



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

“Quiero aprovechar la ocasión para agradecer los consejos y enseñanzas de mis tutores y compañeros durante la realización del presente trabajo. Asimismo, no me puedo olvidar de mi familia, cuya confianza nunca ha decaído. Así como de mi pareja, cuyo apoyo en todas las etapas de la realización del TFM me ha proporcionado la energía necesaria para acabarlo.”

RESUMEN

A raíz de la aceptación del protocolo de Montreal, en el cual se prohibieron gran parte de refrigerantes ampliamente utilizados, se está experimentado con refrigerantes alternativos entre los cuales destacan hidrocarburos como el propano. Esta memoria describe el diseño de un sistema de seguridad que detecte concentraciones peligrosas de propano y actúe en consecuencia activando procedimientos de alarma, ventilación, desactivando fuentes de ignición y notificando. El sistema se ha implementado en el laboratorio del Instituto Universitario de Ingeniería Energética (IUIE), funciona como elemento de seguridad para las personas que trabajan en él y consta de los siguientes elementos, los cuales se detallan en profundidad en esta memoria:

- Sensores de detección de Propano
- Autómata de lógica programable
- Panel de notificaciones de alarma
- Sistema de ventilación y extracción de gases
- Modulo con conexión Ethernet para notificaciones a distancia

Palabras Clave: Sistema de detección de gases, propano, R290, seguridad en laboratorios, PLC, Arduino.

RESUM

Arran de l'acceptació del protocol de Montreal, al qual es van prohibir gran part dels refrigerants tradicionals àmpliament emprats, s'està experimentant amb refrigerants alternatius entre els quals cal destacar hidrocarburs com el propà. Aquesta memòria descriu el disseny de un sistema de seguretat que detecta concentracions perilloses de propà i actua en conseqüència notificant, activant procediments d'alarma, ventilació y desactivant fonts d'ignició. El sistema s'ha implementat al laboratori de l'Institut Universitari d'Ingenieria Energètica (IUIE) i funciona com a element de seguretat per a les persones que en ell treballen i consta dels següents elements els quals seran detallats al llarg d'aquest document:

- Sensors de detecció de propà
- Autòmat de lògica programable
- Panell de notificacions d'alarma
- Sistema de ventilació i extracció de gasos
- Mòdul amb connexió Ethernet per a notificar a distància

Paraules clau: Sistema de detecció de gasos, propà, R290, seguretat al laboratori, PLC, Arduino.

ABSTRACT

As a result of the acceptance of the Montreal protocol, in which much of the widely used refrigerants were banned, systems with alternative refrigerants have been developed. Among these alternative refrigerants hydrocarbons such as propane stand out.

This report describes the design of a safety system that detects dangerous propane concentrations and acts accordingly by notifying, activating alarm procedures, ventilation, and disabling sources of ignition. The system has been implemented in the laboratory of the University Institute of Energy Engineering (IIE), and works as a safety element for the people who work in it and consists of the following elements, which are detailed in depth in this report:

- Propane sensors.
- PLC.
- Alarm display front panel.
- Gas extraction system.
- Module with Ethernet connection for remote notifications.

Keywords: Propane detection system, propane, R290, laboratory safety, PLC, Arduino

INDICE DE DOCUMENTOS

DOCUMENTO 1: MEMORIA DESCRIPTIVA

DOCUMENTO 2: PLANOS

DOCUMENTO 3: PRESUPUESTO

DOCUMENTO 1

Memoria descriptiva

INDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Marco Histórico.....	1
1.2. Marco de desarrollo.....	2
1.3. Justificación del proyecto.....	3
1.4. Objetivo del proyecto.....	3
CAPÍTULO 2. NORMATIVA.....	5
2.1 UNE-EN 60079: Atmósferas explosivas.....	5
2.2 UNE-EN 378 Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales.....	7
2.3 Otras normas.....	8
CAPÍTULO 3. SISTEMA DE SEGURIDAD.....	9
3.1. Información sobre el refrigerante.....	9
3.2. Zonas de atmosfera explosiva.....	10
3.3. Descripción global del sistema.....	13
3.4. Nivel de campo: Sensores y actuadores.....	15
3.4.1. Detectores de hidrocarburos.....	15
3.4.1.1 Clases de sensores de detección de propano.....	15
3.4.1.2. Sensor utilizado.....	16
3.4.1.3. Principio de funcionamiento.....	17
3.4.1.4. Localización.....	17
3.4.1.5. Conexionado.....	18
3.4.1.6. Calibración.....	19
3.4.2. Sistema de ventilación y extracción de gases.....	19
3.4.2.1. Funcionamiento.....	19
3.4.2.2. Elementos.....	20
3.4.3. Sirena.....	23
3.4.4. Contactores.....	25
3.4.4.1. Elementos.....	25
3.4.4.2 Funcionamiento.....	25
3.5. Nivel de control.....	26
3.5.1. Elementos.....	26

Desarrollo de un sistema de seguridad frente a fugas de gases inflamables para el laboratorio del área térmica del IUIE

3.5.2. Funcionamiento.....	28
3.5.2.1. Estados	29
3.5.3. Programación	30
3.5.4. Conexionado.....	36
3.6. Nivel de comunicación remota y visualización.....	39
3.6.1. Módulo de comunicación remota y análisis meteorológico (Adicional).....	39
3.6.1.1 Elementos.....	39
3.6.1.2. Funcionamiento	42
3.6.1.2. Conexionado.....	44
3.6.1.4. Implementación	46
3.6.2. Interfaz de visualización	47
CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN.....	49
CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA.....	50

Anexo A: Código de programación del módulo de notificación remota

Anexo B: Cartel informativo del sistema de seguridad y los procedimientos a seguir en caso de emergencia

INDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Ilustración 1. Plano de las Zonas ATEX del laboratorio	12
Ilustración 2. Esquema del sistema de seguridad	13
Ilustración 3. Pirámide de la Automatización	14
Ilustración 4. Sensor utilizado	16
Ilustración 5. Colores indicadores del estado del sensor	16
Ilustración 6. Distribución de los detectores de propano en el laboratorio.	18
Ilustración 7. Esquema del conexionado del detector de propano	18
Ilustración 8. Ventilador utilizado	20
Ilustración 9: Curva característica del ventilador seleccionado.....	21
Ilustración 10. Variador de frecuencia utilizado	21
Ilustración 11. Plano del sistema de ventilación	22
Ilustración 12. Tubo flexible para extracción local.....	22
Ilustración 13: Toma de extracción	23
Ilustración 14. Sirena utilizada.	23
Ilustración 15: Bobina y contactor de 4 polos utilizados	25
Ilustración 16. Módulos de Omron utilizados.....	26
Ilustración 17. Diagrama de estados y transiciones.....	29
Ilustración 18. Resumen de secciones de programación.....	31
Ilustración 19: Grafico de escalado	31
Ilustración 20. Ejemplo de la programación del acondicionamiento de señal	32
Ilustración 21. Ejemplo de la programación para la activación de nivel de alarma.....	33
Ilustración 22. Ejemplo de la programación para la activación de estados.....	33
Ilustración 23. Ejemplo de la programación para la activación de salidas	34
Ilustración 24. Ejemplo de la programación de temporizadores especiales	34
Ilustración 25. Programación de la comunicación con el módulo de notificación	35
Ilustración 26: Diagrama de conexión con los módulos del PLC.....	37
Ilustración 27: Instalación del PLC en el armario de control.....	38
Ilustración 28: Arduino mega.....	40
Ilustración 29: Modulo Ethernet	40
Ilustración 30: Funcionamiento de la pantalla LCD.....	43

Ilustración 31: Notificaciones Twitter	42
Ilustración 32. Diagrama de conexiones del módulo de notificación	44
Ilustración 33. Caja utilizada para las conexiones del módulo de notificación.....	46
Ilustración 34: Caja estación meteorológica	46
Ilustración 35: Panel frontal de visualización (Parte delantera y trasera respectivamente)	47
Tabla 1. Propiedades del propano	9
Tabla 2. Zonas según el grado de escape y la efectividad de la ventilación.	11
Tabla 3. Características de las diferentes tecnologías de detección de hidrocarburos	15
Tabla 4. Características principales de la sirena utilizada	24
Tabla 5: Características del módulo de entradas analógicas	27
Tabla 6: Características del módulo de salidas analógicas.....	28
Tabla 7: Conexionado de los módulos de E/S del PLC.....	36

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. MARCO HISTÓRICO

La generación de frío, en particular los ciclos de refrigeración por compresión de vapor, han sido un descubrimiento esencial para mejorar el confort y calidad de vida de gran parte de la población y además ha supuesto un avance significativo en muchas ramas de la ciencia y la tecnología.

Estos ciclos se basan en la circulación de un fluido en un ciclo en el cual se absorbe calor de un foco para cederlo a otro a mayor temperatura. Estos fluidos se llaman refrigerantes o fluidos frigorígenos. Tradicionalmente la mayor parte de los refrigerantes estaban compuestos por gases fluorocarbonados entre los cuales era común el uso de clorofluorcarbonatos (CFC) como el R12.

Sin embargo, en el 1974, Mario Molina y F.S.Rowland publicaron un trabajo¹ por el cual se les concedió el Premio Nobel de Química de 1995 y en el cual se demostró que estos gases ocasionaban un impacto ambiental reduciendo de manera muy significativa la capa de ozono permitiendo que más radiación ultravioleta llegara a la superficie terrestre. Por ello, en septiembre de 1987, y como ejemplo excepcional de cooperación internacional, varios países firmaron el Protocolo de Montreal, en el cual se establecieron medidas para la eliminación de los CFC.

Para sustituir los CFCs se han estado usando hasta la actualidad los HCFCs y HFC, fluidos también estables y que presentan una tasa de destrucción de la capa de ozono mucho menor al eliminar de su composición química algunos átomos de cloro. No obstante, se prevé una eliminación completa también de éstos en el 2030 debido a su contribución al calentamiento global agravando el efecto invernadero.

Dadas las circunstancias, en la actualidad se está estudiando la viabilidad de gases refrigerantes alternativos que cumplan con los rendimientos y capacidades de los refrigerantes tradicionales, pero sin perjudicar el medio ambiente. Entre las alternativas destacan los llamados refrigerantes naturales entre los cuales se haya el dióxido de carbono (CO₂), amoníaco (R-717) e hidrocarburos no halogenados en los cuales no hay presencia de flúor en su composición química.

Destaca entre estos últimos el propano R290. Entre las razones de su idoneidad se puede mencionar que no es tóxico, presenta un buen rendimiento debido a unas buenas propiedades termodinámicas y no reacciona con los materiales normalmente empleados en las conducciones

¹ Molina, M. and Rowland, F. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249(5460), pp.810-812.

y máquinas de refrigeración. Por el contrario, presenta el inconveniente de ser un hidrocarburo y por ello inflamable.

Es por esta última razón que la carga de refrigerante máxima para aplicaciones domésticas es de 150 g², cantidad suficientemente pequeña para que en caso de fuga no se cree en la estancia una concentración suficiente para que el propano pueda inflamarse.

1.2. MARCO DE DESARROLLO

El proyecto que en esta memoria se describe ha sido implementado en las instalaciones del Instituto Universitario de Ingeniería Energética (IUIE), más concretamente en el área térmica.

En esta área la actividad se centra en todos los aspectos de los equipos y sistemas energéticos que guardan relación con las Ciencias Térmicas. En particular, incluye líneas de investigación relacionadas con la transmisión de calor, el modelado de flujos y el desarrollo y optimización de equipos de refrigeración y bombas de calor.

En cuanto a la optimización del rendimiento en equipos de refrigeración y bombas de calor cabe destacar una línea de trabajo estratégica para el Instituto que contempla la adaptación de sistemas para la utilización de refrigerantes naturales, los cuales, como se ha explicado en el anterior apartado, pueden ser una alternativa excelente para la sustitución de los refrigerantes fluorados al poseer un potencial de contribución al fenómeno del calentamiento global mucho menor que el de los nuevos refrigerantes sintéticos.

El grupo posee ya una considerable experiencia en el campo de refrigerantes alternativos y tiene amplio reconocimiento a nivel internacional. Actualmente se está coordinando un proyecto financiado por la Comisión Europea en el desarrollo de la próxima generación de bombas de calor de alta eficiencia trabajando con refrigerantes naturales donde están integrados fabricantes europeos de equipos como CIAT y ENEX, fabricantes de componentes como ALFA-LAVAL, DANFOSS, COPELAND-EMERSON y LU-VE así como universidades y centros de investigación europeos como KTH(Real Instituto de Tecnología Sueco), UNINA(Universidad de Nápoles), EPFL(Escuela Politécnica Federal de Laussane), ENEA (Agencia Nacional para las Nuevas Tecnologías, energía y desarrollo económico sostenible) y NTNU(Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología).

Destacar que en el campo de refrigerantes alternativos se está estudiando la adaptación y eficiencia de sistemas con hidrocarburos como el propano (R290) y que para el ensayo de los equipos el Instituto dispone de un laboratorio de maquinaria de unos 200m² y 4 cámaras climáticas.

² UNE-EN 60335-2-11. (2010). Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-11: Requisitos particulares para secadoras tipo tambor.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El propano altamente purificado o R290 tiene un punto de ebullición a presión atmosférica de -42°C por lo que en condiciones normales se encuentra de forma gaseosa. A 25°C y 1 atm su densidad es de $1,882\text{kg}/\text{m}^3$ lo que lo hacen un gas más denso que el aire ($1,205\text{kg}/\text{m}^3$), es por ello que tiende a acumularse en las partes inferiores del recipiente que lo contiene. Además, el propano utilizado en refrigeración no está olorizado como cuando se utiliza como combustible.

Todos estos aspectos junto a que es incoloro e inflamable hacen que las fugas sean peligrosas y difíciles de detectar. Es por ello que en lugares donde se trabaja con hidrocarburos como el propano la necesidad de disponer de un sistema de seguridad es prioritario.

1.4. OBJETIVO DEL PROYECTO

La realización del presente proyecto surge de la necesidad de dotar al laboratorio de ensayos del IIE y las personas que en él trabajan de un sistema de seguridad que monitorice en todo momento los niveles de hidrocarburos en el ambiente para así poder detectar posibles fugas en los sistemas y en caso de que se genere una atmosfera potencialmente explosiva activar procedimientos de alarma, notificación remota y de desactivación de fuentes de ignición.

Con ello podemos enumerar los siguientes objetivos concretos:

Respecto al sistema de seguridad:

- Diseñar de un sistema de seguridad acorde a la normativa europea.
- Garantizar de un servicio ininterrumpido y robusto.
- Proveer a los usuarios de las instalaciones de un panel visual que informe sobre el estado de una forma inmediata y clara.
- Establecer protocolos en caso de alarma.

Respecto a las notificaciones:

- Diseñar un sistema de comunicación remota basado en los principios de la Industria4.0 y del IOT (Internet de las cosas).
- Mantener informados a los responsables de laboratorio aun cuando nadie se encuentre en el laboratorio.
- Utilizar un sistema redundante de notificación.
- Utilización para ello de componentes económicos y de fácil reprogramación y expansión.

CAPÍTULO 2. NORMATIVA

Para la realización del diseño que en esta memoria se describe se ha tenido en consideración la normativa vigente en el marco europeo y español. A su vez, también se ha atendido a las recomendaciones de empresas colaboradoras con el IUIE, las cuales disponen de una considerable experiencia en el uso de hidrocarburos para la refrigeración.

En este capítulo se citan las colecciones de normas utilizadas y se presenta un breve resumen de sus partes más importantes que atañen al diseño de nuestro equipo.

2.1 UNE-EN 60079: Atmósferas explosivas

Esta norma agrupa todas las recomendaciones y requisitos de actuación en lo concerniente a atmósferas explosivas provocadas por gases y polvos. Contiene gran cantidad de apartados y es por ello que a continuación solo se citarán los más relacionados con nuestra aplicación

UNE-EN 60079-0 Requisitos generales

En esta parte de la norma se especifican los requisitos generales para la construcción, ensayo y marcado de material eléctrico y componentes EX destinados a usarse en atmósferas explosivas

UNE-EN 60079-1 Protección del equipo por envolventes antideflagrantes “d”

En esta sección se disponen los requisitos específicos de construcción y ensayo de materiales para trabajar en envolventes en las que las partes inflamables de una atmósfera de gas explosiva están encerradas impidiendo la transmisión de la explosión a la atmosfera circundante a la envolvente.

UNE-EN 60079-10-1 Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas

En los emplazamientos donde pueden aparecer cantidades y concentraciones peligrosas de gas o vapor inflamables es necesario aplicar medidas de protección para reducir el riesgo de explosiones. Esta parte de la serie de normas presenta los criterios esenciales para poder evaluar los riesgos de inflamación y da orientaciones sobre los parámetros de diseño y control que se pueden utilizar con la finalidad de reducir tales riesgos.

UNE-EN 60079-11 Protección del equipo por seguridad intrínseca

Este bloque especifica todo los requisitos, construcción y ensayos para el material eléctrico de seguridad destinado a ser utilizado en atmósferas explosivas y para el material eléctrico asociado que está previsto para conectarse a circuitos de seguridad que penetran en tales atmósferas

UNE-EN 60079-29-1 Detectores de gas. Requisitos de funcionamiento

Esta parte de la norma afecta directamente al desarrollo del proyecto que en la presente memoria se describe. Está a su vez se divide en subapartados, en el primer apartado se establecen los requisitos generales para la construcción, ensayo y funcionamiento de los dispositivos para la detección y medida de concentraciones de gases o de vapores inflamables con el aire.

Esta norma es aplicable a equipos de detección de gas inflamable destinados a proporcionar una indicación, alarma u otra función de salida; el objetivo de la cual será dar una advertencia de un riesgo de explosión potencial y en algunos casos de iniciar acciones de protección automáticas o manuales.

UNE-EN 60079-29-2 Detectores de gas. Selección, uso y mantenimiento de los detectores de gases inflamables y de oxígeno

Este subapartado de la norma UNE-EN 60079-29 es una recopilación de conocimientos prácticos para ayudar al usuario, y se aplica a equipos, instrumentos y sistemas que indiquen la presencia de una mezcla inflamable o potencialmente explosiva de gas mediante la señal eléctrica.

Se tratan temas como:

- Principio de detección de diferentes tipologías de sensores.
- Limitaciones, interferencias y venenos que pueden afectar a cada tipología.
- Criterios de selección de equipos y recomendaciones en el diseño de sistemas fijos de detección de gas.
- Consignas para el entrenamiento del personal de operación y mantenimiento rutinario

UNE-EN 60079-29-3 Detectores de gas. Guía sobre seguridad funcional de sistemas fijos de detección de gas

En este bloque se expone una guía para el diseño y la implementación de los sistemas fijos de detección de gas incluyendo equipos asociados y/o periféricos, para la detección de gases inflamables cuando se usan en aplicaciones relacionadas con la seguridad.

Se tratan temas como:

- Normas de cumplimiento metrológico
- Manejo de la señal de fallo
- Calibración
- Comportamiento del sistema frente condiciones de avería peligrosa

2.2 UNE-EN 378 Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales

Esta norma europea regula los requisitos de seguridad y protección medioambiental en el diseño, fabricación, construcción, instalación, funcionamiento, mantenimiento, reparación, desmantelamiento y eliminación de los sistemas de refrigeración y electrodomésticos que son los principales elementos del laboratorio del área térmica del IUIE. La parte de esta normativa relativa al proyecto que se describe en la memoria es la relativa seguridad, refrigerante, posibles fugas y protección ante incendios.

UNE-EN 378-1 Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección

Esta parte de la norma europea especifica los requisitos relativos a la seguridad de las personas y los bienes, proporciona orientación para la protección del medio ambiente y establece procedimientos para el funcionamiento mantenimiento y reparación de los sistemas de refrigeración.

En relación al desarrollo del sistema de seguridad son de especial interés los puntos que tratan de:

- Clasificación de los sistemas de refrigeración
- Limitaciones de carga por inflamabilidad en los sistemas de refrigeración.
- Clasificación de seguridad e información acerca de los refrigerantes

UNE-EN 378-2 Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección

La parte 2 de esta norma es de aplicación al diseño, construcción e instalación de los sistemas de refrigeración e incluye los equipos auxiliares que estén directamente relacionados con estos sistemas. Asimismo, especifica los requisitos para los ensayos, puesta en servicio, marcado y documentación.

En relación al desarrollo del sistema de seguridad son de especial interés los puntos que tratan de:

- Requisitos de seguridad y medioambientales
- Protección contra riesgos de incendio y explosión
- Requisitos de las envolventes ventiladas

UNE-EN 378-3 Instalación in situ y protección de las personas

La parte 3 de esta norma es aplicable al emplazamiento de la instalación. Especifica los requisitos del emplazamiento relativos a la seguridad, que pueden resultar necesarios por razón del sistema de refrigeración y sus componentes auxiliares, pero pueden no estar directamente conectados con él.

En relación al desarrollo del sistema de seguridad son de especial interés los puntos que tratan de:

- Equipos de refrigeración situados en una sala de máquinas
- Aireación y ventilación de la sala de máquinas
- Situación tipo y funcionamiento de detectores
- Manual de instrucciones, notificaciones e inspecciones
- Señales de advertencia

2.3 Otras normas

Siendo la colección de normas anteriormente citada la más importante también se han considerado las siguientes:

EN 61508 Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relacionados con la seguridad

Esta norma internacional establece una aproximación genérica para todas las actividades relacionadas con el ciclo de vida de seguridad de los sistemas de que incluyan elementos eléctricos y/o electrónicos y/o electrónicos programables (E/E/PE)

UNE-EN 45544 Atmósferas en lugares de trabajo. Material eléctrico utilizado para la detección directa y la medición directa de la concentración de gases y vapores tóxicos.

Este estándar europeo sirve de guía para la selección instalación, uso y mantenimiento de los elementos eléctricos usados para la detección de la concentración de gases tóxicos e inflamables en los lugares de trabajo.

UNE 202007- Guía de aplicación de la Norma UNE-EN 60079-10

Esta guía quiere ser una ayuda para el desarrollo de la actividad de clasificación de emplazamientos con peligro de explosión por presencia de gas, vapores o nieblas inflamables.

CAPÍTULO 3. SISTEMA DE SEGURIDAD

3.1. INFORMACIÓN SOBRE EL REFRIGERANTE

R290 es un refrigerante inflamable que se clasifica dentro de la categoría A3:

- A: Refrigerante no toxico.
- 3: Refrigerantes que presentan una propagación de llama a 60 ° C y a presión atmosférica. Poseen un LFL igual o inferior a 3,5% en volumen o tiene un calor de combustión igual o superior a 19.000 kJ / kg.

Sus propiedades son las siguientes:

Límite inferior de explosividad	2.15 %
Límite superior de explosividad	9.60 %
Temperatura de ignición	493-549 °C
Temperatura de llama	1790 °C
Densidad	1.98kg/m³@ 0°C,100kPa

Tabla 1. Propiedades del propano

Para que se forme una atmósfera explosiva, la concentración de gases, vapores o nieblas inflamables en aire debe de estar dentro de un determinado rango, delimitado por los Límites inferiores y superiores de explosividad:

- Límite Inferior de Explosividad (LIE) o Lower explosive limit (LEL): Es la concentración mínima de gases, vapores o nieblas inflamables en aire por debajo de la cual, la mezcla no es explosiva.
- Límite Superior de Explosividad (LSE) o Upper explosive limit (UEL): Es la concentración máxima de gases, vapores o nieblas inflamables en aire por arriba de la cual, la mezcla no es explosiva.

Estos límites se suelen expresar en porcentajes de volumen del gas o vapor en el volumen de la mezcla.

Si se pretende que una determinada mezcla de gases o vapores inflamables en aire no produzca una atmósfera explosiva, habrá que mantener la concentración de éstos por debajo del LIE o por arriba del LSE. Aunque en la práctica se suele tomar la primera opción, con adecuados medios

de ventilación o extracción, para el exterior de los equipos (salas de bombas o compresores, cabinas de pintura, túneles de secado, etc).

La segunda opción se suele utilizar en el interior de los equipos (tanque o depósitos, reactores, tuberías, etc.) bien porque los vapores o gases inflamables ocupan la mayor parte o la totalidad del volumen del equipo o porque se desplaza el aire con un gas inerte.

3.2. ZONAS DE ATMOSFERA EXPLOSIVA

En cuanto lo que se refiere a zonas de atmosfera explosiva (ATEX) la normativa³ cita tres tipologías para atmósferas explosivas formadas por gases y otras tres para aquellas formadas por polvo. A continuación, se cita la clasificación para gases:

- **Zona 0:** Emplazamiento en el que una atmósfera de gas explosiva está presente de forma continua o por largos periodos.
- **Zona 1:** Emplazamiento en el que es probable que aparezca una atmósfera de gas explosiva en funcionamiento normal.
- **Zona 2:** Emplazamiento en el que no es probable que aparezca una atmósfera de gas explosiva en funcionamiento normal, y en caso de formarse, aparece poco frecuentemente y permanece durante periodos de corta duración.

La probabilidad de presencia de una atmósfera explosiva gaseosa depende principalmente del grado de escape y de la ventilación. En cuanto al grado de escape, éste se clasifica en:

- **Continuo:** aquel escape continuo o que se produce durante largos períodos.
- **Primario:** aquel que se produce periódicamente u ocasionalmente durante el funcionamiento normal.
- **Secundario:** aquel que no está previsto durante el funcionamiento normal y que si se produce es probable que ocurra infrecuentemente y durante breves periodos.

En cuanto a la ventilación se pueden considerar tres niveles de disponibilidad de la ventilación:

- **Buena:** La ventilación está presente prácticamente de forma continua.
- **Justa:** Se espera que la ventilación esté presente durante el funcionamiento normal. Se permiten discontinuidades siempre que ocurran con poca frecuencia y durante períodos cortos.
- **Mala:** ventilación que no cumple con el estándar de justa o buena, pero no se espera que se produzcan discontinuidades durante largos períodos.

En la norma también se considera la dilución. Y para mejorar la dilución se recomienda la ventilación artificial local siempre que sea posible.

Con esta información la norma propone una tabla (Tabla 2) con la que poder identificar las diferentes zonas ATEX en el laboratorio.

³ UNE-EN 60079-10-1. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas.

Desarrollo de un sistema de seguridad frente a fugas de gases inflamables para el laboratorio del área térmica del IUIE

Grado de escape	Efectividad de la ventilación						
	Dilución alta			Dilución media			Dilución baja
	Disponibilidad de ventilación						
	Buena	Justa	Pobre	Buena	Justa	Pobre	Buena, justa o pobre
Continuo	No peligrosa (Zona 0 ED) ^a	Zona 2 (Zona 0 ED) ^a	Zona 1 (Zona 0 ED) ^a	Zona 0	Zona 0 + Zona 2	Zona 0 + Zona 1	Zona 0
Primario	No peligrosa (Zona 1 ED) ^a	Zona 2 (Zona 1 ED) ^a	Zona 2 (Zona 1 ED) ^a	Zona 1	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 + Zona 2	Zona 1 o Zona 0 ^c
Secundario ^b	No peligrosa (Zona 2 ED) ^a	No peligrosa (Zona 2 ED) ^a	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 2	Zona 1 e incluso Zona 0 ^c
^a Zona 0 ED, 1 ED o 2 ED indica una zona teórica que en condiciones normales sería de extensión despreciable. ^b La zona 2 creada por un escape de grado secundario puede superar la atribuida a escapes de grado continuo o primario; en este caso debería tomarse la distancia mayor. ^c Será zona 0 si la ventilación es tan débil y el escape es tal que prácticamente la atmósfera explosiva gaseosa esté presente de manera permanente (es decir, es una situación próxima a la de "ausencia de ventilación").							
"+" significa "rodeada por". La disponibilidad de ventilación en espacios encerrados ventilados naturalmente nunca debe considerarse como buena.							

Tabla 2. Zonas según el grado de escape y la efectividad de la ventilación.

Aplicando estas consideraciones a nuestro caso particular podemos asumir lo siguiente:

- Los escapes más significativos en las instalaciones se pueden dar en la carga y descarga de refrigerante. Esta acción se produce durante el funcionamiento normal ya que es un procedimiento habitual y se produce periódicamente. Por ello estos escapes previstos se podrían considerar como escapes de **grado Primario**.
- En cuanto al tipo de ventilación, el sistema de seguridad que en esta memoria se describe prevé una ventilación presente y continua durante el funcionamiento de las instalaciones. Aun así, éste no tiene previsto el funcionamiento en caso de que las instalaciones estén apagadas por lo que se prefiere situarnos del lado de la seguridad y establecer una **disponibilidad de ventilación Justa**.
- Por último, el sistema presenta, como recomienda la norma, un sistema de extracción localizada. Sin embargo, el número de puntos de extracción es menor a los puntos de posible escape de hidrocarburos y es por ello que la fuga se puede dar a más de un metro del punto de succión más cercano. Por ello, se ha considerado una **dilución Justa**.

Con las consideraciones tomadas y basándonos en la tabla de la Tabla 2 se puede considerar una distribución de zonas ATEX Zona 1 + Zona 2 en los puntos de fuga primarios. La distribución de las zonas en el laboratorio se puede observar en la Ilustración 1.

Desarrollo de un sistema de seguridad frente a fugas de gases inflamables para el laboratorio del área térmica del IUIE

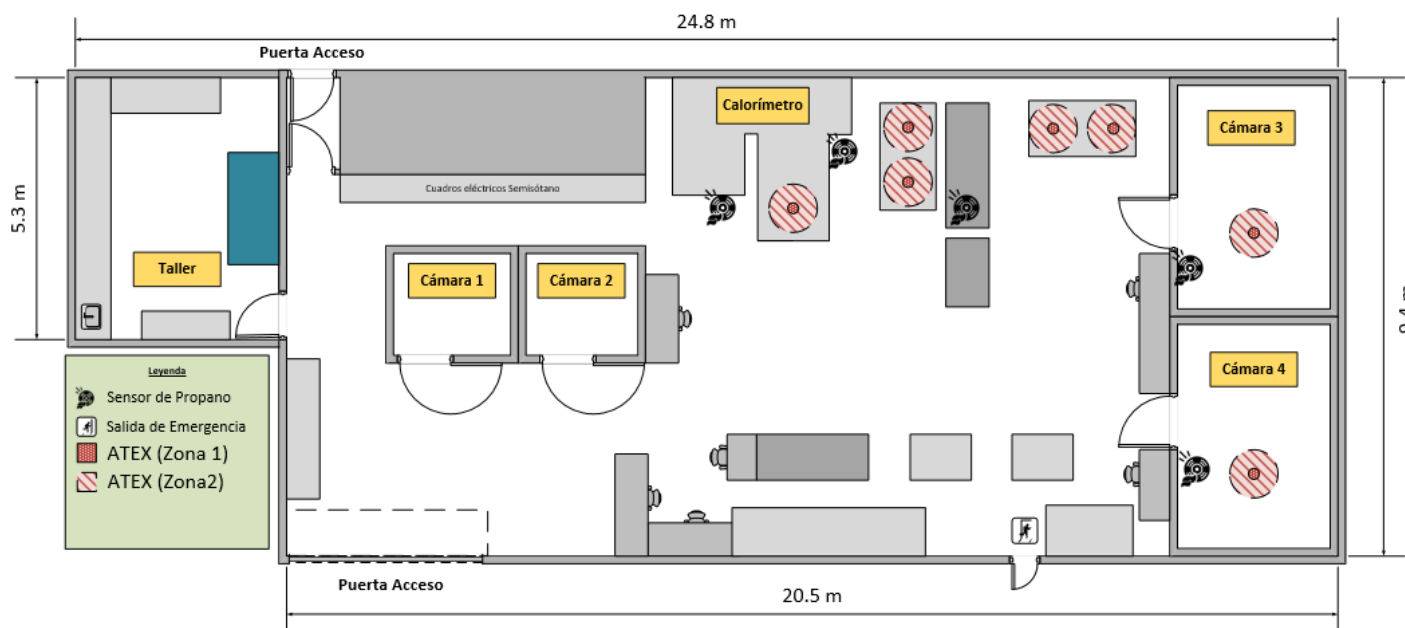


Ilustración 1. Plano de las Zonas ATEX del laboratorio

En cuanto al resto de las zonas, la normativa⁴ indica que se tiene permiso de trabajo libre de gas siempre que se use un método de protección aceptable usando un equipo para la detección y monitorización continua de gases inflamables por parte de personal capacitado.

Al ser la instalación de un sistema de detección y monitorización de gases inflamables un objetivo principal de este proyecto, se puede concluir que la utilización de componentes con certificación ATEX para el sistema de control no es necesaria al encontrarse ésta fuera de las zonas de más peligrosidad.

⁴ UNE-EN 60079-10-1. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 29-2: Detectores de gas. Selección, instalación uso y mantenimiento de los detectores de gases inflamables y de oxígeno.

3.3. DESCRIPCIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

Para comenzar la descripción, y con la motivación de crear una idea general al lector, en este apartado se va a describir el sistema a grandes rasgos, para luego, en los subsiguientes bloques describir y analizar cada apartado con más detalle. En la Ilustración 2 aparece un resumen esquematizado del proyecto.

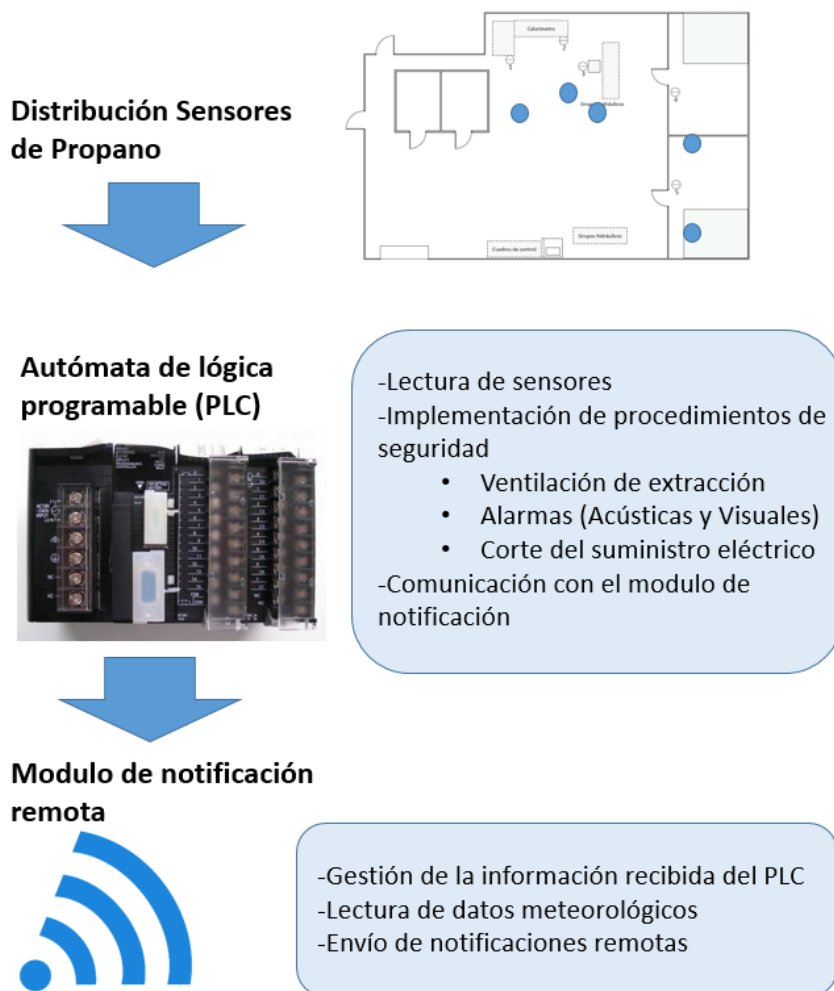


Ilustración 2. Esquema del sistema de seguridad

El alcance de este proyecto abarca dos bloques principales, el sistema de seguridad propiamente dicho y un módulo de notificación adicional. El módulo de notificación se considera adicional ya que el sistema de seguridad podría ser totalmente operativo sin él.

El primer apartado del sistema de seguridad es la sensórica. Ésta está formada por un grupo de sensores repartidos a lo largo de las instalaciones que monitorizan la concentración de hidrocarburos en sus inmediaciones. Los detectores están conectados a un PLC situado en un armario eléctrico en la parte de control de las instalaciones. Éste se encarga de analizar si la concentración de gases es peligrosa y en tal caso ejecutar los procedimientos de alarma entre los cuales se encuentra la desconexión eléctrica del laboratorio.

En cuanto al módulo de notificación dispone de conexión internet y se encarga de notificar a los responsables de laboratorio del estado y condiciones del mismo y, en caso de que se produzca, de la activación de alguna alarma.

Para abordar el análisis y la descripción del desarrollo realizado, los diferentes elementos que forman el sistema se han agrupado acorde con los niveles de la pirámide de la automatización cuya versión simplificada y adaptada al proyecto se puede observar en la Ilustración 3.

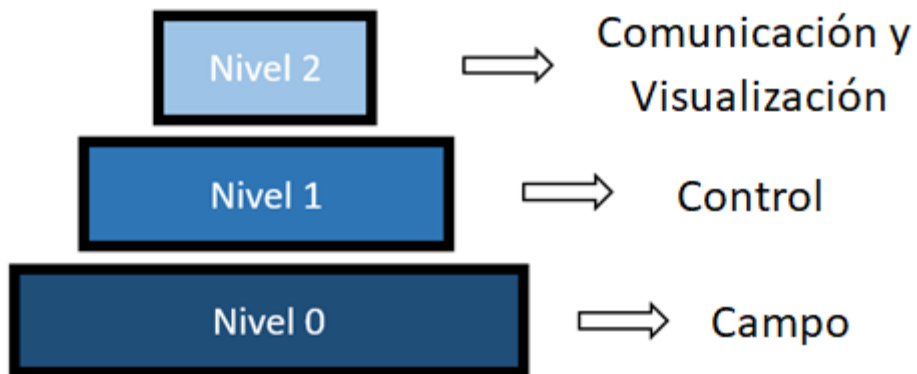


Ilustración 3. Pirámide de la Automatización

Por ello de aquí en adelante el sistema se agrupará en 3 niveles; de campo, de control y de comunicación y visualización.

3.4. NIVEL DE CAMPO: SENSORES Y ACTUADORES

En este nivel se agrupan y describen los sensores y actuadores como el sistema de extracción de gases, la sirena o los contactores de maniobra.

3.4.1. Detectores de hidrocarburos

3.4.1.1 Clases de sensores de detección de propano

En la actualidad se puede encontrar gran variedad de principios físicos y tecnologías a la hora de detectar gases e hidrocarburos. En la Tabla 3 se observan las principales tipologías de sensores y características principales.

	Sensor catalítico	Sensor termoconductor	Sensor infrarrojos	Sensor semiconductor	Sensor electroquímico	Detector de ionización de llama	Analizador de temperatura de llama	Detector de fotoionización	Detector paramagnético de oxígeno
O ₂ necesario en la muestra de gas	Sí	No	No	(No)	(No)	(No)	Sí	No	No se aplica
Rangos de medida típicos gases inflamables	≤ LIE	(0) – 100% FE	0 – (100)% FE	≤ LIE	≤ LIE	≤ LIE	< LIE	< LIE	No se aplica
Rangos típicos camino abierto	No se aplica	No se aplica	0 – 5 LIE × m	No se aplica	No se aplica	No se aplica	No se aplica	No se aplica	No se aplica
Rangos típicos para el oxígeno	No se aplica	No se aplica	0 – (100)% FE (con elementos sensibles especiales)	No se aplica	0-25% (0-100%) FE	No se aplica	No se aplica	No se aplica	0-100% FE
Gases inflamables no medibles	Grandes moléculas	(Véase 5.3)	H ₂	(Véase 5.5)	Alcanos	H ₂ ; CO	(Véase 5.8)	H ₂ ; CO; CH ₄ IP > X ^e	Gases inflamables
Tiempo de respuesta relativa ^a	Depende de la sustancia	Medio	(Bajo)	Depende de la sustancia	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo a medio
Interferencia de gases no inflamables ^b	No	CO ₂ ; freones	(Sí)	SO ₂ ; NO _x ; H ₂ O	SO ₂ ; NO _x	ClHCs ^c ; Halones	(Halones)	Sustancia IP < X ^e	NO; NO ₂
Venenos ^b	Sí; (Halones ^d); (H ₂ S); Pb	No	No	Sí; Halones ^d ; SO ₂	(No)	(Sí)	No	No	No
Gases externos requeridos	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No	(Sí/No)

^a Comparación cualitativa entre principios. Los valores no tienen en cuenta el tiempo de las líneas de muestreo por aspiración.
^b Ejemplos comunes dados en la tabla.
^c Hidrocarburos clorados.
^d Componentes orgánicos halogenados o halógenos inorgánicos.
^e PI es el potencial de ionización de la sustancia. X es la energía de la lámpara UV del detector.
 La información entre paréntesis está condicionada y debe estar referenciada a su apartado correspondiente
 NOTA El término 'Fondo de Escala' se denota como "FE".

Tabla 3. Características de las diferentes tecnologías de detección de hidrocarburos⁵

⁵ UNE-EN 60079-29-2. (2015). Atmósferas explosivas. Parte 29-2: Detectores de gas. Selección, instalación, uso y mantenimiento de los detectores de gases inflamables de oxígeno.

3.4.1.2. Sensor utilizado

Para la detección de la concentración de propano en el ambiente, y tras comparar las posibles opciones, se ha elegido utilizar sensores de hidrocarburos con tecnología infrarroja fabricados por la empresa HoneyWell. En concreto se ha seleccionado el modelo Sensepoint XCD (calibrado para la detección de propano) y que cumple las normativas EN60079-29-2, EN60079-14, EN45544-4 and EN61241-14 (Ver Ilustración 4).

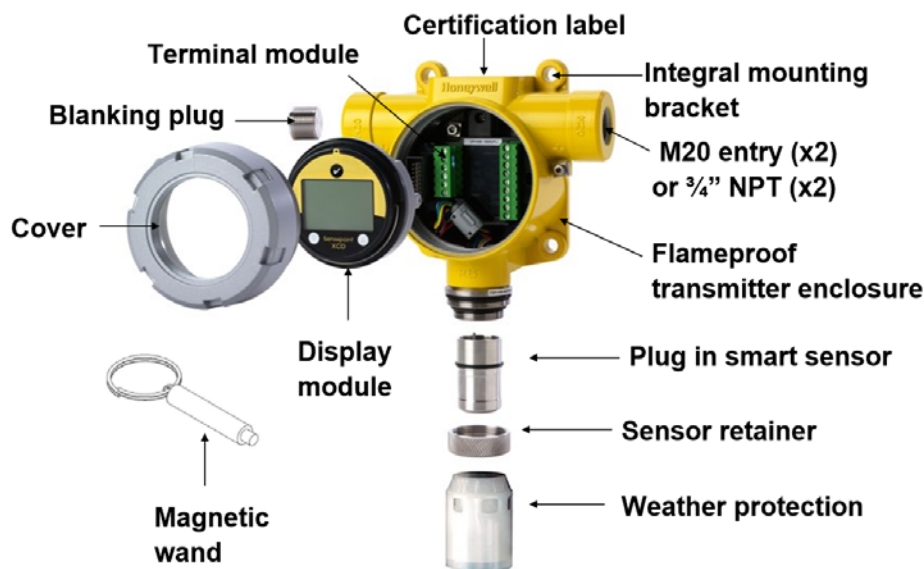


Ilustración 4. Sensor utilizado

El detector está preparado para trabajar en atmósferas explosivas (dispone de sello ATEX) y dispone de una pantalla indicativa donde aparece la concentración de propano como porcentaje respecto al Límite Inferior de Explosividad (LIE). Además, incluye el protocolo de colores establecido en la normativa⁶; el color verde indica un funcionamiento correcto, el rojo indica fuga de refrigerante y finalmente la amarilla indica un fallo en el propio sensor. En la imagen siguiente se muestra la gama de colores indicativos:



Ilustración 5. Colores indicadores del estado del sensor

⁶ UNE-EN 60079-29-1. (2017). Atmósferas explosivas. Parte 29-2: Detectores de gas. Requisitos de funcionamiento para los detectores de gases inflamables.

3.4.1.3. Principio de funcionamiento

El sensor utilizado en el sistema presenta tecnología infrarroja. El principio de funcionamiento de esta tecnología se basa en la absorción de la energía de un haz de luz por las moléculas del gas que está siendo detectado.

Los sensores de infrarrojos tienen las siguientes ventajas:

- No necesitan oxígeno para su funcionamiento (otros, como los catalíticos, sí que necesitan)
- No consumen la muestra
- Expectativa de vida larga
- Permite el uso de medidas de autodiagnóstico
- Son calibrables para detectar gases que absorben una cierta banda infrarroja.
- Las variaciones de presión no afectan a la lectura
- No se conocen efectos de envenenamiento

Como desventaja podríamos mencionar que presenta interferencias con otros compuestos (inflamables o no inflamables) los cuales pueden generar una señal positiva en el sensor. Por ejemplo, estando calibrados para la detección del propano son sensibles también a otros refrigerantes como el R134a, un gas también utilizado en el laboratorio y cuya manipulación no es tan estricta como la del propano ya que no es ni tóxico ni inflamable.

3.4.1.4. Localización

La ubicación del punto de detección tiene un efecto significativo en el buen funcionamiento de cualquier sistema fijo de detección de gas. Los sensores o puntos de muestreo se han ubicado cerca de las posibles fuentes de liberación de gas, aunque para evitar alarmas molestas, los puntos de medición se han colocado a una distancia suficiente de los puntos donde se pueden producir fugas menores sin consecuencias durante el funcionamiento normal como pueden ser puntos de carga y descarga de refrigerante.

También se ha tenido en cuenta, a la hora de colocar los sensores, las zonas donde puede darse acumulaciones peligrosas de gas. Es por ello que los detectores se han situado próximos al suelo ya que es una zona donde la ventilación es más reducida y donde los gases más pesados que el aire, como el propano, tienden a estancarse. Concretamente se han posicionado a 30cm como recomiendan los fabricantes de estos sensores y tal como establece la normativa⁷.

En cuanto a la distribución de los sensores en el laboratorio, se han analizado qué zonas tienen maquinaria que trabajan con propano lo que ha dado paso a la distribución de la Ilustración 6.

⁷ ⁷ UNE-EN 60079-29-1. (2017). Atmósferas explosivas. Parte 29-2: Detectores de gas. Requisitos de funcionamiento para los detectores de gases inflamables.

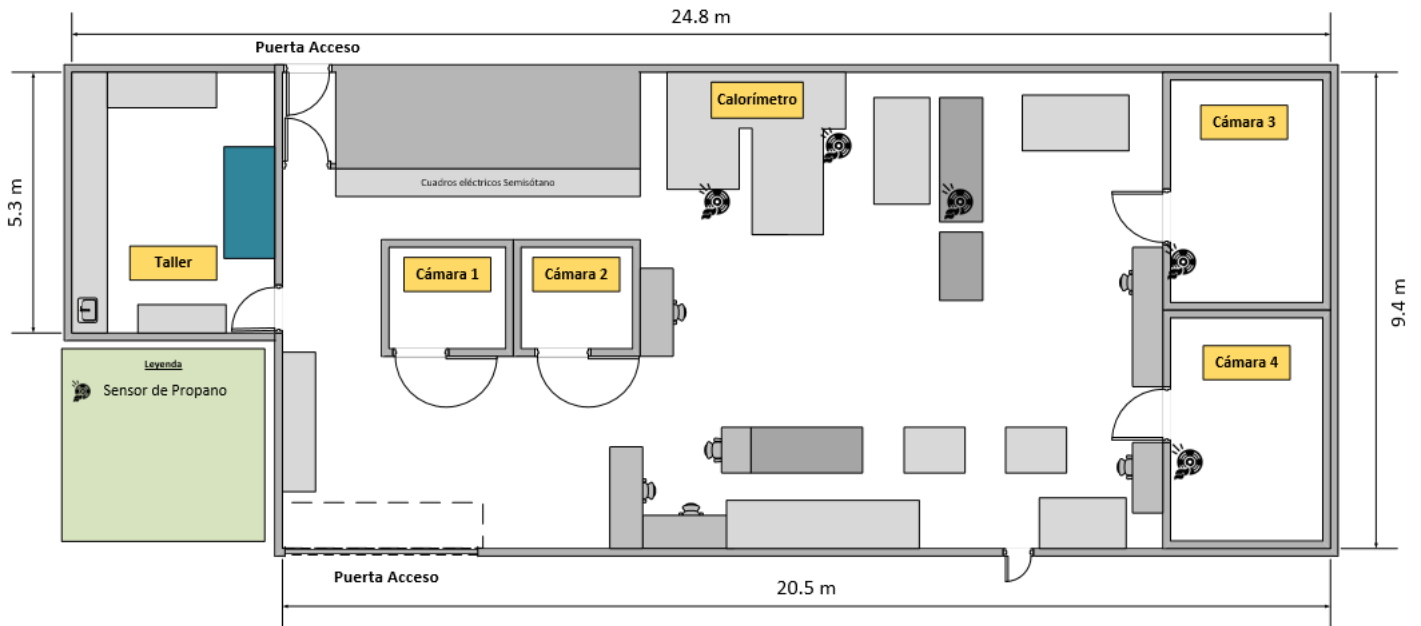


Ilustración 6. Distribución de los detectores de propano en el laboratorio.

Numerándolos de izquierda a derecha y de arriba abajo:

Los sensores 1 y 2 se encargan de monitorizar el ambiente alrededor del calorímetro, el cual presenta el circuito con más carga de refrigerante del laboratorio y donde un escape de gas podría ser más significativo.

El sensor 3 se encuentra en el centro del área de bancos de vida de compresores para detectar una fuga en cualquiera de los sistemas ahí presentes.

Y los sensores 4 y 5 se encuentran en dos cámaras climáticas. En ellas se ensayan equipos con una carga de refrigerante menor, sin embargo, al poderse cerrar presentan un grado de ventilación bajo y es por ello por lo que también se ha considerado necesario la colocación de sendos detectores.

3.4.1.5. Conexión

Los sensores disponen de las siguientes salidas:

-1 salida de señal 4-20mA

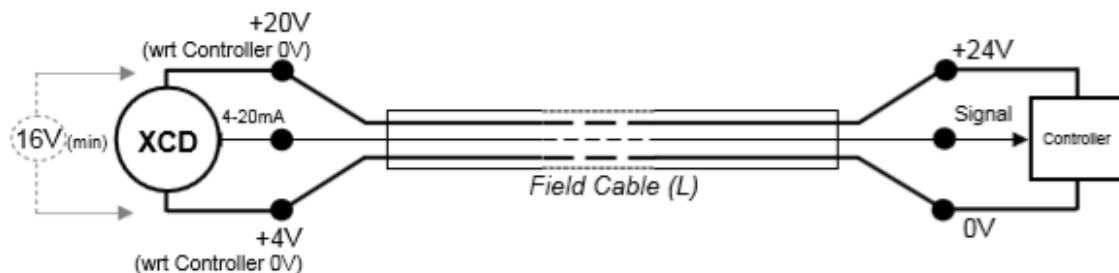


Ilustración 7. Esquema del conexionado del detector de propano

En la Ilustración 7 se puede ver un esquema de la conexión de señal 4-20mA de 3 hilos entre el sensor y el controlador. Como aparece en las especificaciones, el sensor funciona con un voltaje mínimo de 16V, por ello, si queremos alimentar el sensor desde una fuente de alimentación de 24V colocada en el armario de control, nos podemos permitir una caída de tensión en los cables de 8V, alrededor de 353 metros si consideramos un cable de 0,5mm² de sección (36.8 Ω/km.) Considerando las dimensiones del laboratorio podemos asegurar que el cableado cumple con esta limitación.

-3 relés programable

Esta salida solo se utiliza en las cámaras climáticas donde se ha instalado unos pilotos luminosos encima de las puertas de acceso y en el caso de detectar propano (aun en concentraciones menores) se iluminan para advertir de la necesidad de ventilación.

La concentración de disparo del relé (activación de los pilotos luminosos) se puede programar desde el propio detector y se ha fijado en un 15% del LIE.

3.4.1.6. Calibración

Se prevé una calibración periódica cada 6 meses de los detectores llevada a cabo con una mezcla calibrada de propano y aire al 50% del LIE, en particular se trata de una mezcla de calibración Calgaz de la empresa Air Liquide.

También se contempla la sustitución periódica del elemento sensor cuya imagen se puede observar en la Ilustración 4 etiquetada como "Plug in Smart sensor". Este elemento es en sí un sensor NDIR (non-dispersive infrared sensor) protegido por un filtro sinterizado y este, con el paso del tiempo, se satura. Según el fabricante la vida nominal de este elemento sensor es de 5 años.

3.4.2. Sistema de ventilación y extracción de gases

3.4.2.1. Funcionamiento

Para asegurar una buena ventilación en las instalaciones, asegurar una rápida dilución y facilitar la evacuación de gases se ha instalado un sistema de extracción el cual se encarga de succionar aire del lugar más cercano posible a la fuga, conducirlo hasta el exterior y descargar este a la atmosfera en un lugar bien ventilado y donde el gran volumen de aire existente hace que la concentración de gas inflamable se reduzca drásticamente y disminuya muy por debajo del LIE.

Según la Normativa⁸ el caudal de aire requerido para la ventilación mecánica de emergencia debe de ser al menos la cantidad obtenida según la formula siguiente:

$$\dot{V} = 0,014 \times m^{2/3}$$

⁸ UNE-EN 378-3. (2017). Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 3: Instalación in situ y protección de las personas.

donde

\dot{V} es el índice de caudal del aire en m^3/s

m es la masa de la carga máxima de refrigerante, en kg, en las instalaciones

En el laboratorio de sistemas de refrigeración, sumando las cargas individuales de todas las instalaciones obtenemos una carga máxima de 10kg de gas inflamable lo que nos proporciona un valor mínimo de caudal de $0.065 \text{ m}^3/\text{s}$ equivalente a $234 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.4.2.2. Elementos

Ventilador

Es el elemento principal del sistema de ventilación. Se ha instalado un extractor antideflagrante de flujo axial fabricado por SolerPalau (S&P) modelo HCFT y cuya imagen se puede observar en la Ilustración 8.



Ilustración 8. Ventilador utilizado

La curva característica del ventilador seleccionado obtenida de su hoja de características se puede observar en la Ilustración 9. En ella se comprueba que el caudal máximo desplazado alcanza valores superiores a los $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ por lo que se dispone de un amplio margen de seguridad con respecto al valor mínimo citado en la norma.

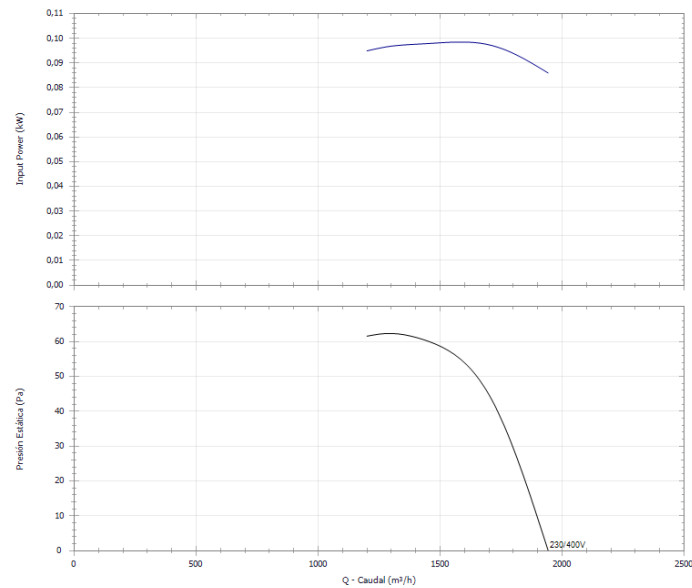


Ilustración 9: Curva característica del ventilador seleccionado.

Variador de frecuencia

El motor trifásico del ventilador es accionado por el Variador de frecuencia electrónico el cual a su vez es controlado por el PLC. El variador de frecuencia es de la marca Siemens modelo Micromaster 420.



Ilustración 10. Variador de frecuencia utilizado

Gracias al variador de frecuencia la velocidad de giro del ventilador puede ser modulada. En la práctica, dispone de dos velocidades, 40Hz para realizar una renovación continua del aire y 60Hz la cual aumenta el caudal de aire evacuado en caso de detectarse una fuga de gas.

Conductos

En la Ilustración 11 se puede apreciar el trazado de las conducciones de extracción de gas. Como se puede observar, el ventilador se encuentra en la rama central del sistema de extracción la cual se bifurca en dos tuberías menores para llegar a los puntos principales de succión.

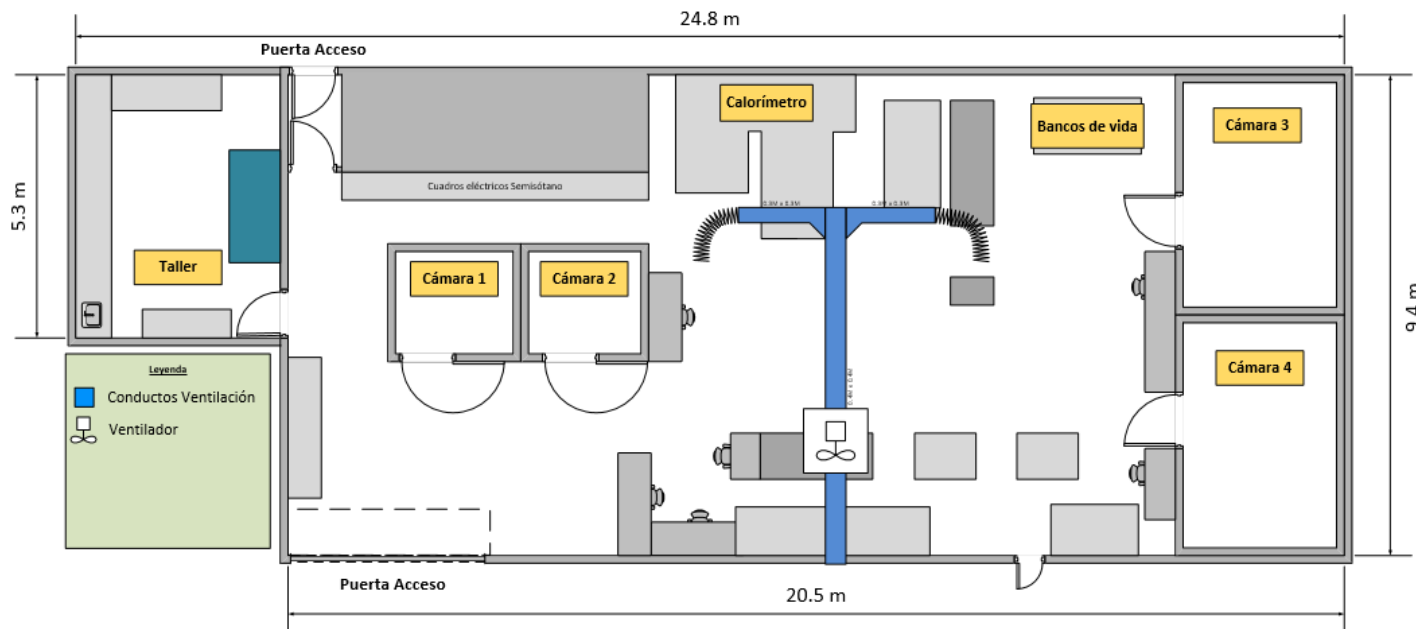


Ilustración 11. Plano del sistema de ventilación

Como se ha comentado el propano tiende a acumularse en el suelo debido a su densidad mayor que el aire. Es por ello que los puntos de extracción deben encontrar cercanos al suelo. Para conseguir esto se ha utilizado una tubería flexible (ver Ilustración 12) la cual también permite colocar la boca de succión lo más cercana a la posible fuga de hidrocarburos.



Ilustración 12. Tubo flexible para extracción local.

El resultado final de la boca de extracción se puede observar en la Ilustración 13. Para su diseño se ha seguido la normativa⁹ la cual indica que la entrada de aire inferior se tiene que efectuar a menos de 15 cm del suelo.

⁹ UNE 60601. (2013). Salas de máquinas que utilizan combustibles gaseosos.



Ilustración 13: Toma de extracción

3.4.3. Sirena

En caso de alarma significativa, para alertar a los usuarios de las instalaciones, se dispone de una alarma acústica del fabricante e2s modelo A105N cuya imagen se puede observar en la Ilustración 14.



Ilustración 14. Sirena utilizada.

Según las especificaciones de la Tabla 4 la alarma es capaz de proporcionar tonos de alarma de hasta 112dB(A) a 1 metro y 103dB(A) a 3 metros. La intensidad acústica normal en el laboratorio son 65 dB(A). Según la norma, para avisar de una fuga en el laboratorio, el sistema de alarma debe de avisar de forma audible con un zumbador potente (15 dB(A) por encima del nivel de

fondo)¹⁰. En nuestro caso este margen se cumple considerablemente lo que prueba la idoneidad del elemento.

Specification	
Maximum output:	112dB(A) @ 1 metre [103dB(A) @ 10ft/3m]
Nominal output:	105dB(A) @ 1m +/- 3dB - Tone 2 [96dB(A) @ 10ft/3m]
No. of tones:	32 (UK00A / PFEER compliant)
No. of stages:	3
Volume control:	Max. 105dB(A); Min. 96dB(A) - Tone 2
Effective range:	60m/197ft @ 1KHz

Tabla 4. Características principales de la sirena utilizada

¹⁰ UNE-EN 378-3. (2017). Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 3: Instalación in situ y protección de las personas.

3.4.4. Contactores

Para sectorizar las diferentes instalaciones presentes en el laboratorio y poder, en caso de fuga localizada, seccionarlas eléctricamente de forma individualizada se han utilizado contactores con bobinas de disparo las cuales se comandan a través de una señal del PLC.

Esta metodología también ha sido utilizada a la hora de tener que aislar eléctricamente el laboratorio completo en caso de una fuga mayor que active el nivel máximo de alarma. En este caso el contactor con bobina de disparo se ha situado a la entrada del cuadro eléctrico que alimenta al laboratorio.

3.4.4.1. Elementos

El contactor utilizado para aislar el laboratorio eléctricamente es del fabricante Schneider Electric de la serie MULTI9 modelo NG125N de cuatro polos. La bobina de disparo es de la misma marca y gama. Las imágenes de tanto la bobina de disparo como del contactor se puede observar en la Ilustración 15.



Ilustración 15: Bobina y contactor de 4 polos utilizados

3.4.4.2 Funcionamiento

La lógica de disparo comandada por el PLC se ha realizado de forma intrínsecamente segura. De esta forma si el sistema de seguridad está desconectado o se produce un fallo en el correcto funcionamiento del PLC las bobinas ordenan la desconexión del contactor general del laboratorio.

Destacar que el sistema de control no se encuentra aguas debajo de este contactor, es decir, una desconexión de éste no provocará en ningún caso la desconexión del sistema de seguridad. El conjunto del sistema de seguridad se alimenta de una línea eléctrica independiente a la del laboratorio, en la cual hay instalado un sistema de generadores de emergencia. Éstos, se activan en caso de que un apagón eléctrico tenga una duración superior a 10 minutos. Para que el sistema de seguridad pueda seguir funcionando y enviando notificaciones en estos 10 minutos se dispone de un equipo SAI, el cual alimenta todos los componentes del sistema excluyendo el ventilador de extracción. Éste último permanecería 10 minutos no operativo. Sin embargo, se asume el riesgo debido a que en esos 10 minutos el laboratorio no dispondrá de corriente eléctrica la cual es la principal causante de fuentes de ignición.

3.5. NIVEL DE CONTROL

En el Nivel 1 de nuestro sistema de alarma se encuentra la unidad de control del sistema de seguridad cuyo elemento central es el PLC (Programmable Logic Controller). En este nivel se procesa las señales y los datos provenientes del Nivel 0 y, tras una programación específica, se llevan a cabo operaciones que consisten en salidas hacia otros elementos del sistema como pueden ser actuadores, elementos de visualización o elementos de supervisión y comunicación.

Como elemento principal de control se ha seleccionado un PLC debido a que es un elemento especialmente diseñado para trabajar en entornos industriales hostiles como por ejemplo polvo, ruido eléctrico o temperaturas elevadas. Además, es capaz de funcionar cientos de veces por segundo 24 horas al día los 365 días del año y, al no basarse en ningún sistema operativo grafico como Mac, Windows o Linux evita posibles bloqueos.

3.5.1. Elementos

El PLC elegido ha sido del fabricante Omron de la serie CJ1. Se ha elegido este autómatas debido a su composición modular lo que lo hace un sistema versátil, adaptable a nuestras necesidades y con facilidades de expansión en caso de, en un futuro, introducir más detectores o actuadores. A continuación, se enumeran los módulos utilizados para nuestra aplicación los cuales se pueden observar en la Ilustración 16:

- CJ1WPA202 Fuente de alimentación 100-240V 2.8A
- CJ1MCP11 CPU 5000 pasos
- CJ1WID211 Modulo 16 Entradas digitales 24Vcc
- CJ1WAD081V1 Modulo 8 Entradas Analógicas
- CJ1WOC211 Modulo 16 Salidas Relé
- CJ1WDA08V Modulo 8 Salidas Analógicas de Tensión



Ilustración 16. Módulos de Omron utilizados

Las características principales de los módulos analógicos extraídas de su ficha de características se pueden ver en la Tabla 5 y Tabla 6.

Item		CJ1W-AD041-V1	CJ1W-AD081-V1	CJ1W-AD042	
Input specifications	Number of analog inputs	4	8	4	
	Input signal range	1 to 5 V 0 to 5 V 0 to 10 V - 10 to 10 V 4 to 20 mA		1 to 5 V 0 to 10 V - 5 to 5 V - 10 to 10 V 4 to 20 mA	
	Maximum rated input (for 1 point)	Voltage Input: ± 15 V Current Input: ± 30 mA			
	Input impedance	Voltage Input: 1 M Ω min. Current Input: 250 Ω (rated value)			
	Resolution	4,000/8,000		1 to 5 V	10,000
				0 to 10 V	20,000
				- 5 to 5 V	20,000
				- 10 to 10 V	40,000
				4 to 20 mA	10,000
	Converted output data	16-bit binary data			
Accuracy	25 °C ± 8	Voltage Input: $\pm 0.2\%$ of F.S. Current Input: $\pm 0.4\%$ of F.S.			
	0 °C to 55 °C	Voltage Input: $\pm 0.4\%$ of F.S. Current Input: $\pm 0.6\%$ of F.S.			
A/D conversion period	1 ms/250 μ s per point		20 μ s/1 point, 25 μ s/2 points, 30 μ s/3 points, 35 μ s/4 points		

Tabla 5: Características del módulo de entradas analógicas

En la tabla aparecen las tres tarjetas de entradas analógicas de la serie CJ1. En el proyecto se ha utilizado la que aparece en la segunda columna. De las especificaciones se desprende la siguiente información:

- 8 canales de entrada
- La señal de entrada puede ser tanto de tensión como de corriente. Para conmutar entre una y otra tipología la tarjeta incluye un interruptor. En la aplicación que se describe en este documento se ha utilizado señales de 4-20mA es por ello que el interruptor se ha posicionado en posición de corriente.
- La resolución por defecto es de 4000 valores, aunque existe la posibilidad de configurarla para 8000. Para la lectura del nivel de propano 4000 es un valor de resolución más que suficiente y es por ello que no se ha decidido aumentarla a 8000.
- La precisión a 25°C y para señales de intensidad es de 0.4% del fondo de escala.
- El tiempo necesario para la conversión analógico/digital es de 1ms. Al igual que con la resolución, su valor se puede configurar a 0.250ms. Sin embargo, para el sistema de seguridad no es necesario una frecuencia de muestreo tan elevada por lo que se ha elegido el parámetro por defecto.

Item		CJ1W-DA021	CJ1W-DA041	CJ1W-DA08V	CJ1W-DA08C	CJ1W-DA042V		
Output specifications	Number of analog outputs	2	4	8	8	4		
	Output signal range	1 to 5 V/4 to 20 mA 0 to 5 V 0 to 10 V - 10 to 10 V		1 to 5 V 0 to 5 V 0 to 10 V - 10 to 10 V	4 to 20 mA		1 to 5 V 0 to 10 V - 10 to 10 V	
	Output impedance	0.5 Ω max. (for voltage output)		0.5 Ω max. (for voltage output)	---		0.5 Ω max. (for voltage output)	
	Max. output current (for 1 point)	12 mA (for voltage output)		2.4 mA (for voltage output)	---		2 mA (for voltage output)	
	Maximum permissible load resistance	600 Ω (current output)		---	350 Ω		---	
	Resolution	40,000		4,000/8,000			1 to 5 V	10,000
							0 to 10 V	20,000
							-10 to 10 V	40,000
	Set data	16-bit binary data						
	Accuracy	25 °C	Voltage output: $\pm 0.3\%$ of F.S. Current output: $\pm 0.5\%$ of F.S.		$\pm 0.3\%$ of F.S.	$\pm 0.3\%$ of F.S.	$\pm 0.3\%$ of F.S.	
0 °C to 55 °C		Voltage output: $\pm 0.5\%$ of F.S. Current output: $\pm 0.8\%$ of F.S.		$\pm 0.5\%$ of F.S.	$\pm 0.6\%$ of F.S.	$\pm 0.5\%$ of F.S.		
D/A conversion period	1.0 ms per point		1.0 ms or 250 μ s per point			20 μ s/1 point, 25 μ s/2 points, 30 μ s/3 points, 35 μ s/4 points		

Tabla 6: Características del módulo de salidas analógicas

Las características son similares al módulo de entradas por lo que no se volverán a explicar en profundidad. El único cambio significativo en la utilización de este módulo respecto al de entrada es que estará configurado para emitir una señal de tensión y no de intensidad 4-20mA. Más concretamente, la señal de salida es de 0-5V ya que es el nivel de potencial que utiliza la lógica del módulo de notificaciones.

3.5.2. Funcionamiento

En este apartado se explican las reglas de comportamiento del sistema. Para ello se van a definir en primer lugar los posibles estados, su significado y las transiciones entre ellos.

3.5.2.1. Estados

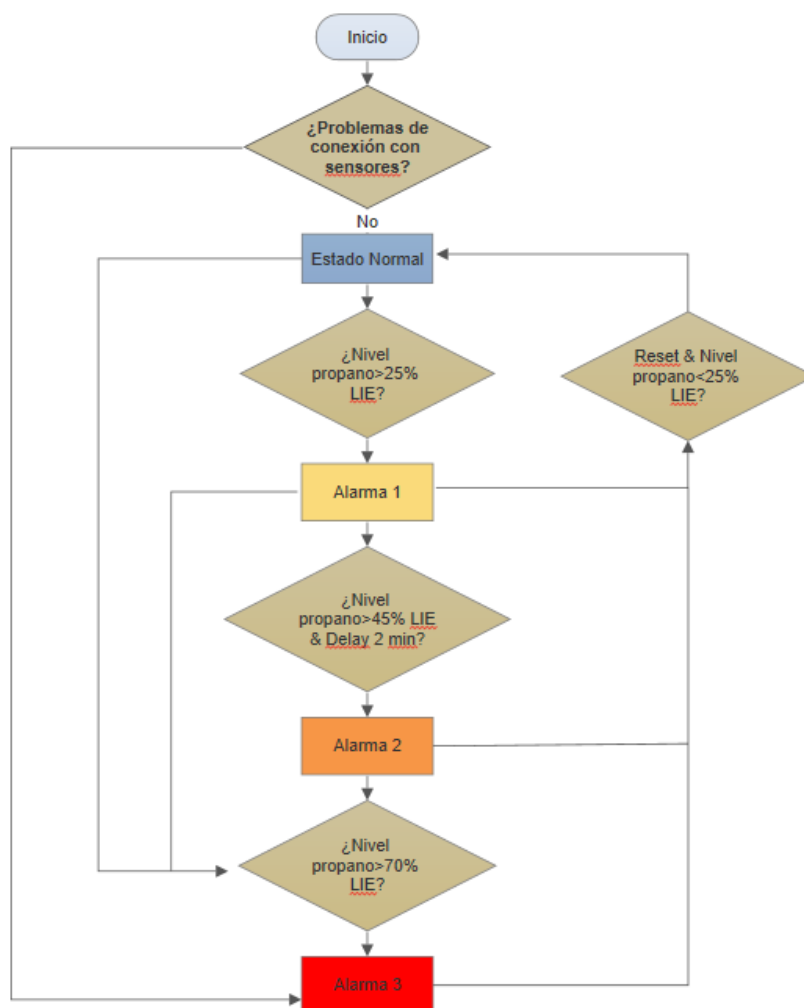


Ilustración 17. Diagrama de estados y transiciones

- Inicio: Una vez encendido el sistema se comprueba el estado de conexión de los sensores distribuidos en el laboratorio. En el caso que se detecte una señal válida de todos los conectores se pasa al estado normal. Si no hubiese comunicación PLC-Detector, debido a una rotura del cable de datos o por un error interno del sensor de propano, el PLC no habilitaría el encendido de ningún equipo a la espera de la reparación oportuna.
- Estado Normal: no se ha producido ninguna alarma, los niveles de propano son 0 o despreciables y la comunicación con todos los sensores es satisfactoria.
- Alarma 1: Se activa al detectarse un nivel de propano **superior a un 25% del LIE** en cualquiera de los sensores del laboratorio.

En este nivel se activa el indicador rojo de alarma visual ALARMA1 y un indicador de qué sensor ha dado la alarma. Además, el sistema de extracción se acelerará a máxima velocidad. Esta alarma, no aísla eléctricamente ninguna sección del laboratorio por lo que se puede seguir trabajando con normalidad en cualquier instalación.

Este nivel permanecerá 2 minutos aunque la concentración ascienda a valores de ALARMA2. Pero en ningún caso se mantendrá si la concentración superara el valor de transición a ALARMA3.

- **Alarma 2:** Se activa si el porcentaje de propano en el aire aumenta por **encima del 40% del LIE** y éste ha permanecido en este nivel durante más de 2 minutos.

Este nivel activa el indicador rojo de alarma visual ALARMA2 y un indicador de qué sensor ha dado la alarma. Además de la alarma visual, también activa la alarma sonora y el ventilador sigue funcionando a máxima velocidad.

Este nivel de alarma desconecta las instalaciones cercanas al sensor que ha detectado la fuga para evitar fuentes de ignición en las proximidades del escape de gas.

- **Alarma 3:** Se activa si la concentración de propano detectada en cualquiera de los sensores supera el **70% del LIE**. Esta alarma es la más severa de todas ya que alerta del peligro inminente por creación de una atmósfera potencialmente explosiva y es por ello que no dispone de ningún retardo de la activación.

Este nivel secciona la alimentación de todo el laboratorio y todos los aparatos eléctricos en su interior (menos aquello relativo con el sistema de seguridad que mantendrá la extracción de gases a la máxima velocidad). Además, activa el indicador rojo de alarma visual ALARMA3 y un indicador de qué sensor ha dado la alarma.

Como procedimiento de seguridad, una vez el nivel de propano recupere su nivel normal después de haber activado una alarma:

- o se enciende el piloto de “Estado normal” para indicar que el riesgo de atmósfera explosiva ha sido mitigado.
- o el piloto indicador del sensor o sensores que han activado la alarma, en vez de apagarse, parpadearán a modo de recuerdo.
- o las acciones de la Alarma previamente activada permanecerán activadas.

El sistema solo volverá a estado normal cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- o nivel de propano por debajo del 25% del LIE
- o se pulse el botón de rearme

Remarcar también que tras presionar el botón de rearme se inicia un procedimiento de diagnóstico para comprobar que todos los indicadores funcionan correctamente. Con ello, cuando se presione, todas las luces se encenderán durante dos segundos. Con este sencillo procedimiento se revisa que ningún indicador se haya fundido.

3.5.3. Programación

Para la programación del PLC se ha utilizado el software CX-Programmer. Éste es un programa que funciona con todas las series de PLC de Omron, y está totalmente integrado en el conjunto de programas CX-One. El programa se ha estructurado en diversas secciones para su mayor claridad y entendimiento. A continuación, se enumeran las secciones con una breve descripción:

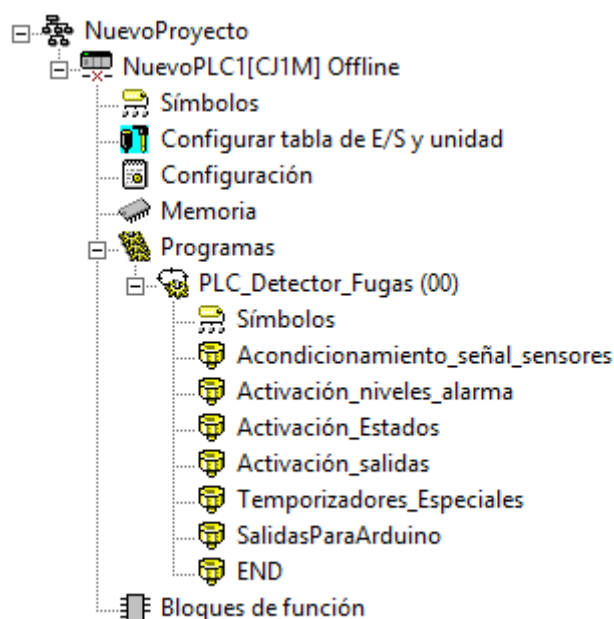


Ilustración 18. Resumen de secciones de programación

Acondicionamiento de la señal

En esta sección se acondiciona la señal entrante 4-20mA proveniente de los detectores de propano con la función SCL (Escala). Permite almacenar una señal 4-20mA en una variable con un rango específico (por ejemplo 0-100% LIE). Una explicación gráfica de cómo funciona la conversión se puede observar en la Ilustración 19.

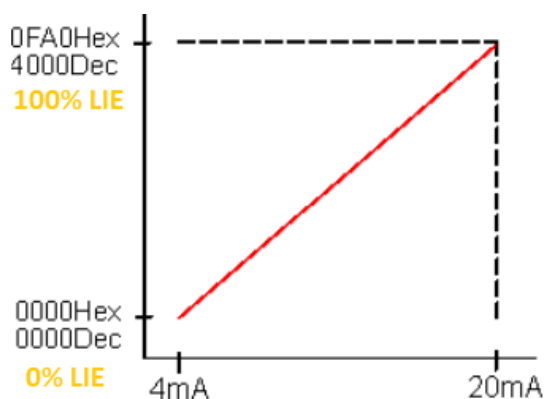


Ilustración 19: Grafico de escalado

A la función hay que introducirle 4 parámetros que constituyen las coordenadas de los dos puntos que definen la recta de calibración. Se puede observar la implementación de la función en la Ilustración 20 en la cual se escala la señal del detector de propano 1.

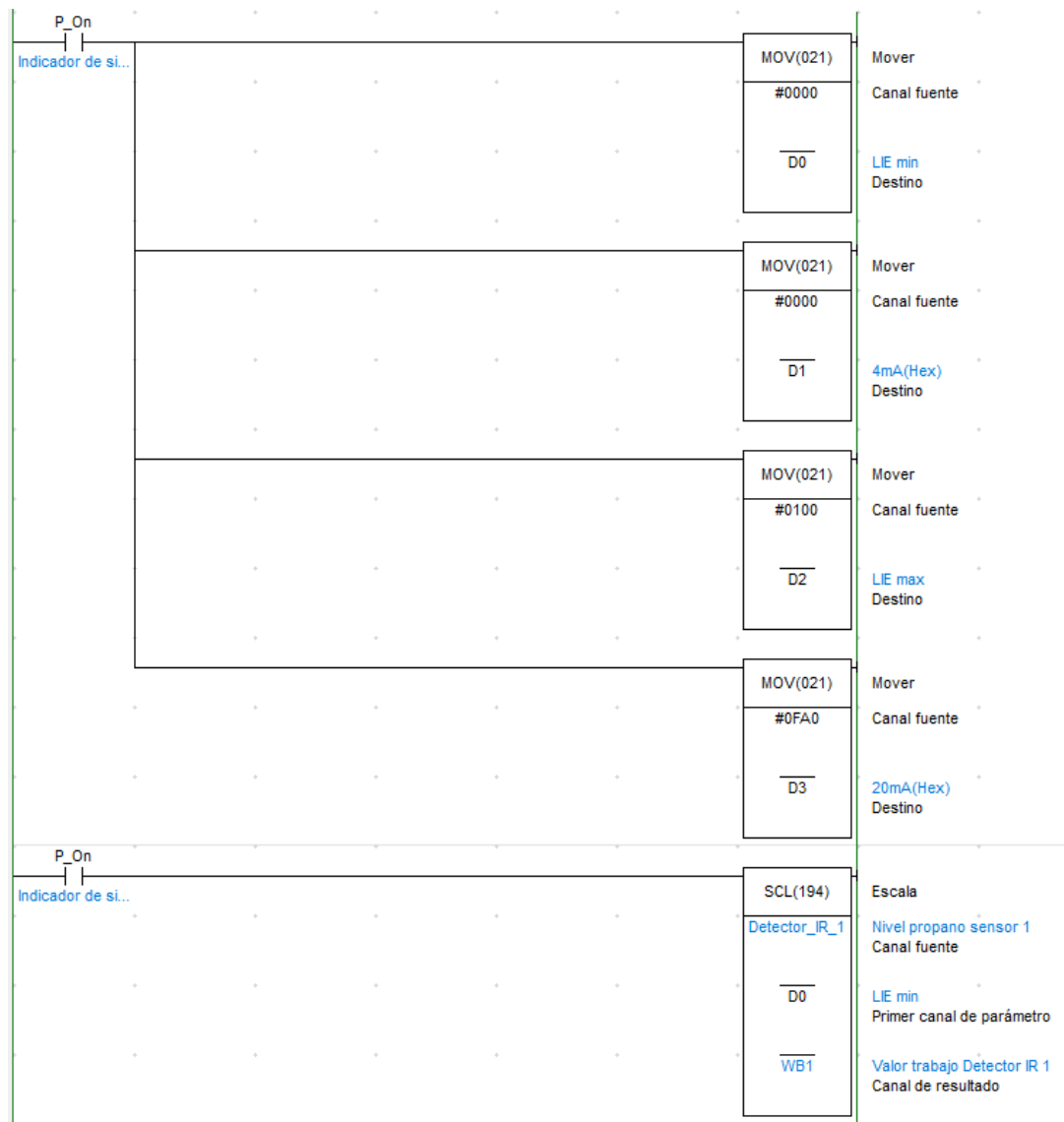


Ilustración 20. Ejemplo de la programación del acondicionamiento de señal

Activación de niveles de alarma

En esta sección se comparan los valores recibidos y acondicionados en la sección anterior con los niveles de activación de cada alarma.



Ilustración 21. Ejemplo de la programación para la activación de nivel de alarma

Una vez comparados, si el valor medido es superior a la consigna se activa la variable bandera que lo indica. Al utilizar la función KEEP la variable quedará enclavada hasta que el pulsador de rearme, colocado en el panel de visualización, sea presionado. No confundir esta variable bandera con los estados del sistema anteriormente mencionados, los cuales, se definen en la siguiente sección.

Activación de estados

En esta sección del programa se establece el estado de operación del sistema utilizando la información obtenida de las banderas en la sección anterior.



Ilustración 22. Ejemplo de la programación para la activación de estados

Por ejemplo, para establecer Alarma1 hace falta que el nivel de propano haya activado la bandera “Nivel 1 Alarma activado” pero que no se hayan activado las banderas respectivas para los niveles de propano de los estados Alarma2 y Alarma3.

Activación de salidas

Esta sección usa como entradas los estados definidos en la anterior sección y se encarga de comandar todas las salidas según los procedimientos establecidos. Esta sección es la más extensa de la programación. A continuación, se muestra un ejemplo sencillo de la programación.

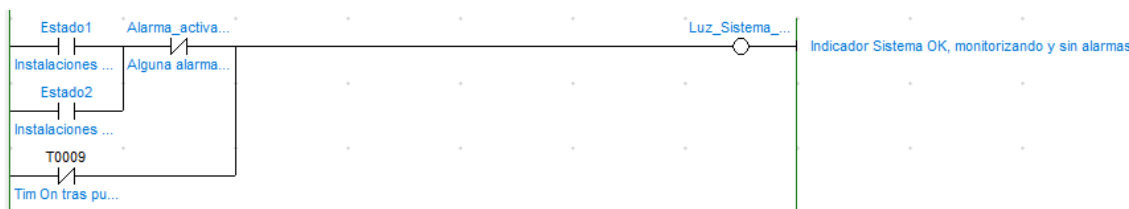


Ilustración 23. Ejemplo de la programación para la activación de salidas

En este ejemplo podemos observar las reglas de accionamiento de un piloto luminoso en el panel de visualización que apunta el estado normal de funcionamiento. Podemos ver que el piloto se enciende cuando se da el Estado1(Instalaciones apagadas) o el Estado2 (Instalaciones encendidas con nivel normal de propano) y cuando no haya ninguna alarma activada.

El interruptor T0009 es un temporizador que se utiliza para aplicar el procedimiento de diagnóstico tras presionar el botón de rearme en el cual, tras presionar el botón, todos los pilotos se iluminan por un periodo de 2 segundos.

En esta sección además del ejemplo citado se utiliza una lógica similar para accionar cada piloto luminoso, sirena, contactor o sistema de ventilación.

Temporizadores especiales

En esta sección se definen los temporizadores usados en el resto del programa, como el nombrado en el anterior párrafo. Por otro lado, también se declaran los temporizadores que se encargan de gestionar las intermitencias de recuerdo de alarma.



Ilustración 24. Ejemplo de la programación de temporizadores especiales

En este ejemplo se puede observar el funcionamiento de la función TIM (timer) usada para la programación de la temporización del botón de rearme. Dispone de una entrada (el pulsador de rearme), una salida (la variable de trabajo T0009), y un parámetro (20 décimas de segundo) que indica la duración del contador.

Desarrollo de un sistema de seguridad frente a fugas de gases inflamables para el laboratorio del área térmica del IUIE

Salidas para el módulo de notificación

En esta sección del programa se definen las señales de estado que utilizará el módulo de notificación. Para ello se asignan las siguientes variables de salida:

- 1 salida analógica por cada sensor instalado. La señal contiene información de la concentración de propano de cada sensor en % de LIE y se envía como una señal 0-5V.
- 1 salida de estado. En ella se codifica utilizando diferentes niveles de voltaje dentro de la señal de 5V el estado del sistema.
- 1 salida con voltaje de referencia. Con ella se le proporciona un potencial de referencia al módulo de notificación con el que comparar las otras señales analógicas.

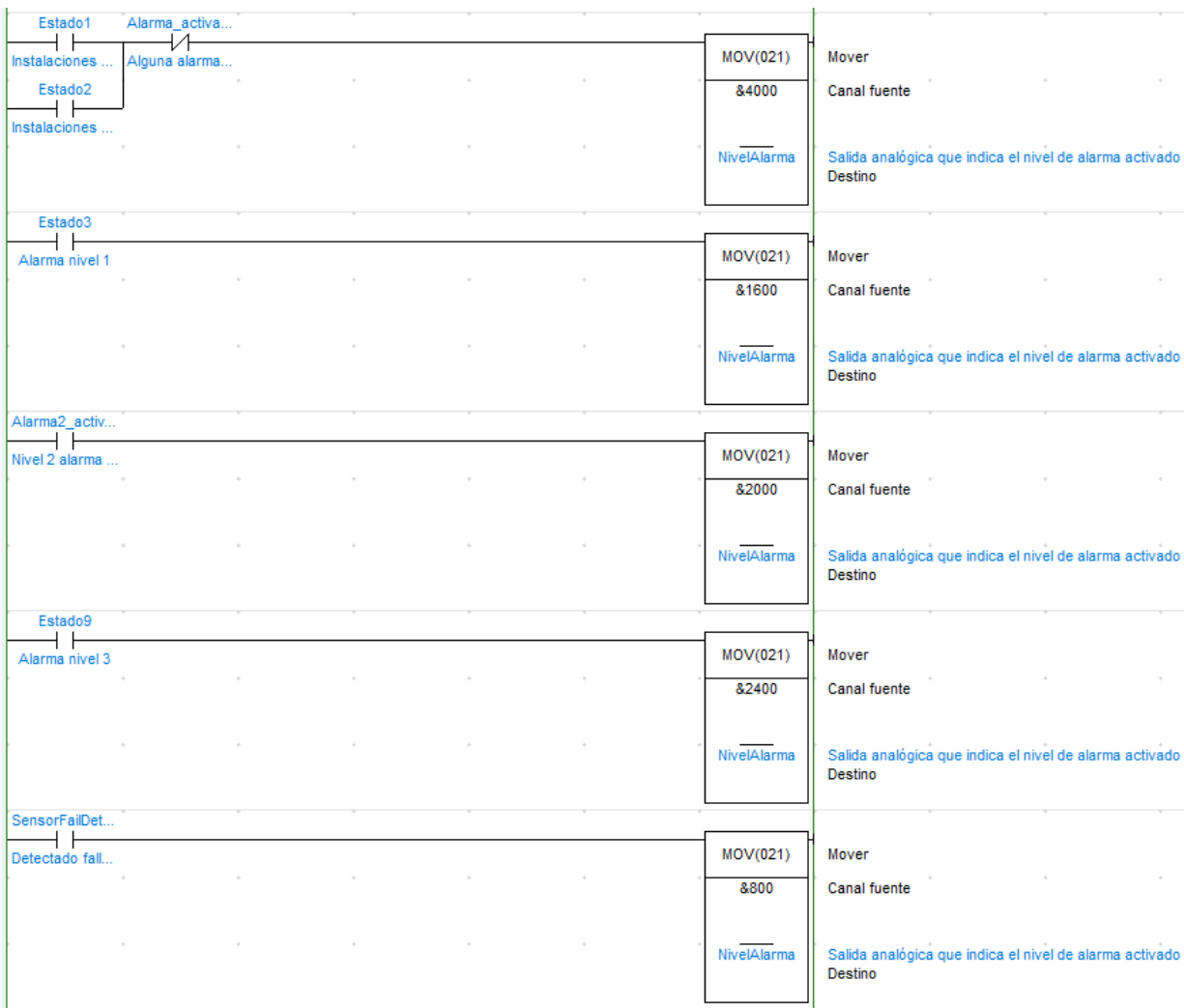


Ilustración 25. Programación de la comunicación con el módulo de notificación

En este extracto del programa se le asigna a la salida de estado su valor. La función MOV (mover) asigna a la salida analógica un valor proporcional al nivel de voltaje que tendrá la salida.

3.5.4. Conexionado

En la Tabla 7 se pueden observar todas y cada una de las conexiones realizadas en el PLC. Se puede comprobar el nombre de la variable asignada a cada terminal de conexión, dónde está conectada, si es una señal de entrada o salida y una breve descripción de su función.

Nombre	Direcci...	Ubicación de rack	Uso	Comentario
Calorímetro_on	0.00	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Si = 1, Calorímetro está ON
LTS_Danfoss_ON	0.01	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Si = 1, LTS Danfoss está ON
LTS_Copeland_ON	0.02	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Si = 1, LTS Copeland está ON
Cámara_Clim_ON	0.03	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Si = 1, Cámaras climáticas están ON
FS_Vent1	0.04	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Si = 1, El flujostato del ventilador 1 detecta flujo
Interruptor_Vent_...	0.06	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Si = 1, Interruptor activado
Reset_Alarmas	0.07	Bastidor principal : Hueco 00	Entrada	Pulsador reset alarmas
ContactadorGeneral	1.00	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Si = 1, Activa el contactor general
Permiso_Calorimet...	1.01	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Si = 1, Permite arrancar el calorímetro
Permiso_LTS_Danf...	1.02	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Si = 1, Permite arrancar LTS Danfoss
Permiso_LTS_Cope...	1.03	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Si = 1, Permite arrancar LTS Copeland
Permiso_Cámaras_...	1.04	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Si = 1, Permite arrancar cámaras climáticas
Alarma_Optica	1.05	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Activa la alarma optica
Alarma_acústica	1.06	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Activa la alarma acústica
Ventilador_1	1.07	Bastidor principal : Hueco 01	Salida	Si = 1, Ventilador 1 activado
Luz_Alarma_Nivel_1	2.00	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Indicador Alarma nivel 1 activada
Luz_Alarma_Nivel_2	2.01	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Indicador Alarma nivel 2 activada
Luz_Alarma_Nivel_3	2.02	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Indicador Alarma nivel 3 activada
Luz_Sistema_OK	2.03	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Indicador Sistema OK, monitorizando y sin alarmas
Luz_Fallo_Detector_1	2.04	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Luz de detección de fallo en detector IR 1
Luz_Fallo_Detector_2	2.05	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Luz de detección de fallo en detector IR 2
Luz_Fallo_Detector_3	2.06	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Luz de detección de fallo en detector IR 3
Luz_Fallo_Detector_4	2.07	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Luz de detección de fallo en detector IR 4
Luz_Fallo_Detector_5	2.08	Bastidor principal : Hueco 02	Salida	Luz de detección de fallo en detector IR 5
Detector_IR_1	2031	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Nivel propano sensor 1
Detector_IR_2	2032	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Nivel propano sensor 2
Detector_IR_3	2033	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Nivel propano sensor 3
Detector_IR_4	2034	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Nivel propano sensor 4
Detector_IR_5	2035	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Nivel propano sensor 5
Fallo_IR1	2039.00	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Desconexión en detector IR1
Fallo_IR2	2039.01	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Desconexión en detector IR2
Fallo_IR3	2039.02	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Desconexión en detector IR3
Fallo_IR4	2039.03	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Desconexión en detector IR4
Fallo_IR5	2039.04	Bastidor principal : Hueco 03	Entrada	Desconexión en detector IR5
Vel_Extracción_1	2041	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Velocidad del ventilador del extractor de gases 1
NivelAlarma	2042	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Salida analógica que indica el nivel de alarma activado
OutSensor1	2043	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Salida analógica sensor 1 para arduino
OutSensor2	2044	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Salida analógica sensor 2 para arduino
OutSensor3	2045	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Salida analógica sensor 3 para arduino
OutSensor4	2046	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Salida analógica sensor 4 para arduino
OutSensor5	2047	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	Salida analógica sensor 5 para arduino
OutReferenceV	2048	Bastidor principal : Hueco 04	Salida	La referencia de voltaje para arduino

Tabla 7: Conexionado de los módulos de E/S del PLC

Para facilitar la comprensión de las conexiones se puede ver en la Ilustración 26 un diagrama simplificado de las conexiones en el que se identifican cada uno de los módulos del PLC. Los planos eléctricos de conexión al PLC completos se pueden encontrar en el apartado de planos.

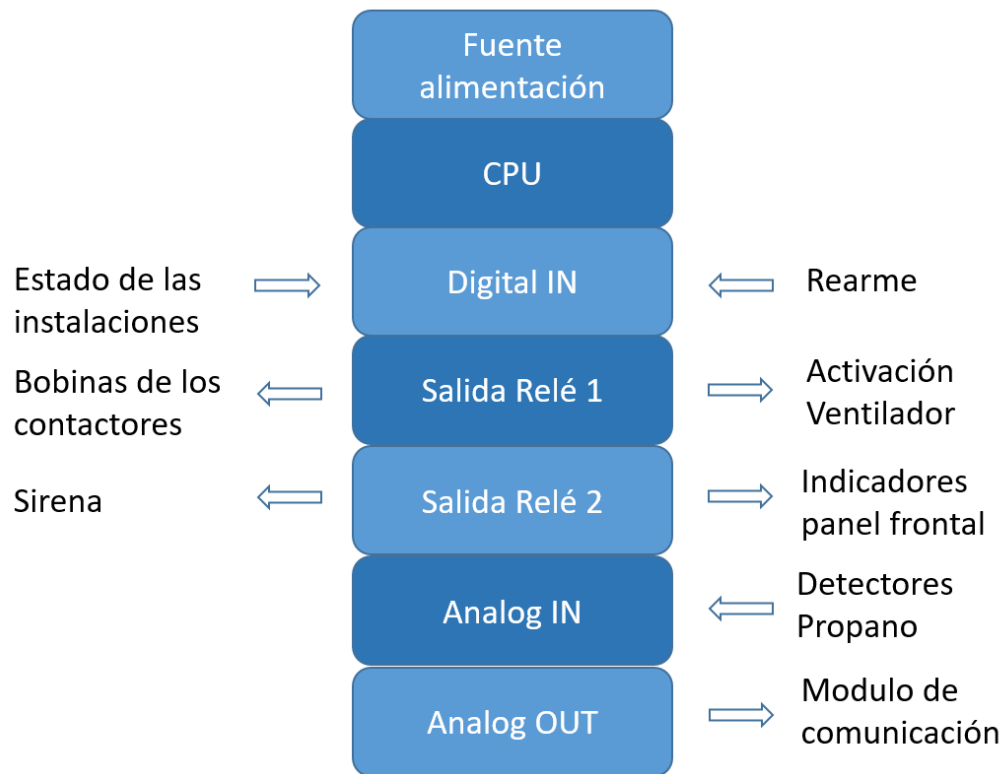


Ilustración 26: Diagrama de conexión con los módulos del PLC

En la Ilustración 27 se puede comprobar el resultado final con el PLC cableado e instalado dentro del armario de control.



Ilustración 27: Instalación del PLC en el armario de control

3.6. NIVEL DE COMUNICACIÓN REMOTA Y VISUALIZACIÓN

En este nivel se describen los elementos del sistema que se encargan de la comunicación vía internet y la interfaz usada para la visualización del estado en el laboratorio.

3.6.1. Módulo de comunicación remota y análisis meteorológico (Adicional)

Con el objetivo de mantener a los responsables de laboratorio informados continuamente de los niveles de propano y condiciones ambientales en el laboratorio se ha considerado necesario instalar un equipo con acceso a internet que informe periódicamente vía Twitter y enviando correos electrónicos.

Este módulo se considera adicional ya que no afecta al normal funcionamiento del sistema de seguridad, pero se ha decidido su implementación para dotar a las instalaciones de características propias de la Industria 4.0 mediante el conocido Internet de las Cosas (IOT).

3.6.1.1 Elementos

-Arduino Mega:

Éste es el elemento central del módulo de comunicación. Es una placa microcontroladora con multitud de entradas y salidas y de lógica 5V programable basada en el chip Atmega2560. Se ha seleccionado esta solución debido a que:

- Presenta un coste reducido.
- Es una plataforma de hardware y software libre con gran cantidad de librerías que facilitan la programación.
- Es muy versátil y presenta gran cantidad de entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

Se han utilizado las siguientes interfaces en el montaje:

- Entradas analógicas para la recepción de información por parte del PLC
- Terminales de comunicación TWI (Vcc, GND, SDA, SCL) para la comunicación con sensores y pantalla LCD
- Entradas y salidas digitales para la detección del pulsador de rearme y lectura de sensores.

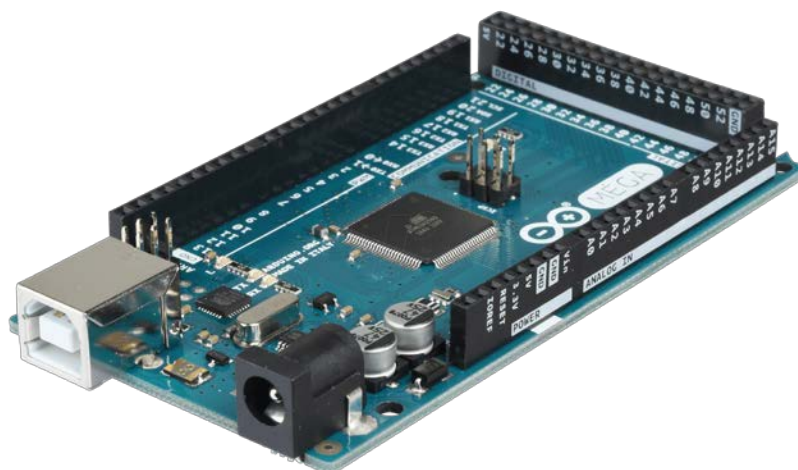


Ilustración 28: Arduino mega

-Modulo Ethernet:

Es una placa de expansión para Arduino. No necesita de cableado ya que se instala sobre la placa del Arduino Mega utilizando los peines de pines con los que viene de fábrica. Presenta una clavija para un cable RJ45 para la conexión ethernet, un porta tarjetas de memoria SD y conectores Molex KK254 de 4 y 3 pines conectados internamente a pines analógicos, digitales y de comunicación TWI.

En el montaje se han utilizado las siguientes conexiones:

- Clavija RJ45 para la conexión Ethernet.
- Dos conectores Molex de 4 pines para la comunicación con la pantalla LCD y con el sensor de presión/temperatura atmosférica.
- Un conector Molex de 3 pines para la comunicación con el sensor de humedad.

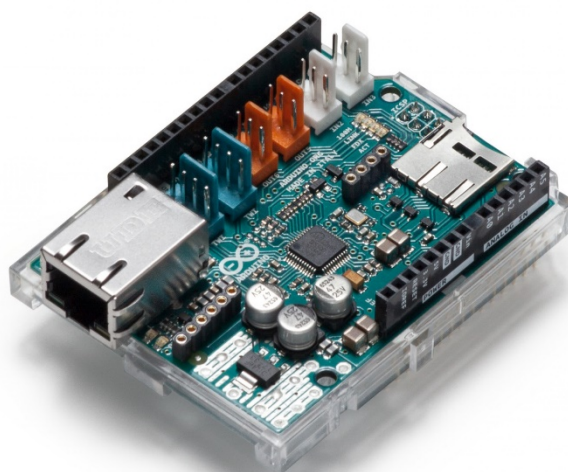


Ilustración 29: Modulo Ethernet

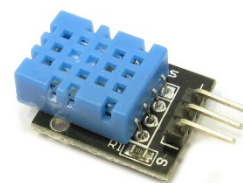
-Central Meteorológica:

Se ha considerado dotar a las notificaciones de estado del sistema de propano de más información y es por ello que se han instalado sensores que analizan las condiciones ambientales del laboratorio.

Destacar que no se necesita precisión ni resoluciones elevadas debido a que los datos recabados son únicamente de carácter informativo. Y es por ello que se ha considerado utilizar sensores de bajo coste que se integran a la perfección con la interfaz de Arduino.

Las condiciones ambientales medidas son temperatura, humedad y presión y se miden con los siguientes sensores:

- BMP180(Presión y Temperatura): Sensor desarrollado por Bosch de muy bajo coste con un rango desde 300 a 1100hPa y con una precisión en el intervalo 950-1050hPa de ± 0.12 hPa y una resolución de 0.01hPa. En cuanto a la temperatura presenta una precisión típica de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a 25°C y una resolución de 0.1°C .
- DHT11(Humedad): Un sensor económico de humedad que mide en el rango del 20% al 80% de humedad relativa con un 5% de precisión. También mide temperatura, pero en la implementación se usará la lectura del BMP180 debido a su mayor precisión.



-Pantalla LCD:

En el panel frontal de visualización y con motivo de disponer información sobre el funcionamiento del módulo de comunicación y de las condiciones meteorológicas se ha instalado una pantalla LCD.

Esta pantalla muestra información sobre la hora sincronizada por el Arduino, el estado del sistema seguridad y las mediciones atmosféricas.

3.6.1.2. Funcionamiento

A continuación, se pasa a describir paso por paso el funcionamiento del módulo de comunicación (Véase el código de programación al completo en el Anexo A).

- Una vez encendido el modulo, el primer paso es sincronizar la hora y fecha del Arduino mediante NTP.

NTP, siglas de Network Time Protocol, es un protocolo de Internet para sincronizar relojes en sistemas informáticos. Utiliza una serie de paquetes de datos transmitidos en una capa de transporte UDP. Esta comunicación se realiza a través de la conexión Ethernet y está gestionada por un código creado en origen por Michael Margolis y adaptado para detectar el cambio de hora verano-invierno.

- Una vez encendido el modulo y sincronizada la hora y fecha se inicia una rutina secuencial que se repite. Primero, se leen y acondicionan las entradas analógicas provenientes del PLC. Con ello, desde una señal 0-5V obtenemos datos de estado y de concentración de cada uno de los sensores.
- Se comprueba si ha existido un cambio de estado en el PLC y si es así se envían notificaciones vía Twitter y correo electrónico.

Las notificaciones vía **Twitter** se realizan a través de la librería Twitter.h creada por NeoCat. Ésta librería envía el texto a twittear a una página web que se encarga de publicarlo en la cuenta de Twitter deseada. En nuestro caso es una cuenta de Twitter privada a la que solo tienen acceso los responsables del laboratorio. En la Ilustración 30 aparecen dos ejemplos de notificaciones recibidas tras un cambio de estado.



Ilustración 30: Notificaciones Twitter

Las notificaciones vía **Correo** electrónico se envían a través del protocolo SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) y a través del servicio SMTP2GO. SMTP es un protocolo de comunicación a través de secuencias ordenadas de comandos los cuales aparecen integrados en el código de SurferTim. Se usa el servicio SMTP2GO debido a que la mayoría de servidores de correo actuales no permiten la recepción de correos con el protocolo SMTP ya que protegen de reenvíos de emails y remitentes falsos. De esta forma se envía el correo vía SMTP a SMTP2GO y después es este servicio el que se encarga de enviar el correo a la dirección final.

- A continuación, se obtiene la información de los sensores de presión y humedad.

Para ello se han utilizado las librerías creadas por SparkFun y por Adafruit.

- Y el último paso del ciclo es mostrar en la pantalla LCD de la parte frontal del armario información para el operario.



Ilustración 31: Funcionamiento de la pantalla LCD

En la Ilustración 31 se pueden observar 4 imágenes en las cuales se muestra la información que aparece en la pantalla en diferentes situaciones:

- En las dos primeras se aprecia el cambio continuo del indicador de estado entre xxOKxx y ++OK++. De esta forma la pantalla actúa como testigo del correcto funcionamiento del módulo de comunicación ya que si éste dejara de funcionar la oscilación se detendría.
- En la tercera se aprecia una situación de Alarma1. En ella se muestra el estado "Alarm1" en la esquina superior derecha y cuando se entró en este estado en la esquina inferior izquierda.
- En la cuarta y última se aprecia la información mostrada una vez la alarma desaparece. El estado es OK, pero permanece un recordatorio de cuándo se ha dado la última alarma hasta que el botón de rearme sea presionado.

Hasta aquí se han comentado los pasos de la rutina principal, por otro lado, se dispone de las conocidas interrupciones, las cuales son rutinas alternativas que se activan cuando se produce un suceso determinado. Este suceso puede ser provocado por software o por hardware. A continuación, se describen las interrupciones utilizadas:

- Interrupciones temporales: Aquellas que se activan en una fecha y hora concretas. Con ellas cada día a las 11:00, 17:30 y 23:30h se envía un mensaje de estado vía Twitter y a las 7 de la mañana un correo electrónico. En estas notificaciones periódicas se informa del estado del sistema de seguridad y permiten tener conocimiento de su funcionamiento los fines de semana y vacaciones.

Las interrupciones temporales se gestionan a través de las librerías TimeAlarms.h y Time.h ambas de Michael Margolis.

- **Interrupciones por hardware:** Están asociadas a una entrada digital de la placa. En caso de recibir una señal específica en ella se activan. Con ella se ha implementado el botón de rearme. Cuando éste se pulsa, se activa una rutina que hace desaparecer la información de la última alarma de la pantalla LCD.

Por último, y como medida de seguridad para evitar bloqueos se ha programado un Perro guardián (Watchdog en inglés) que, en caso de bloqueo, reinicia la placa de Arduino. Éste consiste en un temporizador de cuenta atrás. Durante el funcionamiento normal el temporizador se restablece periódicamente, pero en el caso de que el programa se bloquee en un punto el temporizador llega a cero y reinicia la placa Arduino.

3.6.1.2. Conexionado

En la Ilustración 32 se observa el esquema simplificado de las conexiones realizadas en la caja del módulo de comunicaciones remotas.

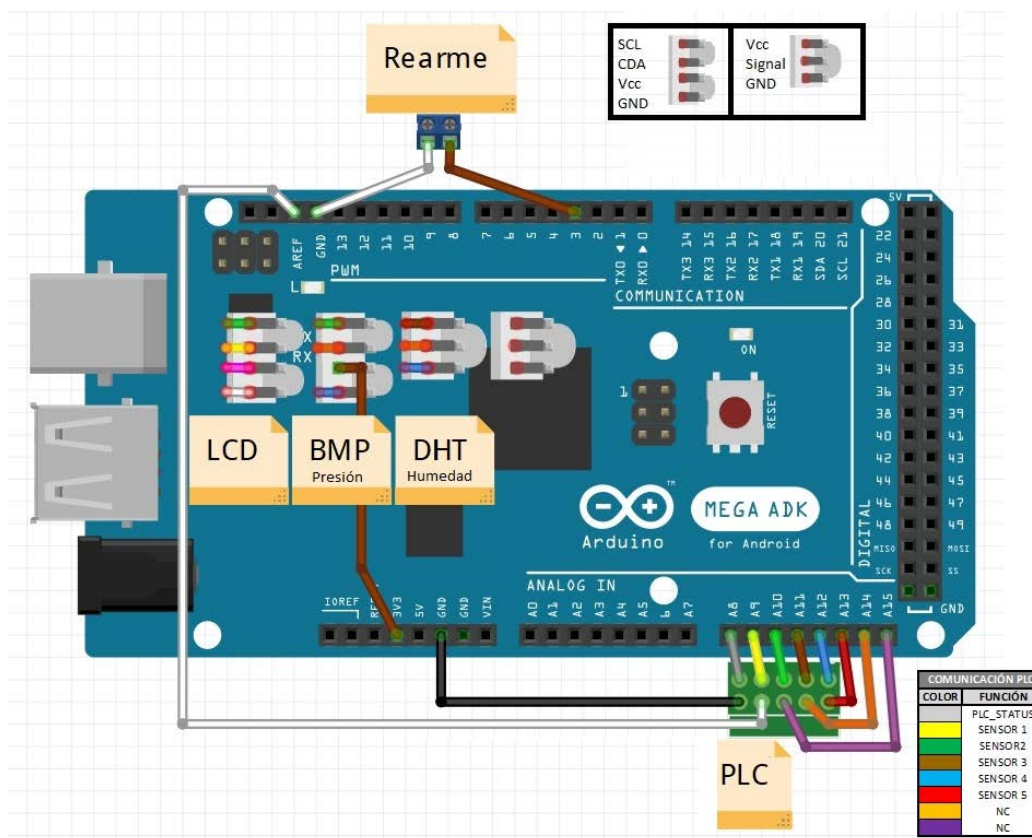


Ilustración 30. Diagrama de conexiones del módulo de notificación

Se pueden contemplar a simple vista, cómo se ha realizado el conexionado entre los diferentes elementos fijando como parte central la placa Arduino.

- Conexión con el PLC. Ésta se realiza a través de un cable multipolar. En el diagrama se observa el código de colores establecido y dónde se conectan los terminales. Como se ha comentado la comunicación se hace con señales 0-5V y es por ello que se han usado

- los pines de entrada analógicos desde el A8 hasta el A15. Los terminales restantes se encargan de igualar potenciales de referencia entre el Arduino y el PLC
- Conexión con los sensores y la pantalla LCD. Se realizan con conectores Molex presentes en el módulo Ethernet. Se ha elegido utilizar este tipo de conexión ya que simplifican el cableado y además asegura el buen contacto y facilita la conexión-desconexión. En la leyenda se puede observar el cableado del conector y el código de colores utilizado.
 - Pulsador de rearme. Se asigna al pin digital 3.

Este esquema ha sido impreso y adherido en la tapa de la caja de conexiones para en caso de desconexión accidental de algún elemento su reconexión sea más sencilla.

3.6.1.4. Implementación

El módulo de notificaciones ha sido instalado en el interior de una caja de proyectos del fabricante Schneider Electric modelo NSYTBS19168 (Ilustración 33). A su vez esta se ha implementado en el interior del armario de control del sistema de seguridad. Para asegurar la estanqueidad y evitar que tirones de cables desconecten las conexiones todos los cables de entrada y de salida de la caja se han instalado utilizando prensaestopas.



Ilustración 31. Caja utilizada para las conexiones del módulo de notificación

En cuanto a la pantalla LCD, ésta se ha instalado en el panel frontal del armario. Se ha realizado un embellecedor con PMMA para protegerla de golpes y arañazos por la parte exterior. En la parte interior del armario se ha diseñado e impreso en 3D una tapa para prevenir que cualquier material dañe o cortocircuite los circuitos electrónicos. Tanto el protector delantero como el trasero se pueden observar en la Ilustración 35.

Por otro lado, la colocación de los sensores meteorológicos se ha realizado en una caja a la cual se le han practicado unos orificios para mejorar la ventilación. Estos orificios han sido forrados por una malla plástica para evitar la entrada de insectos y de suciedad. El conjunto se ha colocado fuera del armario de control para que la lectura de temperatura no esté falseada por el calor emitido por el variador de frecuencia y el PLC. La caja utilizada se puede ver en la Ilustración 34.



Ilustración 32: Caja estación meteorológica

3.6.2. Interfaz de visualización

La interfaz con los usuarios del laboratorio se realiza a través del panel frontal del armario de control del sistema de seguridad. Se puede observar en la Ilustración 35.

En este aparecen pilotos luminosos, pulsadores, interruptores y una pantalla LCD los cuales hacen posible al usuario comprobar el estado del sistema de seguridad y poder determinar algún aspecto de su comportamiento.



Ilustración 33: Panel frontal de visualización (Parte delantera y trasera respectivamente)

A continuación, se pasa a describir los componentes que aparecen numerados en la ilustración:

1. Avisador luminoso modelo FlashGuard Xenón rojo del fabricante Klaxon. Permanece activado en el caso de activación de alguna alarma.
2. Plano de la distribución de sensores en las instalaciones. Los sensores aparecen numerados para facilitar la localización de la zona que ha activado la alarma
3. Identificadores de sensor. Estos pilotos luminosos se iluminan para identificar el origen de la alarma. Es decir, si los sensores 3 y 4 están captando concentraciones peligrosas de hidrocarburos las luces amarillas 3 y 4 se activarán. Se han instalado 7, aun cuando solo se han instalado 5 sensores, ya que se prevé una futura expansión del sistema.

4. Sistema OK. Este piloto verde permanece encendido cuando las concentraciones de hidrocarburos están en niveles normales. Actúa como un testigo de encendido y manifiesta el correcto funcionamiento del sistema aun cuando no se ha manifestado ninguna alarma.
5. Indicadores de nivel de alarma. Estos indicadores rojos indican un nivel de hidrocarburos elevado.
6. Interruptor sistema de ventilación. El sistema de ventilación se controla de forma automática, pero con este interruptor podemos de forma manual accionar el ventilador a máxima velocidad. Esto es útil en caso de iniciarse procedimientos de carga y descarga de refrigerante.
7. Pulsador de rearme. En caso de haberse producido una alarma y después haber vuelto a niveles de concentración aceptables el indicador del detector que dio la alarma parpadeará de forma indefinida a modo de recordatorio. Para poder quitar el recordatorio hace falta presionar el rearme. Destacar que tras presionar rearme se inicia un procedimiento de autodiagnóstico descrito en el apartado 3.5.2.1.
8. Pantalla LCD. En esta pantalla se muestra la información de diagnóstico del módulo de notificaciones.

Cada elemento está perfectamente etiquetado para evitar ambigüedades y respeta el código de colores siguiente: verde equivale a correcto funcionamiento, rojo alarma y amarillo notificaciones.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIÓN

El sistema de seguridad descrito en los apartados anteriores ha sido implementado y testado en el laboratorio del área térmica del IUIE y tras simulacros de alarma se han comprobado el correcto funcionamiento de cada una de las unidades que lo componen pudiendo afirmar que el desarrollo de dicho sistema ha sido un éxito. Aun así, lejos de dar el trabajo por finalizado, se prevé una mejora continua y expansión del sistema, el cual será posible gracias al desarrollo modular del sistema de control.

Por otro lado, también se ha considerado que el mero hecho de disponer un sistema de seguridad no es garantía de ausencia de peligro, y es por ello, que la formación del personal de laboratorio y la señalización de las zonas peligrosas se ha considerado vital. Por ende, todas las personas que tengan que desarrollar actividades de investigación dentro del laboratorio deberán conocer, además de las buenas practicas a la hora de manipular gases inflamables, la existencia del sistema de detección y entender su funcionamiento básico y procedimientos a seguir en caso de alarma. Para asegurar la correcta realización de los procedimientos de alarma se ha instalado en la entrada principal al laboratorio un cartel A2 en el cual se detallan los pasos principales a seguir en caso de emergencia (véase Anexo B).

Para concluir, se puede afirmar que el sistema de aviso instalado mejora el nivel de seguridad del laboratorio, haciendo a su vez más seguro el trabajo del personal de investigación y es por ello que la inversión realizada se considera del todo justificada.

CAPÍTULO 5. BIBLIOGRAFÍA

- UNE-EN 378-1. (2017). Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección.
- UNE-EN 378-2. (2017). Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte2: Diseño, fabricación, ensayos, marcado y documentación.
- UNE-EN 378-3. (2017). Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte3: Instalación in situ y protección de las personas.
- UNE-EN 378-4. (2017). Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte4: Operación, mantenimiento, reparación y recuperación.
- UNE-EN 60079-0. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 0: Equipo. Requisitos generales.
- UNE-EN 60079-10-1. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas gaseosas.
- UNE-EN 60079-11. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 11: Protección del equipo por seguridad intrínseca “i”.
- UNE-EN 60079-14. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 14: Diseño, elección y realización de las instalaciones eléctricas.
- UNE-EN 60079-15. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 15: Protección del equipo por modo de protección “n”.
- UNE-EN 60079-29-1. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 29-1: Detectores de gas. Requisitos de funcionamiento para los detectores de gases inflamables.
- UNE-EN 60079-29-2. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 29-2: Detectores de gas. Selección, instalación, uso y mantenimiento de los detectores de gases inflamables y de oxígeno.
- UNE-EN 60079-29-3. (2016). Atmósferas explosivas. Parte 29-2: Detectores de gas. Guía sobre seguridad funcional de sistemas fijos de detección de gas.
- UNE-EN 61508. (2011). Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relacionados con la seguridad.
- UNE-EN 60335-2-11. (2010). Aparatos electrodomésticos y análogos. Seguridad. Parte 2-11: Requisitos particulares para secadoras tipo tambor.
- UNE-EN 4544. (2016). Atmósferas en lugares de trabajo. Material eléctrico utilizado para la detección directa y la medición directa de la concentración de gases y vapores tóxicos.
- Molina, M. and Rowland, F. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature*, 249(5460), pp.810-812.
- Web del Instituto Ingeniería Energética - IIE. Disponible en: <http://ie.webs.upv.es/inicio>
- Web Arduino (2018). Disponible en: www.arduino.cc
- Web Omron (2018). Disponible en: www.omron.com
- Porras Criado, A. and Montanero Molina, A. (2003). Autómatas programables. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

ANEXO A

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL MÓDULO DE NOTIFICACIÓN REMOTA


```
#include <SPI.h> // needed in Arduino 0019 or later
#include <Ethernet2.h> //Ethernet library
#include <Twitter.h> //Twitter library
//include <OneWire.h> //One wire library for communicating with temperature
sensor
#include <Wire.h> //Wire library for communications
#include <DallasTemperature.h> //One wire temperature sensors library
#include <EthernetUdp2.h> // Library for sync time with internet via UDP
#include <TimeLib.h> //Time library for clock
#include <TimeAlarms.h> //Alarms library
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //Screen library
#include <SFE_BMP180.h> //Barometric pressure sensor library
#include <avr/wdt.h> //Watchdog for Reset
#include "DHT.h" // Relative humidity sensor library

// Data wire for temperature sensors is plugged into pin 2 on the Arduino
//#define ONE_WIRE_BUS 6

// Relative humidity sensor is connected to pin 3 on Arduino
#define DHTPIN 6
#define DHTTYPE DHT11 // RH sensor type definition

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
// (in this case Maxim/Dallas temperature ICs)
//OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Setup the relative humidity sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// Setup the atmospheric pressure sensor
SFE_BMP180 pressure;

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
//DallasTemperature tempSensors(&oneWire);

// Setup the lcd screen
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Ethernet client for sending emails
EthernetClient client;

// Your Token to Tweet (get it from http://arduino-tweet.appspot.com/)
Twitter twitter("4227270743-uPH8Snu43yKZUvojMy2P9gz3X0dyiTBGRV9XYFF");

//Parameters for NetworkTimeProtocol NTP
unsigned int localPort = 8888; // local port to listen for UDP packets
char timeServer[] = "time.nist.gov"; // time.nist.gov NTP server

//Initialise UDP protocol
EthernetUDP Udp;

//Variables definition
enum states {
  DESC_PLC, //Communication between PLC and Arduino failed
  DESC_SENS, //Comunication between PLC and any gas sensor failed
  ALARM1, //Alarm 1 triggered by PLC
  ALARM2, //Alarm 2 triggered by PLC
```

```
    ALARM3, //Alarm 3 triggered by PLC
    OK, //PLC in ok mode
    ERRVOLT //Voltage readed by arduino from PLC does not correspond with an
expected value
};

states newstate = OK;
states oldstate = OK;
boolean inProgress=0;
boolean fPrevAlarm=FALSE;
unsigned long t=0;

byte mac[] = { 0x90, 0xA2, 0xDA, 0x10, 0xDF, 0x54 }; // ethernet card mac
address

char server[] = "mail.smtp2go.com"; //mail server
int port = 2525; //port for mail sending

const int A_STATUS = 8; // Analog input pin for PLC status
const int A_GAS1 = 9; // Analog input pin for gas sensor1
const int A_GAS2 = 10; // Analog input pin for gas sensor2
const int A_GAS3 = 11; // Analog input pin for gas sensor3
const int A_GAS4 = 12; // Analog input pin for gas sensor4
const int A_GAS5 = 13; // Analog input pin for gas sensor5

int statusValue = 0; // variable to store the value of reading of PLC status
int gas1Value = 0; // variable to storte the reading of gas detector 1
int gas2Value = 0; // variable to storte the reading of gas detector 2
int gas3Value = 0; // variable to storte the reading of gas detector 3
int gas4Value = 0; // variable to storte the reading of gas detector 4
int gas5Value = 0; // variable to storte the reading of gas detector 5
int gas1Percentage = 0; // variable to store the reading of gas detector 1 in
percentage
int gas2Percentage = 0; // variable to store the reading of gas detector 1 in
percentage
int gas3Percentage = 0; // variable to store the reading of gas detector 1 in
percentage
int gas4Percentage = 0; // variable to store the reading of gas detector 1 in
percentage
int gas5Percentage = 0; // variable to store the reading of gas detector 1 in
percentage

const int THRESHOLD = 42; //Treshold for status reading (Equiv to 0.2V
aprox)

double ambientTemp; //Ambient temperature reading
float ambientTemp2; //Ambient temperature reading of DHT11
float ambientRH; //Ambient relative humidity reading
double ambientP; //Ambient pressure reading

void setup() {

    wdt_disable(); //Watchdog disable for avoiding continue resets
    Serial.begin(9600); // Setup serial
    Ethernet.begin(mac);
    Serial.println(Ethernet.localIP());
    Udp.begin(localPort);

    //syncr of time (in case the connection fails try again)
```



```
while(year()==1970){setTime(getNtpTime());}

analogReference(EXTERNAL);
pinMode(3,INPUT_PULLUP); //Pin for cleaning previous alarms

digitalClockDisplay();
//tempSensors.begin(); // Initialize temperature sensors
dht.begin(); // Initialize RH sensor
pressure.begin(); //Initialize pressure sensor
lcd.begin(); // initialize the LCD
lcd.backlight(); // Turn on the backlight
lcd.print(Ethernet.localIP()); // Print a message on LCD
Alarm.alarRepeat(7,0,0, statusMail); //Clock for sending status mail
everyday at 7:00
//Alarm.alarRepeat(9,0,0, statusTweet); //Clock for sending status Tweet
everyday at 9:00
Alarm.alarRepeat(11,0,0, statusTweet); //Clock for sending status Tweet
everyday at 11:00
Alarm.alarRepeat(17,30,0, statusTweet); //Clock for sending status Tweet
everyday at 17:30
Alarm.alarRepeat(23,30,0, statusTweet); //Clock for sending status Tweet
everyday at 23:30
Alarm.alarRepeat(6,30,0, timeSynchr); //Clock for diary time Synchronization
(Everyday at 6:30)
attachInterrupt(1,rearneAlarmas,RISING);

sendTwitt(String("El Arduino se acaba de iniciar\n\nAt " +
stringClockDisplay()));

delay (2000);
lcd.clear();
wdt_enable( WDTO_8S); //Watchdog configuration for 8s
}

void loop() {

wdt_reset(); //Watchdog Checks if the program is running OK. If loop
takes longer than 8s Arduino resets.

/*Read Signals from all sensors*/
//Read analog inputs
statusValue = analogRead(A_STATUS); //Read the value from PLC status
gas1Value = analogRead(A_GAS1); //Read the value from gas1 input from PLC
gas2Value = analogRead(A_GAS2); //Read the value from gas2 input from PLC
gas3Value = analogRead(A_GAS3); //Read the value from gas3 input from PLC
gas4Value = analogRead(A_GAS4); //Read the value from gas4 input from PLC
gas5Value = analogRead(A_GAS5); //Read the value from gas5 input from PLC

//Convert gas readings to percentage
gas1Percentage = converterGas(gas1Value);
gas2Percentage = converterGas(gas2Value);
gas3Percentage = converterGas(gas3Value);
gas4Percentage = converterGas(gas4Value);
gas5Percentage = converterGas(gas5Value);

//Request temperature reading from sensors
//tempSensors.requestTemperatures(); //Command to get temperatures from
sensors
```

```
//ambientTemp = tempSensors.getTempCByIndex(0); //Put sensor #1 reading to
ambientTemp variable

//Read ambient RH
ambientRH = dht.readHumidity();
ambientTemp2=dht.readTemperature();

//Pressure measurement procedure
char status;

status = pressure.startTemperature();
if (status != 0)
{
  // Wait for the measurement to complete:
  delay(status);

  status = pressure.getTemperature(ambientTemp);
  if (status != 0)
  {

    status = pressure.startPressure(3);
    if (status != 0)
    {
      // Wait for the measurement to complete:
      delay(status);

      status = pressure.getPressure(ambientP,ambientTemp);

    }
    else Serial.println("error starting pressure measurement\n");
  }
  else Serial.println("error retrieving temperature measurement\n");
}
else Serial.println("error starting temperature measurement\n");

/* Send mail/twitt if a change of state of the system happens */
//Select the state of gas alarm system
if (statusValue > (0 - THRESHOLD) && statusValue < (0 + THRESHOLD))
{
  newstate = DESC_PLC;
}
else if (statusValue > (205 - THRESHOLD) && statusValue < (205 +
THRESHOLD))
{
  newstate = DESC_SENS;
}
else if (statusValue > (410 - THRESHOLD) && statusValue < (410 +
THRESHOLD))
{
  newstate = ALARM1;
}
else if (statusValue > (512 - THRESHOLD) && statusValue < (512 +
THRESHOLD))
{
  newstate = ALARM2;
}
else if (statusValue > (614 - THRESHOLD) && statusValue < (614 +
THRESHOLD))
```

```
{
  newstate = ALARM3;
}
else if (statusValue > (1023 - THRESHOLD) && statusValue < (1023 +
THRESHOLD))
{
  newstate = OK;
}
else
{
  newstate = ERRVOLT;
}

//If state has changed, trigger the corresponding action
if (newstate != oldstate)
{
  switch (newstate)
  {
    case DESC_PLC:
      trigger_DESC_PLC();
      break;

    case DESC_SENS:
      trigger_DESC_SENS();
      break;

    case ALARM1:
      trigger_ALARM1(gas1Percentage, gas2Percentage, gas3Percentage,
gas4Percentage, gas5Percentage);
      break;

    case ALARM2:
      trigger_ALARM2(gas1Percentage, gas2Percentage, gas3Percentage,
gas4Percentage, gas5Percentage);
      break;

    case ALARM3:
      trigger_ALARM3(gas1Percentage, gas2Percentage, gas3Percentage,
gas4Percentage, gas5Percentage);
      break;

    case OK:
      trigger_OK(gas1Percentage, gas2Percentage, gas3Percentage,
gas4Percentage, gas5Percentage);
      break;

    case ERRVOLT:
      trigger_ERRVOLT(gas1Percentage, gas2Percentage, gas3Percentage,
gas4Percentage, gas5Percentage);
      break;
  }
  oldstate = newstate;
}

/* Print data on LCD and serial */
lcd.setCursor(10,0);
//prints if OK a changing simbol to check whether the Arduino is working or
not
```

```
if(newstate==OK){
  if(inProgress==0) {
    lcd.print("xx");
    lcd.print(StateToString(newstate));
    lcd.print("xx");
    inProgress=1;}
  else {
    lcd.print("++");
    lcd.print(StateToString(newstate));
    lcd.print("++");
    inProgress=0;}
}
else (lcd.print(StateToString(newstate)));
if(fPrevAlarm==FALSE){

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(stringHourDisplay());
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("T=");
  lcd.print(int (ambientTemp));
  lcd.print(" H=");
  lcd.print(int (ambientRH));
  lcd.print(" P=");
  lcd.print(int (ambientP));

}
```

```
digitalClockDisplay();
Serial.println();

Serial.print("status val: ");
Serial.print(statusValue);
Serial.print("-");
Serial.println(newstate);
Serial.print("gas1val: ");
Serial.print(gas1Value);
Serial.print("-");
Serial.println(gas1Percentage);
Serial.print("gas2val: ");
Serial.print(gas2Value);
Serial.print("-");
Serial.println(gas2Percentage);
Serial.print("gas3val: ");
Serial.print(gas3Value);
Serial.print("-");
Serial.println(gas3Percentage);
Serial.print("gas4val: ");
Serial.print(gas4Value);
Serial.print("-");
Serial.println(gas4Percentage);
Serial.print("gas5val: ");
Serial.print(gas5Value);
Serial.print("-");
Serial.println(gas5Percentage);

Serial.print("TempPressSensor: ");
Serial.print(ambientTemp);
Serial.print(" / TempHumSensor: ");
```

```
Serial.print(ambientTemp2);
Serial.print(". HumiditySensor ");
Serial.print(ambientRH);
Serial.print(". PressSensor ");
Serial.println(ambientP);

while(millis()-t<5000){Alarm.delay(0);}
}

//////////////////////////////////// Functions
////////////////////////////////////

//Function for sending status twitt, triggered by timer
void statusTweet()
{
  sendTwitt(String("Status is " + StateToString(newstate) + ".\nLevels:\nS1:
" + String(gas1Percentage) +
  "%.\n\tS2: " + String(gas2Percentage) + "%.\n\tS3: " +
String(gas3Percentage) + "%.\n\tS4: " + String(gas4Percentage) +
  "%.\n\tS5: " + String(gas5Percentage) + "%.\nLab T: " + String(ambientTemp)
+ "°C. P: " + String(ambientP) + "mb.\nAt " +
  stringClockDisplay()));
}

//Function for sending status mail, triggered by periodical alarm
void statusMail()
{
  sendEmail(String("Centralita de gases: Estado periodico."),String("El
estado del sistema es: '" + StateToString(newstate) +
  "'.\n\nLecturas de los sensores:\n\n\tCalorimetro 1: " +
String(gas1Percentage) + "%.\n\tCalorimetro 2: " +
  String(gas2Percentage) + "%.\n\tBancos de vida: " + String(gas3Percentage)
+ "%.\n\tCamara 1: " + String(gas4Percentage) +
  "%.\n\tCamara 2: " + String(gas5Percentage) + "%.\n\nLab T: " +
String(ambientTemp) + "C. P: " + String(ambientP) +
  "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\nA las " + stringClockDisplay()));
}

// Function for converting analog reading to percentage & filter zero error.
float converterGas(int analogReading)
{
  if (analogReading <= 40) //if for avoiding reading error introduced by PLC
at values near 0(acondicionamiento señal sensores)
  {
    return 0;
  }
  else
  {
    return (analogReading*100/1023);
  }
  // return (int)(analogReading*100/1023);
}

// Function for performing OK procedure
void trigger_OK(int p_gas1, int p_gas2, int p_gas3, int p_gas4, int p_gas5)
{
```

```
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("El
estado del sistema es: '" + StateToString(newstate) +
    "'.\n\nLecturas de los sensores:\n\n\tCalorimetro 1: " +
String(gas1Percentage) + "%.\n\tCalorimetro 2: " +
    String(gas2Percentage) + "%.\n\tBancos de vida: " + String(gas3Percentage)
+ "%.\n\tCamara 1: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\n\tCamara 2: " + String(gas5Percentage) + "%.\n\nLab T: " +
String(ambientTemp) + "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\nA las " + stringClockDisplay()));

    sendTwitt(String("Status CHANGED to " + StateToString(newstate) +
".\nLevels:\nS1: " + String(gas1Percentage) +
    "%.\n\tS2: " + String(gas2Percentage) + "%.\n\tS3: " +
String(gas3Percentage) + "%.\n\tS4: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\n\tS5: " + String(gas5Percentage) + "%.\nLab T: " + String(ambientTemp)
+ "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\nA las " + stringClockDisplay()));
}

// Function for performing voltage reading error procedure
void trigger_ERRVOLT(int p_gas1, int p_gas2, int p_gas3, int p_gas4, int
p_gas5)
{
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("El
estado del sistema es: '" + StateToString(newstate) +
    "'.\n\nLecturas de los sensores:\n\n\tCalorimetro 1: " +
String(gas1Percentage) + "%.\n\tCalorimetro 2: " +
    String(gas2Percentage) + "%.\n\tBancos de vida: " + String(gas3Percentage)
+ "%.\n\tCamara 1: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\n\tCamara 2: " + String(gas5Percentage) + "%.\n\nLab T: " +
String(ambientTemp) + "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\nA las " + stringClockDisplay()));

    sendTwitt(String("Status CHANGED to " + StateToString(newstate) +
".\nLevels:\nS1: " + String(gas1Percentage) +
    "%.\n\tS2: " + String(gas2Percentage) + "%.\n\tS3: " +
String(gas3Percentage) + "%.\n\tS4: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\n\tS5: " + String(gas5Percentage) + "%.\nLab T: " + String(ambientTemp)
+ "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\nA las " + stringClockDisplay()));
}

// Function for performing Alarm1 procedure
void trigger_ALARM1(int p_gas1, int p_gas2, int p_gas3, int p_gas4, int
p_gas5)
{
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("El
estado del sistema es: '" + StateToString(newstate) +
    "'.\n\nLecturas de los sensores:\n\n\tCalorimetro 1: " +
String(gas1Percentage) + "%.\n\tCalorimetro 2: " +
    String(gas2Percentage) + "%.\n\tBancos de vida: " + String(gas3Percentage)
+ "%.\n\tCamara 1: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\n\tCamara 2: " + String(gas5Percentage) + "%.\n\nLab T: " +
String(ambientTemp) + "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\nA las " + stringClockDisplay()));

    sendTwitt(String("Status CHANGED to " + StateToString(newstate) +
".\nLevels:\nS1: " + String(gas1Percentage) +
```

```
    "%.\\n\\tS2: " + String(gas2Percentage) + "%.\\n\\tS3: " +
String(gas3Percentage) + "%.\\n\\tS4: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\\n\\tS5: " + String(gas5Percentage) + "%.\\nLab T: " + String(ambientTemp)
+ "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\\nA las " + stringClockDisplay());

//show in the LCD the time&date of the last event
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("PrevAlarm");
lcd.setCursor(0,1);
lcdClockDisplay();
lcd.print("    ");
fPrevAlarm=TRUE;
}

// Function for performing Alarm2 procedure
void trigger_ALARM2(int p_gas1, int p_gas2, int p_gas3, int p_gas4, int
p_gas5)
{
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("El
estado del sistema es: '" + StateToString(newstate) +
    "'.\\n\\nLecturas de los sensores:\\n\\n\\tCalorimetro 1: " +
String(gas1Percentage) + "%.\\n\\tCalorimetro 2: " +
    String(gas2Percentage) + "%.\\n\\tBancos de vida: " + String(gas3Percentage)
+ "%.\\n\\tCamara 1: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\\n\\tCamara 2: " + String(gas5Percentage) + "%.\\n\\nLab T: " +
String(ambientTemp) + "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\\nA las " + stringClockDisplay());

    sendTwitt(String("Status CHANGED to " + StateToString(newstate) +
    ".\\nLevels:\\nS1: " + String(gas1Percentage) +
    "%.\\n\\tS2: " + String(gas2Percentage) + "%.\\n\\tS3: " +
String(gas3Percentage) + "%.\\n\\tS4: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\\n\\tS5: " + String(gas5Percentage) + "%.\\nLab T: " + String(ambientTemp)
+ "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\\nA las " + stringClockDisplay());
}

// Function for performing Alarm3 procedure
void trigger_ALARM3(int p_gas1, int p_gas2, int p_gas3, int p_gas4, int
p_gas5)
{
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("El
estado del sistema es: '" + StateToString(newstate) +
    "'.\\n\\nLecturas de los sensores:\\n\\n\\tCalorimetro 1: " +
String(gas1Percentage) + "%.\\n\\tCalorimetro 2: " +
    String(gas2Percentage) + "%.\\n\\tBancos de vida: " + String(gas3Percentage)
+ "%.\\n\\tCamara 1: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\\n\\tCamara 2: " + String(gas5Percentage) + "%.\\n\\nLab T: " +
String(ambientTemp) + "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\\nA las " + stringClockDisplay());

    sendTwitt(String("Status CHANGED to " + StateToString(newstate) +
    ".\\nLevels:\\nS1: " + String(gas1Percentage) +
    "%.\\n\\tS2: " + String(gas2Percentage) + "%.\\n\\tS3: " +
String(gas3Percentage) + "%.\\n\\tS4: " + String(gas4Percentage) +
    "%.\\n\\tS5: " + String(gas5Percentage) + "%.\\nLab T: " + String(ambientTemp)
+ "C. P: " + String(ambientP) +
    "mb. RH:" + String(ambientRH) + "%\\nA las " + stringClockDisplay());
}
```

```
}

// Function for performing the procedure in case of sensor disconnection
detected from PLC
void trigger_DESC_SENS()
{
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("Alguno
de los sensores de gases se ha desconectado del sistema.\n\nLa alarma 1 se
activara si la situacion persiste durante 3 minutos.\n\nA las " +
stringClockDisplay()));
    sendTwitt(String("Status CHANGED to SENSOR FAIL.\n\nAny of the sensors
disconnected.\n\nALARM 1 WILL BE ACTIVATED WITHIN 3 MINUTES.\n\nAt " +
stringClockDisplay()));
}

// Function for performing the procedure in case of communication lost
between PLC and Arduino
void trigger_DESC_PLC()
{
    sendEmail(String("Centralita de gases: Cambio de estado."),String("Arduino
ha perdido la comunicacion con el PLC.\n\nRevisar la conexion y el estado del
PLC.\n\nA las " + stringClockDisplay()));
    sendTwitt(String("Connection error between PLC and Arduino.\n\nCheck
connection and status of PLC.\n\nAt " + stringClockDisplay()));
}

//Function for posting a tweet with msg.
void sendTwitt(String p_msg)
{
    char msg[140];

    p_msg.toCharArray(msg,140);

    if (twitter.post(msg)) {
        int status = twitter.wait(&Serial);
        if (status == 200) {
            Serial.println("OK.");
        } else {
            Serial.print("failed : code ");
            Serial.println(status);
        }
    } else {
        Serial.println("connection failed.");
    }
}

// Function for sending emails, inputs: subject & body.
byte sendEmail(String p_subject, String p_body)
{
    byte thisByte = 0;
    byte respCode;

    if(client.connect(server,port) == 1) {
        Serial.println(F("connected"));
    } else {
        Serial.println(F("connection failed"));
        return 0;
    }
}
```



```
    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending hello"));
    client.println("EHLO 158.42.124.133");
    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending auth login"));
    client.println("auth login");
    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending User"));
    client.println("TGFilULJRQ==");

    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending Password"));
    client.println("TGFib3JhdG9yaW9JSUU=");

    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending From"));
    client.println("MAIL From: <termallabiie@gmail.com>");
    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending To"));
    client.println("RCPT To: <termallabiie@gmail.com>");
    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending DATA"));
    client.println("DATA");
    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending email"));

    client.println("To: LabManagement");

    client.println("From: CentralitaFugasIIE <termallabiie@gmail.com>");

    client.println(String("Subject: " + p_subject + "\r\n"));

    client.println(p_body);

    client.println(".");

    if(!eRcv()) return 0;

    Serial.println(F("Sending QUIT"));
    client.println("QUIT");
    if(!eRcv()) return 0;

    client.stop();

    Serial.println(F("disconnected"));

    return 1;
}

//Function for email sender
```

```
byte eRcv()
{
  byte respCode;
  byte thisByte;
  int loopCount = 0;

  while(!client.available()) {
    delay(1);
    loopCount++;

    // if nothing received for 10 seconds, timeout
    if(loopCount > 10000) {
      client.stop();
      Serial.println(F("\r\nTimeout"));
      return 0;
    }
  }

  respCode = client.peek();

  while(client.available())
  {
    thisByte = client.read();
    Serial.write(thisByte);
  }

  if(respCode >= '4')
  {
    efail();
    return 0;
  }

  return 1;
}

//Function for email sender
void efail()
{
  byte thisByte = 0;
  int loopCount = 0;

  client.println(F("QUIT"));

  while(!client.available()) {
    delay(1);
    loopCount++;

    // if nothing received for 10 seconds, timeout
    if(loopCount > 10000) {
      client.stop();
      Serial.println(F("\r\nTimeout"));
      return;
    }
  }

  while(client.available())
  {
    thisByte = client.read();
    Serial.write(thisByte);
  }
}
```

```
}

client.stop();

Serial.println(F("disconnected"));
}

//Functions for printing clock to serial
void digitalClockDisplay(){
  Serial.print(hour());
  printDigits(minute());
  Serial.print(" ");
  Serial.print(day());
  Serial.print(month());
  Serial.print(" ");
  Serial.print(year());
  Serial.println();
}
void printDigits(int digits){
  // utility for digital clock display: prints preceding colon and leading 0
  Serial.print(":");
  if(digits < 10)
    Serial.print('0');
  Serial.print(digits);
}

//Functions for printing clock to a String
String stringClockDisplay(){
  return String(
    String(hour()) +
    ":" +
    stringPrintDigits(minute()) +
    ":" +
    stringPrintDigits(second()) +
    " " +
    String(day()) +
    "/" +
    monthName(month()) +
    "/" +
    String(year())
  );
}

//Functions for printing hour to a String
String stringHourDisplay(){
  return String(
    String(hour()) +
    ":" +
    stringPrintDigits(minute()) +
    ":" +
    stringPrintDigits(second())
  );
}
String stringPrintDigits(int digits){
  if (digits == 0)
  {
    return String("00");
  }
  else if (digits<10)
```

```
{
  return String("0"+ String(digits));
}
else
{
  return String(digits);
}
}

//Functions for printing clock to lcd
void lcdClockDisplay(){
  lcd.print(hour());
  lcdPrintDigits(minute());
  lcd.print(" ");
  lcd.print(day());
  lcd.print(monthName(month()));
}
void lcdPrintDigits(int digits){
  // utility for digital clock display: prints preceding colon and leading 0
  lcd.print(":");
  if(digits < 10)
    lcd.print('0');
  lcd.print(digits);
}

//Function for resetting the prevAlarm in the display
void rearmedAlarms() {
  fPrevAlarm=FALSE;
}

//Periodic Function for resynchronize the time each week
void timeSyncr() {
  Serial.println("Sincronización Horaria");
  setTime(getNtpTime());
}

/*----- NTP code -----*/

const int NTP_PACKET_SIZE = 48; // NTP time is in the first 48 bytes of
message
byte packetBuffer[NTP_PACKET_SIZE]; //buffer to hold incoming & outgoing
packets

time_t getNtpTime()
{
  while (Udp.parsePacket() > 0) ; // discard any previously received packets
  Serial.println("Transmit NTP Request");
  sendNTPpacket(timeServer);
  uint32_t beginWait = millis();
  while (millis() - beginWait < 1500) {
    int size = Udp.parsePacket();
    if (size >= NTP_PACKET_SIZE) {
      Serial.println("Receive NTP Response");
      Udp.read(packetBuffer, NTP_PACKET_SIZE); // read packet into the
buffer
      unsigned long secsSince1900;
      // convert four bytes starting at location 40 to a long integer
      secsSince1900 = (unsigned long)packetBuffer[40] << 24;
      secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[41] << 16;
```

```
secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[42] << 8;
secsSince1900 |= (unsigned long)packetBuffer[43];
return secsSince1900 - 2208988800UL + adjustDstEurope();
}
}
Serial.println("No NTP Response :-(");
return 0; // return 0 if unable to get the time
}

// send an NTP request to the time server at the given address
void sendNTPpacket(char* address)
{
// set all bytes in the buffer to 0
memset(packetBuffer, 0, NTP_PACKET_SIZE);
// Initialize values needed to form NTP request
// (see URL above for details on the packets)
packetBuffer[0] = 0b11100011; // LI, Version, Mode
packetBuffer[1] = 0; // Stratum, or type of clock
packetBuffer[2] = 6; // Polling Interval
packetBuffer[3] = 0xEC; // Peer Clock Precision
// 8 bytes of zero for Root Delay & Root Dispersion
packetBuffer[12] = 49;
packetBuffer[13] = 0x4E;
packetBuffer[14] = 49;
packetBuffer[15] = 52;
// all NTP fields have been given values, now
// you can send a packet requesting a timestamp:
Udp.beginPacket(address, 123); //NTP requests are to port 123
Udp.write(packetBuffer, NTP_PACKET_SIZE);
Udp.endPacket();
}

//Function providing a string containing the state text from state list
component
String StateToString(states p_state)
{
switch(p_state)
{
case DESC_PLC:
return String("No_PLC");
break;
case DESC_SENS:
return String("NoSens");
break;
case ALARM1:
return String("Alarm1");
break;
case ALARM2:
return String("Alarm2");
break;
case ALARM3:
return String("Alarm3");
break;
case OK:
return String("OK");
break;
case ERRVOLT:
return String("NoVolt");
break;
}
```

```
    }  
}  
  
//Function providing a string containing month name from month number  
String monthName(int p_month)  
{  
    switch (p_month)  
    {  
        case 1:  
            return String("Ene");  
            break;  
        case 2:  
            return String("Feb");  
            break;  
        case 3:  
            return String("Mar");  
            break;  
        case 4:  
            return String("Abr");  
            break;  
        case 5:  
            return String("May");  
            break;  
        case 6:  
            return String("Jun");  
            break;  
        case 7:  
            return String("Jul");  
            break;  
        case 8:  
            return String("Ago");  
            break;  
        case 9:  
            return String("Sept");  
            break;  
        case 10:  
            return String("Oct");  
            break;  
        case 11:  
            return String("Nov");  
            break;  
        case 12:  
            return String("Dic");  
            break;  
    }  
}  
  
//Function to change summer/winter time  
int adjustDstEurope()  
{  
    // last sunday of march  
    int beginDSTDate= (31 - (5* year() /4 + 4) % 7);  
    //Serial.println(beginDSTDate);  
    int beginDSTMonth=3;  
    //last sunday of october  
    int endDSTDate= (31 - (5 * year() /4 + 1) % 7);  
    //Serial.println(endDSTDate);  
    int endDSTMonth=10;  
    // DST is valid as:
```

```
if ((month() > beginDSTMonth) && (month() < endDSTMonth))
    || ((month() == beginDSTMonth) && (day() >= beginDSTDate))
    || ((month() == endDSTMonth) && (day() <= endDSTDate))
return 7200; // DST europe = utc +2 hour
else return 3600; // nonDST europe = utc +1 hour
}
```


ANEXO B

**CARTEL INFORMATIVO DEL SISTEMA DE
SEGURIDAD Y LOS PROCEDIMIENTOS A
SEGUIR EN CASO DE EMERGÉNCIA.**

INSTITUTO DE INGENIERÍA ENERGÉTICA
LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN DEL ÁREA TÉRMICA

Guía rápida de actuación en caso de alarma por fuga de hidrocarburos

1. LABORATORIO DE REFRIGERACIÓN

El laboratorio opera con refrigerantes inflamables, por tanto, el acceso al laboratorio está restringido exclusivamente al personal autorizado.

El personal autorizado para acceder al laboratorio son todas aquellas personas que cuentan con los conocimientos prácticos para manipular las instalaciones del laboratorio, y actuar en caso de alarma.

En este grupo se encuentran: Profesores responsables del grupo y personal técnico del laboratorio, que previamente han sido formados para actuar en caso de emergencia.

Por lo tanto, toda persona ajena al laboratorio tiene prohibido el acceso por cuestiones de seguridad, especialmente en caso de alarma.

2. Alarmas por fuga de refrigerantes inflamables

El laboratorio cuenta con un sistema de detección de fugas de gases inflamables programado para actuar de forma automática bajo tres niveles de alarma



Es importante saber que los gases usados NO cuentan con un fluido odorizante, con lo cual puede haber riesgo de explosión sin que la fuga de gas refrigerante sea perceptible para los usuarios.

Niveles de alarma:

Nivel 1 ($25 < LIE < 45\%$, baja concentración de gas): Activación de alarma visual (piloto amarillo y rojo del panel frontal) y ventilador de extracción.

Nivel 2 ($45 < LIE < 70\%$, alta concentración de gas): Activación de alarma visual (piloto amarillo y rojo del panel frontal) y desconexión de las instalaciones cercanas al punto de detección de fuga.

Nivel 3 ($LIE > 70\%$, muy alta concentración de gas): Activación de alarma acústica y visual (piloto amarillo, piloto rojo del panel frontal y prioritario rojo principal), con desconexión de todos los equipos eléctricos del laboratorio exceptuando el alumbrado.

3. Protocolo de alarma:

En cualquier caso:

- Evitar trabajos de soldadura cerca de la instalación
- Evitar enchufar cualquier componente eléctrico cerca de la instalación
- Tener en cuenta que el sistema de depuración de gases evacua de forma automática y a distintas velocidades el gas que pueda fugarse de las instalaciones. Y es preferible salir del laboratorio y esperar que el sistema evacue el gas fugado.

Nivel 1

- Revisar el correcto cierre de botellas, manguitos y accesorios cerca del sensor que indica la alarma.
- Resetear alarma.
- Avisar al responsable de la instalación y/o al responsable del laboratorio.

Nivel 2

- Cerrar válvulas y aislar el sistema que ha provocado la alarma.
- Desconexión de las instalaciones cercanas al punto de detección de fuga.
- Evacuación del laboratorio.
- Avisar al responsable de la instalación y/o responsable del laboratorio.

Nivel 3

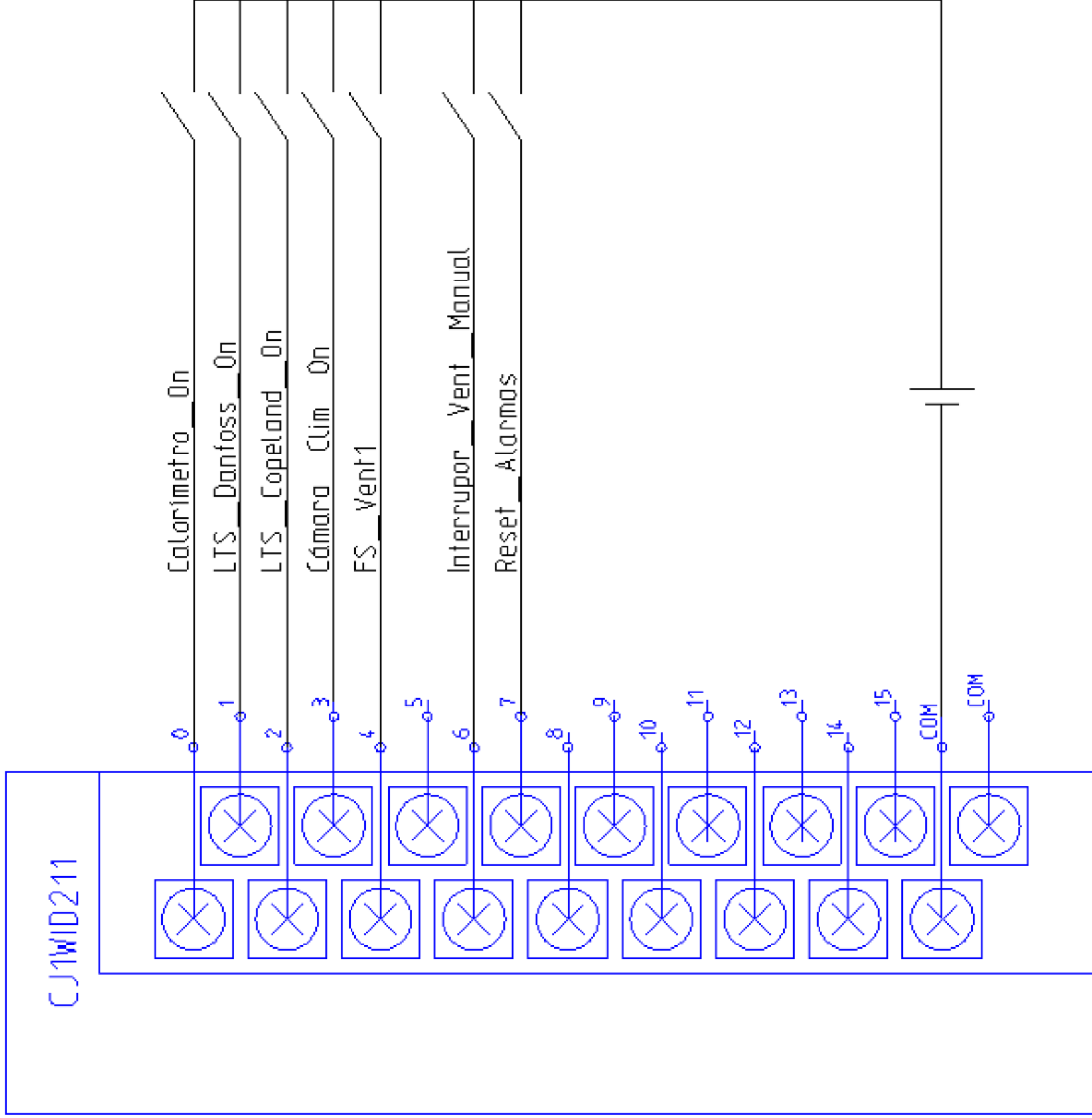
- Evacuación inmediata del laboratorio.
- Prohibición de acceso general al laboratorio.
- Avisar al responsable del laboratorio y/o responsable del área.

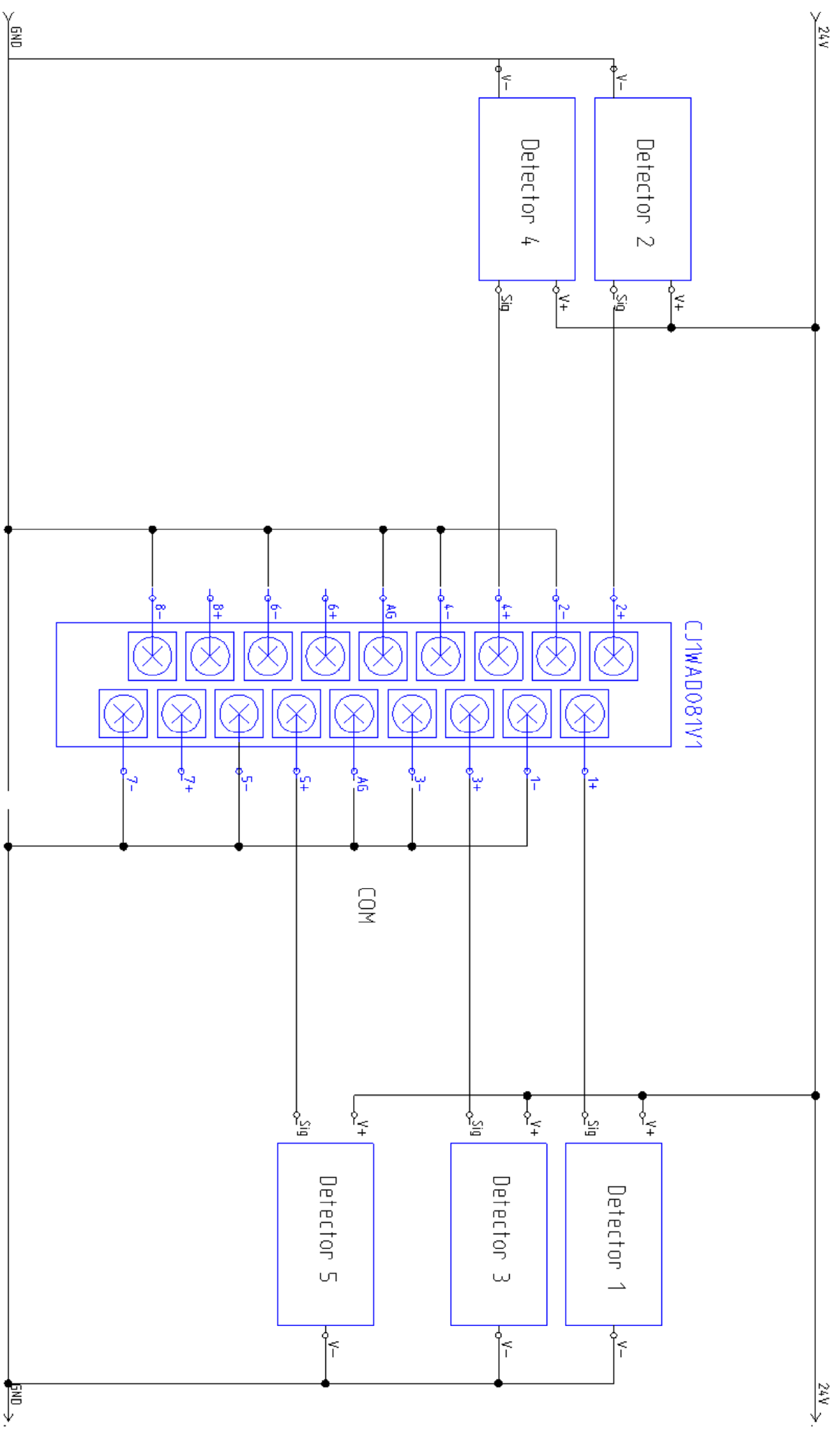
Teléfonos de contacto en caso de alarma:

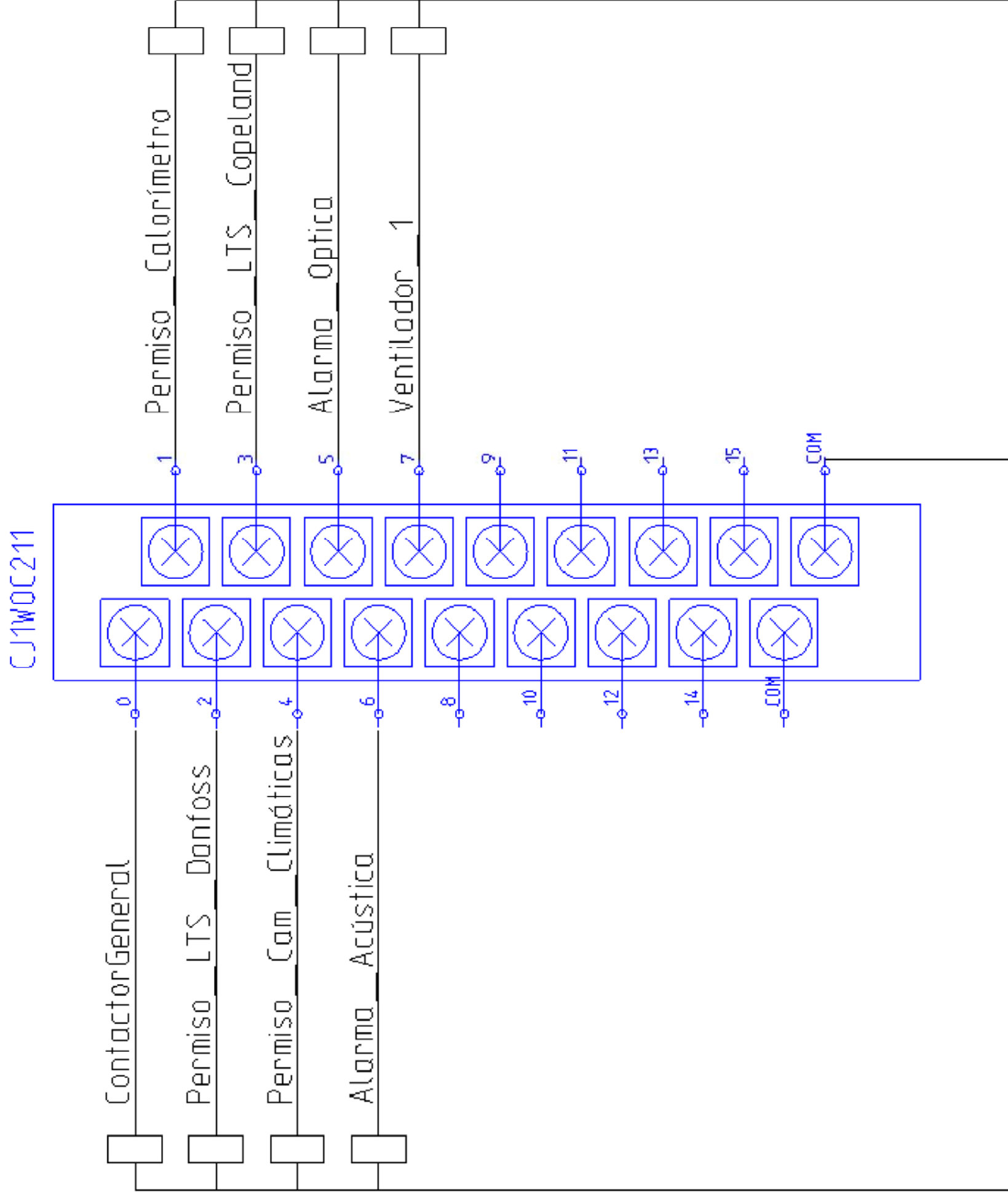
- Responsables del laboratorio
 - Alejandro López: 661 703 869
 - Francisco Barceló: 651 923 602
 - Emilio Navarro: 677 822 930
- Director del área térmica
 - José González: 318 542 007
- Director del Instituto:
 - José Miguel Corberán: 696 483 417

DOCUMENTO 2

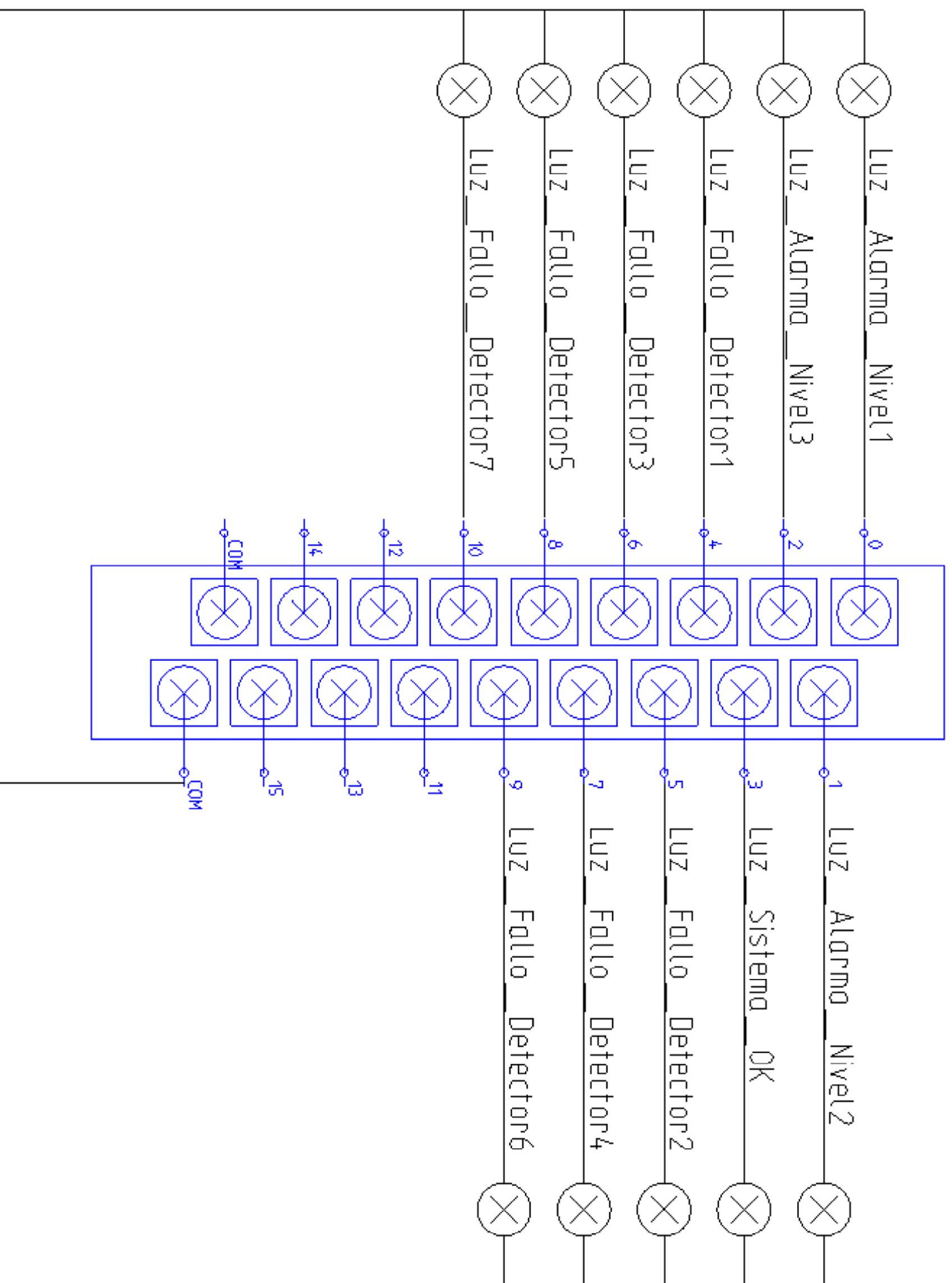
Planos

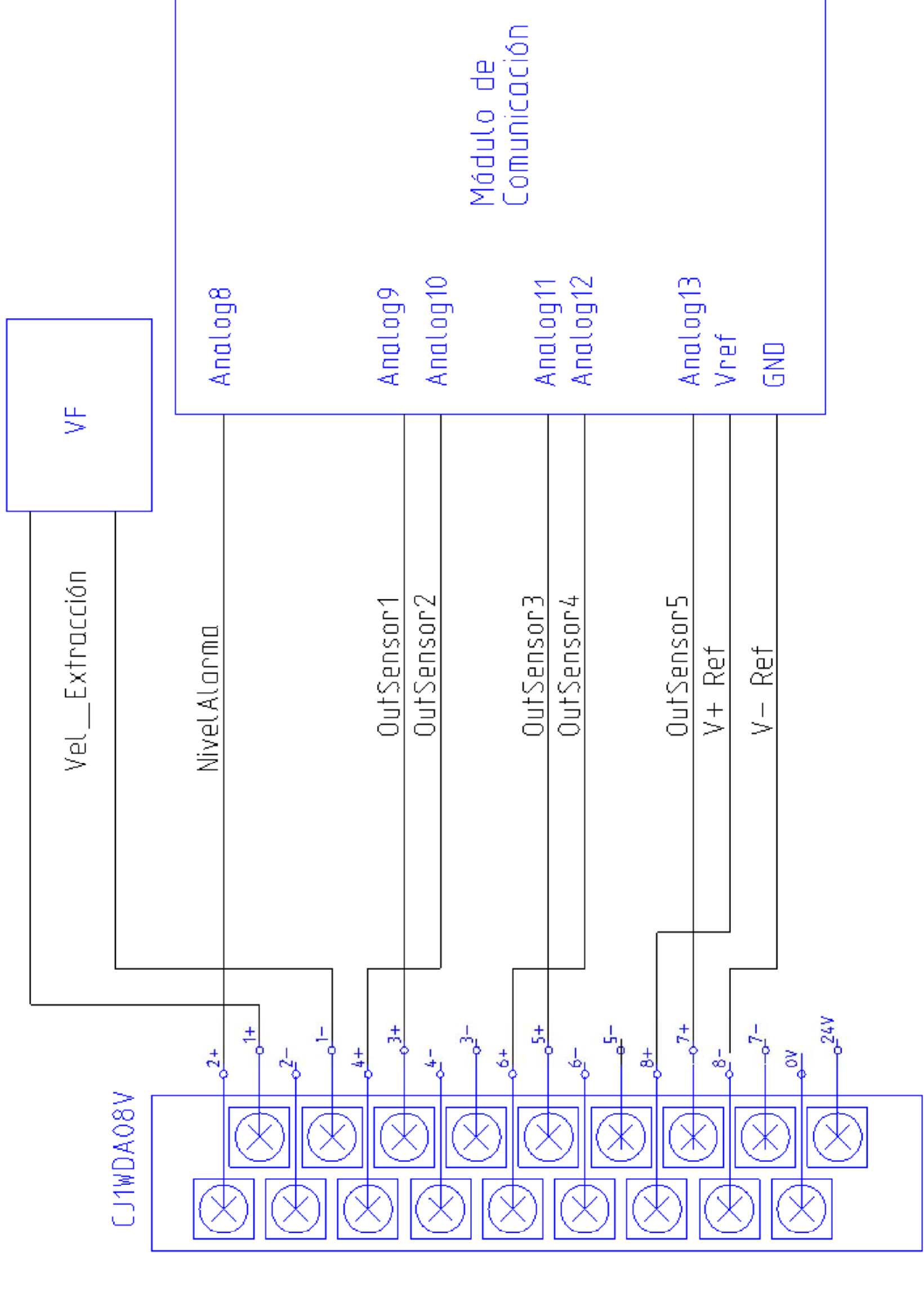






2-CJ1W0C211





DOCUMENTO 3

Presupuesto

INDICE DEL PRESUPUESTO

1.	Introducción	2
2.	Cuadro de costes descompuestos.....	2
2.1	Instalación de los sensores.....	2
2.2	Sistema de control.....	3
2.3	Sistema de ventilación	3
2.4	Armario de control	4
2.5	Módulo de notificación remota	5
2.6	Resumen.....	5
3.	PRESUPUESTO BASE	6

1. INTRODUCCIÓN

El documento que se presenta a continuación, trata de presupuestar las instalaciones construidas para la realización de los diferentes bloques del sistema de seguridad objeto del presente proyecto.

Se ha preferido agrupar los costes dentro de unidades de obra diferenciadas para poder analizar con más facilidad los costes de cada bloque constructivo. Con ello tendremos presupuesto de la instalación de sensores, el módulo de control, el sistema de ventilación, el armario de control con la señalización y por último el módulo de notificaciones remota.

Dentro de cada unidad de obra se ha contado con una fracción destinada a costes indirectos. Este concepto supondrá un 5% del sumatorio de los importes que componen la unidad de obra y englobarán aquellos costes de difícil cuantificación en concepto de mano de obra, materiales, amortizaciones de la maquinaria, etc.

2. CUADRO DE COSTES DESCOMPUESTOS

A continuación, se presentan los cuadros de precios descompuestos de los trabajos y materiales empleados para la realización del sistema de seguridad ante fugas de gases inflamables objeto del presente proyecto.

Los precios que aparecen se expresan en euros y son los proporcionados por los proveedores.

2.1 Instalación de los sensores

En este subcapítulo se presentan los costes correspondientes a la adquisición, colocación, cableado y calibración de los detectores de propano en el laboratorio.

Orden	Ud.	Descripción	Medición	Precio Unitario	Total
1		Sensórica			
1.1	Uds.	Detector Honeywell SENSEPOINT XCD. IR	5	999.00 €	4,995.00 €
1.2	Uds.	IR Elemento sensor SENSEPOINT XCD	5	500.00 €	2,500.00 €
1.3	Uds.	Accesorios de montaje	5	22.00 €	110.00 €
1.4	Uds.	Bobina de cable 100mts	1	15.51 €	15.51 €
1.5	h	Técnico instalador	6	13.00 €	78.00 €
1.6	-	Gastos indirectos	0.05	7,698.51 €	384.93 €
				Total	8,083.44 €

2.2 Sistema de control

En este subcapítulo se presentan los costes correspondientes a la adquisición, y programación del sistema de control formado por los módulos del PLC.

Orden	Ud.	Descripción	Medición	Precio Unitario	Total
2		Control			
2.1	Uds.	F.Alimentación 2.8A	1	130.00 €	130.00 €
2.2	Uds.	CPU 5Kpasos 160 E/S	1	288.00 €	288.00 €
2.3	Uds.	Modulo 16 Entradas digitales 24Vcc	1	145.00 €	145.00 €
2.4	Uds.	Modulo 8 Entradas Analógicas	1	620.00 €	620.00 €
2.5	Uds.	Modulo 16 Salidas Relé	2	200.00 €	400.00 €
2.6	Uds.	Modulo 8 Salidas Analógicas de Tensión	1	815.00 €	815.00 €
2.7	Uds.	Licencia CX-One	1	1,660.00 €	1,660.00 €
2.8	h	Ingeniero de automatica y control	10	40.00 €	400.00 €
2.9	-	Gastos indirectos	0.05	4,458.00 €	222.90 €
				Total	4,680.90 €

2.3 Sistema de ventilación

En este subcapítulo se presentan los costes correspondientes a la adquisición e instalación del ventilador, los conductos de extracción y los puntos de succión. La instalación se ha subcontratado y es por eso que el coste de los materiales y la mano de obra se ha agrupado en un mismo concepto.

Orden	Ud.	Descripción	Medición	Precio Unitario	Total
3		Ventilación			
3.1	Uds.	Ventilador extractor antideflagrante, flujo axial S&P HCFT	1	780.00 €	780.00 €
3.2	Uds.	Convertidor Frecuencia Siemens MicroMaster 420	1	720.00 €	720.00 €
3.3	Uds.	Conductos de extracción incluyendo mano de obra, material y transporte	1	1,500.00 €	1,500.00 €
3.4	-	Gastos indirectos	0.05	3,000.00 €	150.00 €
				Total	3,150.00 €

2.4 Armario de control

En este subcapítulo se presentan los costes correspondientes a la adquisición de materiales y posterior instalación y montaje de todo lo concerniente al armario de control tanto su interior como su panel frontal.

Orden	Ud.	Descripción	Medición	Precio Unitario	Total
4		Armario de control			
4.1	Uds.	Caja con puerta de acero Himel IP66 1000x800x200mm	1	199.20 €	199.20 €
4.2	Uds.	Placa de montaje en Panel para caja de 1000x600mm	1	85.40 €	85.40 €
4.3	Uds.	Contactador Schneider 16A	1	41.20 €	41.20 €
4.4	m	Carril DIN Perfil en U		8.24 €	- €
4.5	Uds.	Zócalo relés 2 contactos Carril DIN	4	3.41 €	13.64 €
4.6	Uds.	Relé Finder 2 contactos	4	5.88 €	23.52 €
4.7	Uds.	Bornes para carril DIN	20	0.75 €	14.96 €
4.8	m	Canaleta ranurada abierta PVC	3	5.87 €	17.61 €
4.9	Uds.	Interruptor selector ZB4-B	1	14.12 €	14.12 €
4.10	Uds.	Botón negro enrasado	1	4.44 €	4.44 €
4.11	Uds.	Luz indicadora Rojo	3	3.60 €	10.80 €
4.12	Uds.	Luz indicadora Verde	1	3.60 €	3.60 €
4.13	Uds.	Luz indicadora Amarilla	7	3.60 €	25.20 €
4.14	Uds.	Avisador Xenón rojo intermitente	3	30.00 €	90.00 €
4.15	h	Oficial 1ª Electricidad	8	25.00 €	200.00 €
4.16	h	Ayudante Electricidad	8	19.00 €	152.00 €
4.17	-	Gastos indirectos	0.05	895.69 €	44.78 €
				Total	940.47 €

2.5 Módulo de notificación remota

En este subcapítulo se descomponen los costes correspondientes al módulo de notificación opcional y a la estación meteorológica. Incluye también la programación y cableado de la placa controladora.

Orden	Ud.	Descripción	Medición	Precio Unitario	Total
5		Módulo de notificación remota			
5.1	Uds.	Arduino Mega	1	43.51 €	43.51 €
5.2	Uds.	Ethernet Shield	1	19.98 €	19.98 €
5.3	Uds.	Caja de conexiones	1	18.07 €	18.07 €
5.4	Uds.	Sensor Humedad DHT11	1	3.00 €	3.00 €
5.5	Uds.	Sensor Presión BMP180	1	5.00 €	5.00 €
5.6	Uds.	Pantalla LCD 16x2	1	9.00 €	9.00 €
5.7	Uds.	Prensaestopas 9mm	10	2.50 €	25.00 €
5.8	Uds.	Caja electricidad	1	7.50 €	7.50 €
5.9	Uds.	Enchufe para carril DIN	1	12.40 €	12.40 €
5.10	h	Ingeniero Electrónico-Automático	12	40.00 €	480.00 €
5.11	-	Gastos indirectos	0.05	1,608.72 €	80.44 €
				Total	703.90 €

2.6 Resumen

A continuación, a modo de resumen, se unifican las diferentes unidades de obra y se indica el total correspondiente a la suma de las mismas.

Capítulo	Descripción	Total
1	Sensórica	8,083.44 €
2	Control	4,680.90 €
3	Ventilación	3,150.00 €
4	Armario de control	940.47 €
5	Módulo de notificación remota	703.90 €
	Total	17,558.71 €

3. PRESUPUESTO BASE

A continuación se detalla el presupuesto total incluyendo el IVA (21%).

Descripción	Importe
Presupuesto de ejecución	17,558.71 €
IVA (21%)	3,687.33 €
Presupuesto total del proyecto	21,246 €

Por tanto, el coste total del diseño, instalación y puesta a punto del sistema de seguridad descrito en este trabajo asciende a VENTIÚN MIL DOSCIENTOS CUARENTA Y SEIS EUROS.