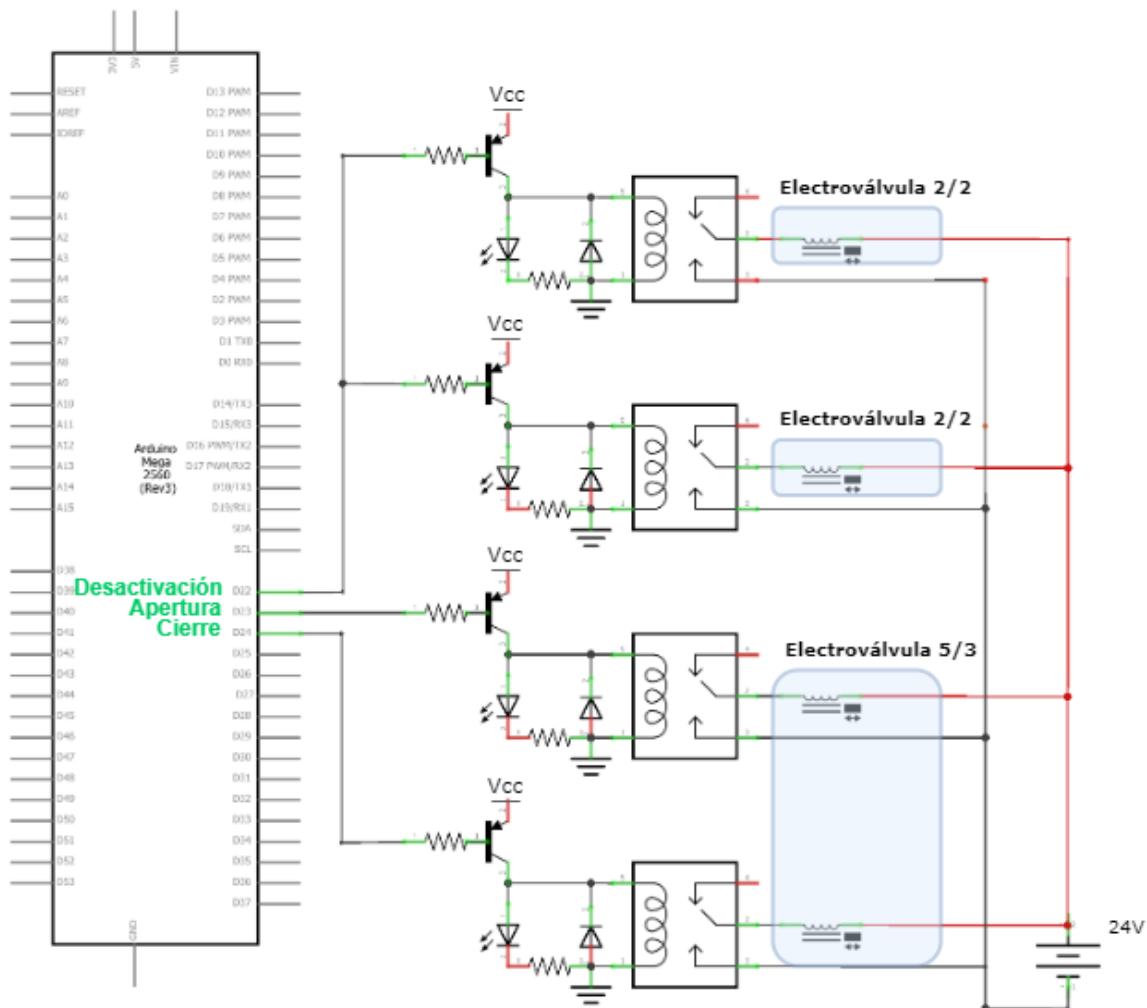


Ilustración 15: Conexiones digitales entre la placa Arduino y las electroválvulas de la Ventana 1

Puede verse que, para la Ventana 1, el pin digital 22 se encarga de enviar la señal de desactivación de dicha ventana, el pin 23 envía la señal de apertura y el pin 24 la señal de cierre.



### 2.2.1.2. Conexión con el sensor de temperatura

La conexión del sensor de temperatura, es decir del termopar tipo K, se realiza a través del módulo MAX6675, el cual utiliza el protocolo de comunicación SPI y requiere una conexión con 3 pines digitales de la placa Arduino para su correcto funcionamiento, además de utilizar como fuente de alimentación la fuente de 5V de la propia placa Arduino, como puede verse en la siguiente imagen:

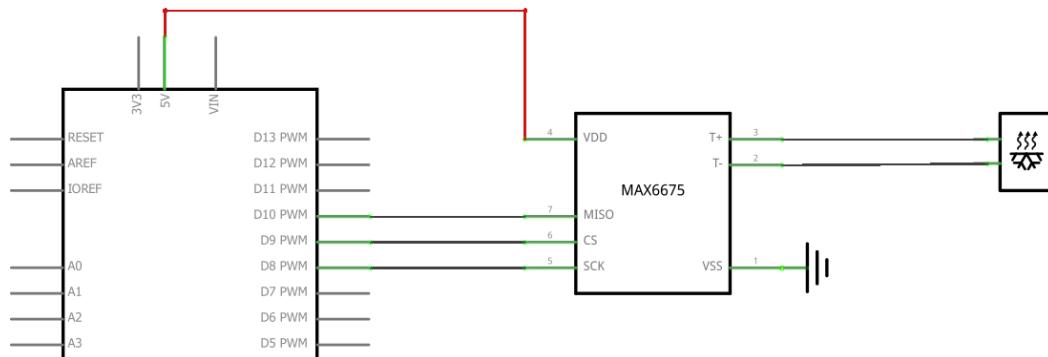


Ilustración 16: Conexiones entre la placa Arduino y el termopar



En la siguiente tabla quedan reflejadas las conexiones de todos los pines digitales de la placa Arduino utilizados con sus correspondientes elementos:

*Tabla 1: Conexiones con los pines digitales de la placa Arduino*

Elemento	Pin Digital	Acción	Conexión con
Ventana 1	22	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	23	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	24	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Ventana 2	25	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	26	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	27	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Ventana 3	28	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	29	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	30	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Tronera 1	31	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	32	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	33	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Tronera 2	34	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	35	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	36	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Tronera 3	37	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	38	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	39	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Tronera 4	40	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	41	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	42	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Tronera 5	43	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	44	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	45	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Tronera 6	46	Desactivación	Relés Electroválvulas 2/2
	47	Apertura	Relé Electroválvula 5/3 (apertura)
	48	Cierre	Relé Electroválvula 5/3 (Cierre)
Módulo MAX6675	8	Conexión Esclavo-Maestro	MISO
	9	Selección del esclavo	CS
	10	Sincronización	SCK



## 2.2.2. Conexiones analógicas

### 2.2.2.1. Conexiones con los potenciómetros lineales

Las únicas conexiones que son necesarias establecer con los pines analógicos de la placa Arduino son las de los 9 potenciómetros lineales asociados a los cilindros. Estas conexiones son mucho más sencillas de realizar que las requeridas con los pines digitales, pues dada la naturaleza de los potenciómetros lineales seleccionados, estos pueden ser directamente conectados a los pines analógicos de la placa Arduino.

Los potenciómetros lineales serán alimentados directamente desde la fuente de 5 Voltios de la placa Arduino.

En la siguiente imagen se muestra como ejemplo la conexión entre la placa Arduino y el potenciómetro asociado al cilindro de la ventana 1:

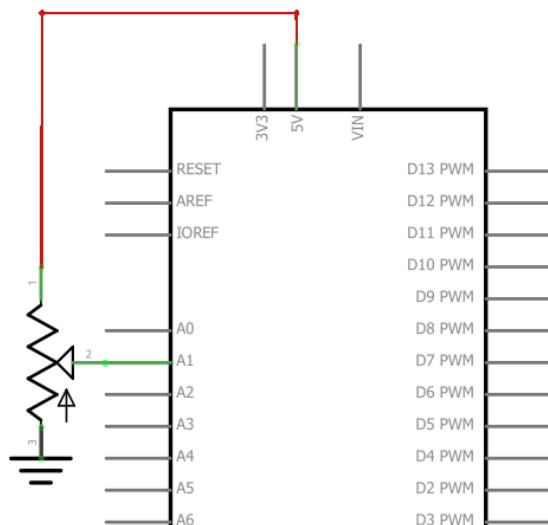


Ilustración 17: Conexión entre la placa Arduino y el potenciómetro lineal de la ventana 1



En la siguiente tabla se muestran todas las conexiones entre los pines analógicos de la placa Arduino y sus correspondientes elementos:

*Tabla 2: Conexiones con los pines analógicos de la placa Arduino*

Elemento	Pin Analógico	Acción	Conexión con
Ventana 1	A1	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Ventana 2	A2	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Ventana 3	A3	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Tronera 1	A4	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Tronera 2	A5	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Tronera 3	A6	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Tronera 4	A7	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Tronera 5	A8	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal
Tronera 6	A9	Lectura potenciómetro lineal	Potenciómetro lineal



## **ANEXO 3. PRESUPUESTO**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

En este documento se especifican los costes relativos a la elaboración del proyecto: por un lado, se indican los costes de la construcción de la maqueta, y por otro, los costes relacionados con la futura implementación del sistema de control diseñado.

El valor del coste asociado a la compra del material necesario para este proyecto está basado en los precios de venta al público ofertados por los proveedores y fabricantes seleccionados.

Cabe añadir que todos los softwares utilizados para este proyecto son de código abierto y gratuitos, por lo que no ha sido necesaria la compra de ningún tipo de licencia para su utilización.

### **3.2. DESARROLLO DEL PRESUPUESTO**

#### ***3.2.1. Presupuesto de la maqueta***

Puesto que la construcción de la maqueta forma parte del proyecto llevado a cabo, no se tienen en cuenta ningún costo en mano de obra, indicando únicamente el coste material de la misma.

##### ***3.2.1.1. Material***

En la siguiente tabla se muestran los costes relativos a la compra del material necesario para la elaboración de la maqueta, considerando que ya se dispone de un ordenador desde el que ejecutar el software de control.

La compra de este material se ha realizado a través de dos proveedores:

- Diotronic S.A.: para la compra de todos los componentes electrónicos requeridos.
- Metacrilatos Malpica: para la adquisición de las planchas de metacrilato utilizadas para la estructura de la maqueta.



*Tabla 3: Coste material de la maqueta*

Nombre del producto	Concepto	Proveedor	Referencia	Cantidad	Coste unitario	Coste total
PLACA DESARR.ATMEGA2560 MEGA	Arduino Mega	Diotronic S.A.	VMA101	1	29,90 €	29,90 €
JUEGO RESISTENCIAS 1/4W E12	Resistencias	Diotronic S.A.	B025	1	3,05 €	3,05 €
ALM067 ALIMENTADOR 3-12V 1A	Fuente de alimentación	Diotronic S.A.	MW3K10GS	1	11,56 €	11,56 €
SERVO 180° 8.5G TORQUE 1.5KG	Servomotor	Diotronic S.A.	EF09015	5	6,04 €	30,20 €
PACK 65 CABLES M/M	Cableado	Diotronic S.A.	EF07088	1	4,05 €	4,05 €
CABLE 40CTS 30CM MACHO/MACHO	Cableado	Diotronic S.A.	VMA413	1	4,99 €	4,99 €
DZ SENSOR TEMPERATURA 0-100°C	Sensor de temperatura	Diotronic S.A.	LM35	2	1,95 €	3,90 €
VTBB2N PLACA BOARD 830 PUNTOS	Breadboard	Diotronic S.A.	VTBB2	2	3,99 €	7,98 €
PULSADOR 12X12 MINI P11.521/2	Pulsador	Diotronic S.A.	DTS21N	10	0,17 €	1,70 €
SENSOR DE PRESION	Sensor de presión	Diotronic S.A.	MPX2200DP	1	17,28 €	17,28 €
Metacrilato	Placas de metacrilato	Metacrilatos Malpica	-	1	95,00 €	95,00 €
<b>Subtotal</b>						<b>209,61 €</b>



### *3.2.2. Presupuesto para la implementación del sistema de control SCADA*

#### *3.2.2.1. Mano de obra*

Para la implantación del sistema SCADA, la mano de obra requerida se va a dividir en:

- **Supervisión:** se requerirá una sola persona encargada de la supervisión de la implantación del sistema con un nivel formativo mínimo de graduado en ingeniería.
- **Ejecución técnica:** equipo especializado de trabajadores para la instalación de los elementos de hardware necesarios.

Ambas labores se van a efectuar de manera conjunta en un plazo aproximado de tres días, concretamente en unas 24 horas de trabajo totales. En la siguiente tabla queda reflejado el coste asociado a este trabajo:

*Tabla 4: Coste de la mano de obra*

Mano de obra	Cantidad (horas)	Coste unitario (€/hora)	Coste total
Ejecución técnica	24	40	960,00 €
Supervisión	24	20	480,00 €
<b>Subtotal</b>			<b>1.440,00 €</b>



### 3.2.2.2. Material

En la siguiente tabla se muestran los costes relativos a la compra del material necesario para la implementación del sistema SCADA, considerando también en este caso que ya se dispone de un ordenador desde el que ejecutar el software de control.

Los proveedores utilizados en este caso son:

- Diotronic S.A.: para la compra la mayoría de los componentes electrónicos requeridos.
- Ebro Aire S.L.: para la compra del material relativo a la neumática.
- Manutan España: para la compra del termopar tipo K.

*Tabla 5: Coste material de la implantación del sistema SCADA*

Material	Concepto	Proveedor	Referencia	Cantidad	Coste unitario	Coste total
ARDUINO MEGA ATMEL						
ATMEGA2560	Placa Arduino mega	Diotronic S.A.	A000067	1	42,35 €	42,35 €
ALIMENTADOR 24V 60W 2.5A	Fuente de alimentación 24V	Diotronic S.A.	GST60A24P1J	1	18,88 €	18,88 €
ALM067						
ALIMENTADOR 3-12V 1A	Fuente de alimentación regulable		MW3K10GS	1	11,56 €	11,56 €
Diotronic S.A.						
MODULO 8 RELES 24V	Relés	Diotronic S.A.	BK-RL8-01-24	5	23,72 €	118,60 €
SETA DE EMERGENCIA CONMUTADA	Seta de emergencia	Diotronic S.A.	P3-30141	1	29,35 €	29,35 €
OCTOPUS MAX6675 C/SONDA TIPO K	Módulo MAX6675	Diotronic S.A.	EF04018	1	18,76 €	18,76 €
ELECTROVALVULA 2/2						
VX210AG	Electroválvula 2/2	Ebro Aire S.L.	Q6C230BB0671	18	53,20 €	957,60 €
ELECTROVALVULA 5/3 SY7320-5DZ- 02F-Q			SY7320-5DZ-			
	Electroválvula 5/3	Ebro Aire S.L.	02F-Q	9	109,06 €	981,54 €
POTENCIOMETRO LIENAL F003606 LT- M-0500-P	Potenciómetro lineal	Ebro Aire S.L.	0000000015	9	210,12 €	1.891,08 €
Sonda de superficie termopar tipo K HI 766 B2	Termopar tipo K	Manutan	A240611	1	108,00 €	108,00 €
<b>Subtotal</b>						<b>4.177,72 €</b>



### 3.2.3. Presupuesto total

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto total relativo a la implementación del sistema de control SCADA diseñado:

*Tabla 6: Presupuesto total*

<b>Tipo de coste</b>	<b>Coste total [€]</b>
Mano de obra	1.440,00 €
Material	4.177,72 €
<b>Total</b>	<b>5.617,72 €</b>