

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



- PROYECTO FIN DE CARRERA -

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE
SUSTANCIAS PELIGROSAS**

Almudena de Paz Menéndez

Junio 2015

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS

AUTORA: Almudena de Paz Menéndez

TUTOR: Daniel Tapias Merino

PONENTE: Daniel Ramos Castro



Área de Tratamiento de Voz y Señales
Dpto. de Tecnología Electrónica y de las Comunicaciones
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Junio 2015

Resumen

En este Proyecto se estudia, diseña y evalúa un sistema de detección de sustancias peligrosas de bajo coste y con comunicación inalámbrica. Su desarrollo se ha basado en la plataforma de *hardware* libre Arduino, junto con recursos *software* de código abierto, lo que favorece la reducción de los costes.

Inicialmente, se estudian las sustancias de riesgo que se pueden encontrar en entornos tanto laborales como domésticos, los sensores y detectores actualmente disponibles en el mercado, y las posibilidades *hardware* ofrecidas por Arduino, para poder tomar una decisión adecuada a los objetivos de este trabajo.

Para el desarrollo del Proyecto, se han implementado tres subsistemas de detección independientes con el objetivo de medir tres parámetros diferentes y activar, en cada caso, la alarma correspondiente ante una situación de riesgo. También se crea una comunicación inalámbrica, a través de la cual una estación de control recibirá los datos medidos. Posteriormente, dichos subsistemas se han adaptado a un diseño conjunto, manteniendo la independencia de sus partes para la posible adaptación del detector a distintos parámetros de medida o para trabajar en otros entornos de operación sustituyendo los subsistemas.

En la parte experimental, en primer lugar se ha comprobado el funcionamiento de los subsistemas individuales por separado, incluyendo el envío de un único dato de forma inalámbrica. Una vez ajustados dichos subsistemas específicamente, el diseño del detector conjunto ha pasado a ser evaluado, centrandó el análisis en los tiempos requeridos para asegurar una comunicación inalámbrica correcta durante el envío de los tres parámetros.

El Proyecto culmina con el diseño e implementación de una interfaz de representación en tiempo real para la estación de control, donde los datos recibidos serán mostrados al usuario.

Palabras Clave

Sustancia peligrosa; sistema de medida; sensor; gas; sensor de CO₂; sensor de O₂; sensor de temperatura; Límites de Exposición Profesional (LEP); calibración de sensores; Arduino; XBee; ZigBee; X-CTU; MATLAB.

Abstract

In this Project, a low cost hazardous substances detection system with a wireless communication is studied and evaluated. Its development has been based on Arduino Open Hardware Platform, along with resources and Open Source Software, which helps reduce costs.

Initially, hazardous substances that can be found in both industrial and domestic environments, sensors and detectors currently available on the market as well as the hardware possibilities offered by Arduino are studied in order to make an appropriate decision to this project goals.

To Development of the Project, three independent detection subsystems have been implemented in order to measure three different parameters and, in each case, activate the corresponding alarm in a situation of risk. A wireless communication is also established, through which a control station receives the measured data. Subsequently, these subsystems have been adapted to a combined design maintaining the independence of its parts for the possible adaptation of the detector to measure different parameters or work in other operating environments replacing subsystems.

In the experimental part, the performance of individual subsystems has been first tested separately, including sending an item of data wirelessly. After setting these subsystems specifically, the design of the combined detector has been evaluated, focusing the analysis on the time required to ensure correct wireless communication to send the three parameters.

The project concludes with the design and implementation of a display interface in real time for the control station, where the received data will be displayed to the user.

Keywords

Dangerous substance; measurement system; sensor; gas; CO₂ sensor; O₂ sensor; temperature sensor; Occupational Exposure Limits (OEL); sensor calibration; Arduino; XBee; ZigBee; X-CTU; MATLAB.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero darle las gracias a Daniel Tapias, mi tutor de Proyecto, por darme la oportunidad de realizarlo en Sigma Technologies. Quisiera destacar tu optimismo e ilusión en todo lo que haces, que me han servido y servirán de motivación para esta y otras metas que me proponga. GRACIAS por tus consejos y dedicación, ha sido un placer compartir esta etapa contigo.

A mis padres, Simón y Conchi, por estar ahí siempre y demostrarme su confianza. A mi hermana Ana, con quien he podido compartir (y ha sabido aguantar) cada agobio, intentando hacerme sentir mejor. A mi hermano Carlos, que me apodó "Circuitos" al comienzo de la carrera y que este Proyecto parece haberle dado la razón. Celebrar con vosotros las alegrías de estos años las han hecho mucho más especiales. Os quiero mucho.

A mis compañeros de carrera, con quienes he pasada grandes momentos dentro y fuera de la Escuela. Mención especial para Carolina, a quien conocí el primer día y quien ha estado conmigo desde entonces. También a Javivi, a quien admiro y es alguien fundamental en mi vida. Sin tu ayuda incondicional no habría podido llegar hasta aquí. Y gracias Álvaro, Bruno, Eslava y Gustavo, por conseguir que sacara lo mejor de mí en las prácticas y la carrera.

No puedo olvidarme de mi gente de voleibol. En particular, gracias Laura, Fátima, Raquel y Belén, por vuestro apoyo y confianza, y por todos los buenos momentos que hemos compartido. David, Gema, Esther y Loles, muchas gracias a todos por vuestros ánimos, sobre todo en la recta final donde más los he necesitado.

Me queda agradecer al Banco Santander la concesión de la “Beca de Prácticas Santander CRUE-CEPYME”, que ha permitido mi acercamiento al ámbito profesional y ha supuesto una ayuda añadida a mi formación.



Quisiera también dar las gracias al Biometric Recognition Group - ATVS por ofertar este Proyecto Final de Carrera desde su grupo, y tener así la posibilidad de realizarlo.



Finalmente, tengo que agradecer a Sigma Technologies la oportunidad de poder hacer este Proyecto, destacando el buen recibimiento que todos sus miembros me han dado haciéndome sentir una más.



Índice General

<i>Resumen</i>	V
<i>Abstract</i>	VII
<i>Agradecimientos</i>	IX
<i>Índice de figuras</i>	XVII
<i>Índice de tablas</i>	XVII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Metodología y plan de trabajo	2
1.4 Organización de la memoria.....	3
2 ESTADO DEL ARTE	5
2.1 INTRODUCCIÓN.....	5
2.2 SUSTANCIAS PELIGROSAS.....	5
2.2.1 Clasificación de mercancías peligrosas.....	5
2.3 SISTEMAS DE MEDIDA.....	8
2.3.1 Funciones de un sistema de medida	9
2.3.2 Tipos de sistemas de medida	9
2.3.3 Control de Procesos	10
2.3.4 Sistema Electrónico De Medida	11
2.3.4.1 Características de un sistema electrónico de medida	11
2.3.4.2 Topologías de los sistemas electrónicos de medida.....	11
2.3.5 Caracterización de Sensores	12
2.3.5.1 Clasificación de Sensores	13
2.3.6 Sistemas de Sensores Comerciales	15
2.3.6.1 Variedades de detectores de gas comerciales	16
2.3.7 Sensores aplicables al sistema.....	17
2.3.7.1 Narices Electrónicas.....	21
2.4 LA PLATAFORMA ARDUINO	23
2.4.1 <i>Hardware</i>	24
2.4.1.1 Placas E/S.....	24
2.4.1.2 Módulos	27
2.4.1.3 Accesorios.....	28
2.4.2 <i>Software</i>	29

2.4.2.1	Arduino IDE (Integrated Development Environment)	29
3	DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN	31
3.1	INTRODUCCIÓN.....	31
3.2	CONSIDERACIONES PREVIAS	31
3.2.1	Sobre Gases Peligrosos	31
3.2.1.1	Propiedades de Gases	31
3.2.1.2	Peligros de Gases	32
3.2.1.3	Riesgos de Gases por Sector Industrial	33
3.2.1.4	Gases Peligrosos de Fácil Acceso u Obtención.....	35
3.2.1.5	Límites de Exposición Profesional (LEP).....	36
3.2.2	Sobre Sensores.....	39
3.2.2.1	Nomenclatura de Sensores de Gas.....	39
3.2.2.2	Ubicación de Sensores	39
3.2.3	Elección de parámetros a detectar	40
3.3	Comunicación Inalámbrica	40
3.3.1	Introducción a XBee	40
3.3.1.1	Protocolo ZigBee.....	41
3.3.1.2	Arquitectura de una Red XBee	42
3.3.2	Nuestra Red XBee.....	42
3.3.2.1	Elección de Modelo XBee.....	42
3.3.2.2	Configuración Módulos XBee	43
3.4	SISTEMAS DE DETECCIÓN INDIVIDUALES.....	44
3.4.1	Sistema de Detección de Temperatura	44
3.4.1.1	Componentes	44
3.4.1.2	Esquema De Conexiones Del Circuito	47
3.4.1.3	Descripción de Funcionamiento	48
3.4.2	Sistema de Detección de Dióxido de Carbono.....	48
3.4.2.1	Componentes	48
3.4.2.2	Esquema de Conexiones	51
3.4.2.3	Calibración del Sensor MG811	52
3.4.2.4	Descripción del funcionamiento.....	55
3.4.3	Sistema de detección de Oxígeno	56
3.4.3.1	Componentes	56
3.4.3.2	Esquema De Conexiones Del Circuito	60
3.4.3.3	Descripción de Funcionamiento	60
3.5	Sistema de Detección Multisensor	60

3.5.1	Equipamiento	60
3.5.2	Descripción de Funcionamiento	65
3.5.3	Montaje	66
3.5.3.1	Descripción y esquema de conexiones	66
3.5.3.2	Diseño de la Caja Negra	67
3.5.3.3	Conexión de Módulos XBee	68
3.5.3.4	Elección del Entorno de Análisis	69
3.5.3.5	Montaje Final.....	70
4	EXPERIMENTOS Y RESULTADOS.....	73
4.1	Experimentos de los subsistemas de detección	73
4.1.1	Detección de temperatura	73
4.1.2	Detección de dióxido de carbono	74
4.1.3	Detección de oxígeno	76
4.2	Experimentos del Sistema Multisensor.....	78
4.2.1	Experimento 1: Una única vela	78
4.2.2	Experimento 2: Dos velas	79
5	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	83
5.1	Conclusiones	83
5.2	Trabajo futuro.....	84
	REFERENCIAS.....	85
	ACRÓNIMOS.....	87
	Anexo A DEFINICIONES Y DESCRIPCIONES	89
	Anexo B CONFIGURACIÓN DE MÓDULOS XBEE	103
	Anexo C MANUAL DE USO DE ARDUINO	113
	C.1 Características <i>Hardware</i> de Arduino	113
	C.2 Descripción del entorno de desarrollo	114
	C.3 Creación y carga de un programa en Arduino IDE	116
	Anexo D MANUAL PARA LA REPRESENTACIÓN DE DATOS.....	121
	Anexo E MANUAL DEL PROGRAMADOR.....	123
	E.1 Código Arduino.....	123
	E.2 Código MATLAB	127
	ANEXO F PRESUPUESTO.....	131
	ANEXO G PLIEGO DE CONDICIONES	133

Índice de figuras

ILUSTRACIÓN 1: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE MEDIDA.....	9
ILUSTRACIÓN 2: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE MEDIDA EN LAZO ABIERTO.....	9
ILUSTRACIÓN 3: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE MEDIDA EN LAZO CERRADO	10
ILUSTRACIÓN 4: DIAGRAMA DE BLOQUES PARA CONTROL DE PROCESOS	10
ILUSTRACIÓN 5: TOPOLOGÍA EN ESTRELLA DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA.....	11
ILUSTRACIÓN 6: TOPOLOGÍA EN BUS DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA.....	12
ILUSTRACIÓN 7: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SENSOR DIGITAL CON SALIDA PARALELO.....	14
ILUSTRACIÓN 8: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SENSOR DIGITAL CON SALIDA SERIE	14
ILUSTRACIÓN 9: ALGUNOS FABRICANTES DE SENSORES Y SISTEMAS DE DETECCIÓN	17
ILUSTRACIÓN 10: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA.....	22
ILUSTRACIÓN 11: INICIALIZACIÓN DEL SOFTWARE ARDUINO IDE	30
ILUSTRACIÓN 12: LÍMITE DE GAS INFLAMABLE	32
ILUSTRACIÓN 29: TOPOLOGÍAS DE REDES XBEE	42
ILUSTRACIÓN 13: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL LM35	44
ILUSTRACIÓN 14: SENSOR DE T ^º CENTRÍGRADA BÁSICO (IZQDA); SENSOR DE T ^º CENTÍGRADA DE RANGO COMPLETO (DCHA)..	45
ILUSTRACIÓN 15: PINES Y MEDIDAS DEL LED.....	45
ILUSTRACIÓN 16: INTERIOR DE RESISTENCIAS DE PELÍCULA DE CARBÓN (DE ARRIBA A ABAJO, 27, 330 Y 3M3 OHM).....	46
ILUSTRACIÓN 17: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE TEMPERATURA	47
ILUSTRACIÓN 18: ESTRUCTURA Y CIRCUITO DE PRUEBAS DEL MG-811	48
ILUSTRACIÓN 20: CONFIGURACIÓN DEL LM324 COMO AMPLIFICADOR NO INVERSOR.....	50
ILUSTRACIÓN 19: CORRESPONDENCIA DE PINES DEL LM324	50
ILUSTRACIÓN 21: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE CO ₂	51
ILUSTRACIÓN 22: MUESTRA DE BICARBONATO.....	54
ILUSTRACIÓN 23: MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO	55
ILUSTRACIÓN 24: VISTA INFERIOR Y LATERAL DEL O ₂ /M100	57
ILUSTRACIÓN 25: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE OXÍGENO	57
ILUSTRACIÓN 26: DIAGRAMA DEL ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO PARA EL SENSOR DE OXÍGENO.....	58
ILUSTRACIÓN 27: PCB PARA EL SENSOR DE OXÍGENO	59
ILUSTRACIÓN 28: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OXÍGENO	60
ILUSTRACIÓN 30: REGISTRO DE MUESTRAS DEL SCRIPT DE MATLAB	65
ILUSTRACIÓN 31: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MULTISENSOR	67
ILUSTRACIÓN 32: VISTA EXTERIOR DE LA CAJA NEGRA DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MULTISENSOR.....	68
ILUSTRACIÓN 33: VISTA INTERIOR DE LA CAJA NEGRA DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MULTISENSOR	68
ILUSTRACIÓN 34: ACOPLAMIENTO DEL MÓDULO XBEE EMISOR AL SHIELD ARDUINO	69
ILUSTRACIÓN 35: ACOPLAMIENTO DEL SHIELD ARDUINO A LA PLACA ARDUINO UNO.....	69
ILUSTRACIÓN 36: ACOPLAMIENTO DEL MÓDULO XBEE RECEPTOR AL ADAPTADOR USB DE ARDUINO	69
ILUSTRACIÓN 37: ENTORNO DE PRUEBAS PARA EL DETECTOR MULTISENSOR	70
ILUSTRACIÓN 38: ELEMENTOS DEL MONTAJE FINAL DEL SISTEMA MULTISENSOR.....	70
ILUSTRACIÓN 39: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE TEMPERATURA	73
ILUSTRACIÓN 40: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	75
ILUSTRACIÓN 41: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OXÍGENO PARA UN UMBRAL DEL 10%.....	76
ILUSTRACIÓN 42: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OXÍGENO PARA UN UMBRAL DEL 21%.....	77
ILUSTRACIÓN 43: MONTAJE EXPERIMENTO 1 DEL SISTEMA MULTISENSOR (UNA VELA).....	78
ILUSTRACIÓN 44: MONTAJE EXPERIMENTO 1 SISTEMA MULTISENSOR (DOS VELAS)	79
ILUSTRACIÓN 45: RESULTADO DEL EXPERIMENTO 2 DEL SISTEMA MULTISENSOR (2 VELAS)	81
ILUSTRACIÓN 46: PANTALLA INICIAL DE REPRESENTACIÓN DE MATLAB	122

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: EJEMPLOS DE MAGNITUDES FÍSICAS POR NATURALEZA.....	12
TABLA 2: EXISTENCIA DE GASES PELIGROSOS POR SECTOR INDUSTRIAL	34
TABLA 3. VALORES LÍMITE AMBIENTALES (VLA)	38
TABLA 5: COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN.....	41
TABLA 4: TABLA DE DECODIFICACIÓN DE COLORES DE RESISTENCIAS	47

1

INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Según la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, el 19% de los trabajadores de la Unión Europea declara estar expuesto a vapores tóxicos durante al menos la cuarta parte de su horario laboral, mientras que el 15% de los trabajadores tiene que manipular sustancias peligrosas como parte de su trabajo diario. En la industria química, unos 2 millones de trabajadores se exponen a sustancias peligrosas de forma directa, y otros 3 millones lo hacen de forma indirecta, pero no es el único entorno donde pueden darse exposiciones laborales. Debido a la gran cantidad de sustancias y su gran difusión, la población trabajadora puede estar expuesta a diversos productos químicos en cualquier ámbito. Por tanto, en todo el territorio europeo, millones de trabajadores entran en contacto con agentes químicos y biológicos que pueden causarles daños. De hecho, desde la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo se estima que al año se producen 74000 muertes laborales vinculadas a la exposición a sustancias peligrosas. Esta cifra confirma que muere un número de personas 10 veces mayor por exposición a sustancias de riesgo que por accidentes en el lugar de trabajo.

Los riesgos existentes a consecuencia del uso de sustancias peligrosas deben ser tenidos en cuenta para proteger a los trabajadores, quienes, de no ser así, podrían sufrir irritaciones de los ojos y la piel, dificultades respiratorias, problemas reproductivos, patologías perinatales, cáncer e incluso la muerte. Tanto una breve y única exposición como múltiples exposiciones a una sustancia o una acumulación a largo plazo de sustancias en el organismo podrían provocar la aparición de dichos efectos.

Es por ello que las empresas de la Unión Europea deben por ley proteger a sus trabajadores de los daños que puedan sufrir por el contacto con materiales peligrosos durante su jornada laboral. Para ello, se realizan evaluaciones de riesgos y se adoptan medidas en función de los resultados obtenidos, y es en este aspecto donde los sistemas de detección son de vital importancia, facilitando la prevención y reduciendo el tiempo de actuación y, en consecuencia, el número de víctimas en situaciones de alerta por sustancias peligrosas.

Por otro lado, hoy en día Internet favorece el desarrollo de plataformas y recursos de código abierto, cuyos logros son cada vez mayores a un precio cada vez más reducido. Gracias a esto ofrecen una gran oportunidad en la creación de todo tipo de sistemas y aplicaciones de bajo coste y, sin embargo, de grandes prestaciones. La naturaleza de estos recursos favorece la reducción de los plazos de desarrollo debido a los diseños disponibles de acceso libre que pueden ser utilizados directamente o pueden modificarse para adaptarlos a las necesidades de cada usuario sin necesidad de comenzar desde cero. Todo esto unido al precio más que asequible de instrumentos y componentes electrónicos y a su amplia variedad de formatos y características, beneficia a la evolución continua de este tipo de herramientas.

Teniendo en cuenta, además, que los riesgos por contacto con materiales peligrosos no se dan exclusivamente en el entorno laboral, sino que aparecen en multitud de situaciones de la vida cotidiana, este Proyecto explora la posibilidad de utilizar recursos de acceso libre que ya se encuentran ampliamente desarrollados para diseñar un Sistema de Seguridad para la Detección de Sustancias Peligrosas que pueda adaptarse a distintos ambientes (tanto laborales como domésticos) mediante modificaciones sencillas que permitan diseñar un sistema orientado al usuario y al entorno de operación

del mismo (más o menos sustancias a detectar, sensores diferentes según las sustancias a detectar, aumento o reducción del número de sensores, sistema fijo o móvil, etc.).

1.2 Objetivos

El objetivo de este Proyecto es el diseño y desarrollo de un sistema de detección de sustancias peligrosas de bajo coste que se comunique de manera inalámbrica con una estación de control y que sea adaptable a distintos entornos de operación. Para ello, se emplearán el *hardware* libre de Arduino, y herramientas y recursos de *software* libre y código abierto que pueda adaptarse a diferentes ambientes para la detección de sustancias de riesgo con las que diariamente se convive dentro y fuera del entorno laboral.

Además, se pretende crear un entorno de simulación controlado donde realizar las pruebas del sistema implementado. Desde él, el sistema multisensor se comunicará con el puesto de control, donde los datos de la detección serán analizados, registrados y representados a tiempo real mediante una interfaz gráfica.

Por último, uno de los principales propósitos de este Proyecto es la adaptación del sistema de detección a las sustancias peligrosas concretas que puedan ser causa de riesgo en cada ambiente específico donde se vaya a utilizar.

1.3 Metodología y plan de trabajo

Para conseguir los objetivos propuestos para este Proyecto Fin de Carrera se ha diseñado y seguido el plan de trabajo que se detalla más abajo.

- **Estudio del Estado del Arte.** En todo Proyecto se requiere una etapa de formación y estudio para adquirir los conocimientos necesarios para su desarrollo. Concretamente en este, dicha formación se ha dirigido principalmente a la investigación de los materiales considerados peligrosos, y las posibilidades de detección comerciales. Además, se ha realizado un amplio estudio sobre las opciones que ofrece la plataforma de *hardware* libre Arduino en la que se basará el sistema.
- **Diseño y desarrollo del sistema de detección.** La etapa principal del Proyecto se centra en la implementación del sistema que analizará el ambiente. Se ha llevado a cabo un desarrollo del sistema de forma modular, programando primeramente el *software* de los subsistemas individuales de detección para cada sustancia elegida (en Arduino IDE) y realizando posteriormente la implementación *hardware* necesaria para su puesta en marcha.
- **Ajustes de rendimiento de los subsistemas de detección.** Para el ajuste y mejora de los sistemas individuales implementados, se realizarán experimentos con los que poner a prueba su comportamiento ante distintas fuentes de excitación adaptadas a cada una de las variables a medir. Así, se podrá realizar cambios que mejoren su funcionamiento de manera aislada antes de acoplarlos para crear el detector conjunto.
- **Montaje del sistema de detección final.** Una vez completados los tres subsistemas y habiendo comprobado su funcionamiento, se adaptarán para formar el detector definitivo, pero manteniendo su independencia. Así, se facilitará la modificación (otros umbrales de alarma, otras sustancias, etc.) sin que esta afecte al resto de elementos que se mantengan en el detector.
- **Ajustes de rendimiento del sistema de detección final.** Una vez se tenga montado el detector conjunto, se realizarán pruebas para controlar y mejorar su comportamiento, que

principalmente se centrarán en el ajuste de la comunicación inalámbrica del sistema con la base de control.

- **Desarrollo de la interfaz gráfica de representación de resultados.** La implementación de la interfaz gráfica para la presentación de los valores detectados por el sistema en tiempo real queda separada del desarrollo del sistema, ya que se realizará en un entorno diferente y su puesta en marcha será opcional sin que ello interfiera con el funcionamiento del sistema en ningún caso.
- **Documentación y escritura de la memoria.** La parte final de este Proyecto se ha empleado para documentar y explicar el trabajo realizado en cada una de las etapas en una memoria en la que se registre toda la información necesaria para poder comprenderlo y desarrollarlo sin necesidad de material adicional.

1.4 Organización de la memoria

Este documento se divide en cinco capítulos:

- **Capítulo 1: Introducción.** En este capítulo se exponen las principales motivaciones y objetivos que inspiran este Proyecto así como la metodología y el plan de trabajo a seguir para conseguirlos.
- **Capítulo 2: Estado del arte.** Este apartado se dirige a la localización de las materias a tratar en este Proyecto en el momento actual. Inicialmente se exploran las sustancias o materiales considerados peligrosos para seguir con la clasificación general de sensores y los sistemas de detección existentes actualmente en el mercado. Finalmente, se presenta una panorámica actual de la plataforma Arduino sobre la que se pretende diseñar el detector, presentando tanto las opciones que ofrece (placas, módulos, etc.) como el software que facilita para la programación de las placas.
- **Capítulo 3: Diseño del sistema de detección.** En este capítulo se desarrolla el proceso de diseño y puesta en marcha del sistema de detección en base a lo expuesto en el estado del arte. Comienza planteando unas preguntas a las que se intentará dar respuesta conforme avance el capítulo. Se exponen algunos aspectos a tener en cuenta en el diseño en lo referente a las sustancias a detectar y los sensores a utilizar para ello, se realiza una descripción detallada de cada uno de los subsistemas en todas sus fases de desarrollo (componentes, funcionamiento, montaje, etc.) y se comenta la red de comunicación inalámbrica que va a establecerse para la transmisión de los datos muestreados por el sistema. Finalmente, se explica el diseño definitivo del detector multisensor basado en la unión de los subsistemas ya mencionados y todas las fases necesarias para llegar a su montaje final y puesta en marcha.
- **Capítulo 4: Experimentos y resultados.** Esta sección incluye una descripción de las diferentes pruebas que se han realizado para comprobar el funcionamiento del detector, enumerando los experimentos y comentando los resultados obtenidos.
- **Capítulo 5: Conclusiones y trabajo futuro.** Este capítulo resume el trabajo que se ha llevado a cabo en este Proyecto y se plantean líneas de trabajo futuras para la mejora tanto del proceso de desarrollo como de resultados, de manera que puedan ampliarse las líneas de actuación del sistema de detección.

Para completar el documento, se añaden varios anexos que contienen información extra que puede resultar útil, como por ejemplo, un manual para la configuración de la red inalámbrica XBee, un manual con los códigos empleados o un apéndice donde se comentan algunos de los conceptos y términos que aparecen en esta memoria y puedan resultar confusos.

2

ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

Para hablar del Estado del Arte, debemos en primer lugar conocer lo que se considera una sustancia peligrosa, así como la tecnología que actualmente existe para la detección de sustancias (sensores y detectores) y las posibilidades que ofrece la plataforma Arduino.

A continuación, se desarrollará cada uno de estos aspectos independientemente, para luego unificarlos de cara a la toma de decisiones en el diseño, desarrollo e implementación específica del Proyecto.

2.2 SUSTANCIAS PELIGROSAS

Se entiende por sustancia peligrosa todo aquel gas, sólido o líquido que presente un riesgo para la salud, el medio ambiente o la seguridad. Este apartado se ha basado en la clasificación del *Libro Naranja para el Transporte de mercancías peligrosas* que proporciona la Organización de las Naciones Unidas (ONU) por ser de una de las más detalladas. Esta normalización se fundamenta en el riesgo o el riesgo de mayor importancia que presentan dichas sustancias.

2.2.1 Clasificación de mercancías peligrosas

Esta clasificación consta de nueve clases las cuales pueden desglosarse a su vez en otras, sin que su orden y número tenga relación alguna con su grado de peligrosidad. A continuación se presenta la clasificación con una breve descripción y ejemplos de cada una de las categorías.

➤ **Clase 1: Explosivos:**

Esta primera clase comprende por un lado las sustancias explosivas* sin incluir las no explosivas en sí mismas capaces de formar mezclas explosivas de gases, vapores o polvo, aquellas demasiado peligrosas para ser transportadas y aquellas cuyo principal riesgo corresponda a otra clase. Por otro lado, esta clase engloba los objetos explosivos* con la excepción de los artefactos* que contenga una cantidad de sustancias explosivas que no produzcan una manifestación exterior (proyección*, incendio, humo, calor, ruido fuerte...) en caso de inflamación* o cebado* por accidente o inadvertencia. También son de esta clase las sustancias y objetos que no correspondan a los anteriores y sean fabricados para efecto práctico, explosivo o pirotécnico*.

➤ **División 1.1: Sustancias y objetos con riesgo de explosión en masa***

❖ Ejemplos: Nitroglicerina; dinamita; pólvora.

➤ **División 1.2: Sustancias y objetos con riesgo de proyección sin riesgo de explosión en masa.**

❖ Ejemplos: Cohetes; Municiones para armas de caza y de salón; Objetos pirofóricos; Señales de socorro para barcos activadas por agua.

* Véase el Anexo A para más información.

- **División 1.3: Sustancias y objetos que presentan riesgo de incendio y un riesgo menor de explosión* o un riesgo menor de proyección, o ambos, pero no un riesgo de explosión en masa.**
 - ❖ Ejemplos: Torpedos de cabeza inerte con combustible líquido; Nitrocelulosa humidificada con un mínimo del 25% de alcohol en masa; Nitrocelulosa* plastificada con un mínimo del 18% en masa de plastificante; Mecha* no detonante.
- **División 1.4: Sustancias y objetos sin riesgo apreciable.**
 - ❖ Ejemplos: Cabezas de combate para cohetes con carga dispersora o carga expulsora; Cargas detonantes no eléctricas; Cargas explosivas de separación; Cargas explosivas para rotura de cables; Cartuchos para armas de caza y de salón; Cartuchos y casquillos vacíos con fulminante*; Cizallas* cortacables con carga explosiva; Mecha Bickford*; Mecha de seguridad.
- **División 1.5: Sustancias muy insensibles con riesgo de explosión en masa.**
 - ❖ Ejemplos: Agente para voladuras de tipos B y D; Sustancias EMI (Explosivas Muy Insensibles), N.E.P. (No Especificadas en otra Parte); Sustancias explosivas muy insensibles N.E.P*.
- **División 1.6: Objetos sumamente insensibles sin riesgo de explosión en masa.**
 - ❖ Ejemplos: Objetos explosivos extremadamente insensibles (EEI).
- **Clase 2: Gases**

Se considera gas toda sustancia que a 50 °C tenga una tensión de vapor* superior a 300 kPa y sea totalmente gaseosa a 20 °C, a una presión de referencia de 101,3 kPa.

 - **División 2.1: Gases inflamables.**
 - ❖ Ejemplos: Acetileno disuelto; Butano; Deuterio comprimido; Etano; Etileno; Gases de petróleo licuados; Gas natural licuado o líquido; Hidrógeno comprimido y refrigerado; Isobutano; Metano comprimido; Propano; Recargas de encendedores que contienen gas inflamable.
 - **División 2.2: Gases no inflamables, no tóxicos.**
 - ❖ Ejemplos: Aire comprimido, Aire líquido refrigerado; Anhídrido carbónico y Oxígeno en mezcla; Argón comprimido y argón líquido refrigerado; Dióxido de carbono y dióxido de carbono líquido refrigerado; Extintores de incendio que contienen gases comprimidos o licuados; Helio comprimido y helio líquido refrigerado; Neón comprimido y neón líquido refrigerado; Nitrógeno comprimido y nitrógeno líquido refrigerado; Oxígeno comprimido y oxígeno líquido refrigerado; Xenón y Xenón líquido refrigerado.
 - **División 2.3: Gases tóxicos.**
 - ❖ Ejemplos: Amoníaco anhidro; Solución acuosa de amoníaco; Bromuro de cloro; Cloro; Cloruro de Bromo; Cloruro de hidrógeno anhidro; Dióxido de azufre; Dióxido de nitrógeno; Flúor comprimido; Fosgeno; Gas de agua; Gas de petróleo comprimido; Germanio; Hidrógeno sulfurado; Monóxido de carbono comprimido; Monóxido de carbono con hidrógeno en mezcla comprimida; Óxido de carbono; Óxido de etileno; Sulfuro de hidrógeno.
- **Clase 3: Líquidos inflamables**

La clase 3 comprende dos tipos de sustancias. Por un lado los líquidos inflamables, que son líquidos, mezclas de líquidos o líquidos que contienen sustancias sólidas en solución o suspensión (pinturas, barnices, lacas, etc., siempre que no sean sustancias incluidas en otras

* Véase el Anexo A para más información.

clases por sus riesgos) que desprenden vapores inflamables a una temperatura no superior a 60,5°C en ensayos en vaso cerrado o no superior a 65,6 °C en ensayos en vaso abierto, comúnmente conocida como punto de inflamación. Por otro, los explosivos líquidos insensibilizados*, que engloba sustancias explosivas que se han disuelto en agua o en otros líquidos con los que forma una mezcla líquida homogénea, con el fin de suprimir sus propiedades explosivas.

- ❖ Ejemplos: Aceite de alcanfor; Aceite de pino; Aceite mineral; Aceites de acetona; Acetona; Adhesivos que contienen líquidos inflamables; Alcohol etílico; Alcohol industrial; Alquitrans líquidos; Bebidas alcohólicas con más del 24% de alcohol en volumen; Disolución de caucho; Cementos adhesivos; Combustibles para motores y motores diesel; Éter; Gasóleo; Gasolina; Gasolina natural; Metanol; Octanos; Petróleo bruto; Productos de perfumería con disolventes inflamables; Soluciones para revestimientos; Tinturas medicinales.

➤ **Clase 4: Sólidos inflamables; sustancias con posibilidad de combustión espontánea*, sustancias que al contacto con el agua desprenden gases inflamables.**

➤ **División 4.1: Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea* y sólidos explosivos insensibilizados.**

- Ejemplos: Alcanfor sintético; Aluminio en polvo recubierto; Azufre; Desechos de caucho; Fósforo rojo; Heno; Paja; TNT humidificado; Refuerzos para punteras de zapatos a base de nitrocelulosa.

➤ **División 4.2: Sustancias con posibilidad de combustión espontánea.**

- ❖ Ejemplos: Algodón húmedo; Carbón activado y no activado; Carbón animal y vegetal; Desechos de lana húmedos; Fósforo amarillo; Harina de pescado no estabilizada; Desechos de películas; Virutas y raspaduras de acero; Trapos grasientos.

➤ **División 4.3: Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.**

- ❖ Ejemplos: Aleaciones de magnesio en polvo; Aluminio en polvo no recubierto; Bario; Baterías que contienen sodio; Calcio; Carburo aluminico; Cesio; Cinc en polvo; Litio; Magnesio en polvo; Potasio; Sodio.

➤ **Clase 5: Sustancias comburentes* y peróxidos orgánicos*.**

Pertenecen a esta clase aquellas sustancias que pueden provocar o favorecer la combustión de otras materias, sin ser necesariamente combustibles por sí mismas e incluso estando contenidas en un objeto. También los peróxidos orgánicos que se pueden considerar derivados del peróxido de hidrógeno y son sustancias térmicamente inestables que pueden sufrir una descomposición exotérmica autoacelerada.

➤ **División 5.1: Sustancias comburentes.**

- ❖ Ejemplos: Abonos a base de nitrato amónico; Agua oxigenada; Cafeína; Cal dorada; Nitrato aluminico; Nitrato sódico; Peróxido cálcico; Polvo blanqueante; Salitre; Urea-Agua Oxigenada.

➤ **División 5.2: Peróxidos orgánicos.**

- ❖ Ejemplos: Peróxidos orgánicos líquidos y sólidos tipos B, C, D, E y F; Peróxidos orgánicos líquidos y sólidos con temperatura regulada tipos B, C, D, E y F.

➤ **Clase 6: Sustancias tóxicas y sustancias infecciosas.**

A la clase 6 pertenecen las sustancias que pueden causar pueden producir efectos perjudiciales para la salud, causar lesiones graves e incluso la muerte si se ingieren, se inhalan o si entran en

* Véase el Anexo A para más información.

contacto con la piel. También se incluyen aquellas sustancias que contienen agentes patógenos*.

➤ **División 6.1: Sustancias tóxicas.**

- ❖ Ejemplos: Acetato de mercurio; Anilina; Antimonio en polvo; Arsénico; Azida sódica; Fenol en solución; Cianuro cálcico; Cloroformo; Gases lacrimógenos; Muestra química tóxica; Nicotina; Óxido de mercurio; Púrpura de Londres; Velas lacrimógenas.

➤ **División 6.2: Sustancias infecciosas.**

- ❖ Ejemplos: Desechos médicos regulados, NEP; Desechos clínicos, NEP; Desechos (bio)médicos, NEP; Muestras clínicas; Muestras para diagnóstico; Sustancias infecciosas para el hombre; Sustancias infecciosas sólo para animales.

➤ **Clase 7: Material radiactivo**

Por material radiactivo se entenderá todo material que contenga radionucleidos* en los cuales tanto la concentración de actividad como la actividad total de la remesa excedan unos valores especificados en la sección 2.7.7.2 del documento oficial de la ONU sobre Mercancías Peligrosas.

- ❖ Ejemplos: Uranio; Polonio; Radio; Radón; Plutonio; Torio.

➤ **Clase 8: Sustancias corrosivas**

Como sustancias de esta clase se incluyen las que causan lesiones graves a los tejidos vivos con que entran en contacto o que en caso de escape, puedan dañar considerablemente a otras mercancías o a los medios de transporte, o incluso destruirlos por su acción química.

- ❖ Ejemplos: Ácido acético glacial; Ácido de arena; Ácido sulfúrico; Ácido sulfuroso; Ácido yodhídrico; Agua regia; Anhídrido acético; Bromuro de boro; Bromo; Cloritos en solución; Cloruro de aluminio en solución; Galio; Lejía; Lodos ácidos; Monocloruro de yodo; Pintura; Sosa caústica; Trióxido de fósforo; Yoduro de hidrógeno.

➤ **Clase 9: Sustancias y objetos peligrosos varios**

Las sustancias y objetos de la Clase 9 son aquellos que, durante el transporte, presentan un riesgo distinto de los correspondientes a las demás clases.

- ❖ Ejemplos: Amianto azul, marrón y blanco; Aparato accionado por batería; Aparatos de salvamento autoinflables y no autoinflables con mercancías peligrosas como material accesorio; Baterías de litio; Botiquín de urgencia; Dióxido de carbono sólido; Hielo seco; Material magnetizado; Motor de combustión interna; Ricino en copos; Semillas de ricino; Torta de ricino; Harina de ricino; Polietileno en bolitas dilatables; Microorganismos genéticamente modificados (MOGM).

2.3 SISTEMAS DE MEDIDA

La instrumentación es la parte de la electrónica que tiene como objetivo la observación y medida del mundo físico (sea de tipo eléctrico o no) empleando herramientas (instrumentos y equipos) electrónicas. La medida es el proceso empírico (basado en la experimentación) y objetivo (independiente del observador) de asignación de números a las propiedades de los objetos o acontecimientos del mundo real, de forma que sirva para describirlos.

* Véase el Anexo A para más información.

Un sistema es un conjunto de elementos o partes simples relacionadas entre sí que interactúan dinámicamente y están organizados en función del objetivo que tenga el sistema. Conocer las propiedades de cada uno de los elementos es indispensable para evaluar la respuesta del sistema y asegurar su correcto funcionamiento.

Un sistema de medida es aquel que obtiene información sobre un proceso físico mediante la asignación de un número a una propiedad de un objeto o suceso para describirlo, con el objetivo de controlar un proceso y proporcionar información para la verificación de un sistema. La información obtenida por un sistema de medida es presentada a un observador o a un sistema de control para su análisis.

2.3.1 Funciones de un sistema de medida

- **Adquisición de datos:** Se adquiere la información de las variables a medir y convierte a una señal eléctrica.
- **Procesamiento de datos:** Se procesan, seleccionan y manipulan los datos mediante un microcontrolador.
- **Distribución de datos:** Se presenta el valor medido, se almacena o se retransmite a otro sistema.

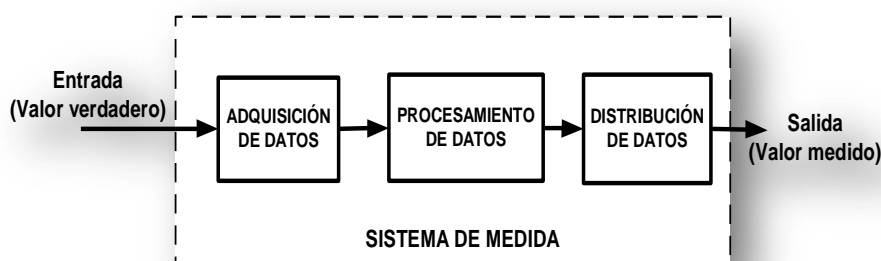


ILUSTRACIÓN 1: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE MEDIDA

2.3.2 Tipos de sistemas de medida

- **En lazo abierto:** el operador actúa sobre el proceso mediante el sistema de control, pero no recibe ninguna respuesta del proceso.
 - ❖ Ejemplo: Sistema de riego automático temporizado.

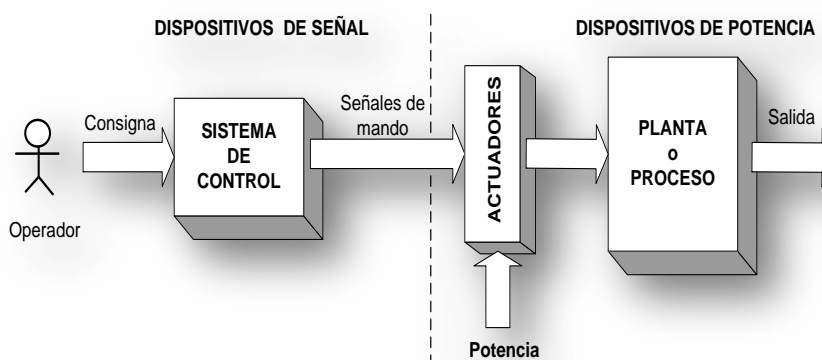


ILUSTRACIÓN 2: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE MEDIDA EN LAZO ABIERTO

- **En lazo cerrado o realimentado:** El operador actúa sobre el sistema de control, el cual recibe respuesta del proceso (realimentación o *feedback*), convirtiéndose en un sistema más robusto a cambios externos, aunque la realimentación lo hace inestable.

- ❖ Ejemplo: Control de nivel de una piscina.

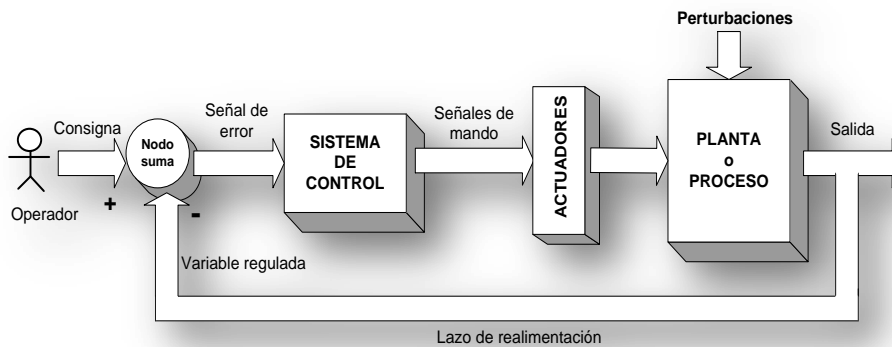


ILUSTRACIÓN 3: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SISTEMA DE MEDIDA EN LAZO CERRADO

2.3.3 Control de Procesos

Los sistemas de medida en el control de procesos se pueden representar con la siguiente figura:

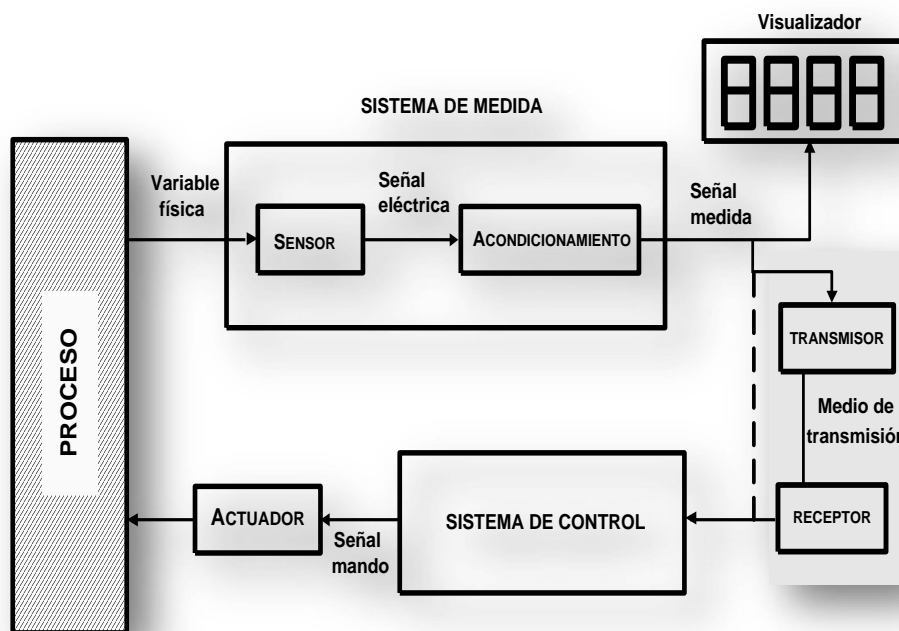


ILUSTRACIÓN 4: DIAGRAMA DE BLOQUES PARA CONTROL DE PROCESOS

A continuación se explican cada uno de los bloques del sistema de medida.

- **Sensor:** Dispositivo que lleva a cabo la transducción, es decir, la transformación de la variable física en una variable eléctrica.
- **Acondicionamiento:** Se trata del circuito que permite ofrecer al sistema de control una señal tratable (corriente, tensión, frecuencia) actuando sobre la salida del sensor. Lo más típico del acondicionamiento es la amplificación y el filtrado de señal.

- **Visualizador:** Es la interfaz entre el sistema de medida y las facultades de percepción humanas. En ella, las unidades de representación visual analógica o digital, los monitores, registradores etc., son típicos representantes de esta función.
- **Transmisor:** Se encarga del envío de la señal de medida hasta el receptor.
- **Receptor:** Toma la señal enviada por el transmisor y se la pasa al sistema de control para su análisis.
- **Sistema de control:** Se encarga del procesamiento de datos de la señal de control y genera las señales de mando que accionan los actuadores.
- **Actuador:** Es el dispositivo o dispositivos que modifican el proceso.
- **Proceso:** bloque con una o varias variables de salida que han de ser controladas actuando sobre las variables de entrada provenientes del actuador.

2.3.4 Sistema Electrónico De Medida

Un sistema electrónico de medida es un sistema de medida basado en circuitos formados por componentes electrónicos.

2.3.4.1 Características de un sistema electrónico de medida

- Por la naturaleza electrónica de la materia, una variación de un parámetro no eléctrico supone una variación de un parámetro eléctrico.
- La transmisión de señales eléctricas es más versátil pero más sensible a interferencias que las transmisiones mecánicas, hidráulicas o neumáticas.
- Existen muchos circuitos integrados para acondicionar las señales que genera el sensor.
- Se hace necesaria la conversión de valores de una propiedad a medir en valores de otra propiedad diferente, teniendo en cuenta que la mayor parte de las propiedades a medir no son eléctricas.

2.3.4.2 Topologías de los sistemas electrónicos de medida

➤ Topología en estrella:

Se trata de la topología más simple a desplegar. Hay que tener en cuenta que si en el sistema se necesitan pocos sensores, el coste de conexionado será alto si los sensores están muy alejados. Por otro lado, en un sistema de muchos sensores existirá interferencia (ruido eléctrico) entre ellos.

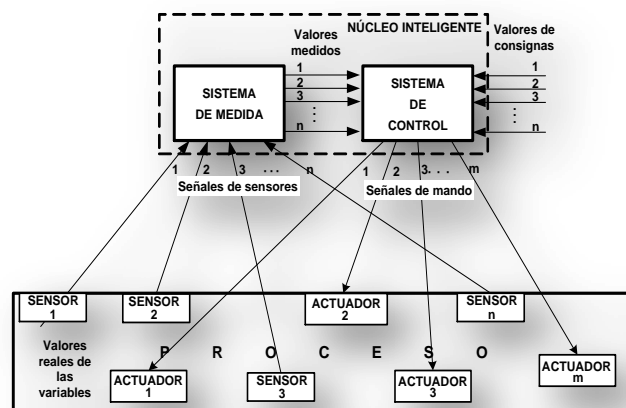


ILUSTRACIÓN 5: TOPOLOGÍA EN ESTRELLA DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA

➤ **Topología en bus:**

Esta es una topología distribuida en la que hay baja sensibilidad al ruido con capacidad para manejar muchos dispositivos. Es una implementación de alta complejidad y coste, al incluirse varios núcleos inteligentes.

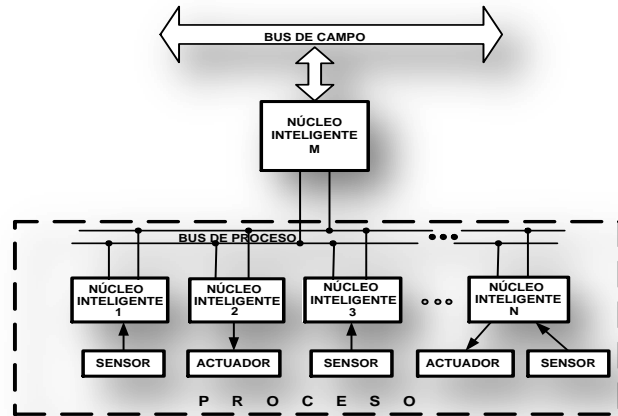


ILUSTRACIÓN 6: TOPOLOGÍA EN BUS DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE MEDIDA

2.3.5 Caracterización de Sensores

Según la Real Academia Española (RAE), un sensor es un dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente. Como ya hemos visto, dentro de un sistema de medida, el sensor se encarga de la transducción de la señal física muestreada a una señal eléctrica.

En la siguiente tabla, se resumen las magnitudes físicas típicas que son detectadas por un sensor.

Naturaleza	Ejemplos
Mecánica	Velocidad, desplazamiento, fuerza, presión, flujo, masa, aceleración, etc.
Térmica	Temperatura, calor, etc.
Eléctrica	Carga, corriente, resistencia, tensión, capacidad, polarización, frecuencia, etc.
Óptica	Infrarrojo, ultravioleta, visible, etc.
Química	Humedad, gas, PH, etc.
Biológica	Hormonas, proteínas, antígenos, etc.

TABLA 1: EJEMPLOS DE MAGNITUDES FÍSICAS POR NATURALEZA

2.3.5.1 Clasificación de Sensores

Ahora se presentan los tipos de sensores existentes en la actualidad atendiendo a distintos criterios de clasificación.

➤ **Según el principio físico de funcionamiento:**

- ❖ **Activos** (Generadores): son capaces de crear su propia energía para llevar a cabo la transducción.
 - **Piezoeléctricos** (zumbador): dispositivos que emplean el efecto piezoeléctrico* para medir presión, aceleración, tensión o fuerza.
 - **Fotoeléctricos** (fotocélula): dispositivos electrónicos que responden a la variación de la intensidad de la luz, diseñados principalmente para la detección de formas y colores y la detección y posicionado de objetos. Requieren un componente emisor de luz y uno que reciba dicha emisión.
 - **Termoeléctricos** (Termopares): se trata de dispositivos de transducción formados por la unión de dos metales diferentes entre los que se da una diferencia de potencial muy pequeña, función de la diferencia de temperatura entre los extremos (efecto Seebeck*).
 - **Magnetoeléctricos**: basados en el efecto magnetoeléctrico*.
 - **Electroquímicos**: Producen señales eléctricas en respuesta a cambios de concentración de sustancias o iones. La señal transformada es debida a una interacción electroquímica entre el analito y el electrodo, y según la técnica electroquímica para obtener la muestra pueden dividirse en:
 - Conductimétrico.
 - Potenciométricos.
 - Amperométricos.
 - **Otros.**
- ❖ **Pasivos** (Moduladores): necesitan un aporte de energía externa para poder realizar la transducción.
 - **Resistivos** (Resistencia variable): transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica.
 - Potenciométricos.
 - Termorresistivos.
 - Fotorresistivos.
 - Extensiométricos.
 - Magnetorresistivos.
 - Electroquímicos
 - **Capacitivos** (Capacidad variable): transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador.
 - **Inductivos** (Inductancia variable): transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina.
 - Reluctancia variable.
 - Permeancia variable.
 - Transformador variable.
 - Magnetostrictivos.
 - **Otros**

* Consultar el Anexo A para más información.

➤ **Según el tipo de señales eléctricas que generan**

- ❖ **Analógicos:** Sensores en los que la señal de salida es de carácter continuo puede tomar cualquier valor dentro de unos márgenes determinados y llevan la información en su amplitud.
 - **Según el tipo de señal:**
 - Señales variables: Equivalen a la suma de un conjunto de sinusoides con una frecuencia mínima mayor que cero.
 - Periódicas.
 - No periódicas.
 - Señales continuas: Aquellas que pueden descomponerse en una suma de senoides cuya frecuencia mínima es cero. Tienen un cierto nivel fijo durante un tiempo indefinido y representan la información mediante su amplitud.
 - **Según la polaridad:**
 - Unipolares.
 - Bipolares.
- ❖ **Digitales:** Sensores que generan señales eléctricas que únicamente toman un número finito de valores entre un máximo y un mínimo.
 - **Salida en paralelo:**



ILUSTRACIÓN 7: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SENSOR DIGITAL CON SALIDA PARALELO

- **Salida en serie:**

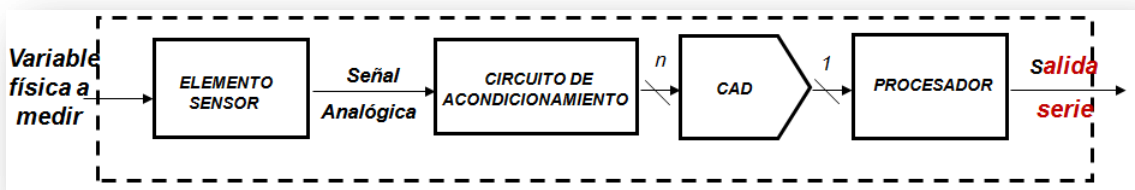


ILUSTRACIÓN 8: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN SENSOR DIGITAL CON SALIDA SERIE

- ❖ **Temporales:** Sensores que proporcionan a su salida señales eléctricas en las que la información está asociada al parámetro tiempo.
 - **Señales senoidales:** también llamadas señales moduladas, se obtienen modificando un parámetro temporal de una señal senoidal generada por un circuito oscilador mediante un circuito electrónico denominado demodulador. Dicho parámetro puede ser:
 - Frecuencia.
 - Fase.

- **Señales cuadradas:** Tienen una amplitud fija y un parámetro variable que puede ser:
 - Frecuencia o período.
 - Relación entre la duración del uno y el cero (On/Off):
 - Duración de un impulso.
 - Número total de impulsos que aparecen a la salida a partir de un determinado instante.

- **Según el campo de valores que miden:**
 - ❖ **De medida:** proporciona a la salida todos los valores posibles correspondientes a cada valor de la variable de entrada dentro de un rango determinado.
 - ❖ **Todo-Nada (On-Off):** detecta si la magnitud de entrada está por encima o por debajo de un valor determinado. La salida es una señal eléctrica que únicamente puede tomar dos valores.

- **Según la forma constructiva (nivel de integración de los sensores):**
 - ❖ **Discretos:** Los componentes electrónicos que forman el circuito de acondicionamiento están separados e interconectados entre sí.
 - ❖ **Integrados:** El circuito de acondicionamiento está integrado junto al elemento sensor en un único circuito integrado, monolítico o híbrido.
 - ❖ **Inteligentes:** Se trata de un sensor que como mínimo lleva a cabo una de las siguientes funciones:
 - Cálculos numéricos.
 - Comunicación en red (no punto a punto).
 - Autocalibración y auto diagnóstico.
 - Múltiples medidas con identificación del sensor.

- **Según el tipo de variable física medida**
 - ❖ Presión.
 - ❖ Temperatura.
 - ❖ Humedad.
 - ❖ Fuerza.
 - ❖ Desplazamiento/Velocidad/Aceleración de objetos.
 - ❖ Caudal.
 - ❖ Presencia y/o posición de objetos.
 - ❖ Nivel de sólidos o líquidos.
 - ❖ Químicos.
 - ❖ Magnitudes eléctricas.
 - ❖ Magnitudes ópticas.
 - ❖ Otros.

2.3.6 Sistemas de Sensores Comerciales

La tendencia hacia la automatización industrial es cada vez mayor, y con ella el uso de sistemas y elementos electromecánicos y computarizados para controlar desde entornos domésticos hasta procesos industriales y maquinarias de grandes dimensiones. Se trata de una disciplina que engloba los sensores, transmisores de campo, sistemas de control y sistemas de transmisión y recolección de datos e incluye las aplicaciones *software* en tiempo real con las que supervisar y controlar las rutinas de plantas y procesos industriales. Es aquí donde los sensores juegan un rol fundamental en el sistema productivo. Es necesario emplear aquellos que sean adecuados a los entornos industriales, en los que

son comunes las altas temperaturas, la presencia de polvo o los ambientes de alta humedad entre otras características.

Para valorar si un detector se adecúa o no a las necesidades del entorno en el que se quiere utilizar, aparte de conocer qué se desea detectar, se ha prestar atención a las especificaciones del fabricante en lo que se refiere a la configuración, dimensiones externas, instrucciones de montaje, tipo, tamaño y localización de las conexiones eléctricas y mecánicas, forma de realizar ajustes externos, material de la carcasa y grado de protección de la misma ante agentes externos. Además, es importante estar al tanto de las características ambientales que tendrá que soportar el sensor. Entre ellas se incluyen efectos térmicos, efectos de la aceleración y las vibraciones, efectos de la presión ambiental, efectos de las perturbaciones eléctricas, humedad, corrosión, atmósfera salina y los efectos del montaje. Por otro lado, es fundamental conocer la fiabilidad del dispositivo, que viene definida por la vida útil, la vida de almacenamiento, la estabilidad temporal de la salida, la deriva de cero y la deriva de la sensibilidad.

2.3.6.1 Variedades de detectores de gas comerciales

Los sistemas de detección atienden a muchas necesidades y situaciones diferentes, entre las que se pueden destacar las siguientes orientadas a la detección de gases, sin que sean excluyentes entre sí:

- **Objetivo**
 - ❖ Dispositivos de control.
 - ❖ Dispositivos de seguridad.
- **Ubicación**
 - ❖ Sistema de detección fijo/portátil.
- **Tipo de protección**
 - ❖ Individual/Colectiva.
- **Número de gases**
 - ❖ Sistema Monogas/Multigas.
- **Según las propiedades químicas de los gases a detectar**
 - ❖ **Para gases inertes**, los cuales no arden, no mantienen combustión y en su seno no es posible la vida (argón, nitrógeno,...).
 - ❖ **Para gases corrosivos**, que son aquellos capaces de atacar a los materiales y destruir tejidos cutáneos (cloro).
 - ❖ **Para gases refrigerantes**, que actúan como agente de enfriamiento absorbiendo de otra sustancia (amoníaco, anhídrido carbónico, hidrocarburos y derivados,...).
 - ❖ **Para gases combustibles**. Estos arden fácilmente en presencia de aire u otro oxidante (hidrógeno, acetileno...).
 - ❖ **Para gases comburentes**, indispensables para mantener la combustión (oxígeno, protóxido de nitrógenos,...).
 - ❖ **Para gases tóxicos**, los cuales producen interacciones en el organismo, pudiendo provocar la muerte a determinadas concentraciones (monóxido de carbono).

En este campo, algunas de las empresas y fabricantes que desarrollan sistemas para mantener la seguridad y calidad del aire en la actualidad aparecen en la Ilustración de abajo.



ILUSTRACIÓN 9: ALGUNOS FABRICANTES DE SENSORES Y SISTEMAS DE DETECCIÓN

2.3.7 Sensores aplicables al sistema

Esta sección pone la atención en los detectores para calidad del aire y seguridad, al tratarse de los de mayor interés en este Proyecto en base a la motivación y objetivos del mismo. El hecho de centrar el trabajo en la detección de gases principalmente se debe a que una de las dificultades de este Proyecto es el acceso a las sustancias peligrosas. Además, en caso de conseguir dichas sustancias, su manipulación requeriría unas medidas de protección de las que no se dispone. Finalmente, el Proyecto Fin de Carrera es una prueba de concepto sobre si se pueden desarrollar sistemas automáticos de medida económicos empleando componentes que ya existen en el mercado. Por tanto, lo más importante de cara al objetivo del PFC no es lo que se detecte, por lo que el diseño se ha dirigido fundamentalmente a la medida de gases presentes en la vida cotidiana, que son fáciles de conseguir o producir.

Los sensores que normalmente son usados para satisfacer los requerimientos de calidad de aire en el área de trabajo y aplicaciones de seguridad son los sensores electroquímicos, sensores catalíticos, sensores de estado sólido, sensores infrarrojos, de fotoionización y de semiconductor, todos ellos descritos a continuación:

Sensor electroquímico

Principio de Operación

Consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito*. El gas que entra en contacto con el sensor reacciona sobre la superficie del electrodo sensor generando una reacción de oxidación o reducción*. Los materiales del electrodo, específicamente desarrollados para el gas de interés, catalizan* estas reacciones que generan una corriente proporcional a la concentración de gas. Esta corriente puede ser medida para determinar la concentración de gas.

* Véase el Anexo A para más información.

Características comunes

- **Bajo Consumo de Energía**, lo que permite que el sensor sea usado en unidades portátiles, alimentadas con baterías.
- **Buena Sensibilidad**. Por ello se trata de un tipo de sensor muy conveniente para aplicaciones de límite permisible en el área de trabajo, pero no es apto para aplicaciones de gases combustibles.
- **Selectividad**. En comparación con otros sensores, algunos sensores electroquímicos son bastante selectivos al gas objetivo para el cual fueron diseñados. Sin embargo, algunos pueden tener una pobre selectividad, dependiendo del gas a ser detectado.
- **Expectativa de Vida**. La expectativa de vida de un sensor electroquímico depende de diversos factores, incluyendo el gas a ser detectado y las condiciones medioambientales en las que el sensor se vaya a utilizar. Generalmente, la vida útil de este tipo de sensores es de uno a tres años. Sin embargo, algunos sensores son especificados de acuerdo a la dosificación de exposición del gas, como por ejemplo un sensor de amoníaco, típicamente catalogado para 5000 ppm·horas. En otras palabras, si el sensor es expuesto a 50 ppm de amoníaco constantemente, el supuesto es que el sensor funciona 100 horas.

Con los sensores electroquímicos se pueden detectar en torno a una treintena de gases en bajos rangos de ppm. Se trata de sensores diseñados para detectar gases como monóxido de carbono, sulfato de hidrógeno, dióxido de sulfuro, cloro y dióxido de nitrógeno, mientras que para otros pueden ser mucho menos confiables de lo especificado. En general, un sensor electroquímico es un tipo de sensor comúnmente usado en instrumentos portátiles para aplicaciones de bajas concentraciones. Para aplicaciones estacionarias, el uso es más limitado.

Sensor catalítico

Principio de Operación

Una mezcla combustible de gases no se quemará hasta que alcance la temperatura de ignición^{*}, pero en presencia de materiales catalíticos, sin embargo, el gas empezará a quemarse a temperaturas más bajas. El sensor se forma con un alambre de platino en espiral recubierto con un óxido metálico tratado catalíticamente. En presencia de gases combustibles, las moléculas de gas se queman sobre la superficie del sensor, lo cual causa que la temperatura del sensor se incremente. Este cambio de temperatura altera la resistencia del alambre de platino, que está conectado a un circuito de puente Wheatstone^{*} que produce una señal proporcional a la concentración del gas.

Características comunes

La salida de un sensor catalítico es directamente proporcional a la concentración de gas, hasta el límite explosivo inferior. Es el sensor más empleado para la detección de gases combustibles.

- **Expectativa de vida**. Depende del fabricante y de la aplicación, aunque típicamente se especifica que tiene de uno a dos años de vida útil.
- **Alteración del Catalizador**. Hay elementos químicos que desactivarán el catalizador y harán al sensor insensible al gas. Los químicos comunes utilizados para el catalizador incluyen compuestos de silicona, compuestos de sulfato y cloro.

^{*} Véase el Anexo A para más información.

- **Factores de Corrección.** La mayor parte de los sensores catalíticos se calibran con metano. La salida es diferente para otros hidrocarburos. Por ello, generalmente, un fabricante provee un conjunto de factores de corrección que permiten al usuario medir diferentes gases multiplicando las lecturas con los factores de corrección apropiados. Estos factores de corrección son exactos bajo condiciones controladas tales como cuando se utilizan los mismos tipos de sensores con el mismo calefactor y calibración. Los factores de corrección pueden variar de unos sensores a otros por pequeñas diferencias entre ellos o por el envejecimiento del sensor.
- **Calidad del sensor:** Puede variar significativamente de un fabricante a otro.
- **Sensor de Gas Combustible de Propósito General.** Este sensor es apto para uso en aplicaciones de instrumentos portátiles o estacionarios continuos para gases de hidrocarburos.

Sensor de estado sólido

Principio de operación

Un sensor de estado sólido se compone de uno o más óxidos metálicos de metales de transición. Estos óxidos metálicos están preparados y procesados en una pasta usada para formar un sensor en forma de burbuja. Se inserta un calefactor en el sensor para mantenerlo a una temperatura óptima para la detección del gas. En presencia de un gas, el óxido metálico provoca una disociación* del gas en iones cargados o complejos, lo que genera una transferencia de electrones. Finalmente, para medir los cambios en la conductividad, se insertan unos electrodos en el óxido metálico.

Características y Aplicaciones

Los sensores de estado sólido están entre los más versátiles de todos los sensores, ya que pueden ser utilizados para detectar una variedad de gases en rangos de ppm bajos o rangos combustibles.

- **Versatilidad.** Con la variación de los materiales de óxidos metálicos, técnicas de procesamiento y temperatura de operación se obtienen distintas características de respuesta en los sensores. Esto permite que los sensores de estado sólido detecten cientos de gases en una variedad de rangos.
- **Larga expectativa de vida.** Un sensor de estado sólido apropiadamente construido y usado en aplicaciones normales tiene una expectativa de vida superior a los 10 años. La simplicidad en la construcción del sensor lo convierte en un sensor robusto que puede resistir golpes y vibración, y puede construirse para configuraciones con cajas anti explosivas.
- **Selectividad.** Generalmente, los sensores de estado sólido tienen una selectividad* limitada.

Sensor infrarrojo

Principio de Operación

Los gases cuyas moléculas tienen de dos o más átomos disímiles* absorben la radiación infrarroja en longitudes de ondas específicas. Esta energía absorbida provoca el incremento de la temperatura de las moléculas de gas, y este cambio de temperatura se mide como una concentración de gas.

* Véase el Anexo A para más información.

Características y Aplicaciones

La monitorización con un sensor infrarrojo se logra midiendo la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas de gas. Esto es diferente a otras tecnologías en las que los sensores están directamente en contacto con el gas objetivo, que puede causar fallos tempranos. Con sensores infrarrojos, los componentes principales están protegidos por aparatos ópticos y, por esto, el sensor puede usarse en forma continua y exponerse a altas concentraciones de gas.

Seguidamente se listan las principales características de este tipo de sensores:

- **Robustez.** Los sensores al no estar expuestos directamente al gas, no se queman o saturan/fallan, ni se alteran debido a una prolongada exposición, problemas generalmente asociados a otro tipo de sensores. Además, estos sensores son construidos habitualmente para satisfacer requerimientos anti explosivos.
- **Anti Fallo.** Una pérdida de señal debido al fallo en uno de los componentes activará la alarma. Cuando la lectura de gas del sensor indica cero significa que está funcionando apropiadamente.
- **Aplicaciones.** Los sensores infrarrojos son ideales para aplicaciones de altas concentraciones de hidrocarburos, incluyendo rangos combustibles. También son monitores efectivos para medir el dióxido de carbono.

Sensor de fotoionización

Los detectores de fotoionización (PID) utilizan luz ultravioleta para ionizar las moléculas de gas y se emplean comúnmente en la detección de compuestos orgánicos volátiles (VOCs).

Principio de Operación

Una lámpara ultravioleta (UV) especialmente construida genera energía de radiación UV. Las moléculas del gas se ionizan por esta radiación UV, que es medida como una concentración de gas. La lámpara tiene un nivel de radiación de energía expresado en electrón-Voltio (eV). La energía establecida para lámparas estándares es de 8.4 eV, 9.6 eV, 10.6 eV y 11.7 eV. Entre ellas, la de 10.6 eV es la más práctica porque la lámpara es más robusta que otras. Además, la lámpara de 11.7 eV usa fluoruro de litio que es suave, frágil y fácilmente dañable. Hay que tener en cuenta que se detectarán aquellos gases cuyo potencial de ionización esté por debajo del nivel de salida de la lámpara. Por ejemplo, el benceno tiene un potencial de ionización de 9.4 eV y es detectable con una lámpara de 9.6, 10.6 u 11.7 eV.

Características y Aplicaciones

- **Buena Sensibilidad y Respuesta Rápida.** Estos detectores pueden detectar muchos gases a bajas concentraciones con tiempo de respuesta rápido.
- **Selectividad.** Un detector PID detecta todos los gases con un potencial de ionización bajo el nivel de energía de la lámpara.

Lamentablemente, la lámpara necesita ser limpiada a menudo y el instrumento calibrado frecuentemente para mantener la precisión en la medida. Por esto, los instrumentos PID no son prácticos para aplicaciones de sistemas multisensor.

Sensor de semiconductor

Principio de operación

Se basa en la variación de la conductividad que presentan algunos materiales semiconductores ante la presencia de algunos gases. El sensor incluye un material semiconductor sensible al gas que forma una resistencia base al aire. Esta resistencia varía ante la presencia de algunos gases y, haciendo circular una corriente por el semiconductor, su conductividad eléctrica varía aumentando con la concentración del gas.

Características y Aplicaciones

Los sensores de gas de semiconductor tienen campos de aplicación muy diversos, como la monitorización medioambiental, la medida de la calidad de aire en vehículos u otros recintos cerrados o incluso el diagnóstico de enfermedades a través de la detección de diferentes compuestos en el aire exhalado por los pacientes.

Las características más destacables de este tipo de sensores son:

- **Solidez mecánica.** Funciona bien en ambientes de alta humedad constante.
- **Susceptibilidad.** Su respuesta se ve afectada por contaminantes y cambios ambientales.
- **Versatilidad.** Son sensibles a un amplio rango de gases.

2.3.7.1 Narices Electrónicas

El concepto de nariz electrónica aparece con la idea de intentar imitar el sistema olfativo biológico mediante el uso de sensores de gas. Se trata de un instrumento formado por una red de sensores químicos electrónicos y un sistema de reconocimiento de patrones apropiado para examinar compuestos (simples o complejos) y caracterizar mezclas de gases mediante el uso de algoritmos numéricos.

Los primeros prototipos de narices electrónicas aparecieron en los años 80 y, desde entonces, sus campos de desarrollo y sus aplicaciones en alimentación, control de calidad, cura medioambiental, diagnóstico médico, control de procesos industriales, desarrollo de fragancias y cosméticos, seguridad y toxicología, etc., no han dejado de crecer.

Desde un punto de vista operativo, la nariz electrónica se compone de cuatro bloques bien definidos:

➤ **Transducción.**

Su elemento principal es un *array* de sensores químicos, cuyo número y tecnología afectará de forma directa a las prestaciones del sistema. Hay distintas tecnologías de sensores con aplicaciones concretas como puntos fuertes según el gas a detectar, las concentraciones esperadas para la medida, las condiciones ambientales, el tiempo de vida requerido para el sensor, el coste, la precisión de la medida, etc. Los sensores de óxido de metal, que basan su principio físico en el cambio del valor de una resistencia eléctrica por la presencia de un gas determinado, los sensores ópticos, basados en la absorción óptica por parte del gas de radiación infrarroja, y los sensores electrolíticos, que utilizan celdas electroquímicas para transformar energía química en energía eléctrica de un modo similar al funcionamiento de las pilas, son frecuentemente utilizados en estos dispositivos.

- **Adquisición y conversión de señal.**
Se encarga de acondicionar la señal entregada por la red de sensores y convertirla a un formato digital mediante un conversor analógico-digital.
- **Procesado.**
En esta etapa se lleva a cabo el aprendizaje automático.
- **Presentación de resultados.**
Esta fase final de la detección muestra los resultados del análisis al usuario.

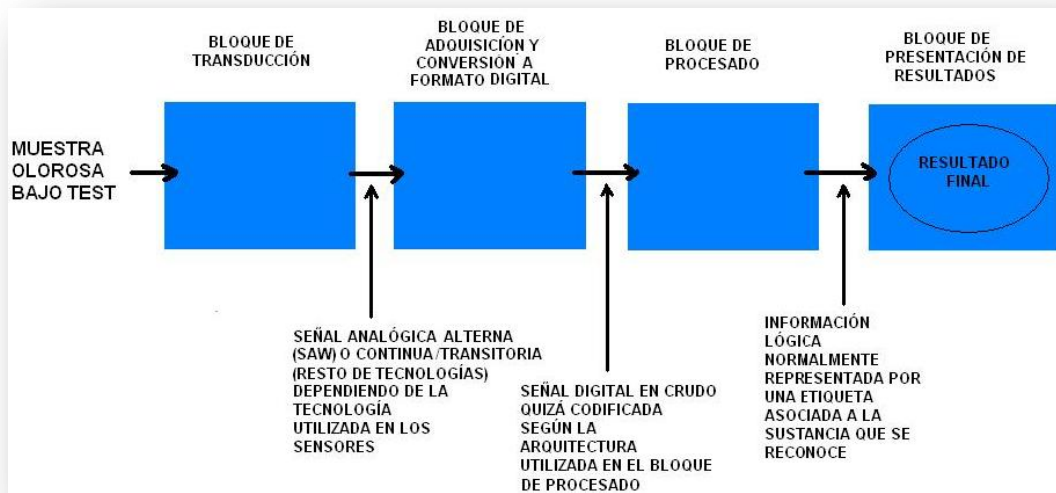


ILUSTRACIÓN 10: DIAGRAMA DE BLOQUES DE UNA NARIZ ELECTRÓNICA

Algunas de las aplicaciones actuales de narices electrónicas en el ámbito del medio ambiente han servido de inspiración para el desarrollo e implementación de este Proyecto, que tal y como ya se ha comentado, busca la creación de un sistema de detección de gases de bajo coste.

El medio ambiente es un campo de gran importancia, y tanto la posibilidad de portabilidad de las narices electrónicas como su capacidad de identificación de contaminantes, las convierten en dispositivos de gran interés para el cuidado medioambiental. Se pueden emplear para la detección de mezclas de combustibles, pérdidas de aceite, olores de efluentes industriales y urbanos, identificación de residuos tóxicos, control de la calidad del aire en ambientes urbanos, emisiones gaseosas de industrias, etc. La nariz electrónica facilita la localización de la fuga de una especie gaseosa y la identificación del compuesto o la mezcla peligrosos, información con la que equipos de emergencia y seguridad pueden escoger la mejor estrategia de contención y de protección en cada caso. Por tanto, para el medio ambiente la nariz electrónica es de gran utilidad en la vigilancia del cumplimiento de las normativas, la evaluación de la calidad del aire y la detección de la presencia de contaminantes de manera que se asegure la seguridad en el entorno.

Asimismo podrían emplearse las narices electrónicas en la prevención de incendios, ya que en la que las sequías veraniegas, las tierras secas emiten etileno que favorece la inflamabilidad de zonas de vegetación densa. También en zonas industriales, donde la emisión de gases inflamables puede provocar la aparición de fuegos, que en ambientes sin oxígeno, aparecen sin llamas haciéndolos difíciles de detectar.

Por otro lado, en entornos domésticos la emisión de gases puede causar explosiones, que podrían evitarse si sensores de gas dan aviso en casos de riesgo. Además, la descomposición de restos orgánicos,

plásticos, papel, vidrio, metales, etc., forman lixiviados* que arrastran los productos tóxicos contaminando aguas subterráneas y liberan gases como metano, CO₂ y otros gases tóxicos a la atmósfera.

En coches de gama alta se emplean sensores de gas que examinan la calidad del aire fuera del coche para decidir si dejar o no entrar el aire. Por ejemplo, en túneles largos, no se dejaría entrar el aire, pero en bosques sí.

Para el medio ambiente la nariz electrónica es de gran utilidad en la vigilancia del cumplimiento de las normativas, la evaluación de la calidad del aire y la detección de la presencia de contaminantes de manera que se guarde la seguridad en el entorno.

2.4 LA PLATAFORMA ARDUINO¹

Arduino es una plataforma electrónica de prototipado de código abierto (*open-source*) fundamentada en *software (SW)* y *hardware (HW)* flexibles y de uso fácil. Está diseñada para desarrollar objetos interactivos autónomos, recibiendo entradas desde sus entradas analógicas y digitales para con ellas intervenir en su entorno a través del control de luces, motores y muchos más dispositivos.

El microcontrolador de la placa se programa con “*Arduino Programming Language*” (basado en *Wiring**) y “*Arduino Development Environment*” (basado en *Processing**), de descarga gratuita.

Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o pueden comunicarse con el *software* que se ejecuta en un ordenador (Flash, Processing, MaxMSP, Pure Data...). Por otro lado, las placas pueden ensamblarse manualmente o adquirirse preensambladas, y hay muchos diseños *hardware* de referencia disponibles bajo licencia *open-source* que pueden usarse tal cual o modificarse para adaptarse a las necesidades de cada uno.

A pesar de que existen otras muchas plataformas microcontroladoras para computación física (BX-24, Phidgets, Parallax Basic Stamp,...), Arduino ofrece unas ventajas que la hacen favorita frente al resto en multitud de ocasiones:

- Se trata de una plataforma de bajo coste ya que las placas de Arduino en comparación con las de otras plataformas microcontroladoras son más económicas.
- Utiliza un software multiplataforma, pues se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
- El entorno de programación es simple y claro, fácil de usar para principiantes y, a la vez, suficientemente flexible para usuarios expertos.
- Es una herramienta de código abierto y software extensible para programadores experimentados. Se pueden instalar librerías C++ para su extensión o saltar a la programación en lenguaje AVR C en el que se basa Arduino si se quiere ir al detalle, pudiendo incluir código en los programas Arduino.
- También es una plataforma de código abierto y hardware extensible. Inicialmente se basaba en los microcontroladores de Atmel*, pero actualmente existen otros modelos de micros en las placas. Por otro lado, y puesto que los planos para módulos están publicados bajo licencia Creative Commons*, los módulos se pueden mejorar y extender.

* Véase el Anexo A para más información.

¹ El Anexo C contiene información adicional sobre Arduino.

Los fundadores de Arduino son Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino y David Mellis, y hay que mencionar que “El proyecto Arduino” recibió una mención honorífica en la categoría de Comunidades Digital en el Prix Ars Electrónica de 2006.

2.4.1 *Hardware*

En el aspecto *hardware*, Arduino consiste en una placa con un microcontrolador y puertos de entrada/salida. Ofrece gran variedad de placas electrónicas de distintas características, permitiendo al usuario elegir aquella que mejor se adapte a sus necesidades. Además, los módulos y accesorios proporcionan a los usuarios opciones de mejora y expansión de las placas electrónicas básicas para poder actualizarlas y readaptarlas con facilidad a nuevos objetivos. En esta sección se presentan las opciones disponibles que en la actualidad se describen en el sitio web oficial de Arduino.

2.4.1.1 *Placas E/S*

Actualmente, las posibilidades ofertadas por Arduino en lo que se refiere a placas electrónicas incluye los modelos que se muestran a continuación.

➤ **Arduino UNO**

Es la última revisión de la placa básica Arduino USB. Se conecta al ordenador por un cable USB estándar y contiene todo lo que se puede necesitar para programar y usar la placa. Pueden utilizarse multitud de módulos como extensión, que serán placas hijas con características especiales. Es similar a la Duemilanove pero con el ATmega8U2, y el etiquetado está diseñado de nuevo para que las entradas y salidas sean más fáciles de identificar.

➤ **Arduino Leonardo**

Se trata de una placa electrónica basada en el ATMEGA32U4. Tiene 20 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 7 puede utilizarse para salidas PWM y 12 como entradas analógicas), un oscilador de 16MHz, una conexión micro USB, un conector de alimentación, un *header* ICSP, y un botón de reinicio. Basta con conectar la placa a un ordenador mediante un cable USB o a una fuente de alimentación con un adaptador o una batería AC-to-DC para empezar.

Esta placa infiere de todas las placas anteriores eliminando la necesidad de un procesador secundario. Esto permite que aparezca conectada a una computadora como un ratón o teclado.

➤ **Arduino DUE**

Es una placa electrónica basada en el Atmel SAM3X8E. Es la primera placa Arduino basada en un microcontrolador núcleo ARM de 32 bits. Cuenta con 54 pines digitales de entrada/salida (12 pueden usarse para salidas PWM), 12 entradas analógicas, 4 UART, un reloj de 84 MHz, una conexión USB OTG, 2 DAC, 2TWI, un conector de alimentación, un cabezal de SPI, un *header* JTAG, un botón de reinicio y un botón de borrado. A diferencia de otras placas Arduino, funciona a 3.3V y este debe ser el voltaje máximo que los pines de E/S toleran. Es suficiente con conectarla a un ordenador con un cable micro-USB o a la alimentación a través de un adaptador o una batería AC-to-DC para empezar. Es compatible con todos los escudos de Arduino que trabajan a 3.3V y cumplan con el *pinout* 1.0 de Arduino.

➤ **Arduino Yún**

Placa electrónica basada en el ATMEGA32U4 y el Atheros AR9331. El procesador Atheros es compatible con una distribución Linux basada en OpenWrt* llamado OpenWrt-Yun. La junta ha

* Véase el Anexo A para más información.

incorporado Ethernet y soporte WiFi, un puerto USB-A, ranura para tarjeta micro-SD, 20 entradas digitales/pines de salida (7 puede utilizarse para salidas PWM y 12 como entradas analógicas), un oscilador de cristal de 16MHz, una conexión micro USB, una cabecera ICSP, y 3 botones de *reset*.

➤ **Arduino TRE**

La primera placa Arduino fabricada en los EE.UU. Gracias al procesador de 1 GHz Sitara AM335x, se podrán obtener hasta 100 veces más rendimiento con la TRE que en la Arduino Leonardo o Uno. Esta evolución abre las puertas a aplicaciones más avanzadas que funcionan con Linux, ya que puede ejecutar aplicaciones de escritorio de alto rendimiento, algoritmos de procesamiento intensivo o comunicaciones de alta velocidad (impresoras 3D, puertas de enlace para la automatización de edificios y automatización de la iluminación, los concentradores de telemetría que recoger datos de los sensores cercanos de forma inalámbrica y otras aplicaciones conectadas que requieren las operaciones de control de acogida, más en tiempo real).

➤ **Arduino Micro**

Se trata de una placa electrónica basada en el ATMEGA32U4, desarrollada en conjunto con Adafruit. Tiene 20 pines digitales de entrada/salida (con 7 que puede utilizarse para salidas PWM y 12 para entradas analógicas), un oscilador de cristal de 16MHz, una conexión micro USB, un *header* ICSP, y un botón de reinicio. Hay que conectarla a un ordenador con un cable micro USB para empezar, y su forma le permite colocarse fácilmente en un circuito. Incorporando el micro a la comunicación USB se elimina la necesidad de otro procesador.

➤ **Arduino ROBOT**

Es la primera placa oficial Arduino sobre ruedas. Tiene dos procesadores, uno en cada una de sus dos placas. La placa del motor controla los motores, y la de control lee los sensores y decide cómo operar. Cada una de ellas es programable con Arduino IDE, y son de microcontroladores basados en el ATMEGA32U4. Además tiene muchos de sus pines asignados a los sensores y actuadores de a bordo, y su programación es similar al proceso necesario con la Arduino Leonardo.

➤ **Arduino Esplora**

Es una placa electrónica derivada de la Arduino Leonardo, que proporciona sensores integrados listos para usar. Está diseñada para las personas que se quieren poner en marcha con Arduino sin tener que aprender electrónica antes. Tiene integradas salidas de luz y sonido, y varios sensores de entrada, incluyendo un joystick, un control deslizante, un sensor de temperatura, un acelerómetro, un micrófono, y un sensor de luz. También tiene el potencial de ampliar sus capacidades con dos conectores de entrada y salida TINKERKIT, y una toma para una pantalla LCD TFT a color. Emplea un microcontrolador AVR ATMEGA32U4 con un oscilador de cristal de 16MHz y una conexión micro USB capaz de actuar como un dispositivo cliente USB (como un ratón o un teclado). En la esquina superior izquierda de la placa hay un pulsador de *reset*, que puede utilizar para reiniciar el tablero, y hay cuatro LED de estado:

- ❖ ON [verde]: indica si la placa está recibiendo alimentación.
- ❖ L [amarilla]: conectado al microcontrolador y accesible a través del pin 13.
- ❖ RX y TX [amarilla]: indica que los datos son transmitidos o recibidos a través de la comunicación USB

Para empezar a usarla, basta con conectar la placa a un ordenador con un cable USB.

➤ **Arduino Mega 2560**

Esta placa actualiza y sustituye a la Arduino Mega y utiliza el Atmega2560. Tienen 54 pines digitales de E/S (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera

ICSP, y un botón de reinicio. Es suficiente alimentarla con un adaptador de CA o la batería a CC para empezar, o conectarla a un ordenador con un cable USB. Es compatible con la mayoría de los *shields* diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila.

La revisión 3 de la placa tiene las siguientes características nuevas:

- ❖ *Pinout* 1.0
- ❖ Circuito de *Reset* más fuerte.
- ❖ Atmega16U2 en sustitución del 8U2.

➤ **Arduino Mega ADK**

Es una placa electrónica con un Atmega2560. Cuenta con una interfaz de cliente USB para conectar con teléfonos Android, basada en el MAX3421E IC. Tiene 54 pines digitales de E/S (15 pueden utilizarse como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART, un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un *header* ICSP, y un botón de *reset*.

La Revisión 3 de la placa tiene las siguientes características nuevas:

- ❖ *Pinout* 1.0.
- ❖ Circuito de *Reset* fuerte.

➤ **Arduino Ethernet**

Es una placa electrónica con un Atmega328, 14 pines digitales de E/S, 6 entradas analógicas, un oscilador de 16MHz, una conexión RJ45, un conector de alimentación, un *header* ICSP, y un botón de reinicio. Los pines 10, 11, 12 y 13 están reservados para la interfaz con el módulo Ethernet y no deben ser utilizados de otra forma. Por tanto, el número de pines disponibles es 9 (4 disponibles como salidas PWM). Se puede agregar a la tarjeta una alimentación opcional en el módulo Ethernet. Esta placa tiene una interfaz Wiznet Ethernet para la que se reserva el pin 10. Incluye un lector de tarjetas microSD que puede emplearse para almacenar archivos para servir en la red (accesible a través de la Librería SD). Cuenta con soporte para reinicio automático, permitiendo *sketches* que se cargan sin necesidad de pulsar el *reset*. Cuando se conecta a un adaptador de USB a serie, esta placa se alimenta desde el adaptador.

La Revisión 3 de la placa presenta el *pinout* 1.0 estandarizado.

➤ **Arduino Mini**

Se trata de una pequeña placa de desarrollo originalmente basada en el ATmega168, pero ahora suministrada con el 328, destinado a usarse en *protoboards* y cuando el espacio es escaso. Cuenta con 14 pines digitales de E/S (6 pueden utilizarse para salidas PWM), 8 entradas analógicas, y un oscilador de cristal de 16MHz. Puede programarse con el adaptador USB serie u otro USB o RS232 a TTL.

La revisión 05 tiene un nuevo paquete para el ATmega328, que permite que todos los componentes estén en la parte superior de la placa, e incluye un botón de *reset*.

➤ **Lilypad Arduino USB**

Es una placa electrónica que incluye el ATMEGA32U4, 9 pines digitales de E/S (de los que pueden usarse 4 para salidas PWM), 4 entradas analógicas, un resonador 8MHz, una conexión micro USB, un conector JST para una batería de 3.7V LiPo, y un botón de *reset*. Sólo requiere conexión por USB a un ordenador o una alimentación con batería para comenzar a usarla. La placa incorpora el ATMEGA32U4 en la comunicación USB eliminando el adaptador USB-serie independiente.

➤ **Lilypad Arduino**

Una placa Arduino circular diseñada para coserla en ropa, telas y otras aplicaciones flexibles (*wearables* y *e-textiles*). Necesita un adaptador adicional para comunicarse con un ordenador.

Puede ser cosida a la tela y montada igual que fuentes de alimentación, sensores y actuadores con hilo conductor. La placa se basa en el ATmega168V (versión de bajo consumo del ATmega168) o el ATmega328V.

➤ **Lilypad Arduino Simple**

Placa electrónica diseñada para *wearables* y *e-textiles*. A diferencia de la placa principal Arduino LilyPad, la Simple tiene sólo 9 pines de E/S y cuenta con un conector JST y un circuito de carga incorporado para las baterías de polímero de litio.

➤ **Lilypad Arduino SimpleSnap**

Es una placa electrónica también diseñada para *wearables* y *e-textiles*, similar a la simple excepto en que incorpora una batería de polímero de litio, y en vez de agujeros tiene broches de presión conductores, con los que se puede fijar la LilyPad con seguridad pero pudiendo quitarla para lavarla o cambiarla a otro proyecto.

➤ **Arduino Nano**

Esta placa es un diseño compacto todo en uno para utilizar en *protoboards*, basada en el ATmega328 (Arduino Nano 3.x) o ATmega168 (Arduino Nano 2.x). Tiene más o menos la misma funcionalidad del Arduino Duemilanove, pero le falta un conector de alimentación de CC, y funciona con un cable USB Mini-B en vez de uno normal.

➤ **Arduino Pro**

Se trata de una placa electrónica basada en el ATmega168 o el ATmega328. Viene en versiones tanto de 3.3V/8 MHz como de 5V/16MHz. Cuenta con 14 pines digitales de E/S (de los cuales 6 pueden utilizarse para salidas PWM), 6 entradas analógicas, un conector de alimentación de batería, un interruptor de encendido, un botón de *reset*, y agujeros para el montaje de un conector de alimentación, un cabezal ICSP, y cabezales para pines. Puede conectarse a un cable FTDI o placa *breakout* para proporcionar alimentación USB y comunicación a la placa. Está diseñada para la instalación semipermanente en objetos o exposiciones, ya que viene sin cabezales pre montados, permitiendo tanto el uso de varios tipos de conectores como la soldadura directa de cables. La distribución de los pines es compatible con módulos Arduino y las versiones de 3,3V pueden alimentarse mediante batería.

➤ **Arduino Pro Mini**

Esta placa basada en la Pro, lleva un ATmega168, 14 pines digitales de E/S (pueden utilizarse 6 para salidas PWM), 8 entradas analógicas, un resonador de a bordo, un botón de reinicio, y agujeros para el montaje de cabezales de pin. La distribución de los pines es compatible con la Arduino Mini. Hay dos versiones, una que corre a 3.3V y 8MHz, y la otra que funciona a 5V y 16MHz.

➤ **Arduino Fio**

Placa electrónica basada en el ATmega328P que funciona a 3.3V y 8MHz. Cuenta con 14 pines digitales de E/S (de los que 6 pueden empelarse como salidas PWM), 8 entradas analógicas, un resonador de a bordo, un botón de *reset*, y agujeros para el montaje de cabezales para pines. Tiene conexiones para una batería de polímero de litio e incluye un circuito de carga por USB, además de un zócalo XBee disponible en la parte inferior de la placa, por lo que está diseñada para aplicaciones inalámbricas. La placa viene sin cabezales pre montados, permitiendo el uso de varios tipos de conectores o la soldadura directa de cables.

2.4.1.2 Módulos

➤ **Arduino GSM Shield**

Conecta la placa Arduino a Internet utilizando la red inalámbrica GPRS. Sólo hay que conectar este módulo a la placa Arduino, conectar una tarjeta SIM de un operador que ofrezca cobertura GPRS y seguir unas sencillas instrucciones para empezar a controlarlo a través de internet. También puede realizar/recibir llamadas de voz (se necesita un circuito de altavoz y micrófono externo) y enviar/recibir mensajes SMS.

- **Arduino Ethernet Shield**

Este módulo permite la conexión a internet de la placa de Arduino. Sólo se tiene que conectar este módulo a la placa Arduino, conectarlo a la red mediante un cable RJ45 y seguir unas sencillas instrucciones para empezar a controlarlo por internet.
- **Arduino WiFi Shield**

Este módulo permite la conexión a internet de la placa de Arduino de forma inalámbrica.
- **Arduino Wireless SD Shield**

Permite a una placa Arduino comunicarse de forma inalámbrica mediante un módulo inalámbrico. Se basa en los módulos XBee de Digi, pero puede utilizar cualquier módulo con la misma huella. El módulo se puede comunicar hasta 30 metros en interiores o al aire libre de 90 metros (con línea de visión). Puede usarse como sustituto serie-USB o puede ponerse en modo de comandos y configurarse para las opciones de redes *broadcast* y *mesh*. Cada pin del Xbee va aun *pad* de soldadura *through-hole*, e incluye una ranura para tarjetas SD. Cuando se utiliza la Librería SD para acceder a la tarjeta, el pin 4 es CS y no puede ser utilizado de otra manera, y un interruptor integrado permite seleccionar si el módulo inalámbrico se comunica con el convertidor de USB a serie o con el micro.
- **Arduino Wireless Proto Shield**

Este módulo posibilita que Arduino se comunique con radios inalámbricos como XBee y tiene una gran área para la construcción de circuitos. Se basa en los módulos XBee de Digi, pero puede utilizar cualquier módulo con la misma huella. Se puede comunicar hasta los 30 metros en interiores o los 90 metros al aire libre (con línea de visión).). Puede emplearse como sustituto serie-USB o puede ponerse en modo de comandos y configurarse para las opciones de redes *broadcast* y *mesh*. Este módulo no tiene el zócalo SD, pero sí un interruptor de a bordo que permite al módulo inalámbrico comunicarse con el convertidor de USB a serie o con el microcontrolador.
- **Arduino USB Host Shield**

Permite conectar un dispositivo USB a la placa Arduino. Se basa en el MAX3421E, que es un controlador de periféricos que contiene la lógica digital y los circuitos analógicos necesarios para conseguir la máxima velocidad. El módulo es compatible con TINKERKIT.
- **Arduino Motor Shield**

Se basa en el L298, controlador de puente completo dual diseñado para manejar cargas inductivas como relés, solenoides y motores paso a paso. Permite conducir dos motores de corriente continua con una placa Arduino y controlar la velocidad y la dirección de cada uno de forma independiente. También se puede medir la absorción de corriente de cada motor. Es un módulo compatible con TINKERKIT.
- **Arduino Proto Shield**

Este módulo proporciona espacio para construir circuitos personalizados. Se puede soldar en partes de la zona de prototipos para crear un proyecto, o utilizarlo con una pequeña protoboard sin soldadura para probar rápidamente las ideas de circuito. Tiene conexiones adicionales para todos los pines de Arduino de E/S, y tiene espacio para circuitos integrados de montajes *through-hole* y superficial.

2.4.1.3 Accesorios

- **TFT LCD Screen**

La pantalla TFT de Arduino es una pantalla LCD retro iluminada con cabezales. Puede dibujar texto, imágenes y formas en la pantalla con la Librería TFT. Tiene una ranura para micro-SD integrada en la parte posterior de la pantalla que puede, entre otras cosas, almacenar

imágenes de mapa de bits para mostrarlas. Los cabezales de la pantalla están diseñados para encajar en el zócalo de la parte delantera de la Arduino Esplora, pero es compatible con cualquier placa basada en Arduino AVR (Uno, Leonardo, etc.) o con la Arduino Due.

➤ **USB/Serial Light Adapter**

Convierte una conexión USB en una TX y RX serie de 5V que se puede conectar directamente a la placa Arduino Mini, Arduino Ethernet u otros microcontroladores, para comunicarse con el equipo. Cuenta con un Atmega8U2 programado como convertidor de USB a serie. El firmware utiliza los controladores USB COM estándar, y no se necesita ninguno externo. Sin embargo, en Windows, es necesario un archivo .inf. El adaptador de USB a serie tiene un conector mini USB integrado y 5 pines incluyendo RX y TX. Los pines de 5V, tierra y reset también están expuestos, así como las luces de estado que incluyen la alimentación y la actividad de TX y RX. El adaptador se puede conectar fácilmente a la Arduino Ethernet, Mini, Mini Pro, LilyPad, LilyPad Simple, y Fio. Un poli fusible de a bordo limita la corriente de 500mA y protege el equipo cliente contra cortocircuitos.

➤ **Mini USB/Serial Adapter**

Esta placa convierte una conexión USB en una TX y RX de 5V que se puede conectar directamente a la placa Arduino Mini u otros microcontroladores para comunicarse con el equipo. Se basa en el chip FT232RL de FTDI.

➤ **Arduino ISP**

El Arduino ISP es un pequeño AVR-ISP basado en el proyecto FabISP de David Mellis (<http://fab.cba.mit.edu/content/projects/fabisp/>). Con este programador se puede cargar *sketches* y grabar el gestor de arranque en cualquier placa base AVR, incluyendo Arduino. Al subir un *sketch* con un programador externo se puede eliminar el gestor de arranque y utilizar el espacio adicional para el programa. También se puede grabar el gestor de arranque de Arduino, para que pueda recuperarlo en caso de accidentalmente o cuando se utiliza un nuevo microcontrolador ATmega en la placa Arduino, y se desea utilizar el gestor de arranque para cargar un programa a través de la conexión USB-serie.

2.4.2 Software

Para funcionar, las placas Arduino necesitan que se carguen los *sketches* en sus microcontroladores, y para ello es necesario el uso del *software* de Arduino, que se encuentra disponible de forma gratuita en su página web oficial. Si la placa necesita una conexión USB con el ordenador, se deberán instalar los drivers USB para el chip FTDI de la placa, que también pueden encontrarse en la página de Arduino.

2.4.2.1 Arduino IDE (Integrated Development Environment)

El entorno de desarrollo Arduino está escrito en Java y basado en Processing^{*}, avr-gcc y otro *software* de código abierto. Se constituye de un editor de texto donde escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones de funciones comunes y algunos menús. Facilita la conexión con el *hardware* de Arduino para cargar los programas y establecer comunicación con ellos. Cada uno de los programas de Arduino se denomina *sketch*, y se escriben en el editor de texto, donde se permite cortar/pegar y buscar/reemplazar texto. En el área de mensajes aparece información al mismo tiempo que se van cargando los programas y es el lugar donde se muestran los errores. La consola muestra el texto de salida para el entorno de Arduino e incluye los mensajes de error completos y otras informaciones. La barra de herramientas permite verificar el proceso de carga, creación, apertura y guardado de programas, así como la monitorización serie.

* Véase el Anexo A para más información.

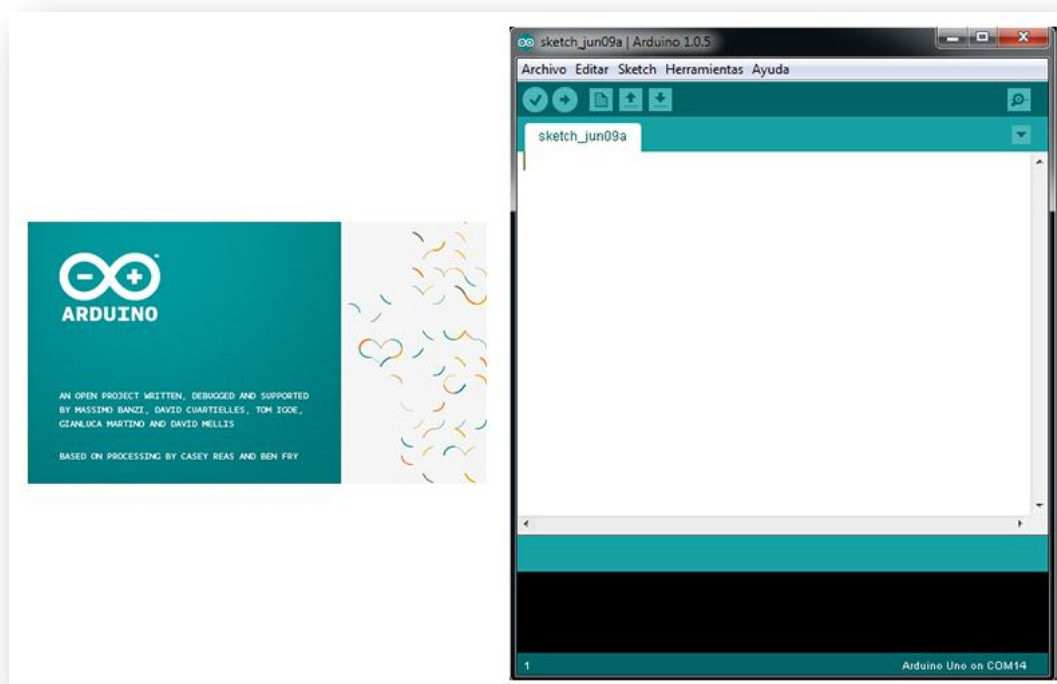


ILUSTRACIÓN 11: INICIALIZACIÓN DEL SOFTWARE ARDUINO IDE

3

DISEÑO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

Para diseñar el sistema de detección de este Proyecto, el cual se centra en el análisis de la calidad del aire, debemos tener en cuenta todo lo anterior para dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Con qué gases peligrosos convivimos diariamente?
- ¿Cuáles de ellos se pueden obtener fácilmente sin poner en riesgo nuestra seguridad?
- ¿Qué sensores del mercado se adecúan a los objetivos de este Proyecto?
- ¿Qué placa de Arduino se adapta mejor a nuestras necesidades?
- ¿Qué *software* utilizar para la representación de los resultados?

A todas ellas se pretende contestar en este capítulo de manera que, poco a poco, se vaya caracterizando nuestro sistema de detección para su diseño e implementación finales.

3.2 CONSIDERACIONES PREVIAS

3.2.1 Sobre Gases Peligrosos

3.2.1.1 *Propiedades de Gases*

A la hora de definir la peligrosidad de un gas se han de tener en cuenta sus propiedades físicas y químicas. Por un lado, las primeras llevan a que los gases sean comprensibles, que ocupen o no el volumen donde se encuentren, etc. Por otro, las propiedades químicas conducen a la siguiente clasificación:

- **Gases comburentes:**
Son aquellos imprescindibles para que se mantenga la combustión.
Ejemplos: Oxígeno, protóxido de nitrógeno, ozono.
- **Gases combustibles:**
Los que arden con facilidad en presencia de aire o de otro oxidante.
Ejemplos: Hidrógeno, acetileno, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural.
- **Gases corrosivos:**
Son capaces de atacar a materiales y destruir tejidos cutáneos.
Ejemplos: Cloro, flúor, monóxido de nitrógeno, óxido de etileno.
- **Gases tóxicos:**
Estos gases producen infecciones en organismos vivos pudiendo provocar su muerte a determinadas concentraciones.
Ejemplos: Monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, dióxido de carbono.
- **Gases inertes:**
Aquellos que no arden o no mantienen la combustión y en cuyo seno no puede haber vida.
Ejemplos: Argón, nitrógeno, helio, neón.

Todas estas propiedades hacen que el manejo de gases suponga un riesgo para el hombre, por lo que es necesario tomar las medidas de seguridad adecuadas, teniendo en cuenta que muchos gases poseen varias de estas características.

3.2.1.2 Peligros de Gases

Existen tres tipos de peligros principales relacionados con los gases, tal y como se explica a continuación.

Gases inflamables: Riesgo de incendio y/o explosión.

La combustión es una reacción química en la que el oxígeno se combina rápidamente con otra sustancia liberándose energía, que principalmente se da en forma de calor (en ocasiones como llamas). Para que se produzca la combustión, tienen que existir una fuente de ignición (normalmente un componente de hidrocarburo), oxígeno y combustible en forma de vapor o gas.

Cada gas tiene una banda específica de concentración gas/aire vinculada a un nivel superior (UEL) y un nivel inferior (LEL) en la que se producirá una mezcla de combustible. Por debajo del LEL será una situación en la que no existirá suficiente gas para que se produzca una explosión, y por encima del UEL la mezcla no tendrá suficiente oxígeno.

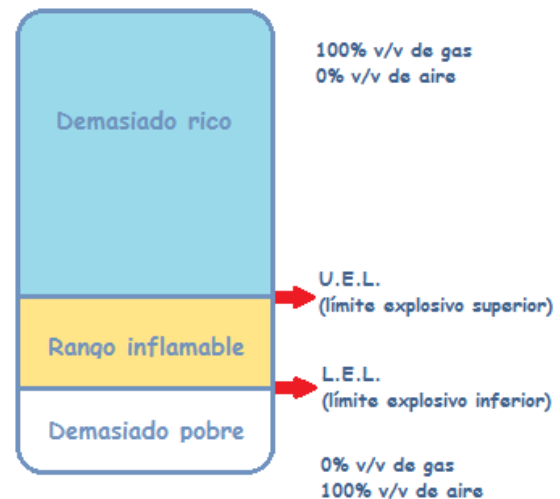


ILUSTRACIÓN 12: LÍMITE DE GAS INFLAMABLE

Los gases inflamables tienen tres propiedades importantes a conocer de cara a su caracterización y control.

- **Temperatura de ignición:** Es aquella a la que los gases inflamables pueden combustionar aunque no haya una fuente de ignición externa, por lo que los equipos o aparatos empleados en zonas de riesgo no deben superarla.
- **Punto de inflamación (P.I. °C):** En un líquido inflamable, se trata de la menor temperatura en la que la superficie del líquido emite vapor suficiente para que se encienda con una pequeña llama.
- **Densidad de vapor:** Esta característica ayuda a determinar la ubicación del sensor de gas. La densidad del gas se compara con la del aire cuando esta última es 1. Para densidades menores que uno, el gas se elevará (más ligero que el aire), y para densidades superiores a 1 el vapor descenderá (más pesado que el aire).

Ejemplos: Metano, butano, propano.

Gases tóxicos: Riesgo de envenenamiento.

Algunos gases son venenosos y, a concentraciones muy bajas, pueden ser un riesgo para la vida. De hecho, mueren más personas por la exposición a gases tóxicos que por explosiones provocadas por gases inflamables. Además, existen muchos gases que son tóxicos e inflamables al mismo tiempo

umentando con ello su peligrosidad. La exposición a sustancias tóxicas supone un riesgo para los trabajadores incluso a bajas concentraciones, ya que estos pueden inhalarlas, ingerirlas e incluso absorberlas a través de la piel. En estos casos es importante también medir el tiempo total de exposición además de la concentración, pues es un factor que agrava los efectos adversos del contacto con sustancias tóxicas.

Para prevenir los efectos nocivos de los gases tóxicos, las autoridades e instituciones nacionales determinan los Límites de Exposición Profesional (LEP), así como los límites para las concentraciones de compuestos peligrosos en el aire. En España el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) es el encargado de establecer dichos límites, que suponen una ayuda fundamental para la evaluación y gestión del riesgo, y proporcionan información de gran importancia para la seguridad profesional.

Ejemplos: Monóxido de carbono, cloro, amoníaco, dióxido de carbono.

Carencia o enriquecimiento de Oxígeno: Riesgo de asfixia y riesgo de combustión.

El aire se compone de un 21% de oxígeno (O₂), un 78% de nitrógeno (N₂) y un 1% de otros gases. El oxígeno es un gas necesario para la supervivencia de los organismos vivos, y si la concentración en el aire se ve modificada, los seres humanos pueden verse severamente afectados y, en casos extremos, puede llevarlos a la muerte. Si la concentración de oxígeno en el aire baja del 21%, ya sea mediante la eliminación de oxígeno o la adición de otros gases, surge lo que se conoce como deficiencia de oxígeno, la cual tiene efectos diferentes entre las personas, como por ejemplo jóvenes, ancianos y embarazadas.

Por ejemplo, si la concentración de oxígeno cae por debajo del 15% en volumen, la eficiencia física e intelectual de una persona es significativamente reducida. Si esta reducción de oxígeno se produce por la adición de gases inertes (nitrógeno, argón, helio) el descenso en la eficiencia intelectual ocurre sin el conocimiento de la persona. Si el porcentaje de oxígeno baja a un 10%, la pérdida de la conciencia se origina de forma repentina, y por debajo del 8% se produce en pocos minutos la muerte por asfixia, a menos que se lleve a cabo de inmediato la reanimación.

En caso de falta de oxígeno causada por gases tóxicos o inflamables, el riesgo por los efectos tóxicos o inflamables del gas puede ser mayor que la causada por deficiencia de oxígeno:

- Bajas concentraciones de gases tóxicos en el aire puede afectar gravemente la salud o incluso causar la muerte.
- Bajas concentraciones de gases inflamables (algunos de los cuales también pueden ser tóxicos) puede conducir a un mayor riesgo de incendio o explosión.

Por otro lado, el enriquecimiento de oxígeno es también un riesgo a tener en cuenta, ya que a niveles altos de O₂ aumenta el grado de inflamabilidad de gases y materiales. Por ejemplo, en concentraciones del 24% de oxígeno, las prendas de vestir pueden entrar en combustión de forma espontánea. Algunos ejemplos de zonas en las que puede darse el enriquecimiento de oxígeno son las áreas de fabricación o almacenamiento de sistemas de propulsión de cohetes, de productos blanqueantes para la industria de papel y en instalaciones de depuración de aguas.

3.2.1.3 Riesgos de Gases por Sector Industrial

La Tabla 2 de Industrial Scientific presenta los riesgos por gases peligrosos en cada sector industrial.

		GAS PELIGROSO																
		G. com	O ₂	NH ₃	CO ₂	CO	Cl ₂	ClO ₂	H ₂	HCl	HCN	H ₂ S	NO	NO ₂	O ₃	PH ₃	SO ₂	COV
INDUSTRIA	Agricultura																	
	Aviación																	
	Industria Química																	
	Construcción																	
	Servicios eléctricos																	
	Servicios contra incendios																	
	Producción bebidas y alimentos																	
	Servicios de gas																	
	Materiales Peligrosos																	
	Producción hierro y acero																	
	Manufactura																	
	Aplics. Marítimas/Astilleros																	
	Minería																	
	Producción gas y petróleo																	
	Productos petroquímicos																	
	Pulpa y papel																	
	Farmacia y laboratorio																	
	Plantas de energía																	
	Obras públicas																	
	Tratamiento de agua y aguas residuales																	
Soldadura																		

TABLA 2: EXISTENCIA DE GASES PELIGROSOS POR SECTOR INDUSTRIAL

Los gases que aparecen en la tabla anterior son los siguientes:

- Gases combustibles: Butano, propano, metano, etc.
- O₂: Oxígeno.
- NH₃: Amoníaco.
- CO₂: Dióxido de carbono.
- CO: Monóxido de Carbono.
- Cl₂: Cloro (molécula → Dicloro).
- ClO₂: Dióxido de Cloro.
- H₂: Hidrógeno (molécula → Dihidrógeno).
- HCl: Cloruro de Hidrógeno.
- HCN: Ácido cianhídrico.
- H₂S: Sulfuro de hidrógeno.
- NO: Óxido de nitrógeno.
- NO₂: Dióxido de nitrógeno.
- O₃: Ozono
- PH₃: Fosfano.
- SO₂: Dióxido de azufre.
- COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles): pineno, tolueno, benceno, etc.

3.2.1.4 Gases Peligrosos de Fácil Acceso u Obtención

Centrándonos en la tabla anterior y teniendo en cuenta los riesgos y peligros de los gases mencionados antes, para nuestro sistema de detección decidimos hacer la selección entre aquellos accesibles y fáciles de obtener de modo seguro, y que al mismo tiempo si puedan suponer un peligro en la vida cotidiana y no sólo en sectores industriales.

Por ello, la selección inicial está compuesta por los siguientes gases:

- Gases combustibles (Butano, propano, metano, etc.) → Riesgo de explosión.
- O₂ (Oxígeno) → Carencia de oxígeno y riesgo de combustión.
- NH₃ (Amoníaco) → Riesgo de envenenamiento.
- CO₂ (Dióxido de carbono) → Riesgo de asfixia.
- CO (Monóxido de carbono) → Riesgo de envenenamiento.
- H₂S (Sulfuro de hidrógeno) → Riesgo de combustión.

Se pasa ahora a la evaluación individual de cada uno de ellos para conocer cuáles se pueden obtener y manejar sin un riesgo excesivo para la seguridad personal.

Gases combustibles

Dentro de esta clase de gases, el butano y propano se pueden conseguir en encendedores, botes de recarga de mecheros que se venden en estancos, hornillos y camping-gas, de modo que si podemos tenerlos en cuenta para nuestro diseño final.

Oxígeno (O₂)

Para este gas, tan sólo necesitamos medir su concentración en el ambiente, de forma que se pueda ver cuando sus niveles en aire descienden o aumentan, maximizando el riesgo de asfixia y explosión respectivamente. Es por ello que también puede ser adecuado para el objetivo de este Proyecto.

Amoníaco (NH₃)

Este compuesto es utilizado en productos de limpieza en forma líquida. Los productos derivados o que incluyen amoníaco despiden un olor muy característico que nos informa de la presencia de este compuesto, por lo que también podemos considerar accesible este gas utilizando dichos productos de limpieza como foco de emisión.

Dióxido de carbono (CO₂)

Simplemente con nuestra respiración, estamos consumiendo oxígeno y liberando CO₂ al ambiente. Además, el consumo de oxígeno durante una combustión también origina CO₂, por lo que con una ignición inofensiva podemos causar la aparición de CO₂. Por otro lado, el dióxido de carbono se puede conseguir de forma sencilla, por ejemplo, con hielo seco o con la mezcla de ácido acético y bicarbonato. Todas estas opciones hacen que este gas se preste a ser detectado por nuestro sistema.

Monóxido de Carbono (CO)

El CO cuando se produce una combustión incompleta de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera. También se despiden monóxido de carbono con estufas, calentadores de agua o calefactores que no funcionan correctamente, o cuando los vehículos están detenidos con el motor encendido. Se trata de un gas inodoro, incoloro y altamente tóxico, que puede provocar la muerte cuando se respira a niveles elevados, por lo que pese a poder obtenerlo, si bien con mayor dificultad que los gases anteriores, por el riesgo que supone su manejo, desestimamos este gas para nuestro diseño final.

Tras este análisis general, se tiene una preselección de gases que incluye amoníaco, dióxido de carbono, oxígeno y gases combustibles (metano, propano, butano...), sobre los que se pasará a evaluar sus Límites de Exposición Profesionales (LEP) de cara a la elección final de los gases a detectar.

3.2.1.5 Límites de Exposición Profesional (LEP)

En el documento de “Límites de Exposición Profesional Para Agentes Químicos en España” de 2015 editado por el Ministerio de Empleo y Seguridad Social junto con el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, se presentan los límites a tener en cuenta para cada sustancia peligrosa presente en diferentes entornos laborales.

Los LEP son valores de referencia en la evaluación y control de los riesgos inherentes a la exposición a agentes químicos para los trabajadores en su puesto de trabajo, principalmente por inhalación, de manera que se pueda proteger su salud. Se debe tener presente que no forman una barrera definida entre ambientes seguros y peligrosos.

El INHST considera como LEP los Valores Límite Ambientales (VLA) y como complemento indicador de la exposición los Valores Límite Biológicos (VLB).

Valores Límite Ambientales (VLA)

Se trata de valores de referencia para concentraciones de agentes químicos en el aire que representan condiciones a las cuales se cree que la mayor parte de los trabajadores pueden estar expuestos diariamente, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. Al hablar de la mayoría de trabajadores, de modo que un pequeño porcentaje podría experimentar molestias a concentraciones inferiores a los VLA o resultar afectados de mayor gravedad. Tan sólo se emplean para

el control de riesgos por inhalación de los agentes químicos incluidos en la lista de valores. En el caso de que alguno de ellos pueda ser absorbido por la piel, la medición de la concentración ambiental puede resultar insuficiente para lo que se pasaría a evaluar los VLB.

Se consideran las siguientes categorías de VLA:

Valor Límite Ambiental-Exposición Diaria (VLA-ED)

Es el valor de referencia para la Exposición Diaria (ED). Representan las condiciones a las que se cree que la mayor parte de los trabajadores pueden estar expuestos 8 horas al día y 40 horas a la semana durante toda su vida laboral sin sufrir efectos nocivos para su salud.

Valor Límite Ambiental-Exposición de Corta Duración (VLA-EC)

Se trata del valor de referencia para la Exposición de Corta Duración (EC). El VLA-EC no debe ser superado por ninguna EC durante la jornada laboral. Constituye un complemento del VLA-ED para los agentes químicos con efectos agudos reconocidos con efectos tóxicos principales de naturaleza crónica, por lo que se valorará la exposición teniendo en cuenta ambos límites. En cambio, para los agentes químicos con efectos principalmente agudos, como gases irritantes, sólo se evalúan según su VLA-EC.

Valoración de la exposición y del riesgo

En general, la ED a cualquier agente químico no debe superar el VLA-ED en ninguna jornada laboral, aunque en ocasiones que sean justificadas puede llevarse a cabo una valoración semanal en lugar de una diaria, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Que se trate de un agente químico capaz de producir efectos adversos para la salud sólo tras exposiciones repetidas a lo largo de meses o años.
- Que se produzcan variaciones derivadas de distintas situaciones de exposición entre las ED de diferentes jornadas.

En estos casos, se comparará la Exposición Semanal (ES) con el VLA-ED.

$$ES = \frac{\sum ED_i}{5}$$

La evaluación de la exposición a un agente químico sólo es una parte de la evaluación del riesgo asociado a dicha exposición. La exposición expresada como un porcentaje del valor límite únicamente proporciona una estimación de la probabilidad de sufrir el daño específico del agente en cuestión, pero sin evaluar la gravedad de dicho daño. Sin embargo, es necesario considerar este último aspecto para caracterizar la magnitud del peligro, su jerarquía y deducir la prioridad de su control, de modo que para cada agente químico se ha incluido una columna de frases H en la que se especifica la gravedad del efecto esperable de cada agente.

Agentes Químicos Sensibilizantes

Son aquellas sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, pueden ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de manera que una exposición posterior a esa sustancia dé lugar a efectos negativos característicos. En entornos laborales, estas exposiciones pueden ser por vía respiratoria, dérmica o conjuntiva, provocando reacciones en las vías de exposición. Inicialmente, la respuesta puede

ser leve o inexistente, pero tras la sensibilización de un individuo, los riesgos de respuesta intensa incluso a muy bajas concentraciones aumentan considerablemente.

Normalmente la sensibilización se produce como mecanismo inmunológico, y las reacciones alérgicas pueden llegar a ser muy graves. Las más típicas son rinitis, asma, alveolitis, bronquitis, eczema de contacto, urticaria de contacto y blefarconjuntivitis*. Además, las sustancias irritantes que no son sensibilizantes pueden agravar o provocar una reacción alérgica en individuos sensibilizados.

En la lista de VLA, los agentes capaces de producir sensibilización aparecen señalizados con la notación "Sen", y plantean un problema especial en los lugares de trabajo, ya que las exposiciones por las vías respiratorias, dérmicas y conjuntivas deben eliminarse o reducirse a un nivel tan bajo como sea posible, utilizando medidas de control adecuadas o equipos de protección individual.

VLA de los Gases Pre-Seleccionados

En la Tabla 3 se presentan los valores límite según el INHST para los gases de la selección inicial de este Proyecto.

	Agente Químico	Símbolo	VLA-ED		VLA-EC		Notas	Frases H
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³		
	Amoníaco	NH ₃	20	14	50	36	VLI ²	221-331-314-400
	Dióxido de Carbono	CO ₂	5000	9.150	-	-	VLI	-
Gas Combustible	Gas Licuado de Petróleo (GLP)		1000	-	-	-	-	220
	Hidrógeno						b ³	220

TABLA 3. VALORES LÍMITE AMBIENTALES (VLA)

En la tabla anterior entran en juego algunas frases H que se deben tener en cuenta a la hora de evaluar el riesgo de estos gases preseleccionados:

- H220: Gas extremadamente inflamables.
- H221: Gas inflamable
- H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
- H331: Mortal en caso de inhalación.
- H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos.

* Véase el Anexo A para más información.

² VLI: Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.

³ b: Asfixiante simple. Ciertos gases y vapores del aire desplazan al oxígeno y disminuyen su concentración en el aire, sin efecto toxicológico. Estas sustancias no tienen un VLA asignado y su único factor limitador de la concentración viene dado por el oxígeno disponible en el aire, que debe ser como mínimo un 18%.

3.2.2 Sobre Sensores

3.2.2.1 Nomenclatura de Sensores de Gas

En vistas de que la implementación se va a desarrollar en Arduino, se procede a la búsqueda de los principios de funcionamiento de los sensores que se prestarían al desarrollo de nuestro sistema para la detección de gases tóxicos e inflamables, y por ello a la familiarización con su nomenclatura.

- MQ: Sensores de Semiconductor.
- ME: Sensor Electroquímico.
- MG: Sensor de Electrolito Sólido.
- MD: Sensor Termo conductor.
- MP: Sensor *Flat Surfaced*.
- MH: Sensor de Infrarrojos.
- MR: Sensor de *Hot wire*.
- MC: Sensor Catalítico.
- PID: Sensor de Fotoionización.

3.2.2.2 Ubicación de Sensores

A la hora de situar nuestro sistema de detección en el entorno de operación, se deberá tener en cuenta la densidad de los gases para colocarlo de forma inteligente y que todos puedan ser detectados sin problemas en situaciones de alarma.

Gases más ligeros que el aire

Estos gases subirán, por lo que sus detectores deberán encontrarse en zonas altas del ambiente de análisis.

- Amoníaco NH₃.
- Monóxido de Carbono CO.
- Metano CH₄.

Gases menos ligeros que el aire

Estos gases descenderán, de modo que sus detectores deberán situarse en zonas bajas del lugar de trabajo.

- Butano.
- Dióxido de Carbono CO₂.
- Etano.
- Sulfuro de Hidrógeno H₂S.
- Oxígeno O₂.
- Propano.
- Dióxido de Azufre SO₂.

3.2.3 Elección de parámetros a detectar

En esta sección se va a resumir la información más relevante con el objetivo de realizar la selección de los gases a detectar por el sistema.

En primer lugar, se recuerda que se preseleccionaron el amoníaco, el dióxido de carbono, el oxígeno y los gases comburentes por tratarse de compuestos de fácil acceso o creación.

Si se tiene en cuenta ahora que el sistema desarrollado va a ser fijo, la selección de gases se reduce a un grupo de densidad similar (más o menos ligeros que el aire) de entre los descritos en el apartado referido a la ubicación de los sensores, de forma que el sistema se coloque en una zona adecuada para la medición de todos los gases.

Además, se quieren controlar los tres riesgos principales por gases, que eran el riesgo de incendio y/o explosión por gases inflamables, el riesgo de envenenamiento por gases tóxicos y el riesgo de asfixia o combustión por carencia o enriquecimiento de oxígeno respectivamente.

Analizando todo lo anterior, necesariamente para controlar el riesgo por asfixia y combustión es necesario medir la concentración de oxígeno en el aire, por lo que este será nuestro primer gas seleccionado.

Por otro lado, el dióxido de carbono es un gas tóxico con el que se podría evaluar el riesgo de envenenamiento, y cuya concentración es, además, opuesta a la del oxígeno, por lo que los resultados de las mediciones de ambos estarían relacionados.

Finalmente, y para medir el riesgo de explosión habría que escoger un gas inflamable, pero el control de su concentración sería difícilmente medible con los recursos de los que se disponen. Es por ello que, en lugar de incluir un tercer gas en el sistema, se ha decidido realizar la medición de temperatura, puesto que, como se ha visto, es necesario controlar la temperatura de los gases inflamables para evitar un incendio o una explosión si se alcanza la temperatura de ignición.

En resumen, el sistema a desarrollar va a contar con un detector de temperatura, un detector de dióxido de carbono y un detector de oxígeno. Todos ellos se describen en la siguiente sección, primero de manera individual, y posteriormente como sistema conjunto.

3.3 Comunicación Inalámbrica

Para este Proyecto, los módulos XBee del fabricante Digi han sido los elegidos para establecer la comunicación inalámbrica entre el sistema de detección y la estación de control. Estos módulos trabajan en la banda de 2.4GHz y usan el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4. Habitualmente se utilizan en sistemas de seguridad, proyectos de automatización de hogares, monitorización de sistemas remotos, aparatos domésticos, alarmas contra incendios, plantas potabilizadoras de agua, etc.

3.3.1 Introducción a XBee

Los módulos XBee son dispositivos que integran un transmisor-receptor de ZigBee* y un procesador en el mismo módulo, permitiendo a los usuarios el desarrollo de aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

3.3.1.1 Protocolo ZigBee

Se trata de un protocolo de comunicación inalámbrico basado en el estándar IEEE 802.15.4 para comunicaciones en redes inalámbricas. Fue creado y publicado por la ZigBee Alliance*, una organización sin ánimo de lucro compuesta por más de 200 grandes empresas (Honeywell, Motorola, Philips...) que trabajaron en cooperación para desarrollar un protocolo de red que se pudiera utilizar en una variedad de aplicaciones comerciales e industriales de baja velocidad de datos. ZigBee permite la comunicación inalámbrica entre componentes electrónicos de bajo consumo.

ZigBee opera en la banda libre de 2.4GHz y, a diferencia de bluetooth, no utiliza FHSS, sino que emplea un único canal (una frecuencia) entre 16 posibles. El alcance de la comunicación varía según la potencia de emisión del dispositivo y el tipo de antenas utilizadas. En una comunicación con antena dipolo en visión directa normalmente el alcance está en torno a 100 metros, y en interiores sobre los 30 metros. Una red ZigBee tiene una velocidad de transmisión máxima de 256kbps, y puede estar formada idealmente por hasta 65535 equipos, aunque en la realidad esta cifra se reduzca a unos miles.

La siguiente tabla desarrollada por Digi ofrece una idea del lugar que ocupa ZigBee en la actualidad.

	ZigBee y 802.15.4	GSM/GPRS CDMA	802.11	Bluetooth
Aplicación Principal	Monitorización y control	Voz y datos de redes de área ancha	Internet de alta velocidad	Conectividad de dispositivos
Duración Batería	Años	1 semana	1 semana	1 semana
Ancho de Banda	250 Kbps	Más de 2 Mbps	Más de 54 Mbps	720 Kbps
Rango Típico	100+ m	Varios Km	50-100 m	10-100 m
Ventajas	Bajo consumo y coste	Infraestructura existente	Velocidad, ubicuidad	Conveniencia

TABLA 4: COMPARATIVA DE TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN

Las principales ventajas por las que destacan los módulos XBee se reducen al bajo coste económico, su menor consumo frente a WiFi o Bluetooth, el uso de bandas de frecuencia libres (sin necesidad de licencias), la facilidad de instalación y uso, y la posibilidad de crear con él redes flexibles y extensibles (hasta 65535 dispositivos). Además, ofrece un buen alcance en las comunicaciones y tiene bajo consumo.

Actualmente existen dos series de estos módulos, y pese a que ambos pueden utilizarse en modos AT* y API*, no son compatibles entre sí ya que utilizan un chipset distinto y trabajan con protocolos diferentes.

- **Serie 1:** basada en el chipset Freescale y pensada para ser utilizada en redes punto a punto y punto a multipunto.
- **Serie 2:** desarrollada en base al chipset de Ember y diseñada para emplearse en aplicaciones que requieran repetidores o una red mesh.

* Véase el Anexo A para más información.

3.3.1.2 Arquitectura de una Red XBee

Una red ZigBee está formada, en esencia por un dispositivo Coordinador, dispositivos Routers (o esclavos) y dispositivos finales (*end points*).

Módulo Coordinador:

➤ **Módulo Coordinador:**

Se trata del nodo de la red responsable de establecer el canal de comunicaciones y el PAN* ID (identificador de red) para toda la red. Una vez formada la red, el coordinador actúa como un router participando en el enrutado de paquetes o siendo origen o destino de información transmitida.

➤ **Módulo Router:**

Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para identificar la mejor ruta a seguir en el enrutamiento de un paquete de información. Deberá unirse a una red ZigBee antes de actuar como enlace entre nodos de la red.

➤ **Módulo dispositivo final:**

Se trata de los dispositivos que no tienen capacidad de enrutar paquetes. Interactúan siempre a través de su nodo padre (Coordinador o Router), de modo que no pueden enviar información a otro dispositivo final directamente.

La versatilidad de los módulos XBee favorece la posibilidad de crear distintas topologías de red según la serie XBee que escojamos:

- Punto a punto.
- Estrella.
- Malla.
- Árbol.
- Mixtas.

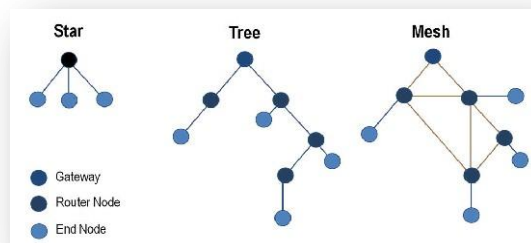


ILUSTRACIÓN 13: TOPOLOGÍAS DE REDES XBEE

Para este Proyecto, la topología que mejor se adapta a las necesidades es la de Punto a Punto, ya que se tiene solamente un sistema inalámbrico muestreando las condiciones del entorno y enviando los datos a una única estación de control donde se analizan y representan dichos valores.

3.3.2 Nuestra Red XBee

3.3.2.1 Elección de Modelo XBee

Para la elección del módulo XBee a utilizar se han tenido que tener en cuenta varios factores.

➤ **Consumo:**

Con la posibilidad de aislar el dispositivo final del sistema alimentándolo con baterías, se debe escoger un módulo XBee que cumpla las necesidades pero consuma lo menos posible para alargar la vida de las baterías.

➤ **Alcance:**

Se ha de tener en cuenta la separación máxima existente entre la estación de control y la ubicación del sistema de detección, para escoger un módulo que pueda cubrir dicha distancia sin problemas. Para este Proyecto, este aspecto no supone una gran limitación, ya que se

pretende diseñar un sistema de detección que pueda utilizarse en un entorno doméstico, por lo que la distancia entre emisor y receptor no será muy grande.

➤ **Topología de red:**

Como ya se ha comentado antes, nuestro sistema se adecúa a una red Punto a Punto.

Teniendo estas tres características en cuenta, los modelos XBee elegidos para nuestra red de comunicación inalámbrica son:

➤ **Coordinador (Estación de control): XBee Series 2 ZigBee Wire Antenna**

Con este tipo de antena se podrán recibir paquetes desde todos los ángulos independientemente de la ubicación del sistema de detección.



➤ **Esclavo (sistema remoto): XBee Series 2 ZigBee Chip Antenna**

Este módulo se colocará en el sistema de detección y no recibirá ningún paquete de información sino que únicamente enviará los valores que vaya muestreando el sistema.



3.3.2.2 Configuración Módulos XBee

Para poder llevar a cabo la configuración de los módulos XBee se ha utilizado el Software X-CTU⁴ de Digi, que es gratuito y está disponible para sistemas operativos Windows. El adaptador XBee USB Explorer, donde se montarán los módulos XBee para su configuración, se conectará mediante un cable USB-mini USB a un ordenador que tenga el X-CTU instalado.



⁴ Véase Anexo B para la configuración de los módulos de XBee.

3.4 SISTEMAS DE DETECCIÓN INDIVIDUALES

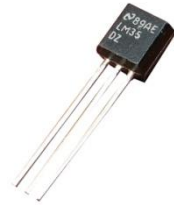
3.4.1 Sistema de Detección de Temperatura

3.4.1.1 Componentes

Sensor De Temperatura LM35

Descripción

El sensor LM35 es un sensor de temperatura integrado de precisión, con un voltaje de salida linealmente proporcional a la temperatura en grados centígrados (°C). Este sensor no requiere ninguna calibración externa o ajuste para tener una precisión típica de $\pm 1/4$ °C a temperatura ambiente y $\pm 3/4$ °C en su rango de temperatura (de -55 °C a +150 °C), ya que se calibra y ajusta durante su producción.



La baja impedancia de salida, la salida lineal y la precisa calibración de fábrica del LM35, permite la creación de circuitos de control o lectura muy sencillos. Por otro lado, el dispositivo puede trabajar con fuentes de alimentación simples o dobles (+ y -).

Características

- Bajo Coste.
- Calibrado directamente en grados Celsius (°C).
- Factor de escala lineal de +10mV/°C.
- 0.5°C de precisión a +25°C.
- Rango de Temperatura de Operación: -55°C a +150°C.
- Funciona con alimentaciones entre 4V y 30V.
- Menos de 60 μ A de consumo.
- Bajo auto calentamiento, menor a 0.1°C en aire estático.
- Baja impedancia de salida, 0.1W para cargas de 1mA.

Diagrama de conexión

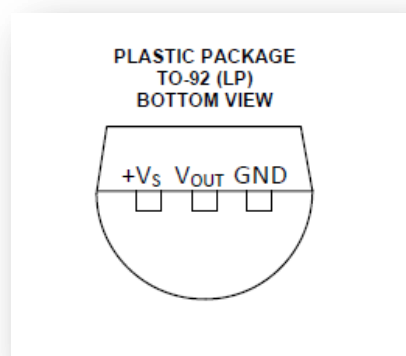


ILUSTRACIÓN 14: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL LM35

Conexiones Típicas

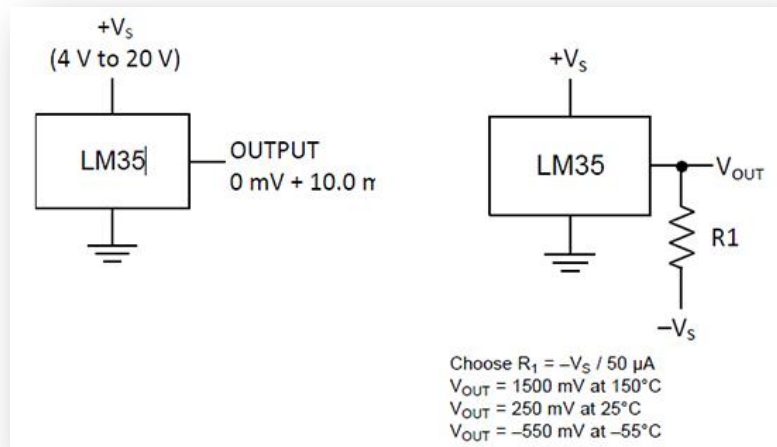


ILUSTRACIÓN 15: SENSOR DE T^º CENTRÍGRADA BÁSICO (IZQDA);
SENSOR DE T^º CENTRÍGRADA DE RANGO COMPLETO (DCHA)

Diodo LED

La alarma luminosa por alta temperatura en este sistema se compone de un LED rojo.

Símbolo electrónico:



Funcionamiento

Se trata de un componente optoelectrónico* pasivo, que funciona por el principio de electroluminiscencia*.

Cuando un LED se encuentra en polarización directa, los electrones pueden recombinarse con los huecos en el dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto es llamado electroluminiscencia y el color de la luz (correspondiente a la energía del fotón) se determina a partir de la banda de energía del semiconductor. Por lo general, el área de un LED es muy pequeña (menor a 1 mm²), y se pueden usar componentes ópticos integrados para formar su patrón de radiación.

Ventajas

- Bajo consumo de energía.
- Mayor tiempo de vida.

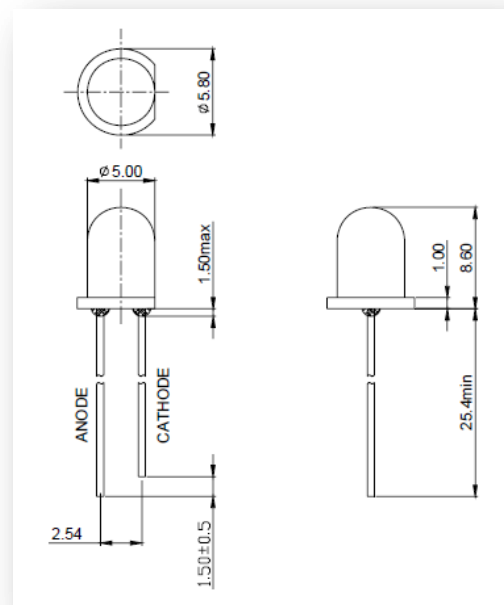


ILUSTRACIÓN 16: PINES Y MEDIDAS DEL LED

- Tamaño reducido.
- Tiempo de encendido muy corto (menor de 1 milisegundo).
- Resistencia a las vibraciones.
- Reducida emisión de calor.
- No contienen mercurio, altamente nocivo en el medio ambiente, en comparación con la tecnología fluorescente.
- No crean campos magnéticos altos como la tecnología de inducción magnética, con los cuales se crea mayor radiación residual hacia el ser humano.
- Reducen ruidos en las líneas eléctricas.
- Son especiales para utilizarse con sistemas fotovoltaicos (paneles solares) en comparación con cualquier otra tecnología actual.
- No les afecta el encendido intermitente (es decir pueden funcionar como luces estroboscópicas) y esto no reduce su vida promedio.
- Son especiales para sistemas anti explosión ya que cuentan con un material resistente.
- Variedad de colores, que ha permitido el desarrollo de nuevas pantallas electrónicas de texto monocromáticas, bicolores, tricolores y RGB (pantallas a todo color).
- En la mayoría de los colores (a excepción de los LED azules), cuentan con un alto nivel de fiabilidad y duración.

Resistencia de Película de Carbón

En este sistema de detección, la resistencia empleada para la alarma luminosa del LED rojo es de 220Ω .



Símbolo Electrónico



Descripción

Las resistencias through-hole más comunes, usadas principalmente en prototipos, se dan en formato axial y su tamaño se relaciona con su potencia nominal, de modo que una resistencia de $\frac{1}{2}W$ comúnmente se encuentra aproximadamente en 9,2mm de diámetro, mientras que una resistencia de $\frac{1}{4}W$ mide en torno a 6,3mm de largo. En estas resistencias, una película fina de carbón que se envuelve por una hélice y se cubre con un material aislante. Cuantas más envolturas, mayor resistencia se tendrá.



ILUSTRACIÓN 17: INTERIOR DE RESISTENCIAS DE PELÍCULA DE CARBÓN
(DE ARRIBA A ABAJO, 27, 330 Y 3M3 OHM)

Decodificación de las bandas de colores

Las dos primeras bandas indican los dos dígitos más significativos del valor de la resistencia. La tercera banda es un valor de peso, que multiplica los dos dígitos significativos por una potencia de diez.

Color	Digit value	Multiplier	Multiplied Out	Tolerance
Black	0	10 ⁰	1	
Brown	1	10 ¹	10	
Red	2	10 ²	100	
Orange	3	10 ³	1,000	
Yellow	4	10 ⁴	10,000	
Green	5	10 ⁵	100,000	
Blue	6	10 ⁶	1,000,000	
Violet	7	10 ⁷	10,000,000	
Gray	8	10 ⁸	100,000,000	
White	9	10 ⁹	1,000,000,000	
Gold				±5%
Silver				±10%



TABLA 5: TABLA DE DECODIFICACIÓN DE COLORES DE RESISTENCIAS

3.4.1.2 Esquema De Conexiones Del Circuito

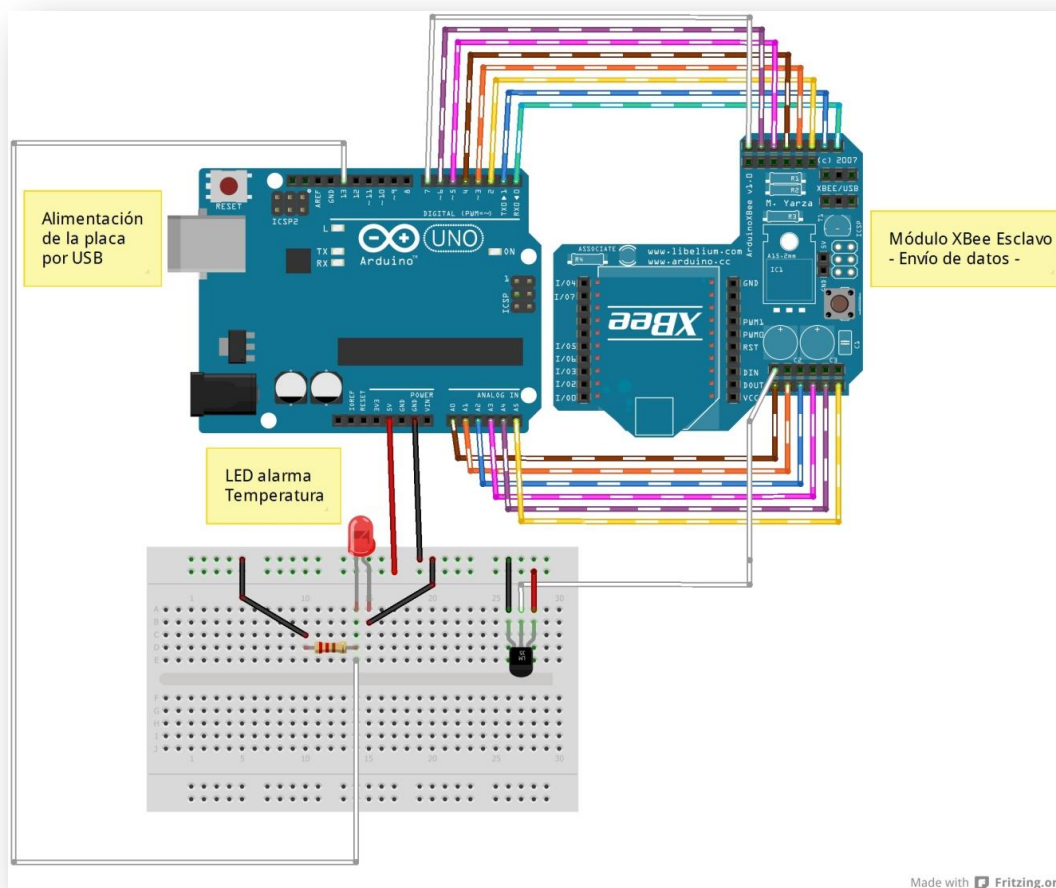


ILUSTRACIÓN 18: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE TEMPERATURA

3.4.1.3 Descripción de Funcionamiento

El detector de temperatura tiene como núcleo un sensor LM35, y para la alarma luminosa se ha empleado una resistencia de 220Ω y un LED rojo. El sistema se encarga de muestrear la temperatura cada 10 segundos, y en los casos en los que la temperatura supere un umbral específico (modificable en el código del *sketch* de Arduino), se encenderá el LED. En estas pruebas individuales se ha elegido una temperatura umbral de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.4.2 Sistema de Detección de Dióxido de Carbono

3.4.2.1 Componentes

Sensor De Dióxido de Carbono: MG811

Descripción

El MG811 es un sensor basado en el principio de funcionamiento de células de electrolito sólido. Este sensor entrega un voltaje inversamente proporcional a la concentración de CO_2 del ambiente. Dicha tensión de salida se genera por el contacto de las moléculas de dióxido de carbono con un dispositivo de alta temperatura en el interior de sensor.



Características

- Buena sensibilidad y selectividad al CO_2 .
- Baja dependencia de la temperatura y la humedad del entorno.
- Larga estabilidad.

Campos de Aplicación

- Control de calidad del aire.
- Control del proceso de fermentación.

Estructura y circuito de pruebas

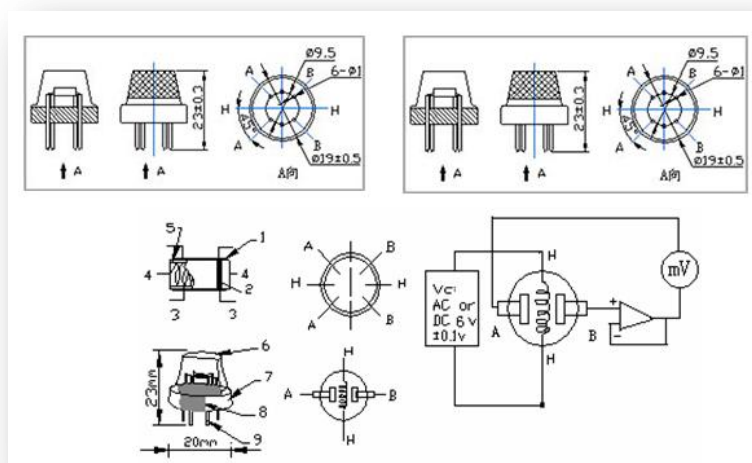


ILUSTRACIÓN 19: ESTRUCTURA Y CIRCUITO DE PRUEBAS DEL MG-811

El sensor se compone de una capa de electrolito sólido (1), electrodos de oro (2), un conductor de platino (3), calentador (4), un tubo de porcelana (5), una red inoxidable de doble capa de 100m (6), un anillo chapado de níquel y cobre (7), una baquelita (8) y un pin chapado de níquel y cobre (9).

Funcionamiento

El voltaje para el calentamiento del sensor (6V) está proporcionado por un circuito externo. Además, este sensor necesita un amplificador operacional conectado a su salida.

Cuando el sensor es expuesto al dióxido de carbono, se produce la siguiente reacción química:

- Reacción catódica: $2Li + CO_2 + 1/2O_2 + 2e^- = Li_2CO_3$
- Reacción anódica: $2Na + 1/2O_2 + 2e^- = Na_2O$

En general, la reacción química es: $Li_2CO_3 + 2Na + Na_2O = 2Li + CO_2$

La fuerza electromotriz (EMF) resultante de la reacción del electrodo anterior, de acuerdo con la ecuación de Nernst*:

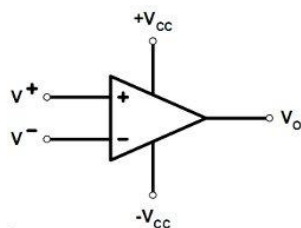
$$EMF = E_c - (R \times T) / (2F) \ln(P(CO_2))$$

Donde:

- E_c es la Constante de Volumen.
- R es la constante universal de los gases ideales.
 - ❖ $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{l} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ (al trabajar con atmósferas y litros).
- T es la temperatura en grados Kelvin.
- F es la constante de Faraday:
 - ❖ $F = NA \cdot e = 96485,3399(24) \text{ C mol}^{-1}$
 - Donde NA es el Número de Avogadro (aproximadamente $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$) y e es la carga eléctrica elemental, o la magnitud de la carga eléctrica de un electrón (aproximadamente 1.602×10^{-19} culombios por electrón).
- $P(CO_2)$ es la presión parcial del CO_2 .

Amplificador Operacional LM324

Símbolo electrónico Amplificador Operacional



* Véase el Anexo A para más información.

Conexiones de pines LM324 (vista desde arriba)

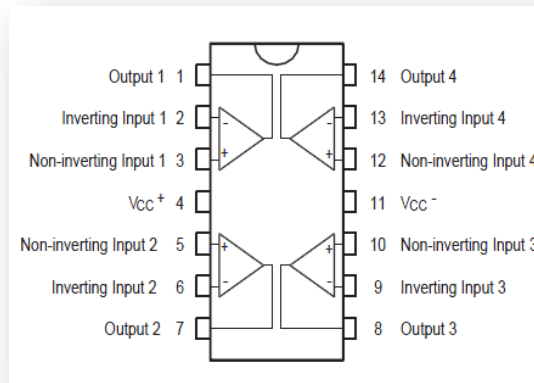


ILUSTRACIÓN 20: CORRESPONDENCIA DE PINES DEL LM324

Descripción

El LM324 es un circuito integrado compuesto por cuatro amplificadores operacionales independientes de alta ganancia y con compensación interna de frecuencia. Pueden operar con una fuente de alimentación sencilla (de +3 a +30 V) o con fuentes duales (± 1.5 a ± 15 V). La corriente de alimentación por amplificador es muy baja, en torno a $375\mu A$, y tiene además tanto una tensión y una corriente de *offset* de entrada baja. Por otro lado, puede trabajar en un rango de temperatura entre $0^{\circ}C$ y $+70^{\circ}C$.

Modo de Operación

Se ha escogido el modo de operación del LM324 como amplificador no inversor, tal y como se muestra en la Ilustración 20.

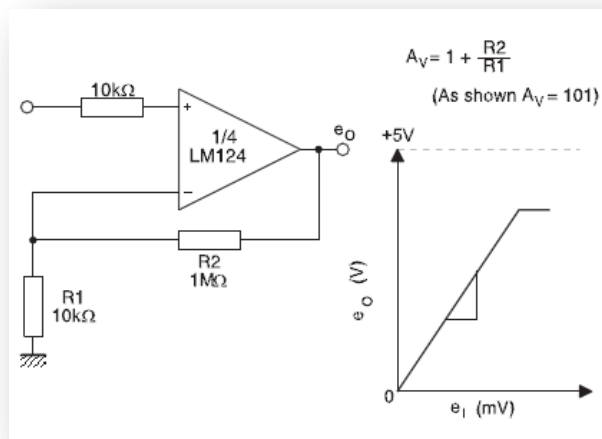


ILUSTRACIÓN 21: CONFIGURACIÓN DEL LM324 COMO AMPLIFICADOR NO INVERSOR

En este Proyecto se ha elegido un factor de ganancia (A_v) de 11. Para ello, se emplean las resistencias:

- $R_2 = 100\text{k}\Omega$
- $R_1 = 10\text{ k}\Omega$

Resistencia de Película de Carbón

Para acompañar al LED que señala la calibración y al LED de la alarma laminosa por exceso de dióxido de carbono se han empleado resistencias de 220Ω . Para la configuración del integrado LM324 como amplificador no inversor, se ha utilizado una resistencia de $10\text{k}\Omega$ y otra de $100\text{k}\Omega$.



Diodo LED

Para señalar el proceso de calibración del sensor MG-811 se ha escogido un LED azul y, para la alarma luminosa por CO_2 , se utiliza un LED verde.



3.4.2.2 Esquema de Conexiones

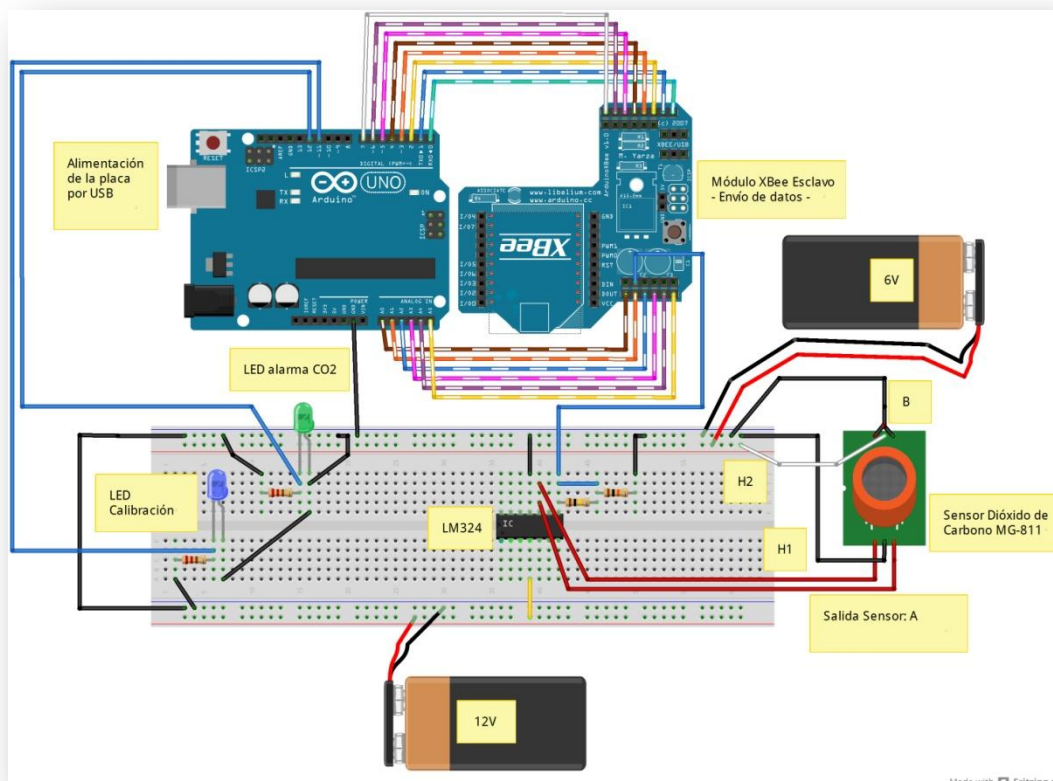


ILUSTRACIÓN 22: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE CO_2

3.4.2.3 *Calibración del Sensor MG811*

Para la calibración del sensor de dióxido de carbono, necesitamos crear un ambiente en el que se den la mínima y la máxima concentración del gas que puede detectar nuestro sensor, de forma que teniendo estos dos puntos de referencia se pueda obtener la recta que representa la sensibilidad del sensor.

Se sabe que en la atmósfera, el CO₂ se encuentra en una concentración de unas 399ppm que puede aproximarse al mínimo de concentración que nuestro sensor MG-811 es capaz de medir, y la máxima concentración medible es de 10.000ppm tal y como se indica en su hoja de características. Es por ello que, para la concentración mínima, no habrá que hacer nada ya que se puede partir de la concentración en el aire en condiciones normales. Sin embargo, para obtener las 10.000ppm, se deberá conseguir la concentración de CO₂ necesaria.

Es necesario realizar esta calibración en dos fases, ya que se debe obtener la mínima y la máxima concentración del gas en el aire, que correspondería en nuestro caso a las concentraciones en condiciones normales (399 ppm) y al máximo de su rango de sensibilidad (10000 ppm) respectivamente.

En la primera fase, una vez iniciado el sistema, este procede a medir la concentración mínima de CO₂ en condiciones normales, que se estima actualmente alrededor a las 399 ppm. La duración de esta primera etapa es de 40 minutos, y una vez pasado ese tiempo se registra el valor que detecta el sensor como la mínima concentración (máxima tensión de salida del sensor). Seguidamente, tras un período de tres minutos en el que se prepara el entorno de análisis con la mezcla de ácido acético y bicarbonato, comienza la segunda fase de la calibración en la que, tras dejar pasar de nuevo 40 minutos, se obtiene la concentración máxima (mínima tensión de salida del sensor).

Para obtener la máxima concentración de CO₂ que es capaz de detectar el sensor dentro del rango lineal de su curva de sensibilidad, que como ya se ha comentado son 10000ppm, se requiere crear una mezcla de bicarbonato y ácido acético en cantidades concretas y específicas para obtener esa concentración de gas en las dimensiones del entorno en el que va a trabajar el sistema, que en nuestro caso es un volumen de 20,592L.

Obtención de Dióxido de Carbono

Se ha optado por la mezcla de ácido acético y bicarbonato para crear el extra de dióxido de carbono necesario para llegar a la concentración máxima medible por el sensor.

Primeramente, se van a calcular las ppm extra que se necesitan para llegar a las 10.000ppm buscadas. Si en el aire se da una concentración de 400 ppm de CO₂, se necesitará proporcionar al entorno

$$10000ppm - 399ppm = 9601ppm$$

Ahora, se ha de pasar la concentración de 10.000 ppm a mg/m³ para poder así conocer la cantidad de CO₂ que hay que proporcionar. Para pasar de ppm a mg/m³, teniendo en cuenta que un mol de un gas a una presión de 1 atmósfera y a 25°C tiene un volumen de 24.45L, y que $[1L \equiv 0.001m^3]$, se puede emplear la siguiente expresión:

$$ppm = \frac{\left(\frac{mg}{m^3}\right) \cdot 24.45L}{MW}$$

Despejando de la expresión los $\left(\frac{mg}{m^3}\right)$:

$$\left(\frac{mg}{m^3}\right) = \frac{ppm \cdot MW}{24.45L}$$

Se debe obtener la masa molar (MW: molar weight) del dióxido de carbono sumando el peso molecular de cada uno de sus elementos multiplicado por el número de moléculas de las que se componga:

$$\left. \begin{array}{l} MW(C)=12.0107g/mol \\ \\ MW(O)=15.9994 g/mol \end{array} \right\} MW(CO_2) = 1xMW(C) + 2xMW(O) = 44.01 \frac{g}{mol}$$

Sustituyendo ahora en la expresión:

$$\left(\frac{mg}{m^3}\right) = \frac{(9601 \cdot 44.01g/mol)}{24.45L} = 17281.8 \text{ mg/m}^3$$

Si nuestro entorno controlado tiene unas dimensiones de:

$$36cm \times 26cm \times 22cm = 20592cm^3 = 0.020592m^3$$

La proporción de CO₂ a introducir en la pecera será de:

$$0.02592m^3 \cdot 17281.8 \frac{mg}{m^3} = 355.8668256 \text{ mg}$$

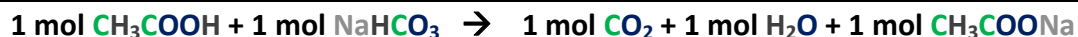
Una vez conocida la masa (m) que se debe generar de dióxido de carbono, se debe calcular la cantidad de moles del gas que hay en ella, conociendo ya su MW y despejando de la expresión del cálculo del número de moles (n):

$$n = m/MW$$

Sustituyendo en ella los datos: obtenemos que en 355.8668256mg de CO₂ hay 0.008086044 moles

$$n = (355.8668256 \text{ mg}) / (44.01g/mol) = 0.008086044 \text{ moles}$$

Una vez zanjados los cálculos referentes al dióxido de carbono, se puede pasar ahora a analizar la disolución molar de bicarbonato (NaHCO₃) y ácido acético (CH₃COOH).



Se trata de una disolución balanceada, en la que con un mol de ácido acético combinado con un mol de bicarbonato se obtiene un mol de CO₂, un mol de agua y un mol de CH₃COONa. El hecho de que sea balanceada implica que tanto a la izquierda como a la derecha de la flecha hay la misma cantidad de moléculas de cada elemento de la reacción (Na = 1; H=5; C=3; O=5).

De esta disolución debemos quedarnos con que con un mol de ácido acético y un mol de bicarbonato se produce un mol de CO₂. Basándonos en esta relación, si buscamos obtener **0.008086044 moles de CO₂**, necesitamos **0.008086044 moles de bicarbonato** y **0.008086044 moles de ácido acético**.

Para conseguirlos, en primer lugar se han de calcular las masas molares (MW: molar weight) de cada compuesto para después obtener la masa de cada compuesto que proporcione los **0.008086044 moles**.

Bicarbonato

$$MW(\text{NaHCO}_3) = 1xMW(\text{Na}) + 1xMW(\text{H}) + 1xMW(\text{C}) + 3xMW(\text{O})$$

$$MW(\text{Na}) = 22.98977 \text{ g/mol} \quad MW(\text{H}) = 1.00794 \text{ g/mol}$$

$$MW(\text{C}) = 12.0107 \text{ g/mol} \quad MW(\text{O}) = 15.9994 \text{ g/mol}$$

$$MW(\text{NaHCO}_3) = 84.0066 \text{ g/mol}$$

Se calcula ahora la masa (m) en gramos que se necesita para obtener esos moles de bicarbonato partiendo de la fórmula de los moles que ya se ha utilizado antes.

$$n = \frac{m}{MW}$$

$$m = n \cdot MW = 0.008086044 \text{ mol} \cdot 84.0066 \text{ g/mol} \\ = 0.6792810639 \text{ g}$$

Finalmente, se aproxima la masa obtenida de bicarbonato a **m = 0.68 g** para facilitar los cálculos.



ILUSTRACIÓN 23: MUESTRA DE BICARBONATO

Ácido Acético

$$MW(\text{CH}_3\text{COOH}) = 2xMW(\text{C}) + 4xMW(\text{H}) + 2xMW(\text{O})$$

$$MW(\text{C}) = 12.0107 \text{ g/mol} \quad MW(\text{H}) = 1.00794 \text{ g/mol} \quad MW(\text{O}) = 15.9994 \text{ g/mol}$$

$$MW(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60.052 \text{ g/mol}$$

Se calcula ahora la masa (m) en gramos que se necesita para obtener esos moles de bicarbonato partiendo de la fórmula de los moles que ya se ha utilizado antes.

$$n = \frac{m}{MW}$$

$$m = n \cdot MW = 0.008086044 \text{ mol} \cdot 60.052 \text{ g/mol} = 0.4855831143 \text{ g}$$

Con la fórmula de la densidad (ρ) en función de la masa (m) y el volumen (V), conociendo que la densidad del ácido acético es $\rho = 1.049 \text{ g/cm}^3$, se puede despejar el volumen correspondiente:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = m/\rho = \frac{0.4855831143 \text{ g}}{1.049 \text{ g/cm}^3} = 0.4629009669 \text{ cm}^3$$

Sabiendo que $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$, tenemos que $V = 0.4629009669 \text{ mL}$

Para facilitar los cálculos, se redondea la cantidad final de ácido acético a $V = 0.463 \text{ mL}$.



ILUSTRACIÓN 24: MUESTRAS DE ÁCIDO ACÉTICO

3.4.2.4 Descripción del funcionamiento

El detector de dióxido de carbono tiene como parte principal un sensor MG811 conectado con un circuito integrado LM324 para la amplificación del voltaje de salida del sensor. Además, incluye un par de LED. Uno de ellos se utiliza como indicador de la calibración del sensor en el sistema (LED Azul), mientras que el otro servirá de alarma luminosa cuando se haya superado la concentración de CO_2 marcada como límite de protección, y que en nuestro caso es de 5000ppm. Para proteger ambos LED se han utilizado resistencias de 220Ω .

El sensor MG811 tendrá un circuito de calentamiento independiente con 6V procedentes de la fuente de alimentación. Por otro lado, el amplificador recibirá una alimentación de 12V independiente para que la amplificación se lleve a cabo sin problemas.

Una vez encendido el sistema, el LED azul parpadeará hasta quedarse encendido, lo que indicará que se habrá iniciado la calibración del sensor la cual debe ser controlada debidamente. En primer lugar, se dejará al sensor trabajando durante 40 minutos en un ambiente donde la concentración de CO_2 sea normal ($\sim 400 \text{ ppm}$), y tras ese tiempo, se tendrá una tensión de salida del sensor estable y correspondiente a la mínima concentración de CO_2 (máximo voltaje) en el entorno de operación. A continuación, el sistema esperará 3 minutos antes de comenzar la segunda parte de la calibración en la que se medirá la máxima concentración de dióxido de carbono (mínimo voltaje) en el aire que el sensor MG-811 puede detectar (10000ppm). Durante esos 3 minutos, el LED azul estará apagado y se deberá preparar el entorno para la medición de esa concentración máxima. Una vez transcurrido ese tiempo, el

LED azul volverá a encenderse y, de nuevo, se dejará al sensor operando 40 minutos para poder, así, encontrar una salida fiable para cualquier porcentaje de CO₂ en el ambiente que se encuentre entre estos límites de operación del sensor. Tras la segunda etapa de calibración, el LED azul se apagará después de parpadear, y el sistema esperará 5 minutos antes de encender de nuevo el LED de calibración indicando así que el sistema pasa al estado de muestreo de dióxido de carbono cada diez segundos.

En caso de superarse el nivel de alarma establecido (5000ppm) en alguno de los muestreos que realice el sistema, se encenderá el LED verde como indicador de riesgo por CO₂ en el ambiente.

3.4.3 Sistema de detección de Oxígeno

3.4.3.1 Componentes

Sensor de Oxígeno O₂/M-100 Membrapor

Descripción



El O₂/M-100 es un sensor de gas electroquímico con un comportamiento lineal en la mayoría de casos. Para conseguir una relación lineal entre la concentración de gas y la corriente que produce un sensor de gas amperométrico (AGS - Amperometric Gas Sensor), como es el caso, la difusión del gas en el interior de la celda debe estar limitada por una barrera. Dependiendo del tipo de barrera y, por lo tanto, del recorrido libre medio de las moléculas de gas, se diferencian dos limitaciones de difusión de gas:

- Difusión normal o de tipo capilar.
- Difusión de Knudsen*.

En nuestro sensor O₂/M-100, la difusión es de tipo capilar, donde el diámetro capilar (d) es mucho más grande que el recorrido libre medio (λ) de las moléculas de gas. Como resultado, la difusión de moléculas de gas a través del capilar está dominada por las interacciones entre las propias moléculas de gas y no por las interacciones entre las moléculas de gas y la pared de los poros, como ocurre en una difusión Knudsen. Como es natural, esto afecta el flujo de las moléculas de gas que pasa del capilar y, por tanto, la limitación de corriente de los AGS.

Este sensor no requiere ninguna calibración para su funcionamiento y su vida útil es mayor de tres años en aire, sin verse limitada por el consumo de los componentes internos. Trabaja en un rango de temperaturas de -40°C a +50°C y proporciona una corriente de salida entre 1.6 y 2.6mA en aire.

Características

- Tiempo de vida no limitado. Al contrario que en galvánicas, este tipo de sensores no tiene partes consumibles ni cambia nada en su interior con el tiempo.
- Fácil almacenamiento en comparación con sensores con ánodo de protección*.
- Compatible con RoHS*: no contiene metales tóxicos.
- Fiabilidad.
- El sensor empleado ha sido calibrado por Membrapor, obteniendo los siguientes valores:
 - ❖ Sensibilidad: 103.87 $\mu\text{A}/\%$.
 - ❖ Tiempo de respuesta: $t_{90} = 8\text{s}$.
 - ❖ *Baseline*: % = 0.09.

* Véase el Anexo A para más información.

Campos de Aplicación

- Seguridad y control de calidad del aire.
- Detectores de gas portátiles.
- Aplicaciones de biogas.

Estructura y Pines de Conexión

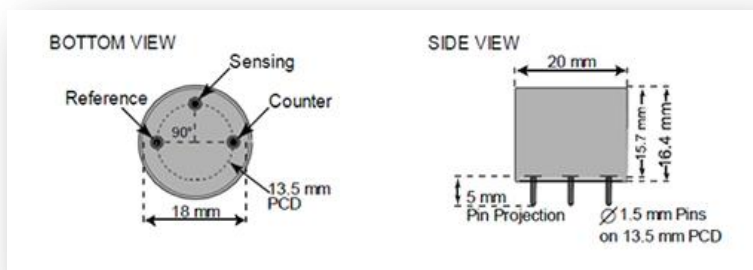


ILUSTRACIÓN 25: VISTA INFERIOR Y LATERAL DEL O₂/M100

Funcionamiento

El oxígeno se difunde a través de un capilar para alcanzar la superficie del electrodo de detección. Con este enfoque, la cantidad de gas que entra en el sensor se controla por difusión.

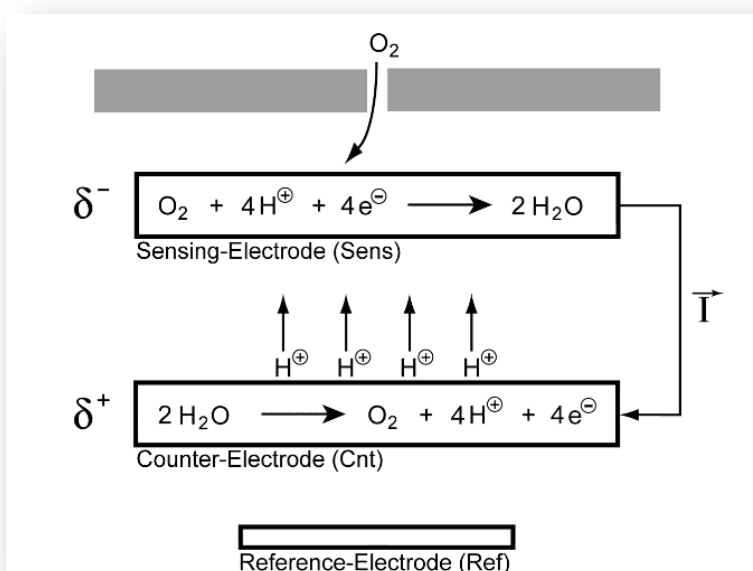


ILUSTRACIÓN 26: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE OXÍGENO

El oxígeno que llega al electrodo de detección se reduce, y por lo tanto el consumo de electrones también, lo que conduce a la corriente eléctrica. El electrodo contador equilibra la reacción del electrodo de detección mediante la oxidación de agua. De esta forma, los protones se producen en el contra electrodo y migran a través del electrolito hacia el electrodo de detección. Un circuito potencioestático mantiene el potencial del electrodo de detección a -600mV con respecto al

potencial del electrodo de referencia. Este potencial negativo es necesario para operar esta célula de combustible amperométrica. Frente a otros sensores sesgados, el sensor de oxígeno Membrapor se estabiliza en pocos minutos cuando el circuito está encendido.

La corriente del sensor aumenta linealmente en el rango de funcionamiento recomendado de la concentración de oxígeno y se mide como la salida del sensor:

$$\text{Sensibilidad del sensor } [\mu\text{A}/\%] \times \text{Concentración O}_2 [\%] = \text{Señal de salida } [\mu\text{A}]$$

PCB (Printed Circuit Board) para el sensor O2/M-100

Descripción

Para operar con un sensor electroquímico se requiere un circuito potencioestático de control. Para nuestro sensor O2/M-100, Membrapor ofrece una placa de circuito impreso con el correspondiente circuito potencioestático, lo que facilita enormemente la puesta en funcionamiento del sensor de oxígeno.



Esta PCB tiene una resistencia de carga de 10Ω, tal y como se recomienda en la hoja de datos del sensor de oxígeno. Además, requiere una alimentación de 6V de continua para operar. La señal de salida tiene un rango lineal entre 0 y 30mV.

Esquemático del circuito potencioestático

El circuito potencioestático necesario para hacer funcionar el sensor electroquímico O2/M-100 y la PCB utilizada que lo incluye, se muestran a continuación.

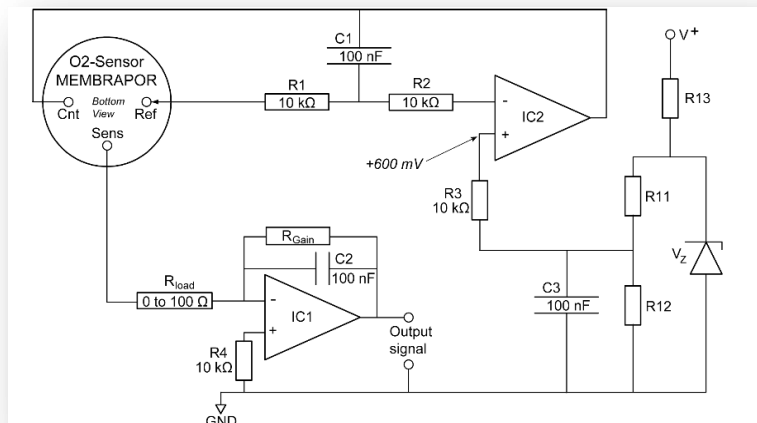


ILUSTRACIÓN 27: DIAGRAMA DEL ESQUEMÁTICO DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO PARA EL SENSOR DE OXÍGENO

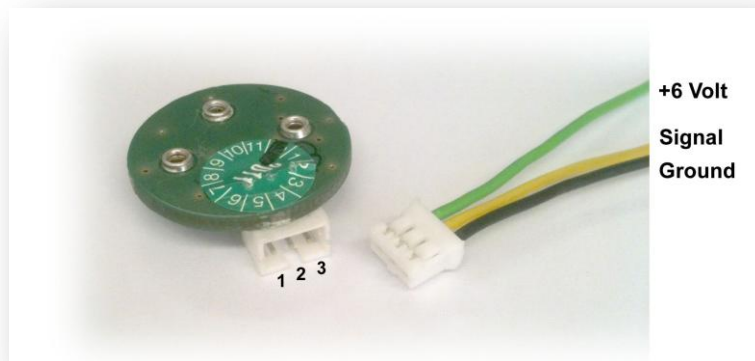


ILUSTRACIÓN 28: PCB PARA EL SENSOR DE OXÍGENO

Cálculo de la sensibilidad del sensor O2/M-100 conectado a la PCB

Puesto que la salida de la PCB es de tensión, la sensibilidad de nuestro sensor puede recalcularse utilizando la Ley de Ohm y teniendo en cuenta que la resistencia de carga es, $R_L = 10\Omega$.

$$V = I \cdot R$$

$$\text{Sensibilidad } [\mu V/\%] = \text{Sensibilidad } [\mu A/\%] \times R_L$$

$$\text{Sensibilidad } [\mu V/\%] = 103.87 [\mu A/\%] \times 10\Omega = 1038.7 [\mu V/\%]$$

Como la salida de la PCB es una tensión en mV, vamos a utilizar la sensibilidad en mV/% para aplicarla a la expresión de la concentración de oxígeno directamente.

$$\text{Sensibilidad } \left[\frac{mV}{\%} \right] = \frac{1038.7 \left[\frac{\mu V}{\%} \right]}{1000 \left[\frac{\mu V}{mV} \right]}$$

$$\text{Sensibilidad } [mV/\%] = 1.0387 [mV/\%]$$

Amplificador Operacional LM324

Se va a utilizar uno de los cuatro amplificadores que contiene este Circuito Integrado.



Resistencia de Película de Carbón

En este sistema, la resistencia empleada para la alarma luminosa es de 2200Ω , y para el amplificador no inversor se emplean resistencias de $10k\Omega$ y 100Ω .



Diodo LED

En este sistema, el LED elegido es de color amarillo.



3.4.3.2 Esquema De Conexiones Del Circuito

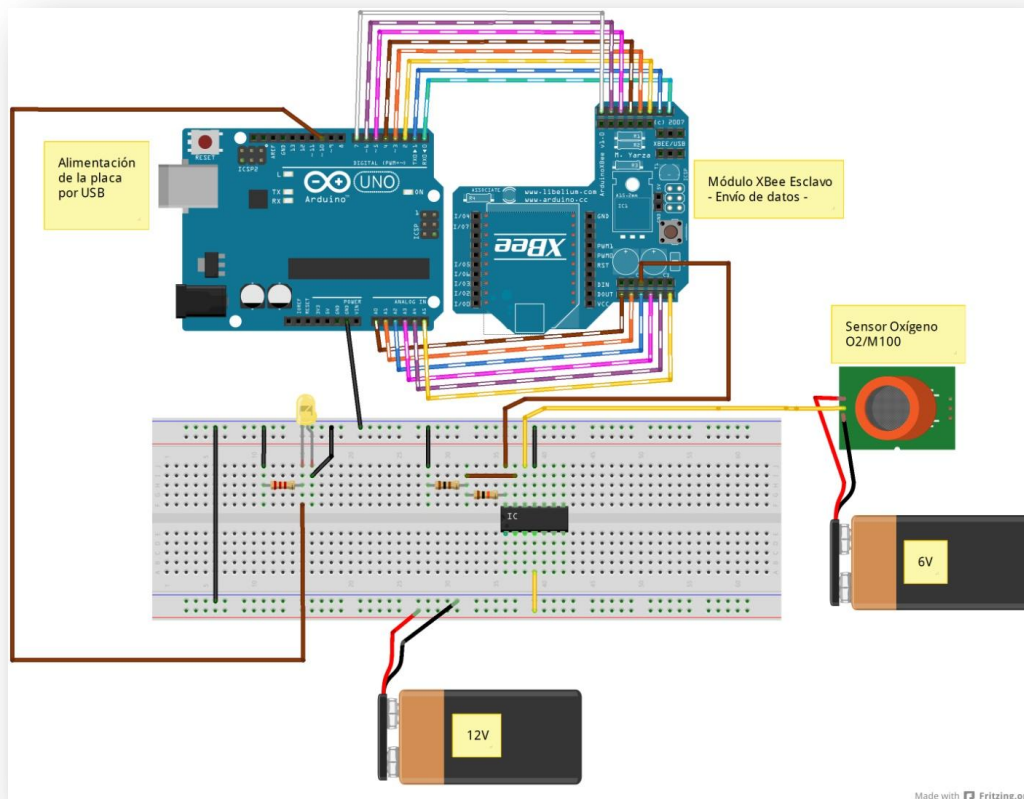


ILUSTRACIÓN 29: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OXÍGENO

3.4.3.3 Descripción de Funcionamiento

El detector de oxígeno tiene como núcleo un sensor electroquímico de Membrapor, el O2/M-100. En su alarma luminosa se ha empleado una resistencia de 2200Ω y un LED amarillo. El sistema se encarga de muestrear la concentración de oxígeno cada 10 segundos, y en los casos en los que esta sea inferior al umbral especificado (modificable en el código del *sketch* de Arduino), se encenderá el LED. En este Proyecto se ha elegido una concentración umbral del 21% de oxígeno en el aire.

3.5 Sistema de Detección Multisensor

3.5.1 Equipamiento

Para la puesta en marcha de nuestro Sistema de Detección de Sustancias Peligrosas se han necesitado los materiales, componentes y dispositivos que se listan a continuación, utilizados para la alimentación, conexión de componentes, calibración, montaje, comunicación inalámbrica y experimentos del sistema.

- Fuente de alimentación: proporciona los 6V para el calentamiento de los sensores de O₂ y CO₂.



- Fuente de alimentación de PC: se emplea para alimentar el amplificador LM324.



- Una Arduino UNO Rev. 3: contiene el programa y en ella se acopla el módulo XBee emisor:



- Cable USB-A a USB-B y adaptador de corriente a USB para la conexión de la Arduino UNO.



- Dos módulos XBee:

- ❖ Coordinador: Antena dipolo.

- ❖ Esclavo: Antena chip.



- Shield para módulo XBee emisor - antena chip - (Sparkfun).



- Adaptador XBee USB-Explorer y cable USB-mini USB: se emplea en la conexión del módulo receptor - antena chip - al PC de la estación de control.



- Un sensor de temperatura LM35.



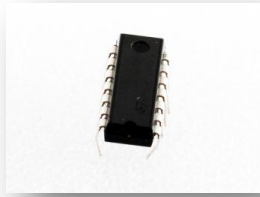
- Un sensor de CO₂ MG-811 (Hanwei).



- Un sensor electroquímico de O₂ (Membrapor).



- Un amplificador de Instrumentación LM324.



- Cuatro diodos LED para señalar las alarmas y calibración de sensores.



- Resistencias de película de carbono.



- Placas de prototipado para el montaje de los detectores.



- Cable para las conexiones.



- Soldador y estaño para conectar los LED.



- Un multímetro para comprobar el funcionamiento del sistema.



- PC para la recepción de datos, registro y representación gráfica.



- Software instalado en el PC:

- **MATLAB**: para la representación y registro de los resultados.

- **Arduino IDE**: para la programación de Arduino UNO.

- **X-CTU**: para la configuración de los módulos XBee.

- **Fritzing**: para el diseño de los circuitos.

- **Microsoft Expression Encoder 4**: Para la captura de vídeo de las pruebas



3.5.2 Descripción de Funcionamiento

Nuestro Sistema de Sensores para la Detección de Sustancias Peligrosas, finalmente tiene como objetivo el control de temperatura, concentración de oxígeno y concentración de dióxido de carbono en un entorno cerrado.

Inicialmente y para poder tener una detección fiable, el sistema requiere alrededor de una hora y veinte minutos para la calibración del sensor de CO₂, y una vez es terminada, da comienzo el muestreo de las tres variables objetivo de este Proyecto.

Entre los módulos de XBee conectado a la placa de Arduino (módulo emisor) y el conectado al PC que hará las veces de estación de control (módulo receptor), se establece una comunicación inalámbrica que permitirá visualizar los valores muestreados en el transcurso de la detección.

Con un período de muestreo de 10 segundos, los sensores del sistema ubicado en el interior de la pecera analizan el ambiente, y envían instantáneamente y de forma inalámbrica las muestras cuantificadas por Arduino a la estación de control donde, a través de un script de MATLAB, se realiza la representación en tiempo real de las tres variables medidas. Esta representación, permite observar los cambios que sufre el entorno en el que está trabajando el sistema casi de manera instantánea.

Además de la visualización gráfica de la detección, el script de MATLAB⁵ genera un archivo donde quedan registradas todas las muestras que se han recibido del sistema, de modo que podría hacerse una evaluación posterior más exhaustiva si se considerase útil o necesaria.

```

Legend: * - An event occurred. > - A write operation occurred. < - A read operation occurred. 1
in little endian format.2 < 22 ascii values. s26.37;728.94;24.19;e
3 < 22 ascii values. s29.30;690.24;24.19;e
4 < 22 ascii values. s26.86;709.33;24.19;e
5 < 22 ascii values. s30.27;671.66;24.19;e
6 < 22 ascii values. s27.83;709.33;24.02;e
7 < 22 ascii values. s26.86;690.24;24.19;e
8 < 22 ascii values. s32.23;728.94;24.15;e
9 < 22 ascii values. s27.34;984.03;24.02;e
10 < 23 ascii values. s27.83;1564.61;23.89;e
11 < 23 ascii values. s31.25;2627.24;23.76;e
12 < 23 ascii values. s28.32;4292.83;23.59;e
13 < 23 ascii values. s31.74;6289.29;23.55;e
14 < 23 ascii values. s28.32;7208.36;23.38;e
15 < 23 ascii values. s29.30;9214.23;23.16;e
16 < 24 ascii values. s28.32;11152.69;22.95;e
17 < 24 ascii values. s32.71;13136.19;22.82;e
18 < 24 ascii values. s34.18;14650.66;22.61;e
19 < 24 ascii values. s34.67;16791.59;22.39;e
20 < 24 ascii values. s34.18;18223.56;22.22;e
21 < 24 ascii values. s29.30;20886.59;22.05;e
22 < 24 ascii values. s29.30;21464.20;21.71;e
23 < 24 ascii values. s34.18;23294.59;21.67;e
24 < 24 ascii values. s33.69;23294.59;21.50;e
25 < 24 ascii values. s33.69;25281.12;21.37;e
26 < 24 ascii values. s34.67;27437.02;21.20;e
27 < 24 ascii values. s33.69;26698.69;21.07;e
28 < 24 ascii values. s34.18;29776.79;20.94;e
29 < 24 ascii values. s31.74;26698.69;21.07;e
30 < 24 ascii values. s30.27;28975.50;20.73;e
    
```

ILUSTRACIÓN 30: REGISTRO DE MUESTRAS DEL SCRIPT DE MATLAB

Cabe destacar que, mientras que la detección es un proceso continuo desde el momento en el que finaliza la calibración del sistema, la representación gráfica y registro de resultados puede pararse e iniciarse de nuevo sin que esto afecte al detector, que seguirá operando y analizando el ambiente mientras no sea desconectado.

⁵ Véase Anexo D para la representación de datos.

3.5.3 Montaje

3.5.3.1 Descripción y esquema de conexiones

El sistema de sensores final se compone de los tres sistemas individuales descritos en esta memoria (detección de temperatura, detección de CO₂ y detección de O₂), que operan de forma independiente, de modo que tanto los errores en el funcionamiento como en el conexionado pueda controlarse y solventarse también de manera independiente. También con el objetivo y para minimizar los errores de conexión, se ha mantenido (en la medida de lo posible) un código de colores en el cableado, desde el diseño inicial de los subsistemas en el software de Fritzing hasta el montaje final del hardware, para facilitar el seguimiento y revisión de las señales tal y como se detalla a continuación.

- Cable rojo: alimentación de 5V.
- Cable amarillo: alimentación de 12V.
- Cable negro: conexión a tierra (0V).
- Cable blanco: Subsistema de detección de temperatura.
- Cable marrón: Subsistema de detección de oxígeno.
- Cable azul: Subsistema de detección de dióxido de carbono.

Como ya se ha visto en la sección de cada subsistema, cada sensor se conecta a un pin analógico de Arduino para posteriormente enviarlos a la estación de control.

- Temperatura → Pin analógico A0.
- Dióxido de carbono → Pin analógico A1.
- Oxígeno → Pin analógico A2.

Por otra parte, cada circuito de alarma luminosa tiene su LED correspondiente conectado a un pin digital de la placa Arduino UNO:

- Alarma de temperatura: LED rojo → Pin digital D13.
- Calibración del sensor de CO₂: LED azul → Pin digital D12.
- Alarma de Dióxido de carbono: LED verde → Pin digital D11.
- Alarma de oxígeno: LED amarillo → Pin digital D10.

En la Ilustración 33 se muestra el esquema de conexiones del prototipo final del sistema de detección.

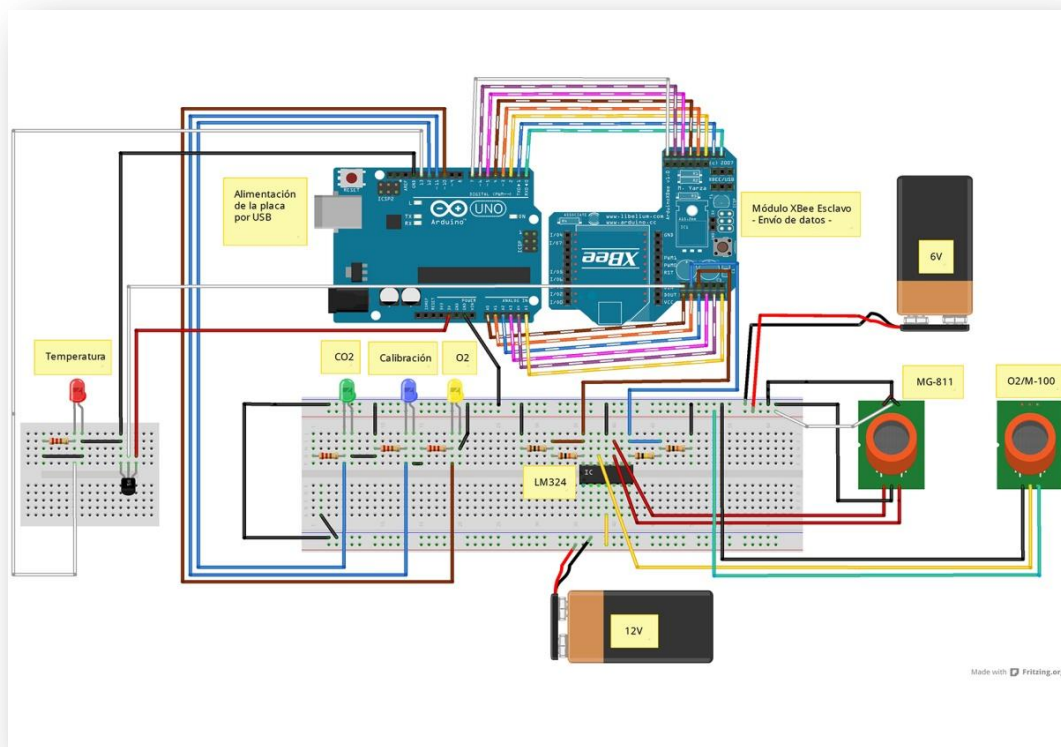


ILUSTRACIÓN 31: ESQUEMA DE CONEXIONES DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MULTISENSOR

3.5.3.2 *Diseño de la Caja Negra*

Con el objetivo de esconder la circuitería del sistema, se ha decidido diseñar una caja negra en la que los sensores queden a la vista para poder llevar a cabo la detección y las luces de alarma se puedan ver de manera clara para saber qué tipo de riesgo existe en el entorno de trabajo. Asimismo, se debe facilitar la alimentación tanto a la placa Arduino UNO como a otros componentes que estarán en el interior de la caja.

El LED azul se corresponde con el proceso de calibración, el amarillo representa la alarma por alta concentración de CO₂, el verde está relacionado con una baja concentración de oxígeno y el rojo se emplea para indicar que existe una temperatura que supera el umbral especificado.

Con estas premisas, el diseño final del detector con su caja protectora se muestra en la siguiente imagen.



ILUSTRACIÓN 322: VISTA INTERIOR DE LA CAJA NEGRA DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MULTISENSOR



ILUSTRACIÓN 333: VISTA EXTERIOR DE LA CAJA NEGRA DEL SISTEMA DE DETECCIÓN MULTISENSOR

3.5.3.3 *Conexión de Módulos XBee*

Para poder establecer la comunicación inalámbrica entre el sistema y la estación de control, se necesita conectar los módulos XBee en cada extremo de esta comunicación.

Por un lado, el módulo esclavo (antena chip) se conecta al adaptador XBee que se une a la placa Arduino UNO tal y como se muestra a continuación.



ILUSTRACIÓN 34: ACOPLAMIENTO DEL MÓDULO XBEE EMISOR AL SHIELD ARDUINO

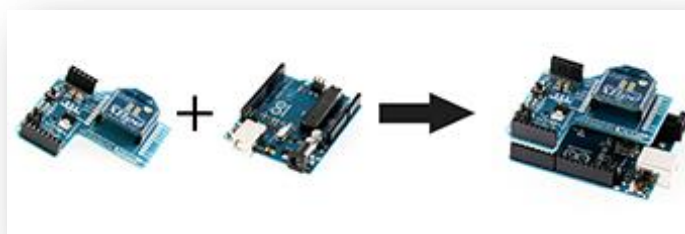


ILUSTRACIÓN 35: ACOPLAMIENTO DEL SHIELD ARDUINO A LA PLACA ARDUINO UNO

Por otro lado, el módulo coordinador (antena dipolo) se une al adaptador XBee Explorer que a su vez irá conectado al ordenador mediante un cable USB-miniUSB tal y como se muestra a continuación.

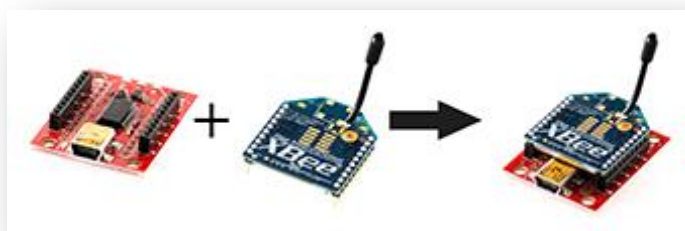


ILUSTRACIÓN 36: ACOPLAMIENTO DEL MÓDULO XBEE RECEPTOR AL ADAPTADOR USB DE ARDUINO

3.5.3.4 Elección del Entorno de Análisis

Una vez diseñada y construida la caja negra que encierra el sistema de sensores, incluyendo en ella el módulo para la comunicación inalámbrica, lo siguiente es pensar en dónde y cómo se va a probar el detector, ya que para la calibración del sensor de CO₂ es necesario controlar la concentración del gas en el aire para asegurar un funcionamiento correcto.

Para ello, se ha escogido una pecera (36x26x22cm) que junto con un cristal (38x28x1cm), forme un entorno de operación que imite un espacio de trabajo cerrado y sin ventilación. Nuestro sistema de detección de dióxido de carbono deberá ser adaptado previamente al espacio donde vaya a utilizarse ya que cualquier modificación de las dimensiones de dicho entorno supondrá un cambio en las cantidades de bicarbonato y ácido acético utilizadas para la calibración del sensor.

Sin embargo, tanto el subsistema de medida de temperatura como el de control de la concentración de oxígeno en el aire se verían afectados por un cambio en el entorno de trabajo, ya que su funcionamiento no depende, en ningún caso, del entorno.

En la imagen siguiente se puede ver el medio escogido en el que se van a realizar los experimentos con los que evaluar el funcionamiento del Sistema de Sensores desarrollado.



ILUSTRACIÓN 37: ENTORNO DE PRUEBAS PARA EL DETECTOR MULTISENSOR

3.5.3.5 Montaje Final



ILUSTRACIÓN 38: ELEMENTOS DEL MONTAJE FINAL DEL SISTEMA MULTISENSOR

Por un lado (a la derecha), se hallan las dos fuentes de alimentación que sustentan a los distintos elementos del sistema (sensores, LED, amplificadores, etc.). En el centro de la imagen, se encuentra el entorno de operación con la caja negra que contiene al sistema en su interior. Es posible apreciar los sensores de dióxido de carbono, oxígeno y temperatura (de izquierda a derecha), sus LED de alarma (verde, amarillo y rojo respectivamente), y el LED azul de calibración. Por último, a la izquierda de la imagen, aparece el receptor XBee conectado a la estación de control (PC) donde se representan los datos obtenidos por los sensores que son enviados inalámbricamente desde el interior de la pecera.

A parte, un detalle que no se aprecia en la imagen es la alimentación de la placa Arduino, que es independiente y directa a una toma de corriente mediante un cable USB(A)-USB(B) conectado a un adaptador de corriente a USB.

4

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Para poner a prueba el sistema desarrollado se pretendía encontrar una o varias fuentes de excitación simples y fáciles de controlar con las que se hicieran saltar las alarmas luminosas de los subsistemas tanto cuando operan de forma individual y aislada como cuando trabajan simultáneamente.

Por ello esta fase de pruebas se puede dividir, a su vez, en dos etapas diferenciadas, cuyos objetivos también se diferencian: experimentos de los subsistemas de detección y experimentos del sistema multisensor.

4.1 Experimentos de los subsistemas de detección

4.1.1 Detección de temperatura

Para comprobar el funcionamiento del detector de temperatura se utilizó un secador de pelo como fuente de calor, ya que podía variar la temperatura del entorno de análisis rápidamente, y así poder observar las variaciones en el comportamiento de la alarma correspondiente sin necesidad de esperar mucho tiempo. La Ilustración 39 muestra una representación gráfica de un período de 10 minutos en el que el sistema de detección de temperatura ha estado funcionando, con un umbral de alarma de 40°C.

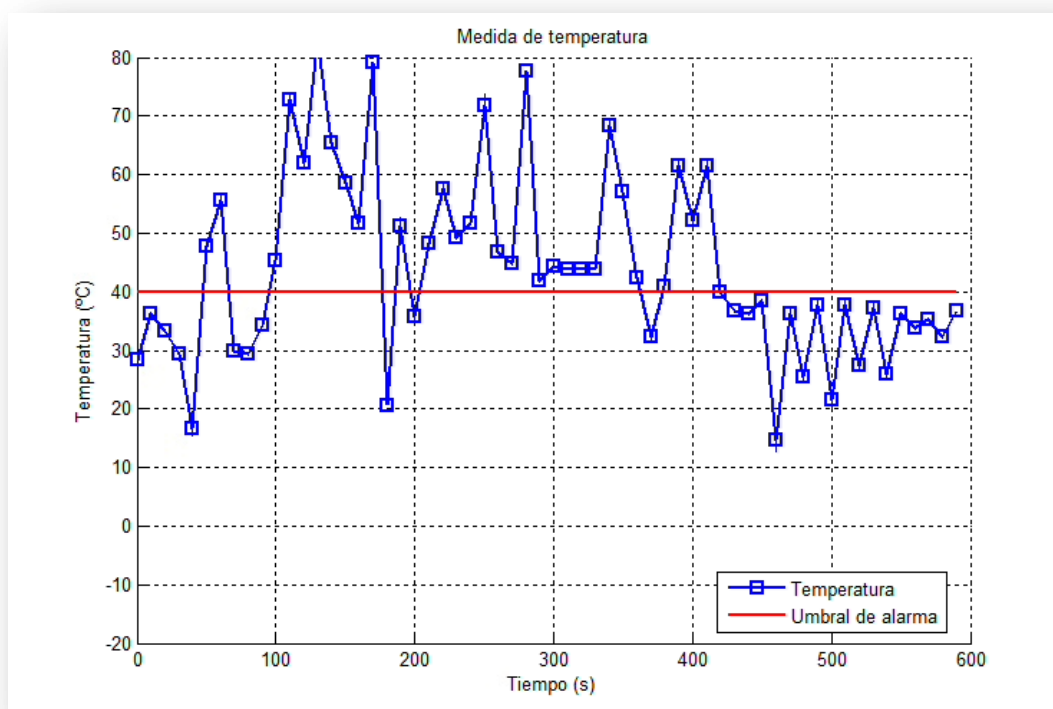


ILUSTRACIÓN 39: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE TEMPERATURA

Las fases concretas de este experimento se especifican a continuación:

1. **[0-90 segundos]: No hay fuente de estímulo.**
En esta etapa el sistema no recibe ninguna excitación. Tal y como se aprecia en la Figura 4.1, el sensor de temperatura en el interior de la pecera no tiene una salida estable a pesar de que el sistema no se ha estimulado, ya que el entorno de medición del LM35 puede verse afectado por el resto de componentes electrónicos que lo rodean (sensores, circuitos de calentamiento, etc.).
2. **[90-120 segundos]: El secador orientado al interior de la pecera a máxima potencia.**
En este período, el sistema recibe el aire caliente del secador durante 30 segundos. Puede verse en la gráfica cómo aumenta la temperatura rápidamente hasta superar los 70°C, y la alarma luminosa del sistema se activa con cada muestra detectada mayor que el umbral.
3. **[120-600 segundos]: Secador apagado y entorno de análisis cálido**
Una vez apagado el secador, el sistema ofrece una respuesta inestable pero, a pesar de los picos, la tendencia de la temperatura es decreciente como cabía esperar, ya que el entorno de análisis mantiene el calor aportado por el secador, pero paulatinamente dicho aire se va enfriando. De nuevo, el resto de componentes electrónicos del sistema puede estar afectando a la respuesta del sensor de temperatura.

Las fluctuaciones de temperatura se explican con la diferencia de densidades entre el aire caliente y el frío de la pecera. Las velas calientan el aire, y el aire frío desciende al fondo de la pecera por ser más denso, mientras que el caliente se acumula en la parte más alta. Como el muestreo se realiza cada 10 segundos, y la temperatura no es equilibrada en toda la pecera, los resultados reflejan los cambios en la densidad del aire en torno al sensor LM35.

4.1.2 Detección de dióxido de carbono

Como ya se ha explicado detalladamente, es necesario calibrar este sistema antes de comenzar el muestreo. Este proceso es específico para el volumen donde va a operar el sensor MG-811 utilizado, tal y como se ha detallado en el apartado del subsistema de detección de CO₂ del capítulo 3.

La calibración durará aproximadamente una hora y media y se va a realizar en dos etapas. En primer lugar, se conecta el sistema a la alimentación, se tapa la pecera, y se procede a medir la concentración normal de dióxido de carbono en el entorno de operación. Una vez transcurridos 40 minutos, dicho valor queda registrado. Entonces se destapa la pecera, se introduce la mezcla de ácido acético y bicarbonato que liberará CO₂ cerca del sensor y se tapa la pecera de nuevo. Tras otros 40 minutos, el sistema habrá capturado la máxima concentración del gas en el ambiente. El sistema ya tiene los valores que necesita para obtener la recta de sensibilidad del sensor y poder así calcular la concentración de dióxido de carbono bajo diferentes condiciones del entorno que se provocarán con los experimentos.

En la Ilustración 40 se representa la prueba realizada para este sistema, cuyas fases se detallan más abajo.

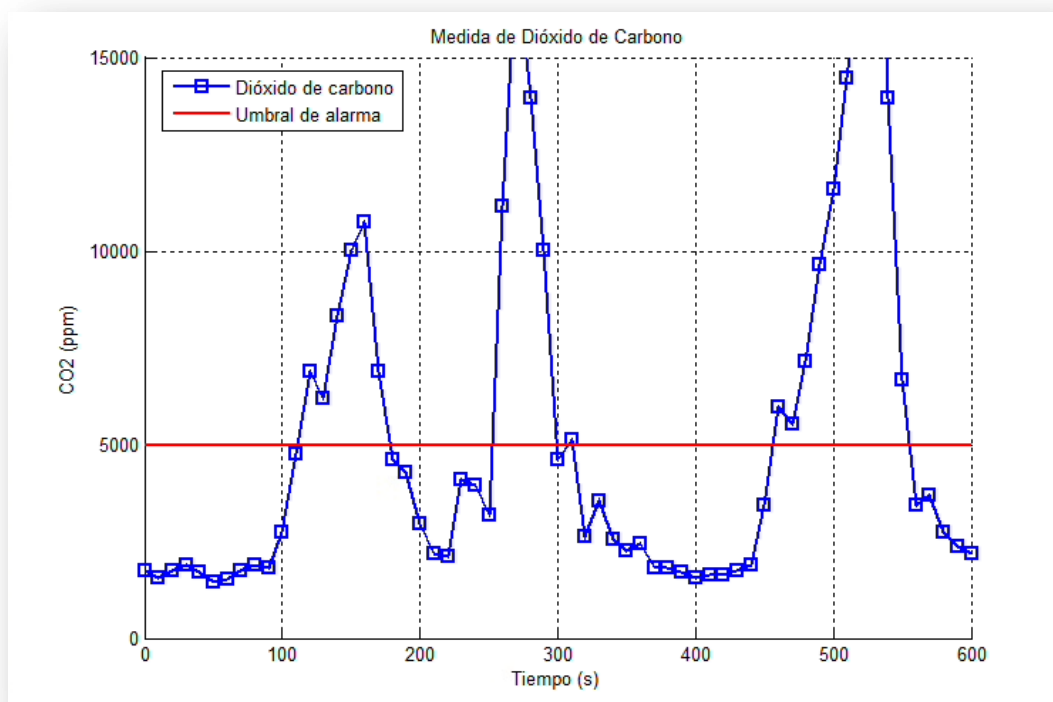


ILUSTRACIÓN 40: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

1. **[0-60 segundos]: Detección sin fuente de excitación.**

La concentración de dióxido de carbono se mantiene bastante estable en torno a las 2000ppm. El motivo de que este dato difiera de las 400ppm que se suponen en condiciones normales, hay que comentar que el sistema viene de realizar la última fase de calibración en la que se ha expuesto a la máxima concentración detectable en ese entorno y no ha pasado tiempo suficiente para que todo el CO₂ creado haya desaparecido. Además, sabiendo que el gas es más pesado que el aire, y que el sensor se localiza a un par de centímetros del fondo de la pecera, las 2000ppm de la medida inicial están más que justificadas.

2. **[60-160 segundos]: Detección del CO₂ de una vela con la pecera tapada.**

Se introduce una vela encendida en el interior de la pecera y se tapa con el cristal. A medida que la vela va consumiendo oxígeno y entregando CO₂ al ambiente, este desplaza al O₂, hace saltar la alarma en un minuto y llega a superar el rango lineal de respuesta del sensor a los 160 segundos.

3. **[160-220 segundos]: Detección con la pecera destapada.**

En este momento se destapa la pecera e inmediatamente la concentración de dióxido de carbono en el aire se reduce hasta apagar la alarma en sólo 20 segundos, y sigue reduciéndose hasta aproximarse a los niveles detectados inicialmente.

4. **[220-270 segundos]: Detección del aliento de una persona.**

Este período en la gráfica refleja los resultados ante una expiración humana en la pecera. Aprovechando que está abierta, se quiso probar la reacción del sistema al CO₂ que se expulsa con el aliento humano. Se hizo en dos partes: la primera una exhalación corta a los 220 segundos, que en la gráfica aparece reflejada como un pico en la concentración del gas detectado que no llega a activar la alarma y que rápidamente decrece, y una exhalación más larga que consigue activar la alarma, llegando a superar las 10000ppm del rango lineal de respuesta del sensor.

5. [270-400 segundos]: Detección sin fuente de excitación.

Una vez terminada la segunda exhalación, se puede apreciar cómo la concentración de dióxido de carbono disminuye más rápidamente durante los primeros 30 segundos y después continúa haciéndolo poco a poco hasta aproximarse de nuevo a la concentración inicial.

6. [400-520 segundos]: Nueva detección del CO₂ de una vela con la pecera tapada.

De nuevo, se introduce una vela encendida en la pecera, y esta se vuelve a tapar. Se obtiene una respuesta del sistema en la que la concentración de CO₂ aumenta y en 60 segundos activa la alarma. A partir de este momento sigue aumentando casi linealmente, superando las 10000ppm hasta que la pecera se vuelve a abrir. En esta prueba el sistema está más tiempo expuesto a los efectos de la vela y la concentración de CO₂ alcanzada es mucho mayor que la obtenida en la fase 2.

7. [520-600 segundos]: Detección con la pecera destapada.

A los 520 segundos del inicio del experimento, la gráfica muestra cómo la concentración de CO₂ disminuye muy rápidamente en cuanto se destapa la pecera y entra de nuevo oxígeno en ella, apagando la alarma del sistema en 30 segundos y con tendencia decreciente hasta alcanzar la concentración inicial con la que se comenzó a trabajar el sistema.

4.1.3 Detección de oxígeno

Para probar el comportamiento del sistema de detección de O₂ se comenzó eligiendo un umbral de alarma del 10%, ya que con menos cantidad de oxígeno en el aire ya se pueden dar pérdidas de conciencia repentina y provocar la muerte por asfixia en pocos minutos si se llega al 8%. Nuevamente se emplearon las velas, utilizadas ahora como fuente de consumo de oxígeno. Sin embargo, resultó imposible acercarse al umbral de alarma debido a que la vela se apagaba antes y, en consecuencia, se dejaba de reducir el oxígeno en el aire. La Ilustración 41 muestra los resultados obtenidos con este experimento.

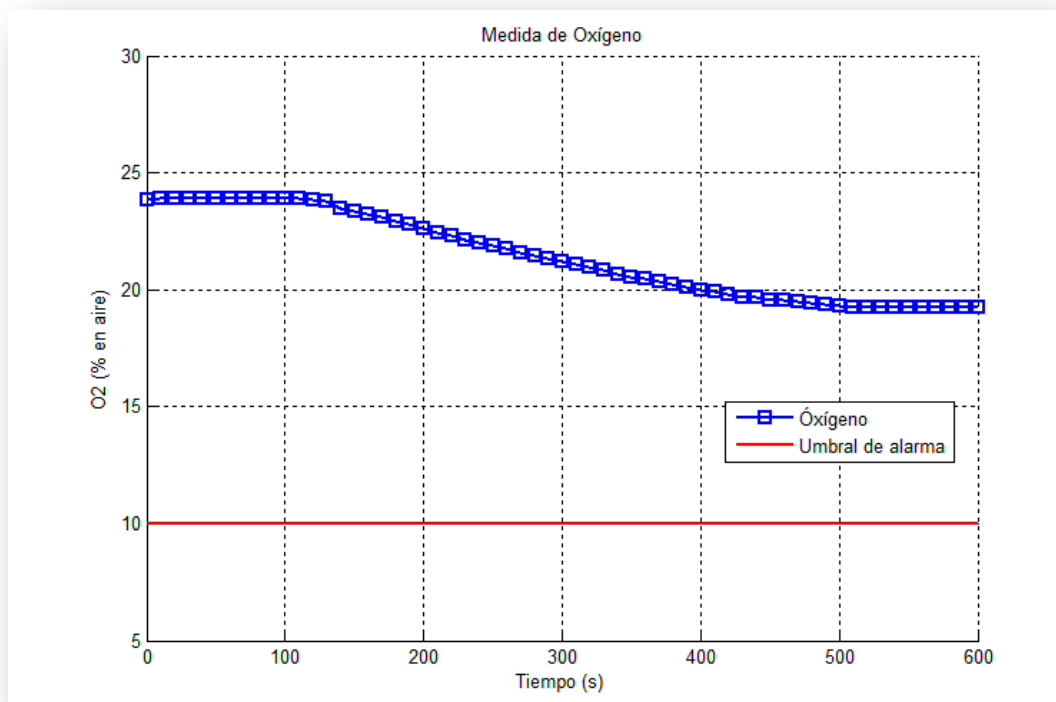


ILUSTRACIÓN 41: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OXÍGENO PARA UN UMBRAL DEL 10%

La vela se introduce en la pecera a los 60 segundos, y se coloca el cristal a los 120 segundos. Puede verse en la gráfica que el sistema parte de una concentración de oxígeno cercana al 24% y que, a consecuencia de la vela encerrada en la pecera, esta decrece hasta el 19% aproximadamente.

Por estos motivos, se decide sustituir el umbral al 21%, para poder probar la alarma del sistema.

En la Ilustración 42 pueden observarse las tres fases que se dieron en este nuevo experimento para la detección de la concentración de oxígeno, las cuales se describen más abajo.

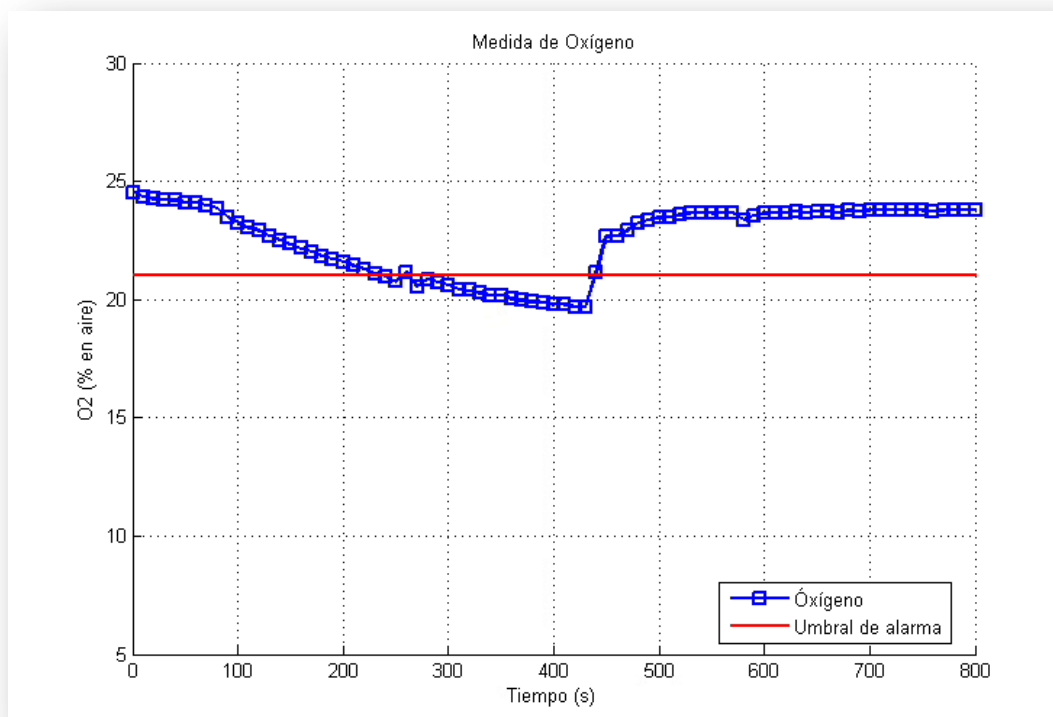


ILUSTRACIÓN 42: RESULTADO DEL SISTEMA DE DETECCIÓN DE OXÍGENO PARA UN UMBRAL DEL 21%

- **[0-60 segundos]: Detección con la pecera destapada.**
Cuando no existe consumo de oxígeno, la concentración del gas en el aire es aproximadamente del 24%.
- **[60-420 segundos]: Detección con una vela encendida en la pecera tapada.**
Al introducir a los 60 segundos una vela encendida en la pecera, tapándola con el cristal, la concentración de oxígeno comienza a disminuir ya que la vela lo consume para mantenerse encendida. Este decrecimiento es bastante lento, y no es hasta los 250 segundos cuando el sistema de alarma se activa por falta de oxígeno en relación al 21% escogido como umbral. Tras el salto de la alarma, la concentración de O_2 sigue disminuyendo hasta que la vela se apaga a los 420 segundos.
- **[420-800 segundos]: Detección con la pecera destapada tras apagarse la vela.**
Una vez la vela se ha apagado, se abre la pecera para comprobar si la concentración de oxígeno aumenta como cabe esperar, y efectivamente, puede verse en la gráfica que la cantidad de oxígeno en el aire aumenta muy rápidamente al principio para seguir haciéndolo paulatinamente hasta mantenerse estable entorno al 23% al finalizar el experimento.

4.2 Experimentos del Sistema Multisensor

Tras haber comprobado que cada sistema individual funciona correctamente, y una vez ensamblados para trabajar de manera conjunta y simultánea, las velas fueron las elegidas para la realización de las pruebas del detector final ya que, además de ser algo de muy fácil acceso y control, con ellas es posible aumentar la temperatura, reducir el porcentaje de oxígeno e incrementar la concentración de dióxido de carbono en el aire de manera simultánea.

En esta fase de pruebas, además de la respuesta del sistema ante las distintas fuentes de excitación para las tres variables, es necesario evaluar y controlar tanto los tiempos que el sistema necesita para el envío de los datos a través de la red inalámbrica como los tiempos de representación de esos datos en la estación de control. Controlando esas variables, se evitará que en el receptor se mezcle información de distintos momentos de muestreo y se produzcan, por tanto, errores en la representación que se lleva a cabo.

Los experimentos realizados se han hecho con una distancia aproximada entre el emisor (sistema multisensor) y el receptor (estación de control) de entre 1 y 3 metros, debido principalmente al espacio reducido en el que se han efectuado las pruebas. En estas condiciones, se ha observado que el envío de las muestras de las tres variables tiene una duración de 4 segundos, y el orden en el que se envían las variables muestreadas es temperatura, dióxido de carbono y oxígeno. Por otro lado, para obtenerse la representación gráfica de las tres variables se necesitan entorno a 6 segundos, ya que tras los 4 segundos, la secuencia recibida inalámbricamente y leída por el puerto serie de la estación de control debe trocearse para obtener el dato de cada una de las variables y poder así representarlo correctamente. Dicha representación se realiza acorde con la localización de los sensores y sus alarmas en la caja negra del sistema de detección de izquierda a derecha, es decir, dióxido de carbono, oxígeno y temperatura. Valorando estos detalles, el período de muestreo elegido es de 10 segundos, suficiente para garantizar que no haya solapamiento entre muestreos.

Hay que comentar además que en el diseño final, el umbral de temperatura se redujo a 35°C.

4.2.1 Experimento 1: Efectos de una única vela en el sistema multisensor

En un primer momento las pruebas se llevaron a cabo con una única vela como fuente de calor y dióxido de carbono, lo que en consecuencia reduciría la cantidad de oxígeno en la pecera.

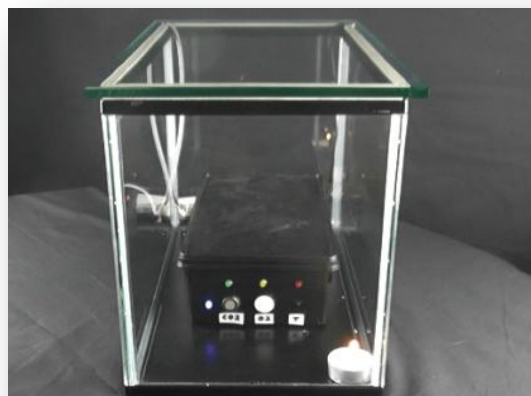


ILUSTRACIÓN 43: MONTAJE EXPERIMENTO 1 DEL SISTEMA MULTISENSOR (UNA VELA)

Tras la repetición de este experimento, se observó que el sistema reaccionaba correctamente al aumento de CO_2 y, en consecuencia, a la disminución del porcentaje de oxígeno dentro de la pecera al ser consumido por la vela para mantenerse encendida. Sin embargo, en la mayoría de los ensayos, la vela se apagaba o se requerían pruebas demasiado largas para conseguir hacer saltar la alarma de temperatura, y poner un umbral menor a 35°C para conseguirlo no parecía tener sentido.

En las gráficas de la Ilustración 45 pueden verse los resultados de este experimento para el sistema multisensor diseñado.

En primer lugar se ve cómo a partir de los 100 segundos la concentración de dióxido de carbono en el aire empieza a aumentar (gráfica superior) mientras la de oxígeno se va reduciendo (gráfica central), aunque a un ritmo mucho más lento. Esto coincide con el momento en el que se tapa la pecera con la vela encendida en su interior. Por otro lado, no se consigue hacer saltar la alarma de temperatura hasta casi el final del experimento, en torno a los 350 segundos. Esto es debido a que una vela calienta el aire del interior de la pecera, pero sin llegar a que este supere el umbral elegido para que el sensor también llegue a tener esa temperatura.

4.2.2 Experimento 2: Efectos de dos velas en el sistema multisensor

Tras comprobar que una única vela no era suficiente para activar la alarma de temperatura antes de que la vela se apague por falta de oxígeno, se decidió utilizar dos velas en el entorno de operación del sistema para acelerar los efectos sobre los tres subsistemas. Así se podrá observar la activación y desactivación de las tres alarmas sin necesidad de una prueba demasiado larga.



ILUSTRACIÓN 44: MONTAJE EXPERIMENTO 1 SISTEMA MULTISENSOR (DOS VELAS)

Como puede verse en la Ilustración 46, tras cinco minutos (300 segundos) se ha conseguido que se activen y desactiven las tres alarmas del sistema. A los 30 segundos se tapa la pecera con las dos velas encendidas dentro. El CO_2 y el O_2 empiezan a aumentar y disminuir su concentración respectivamente, y la temperatura fluctúa alrededor del umbral activando y desactivando la alarma, de nuevo por la variación en la densidad del aire en el interior de la pecera.

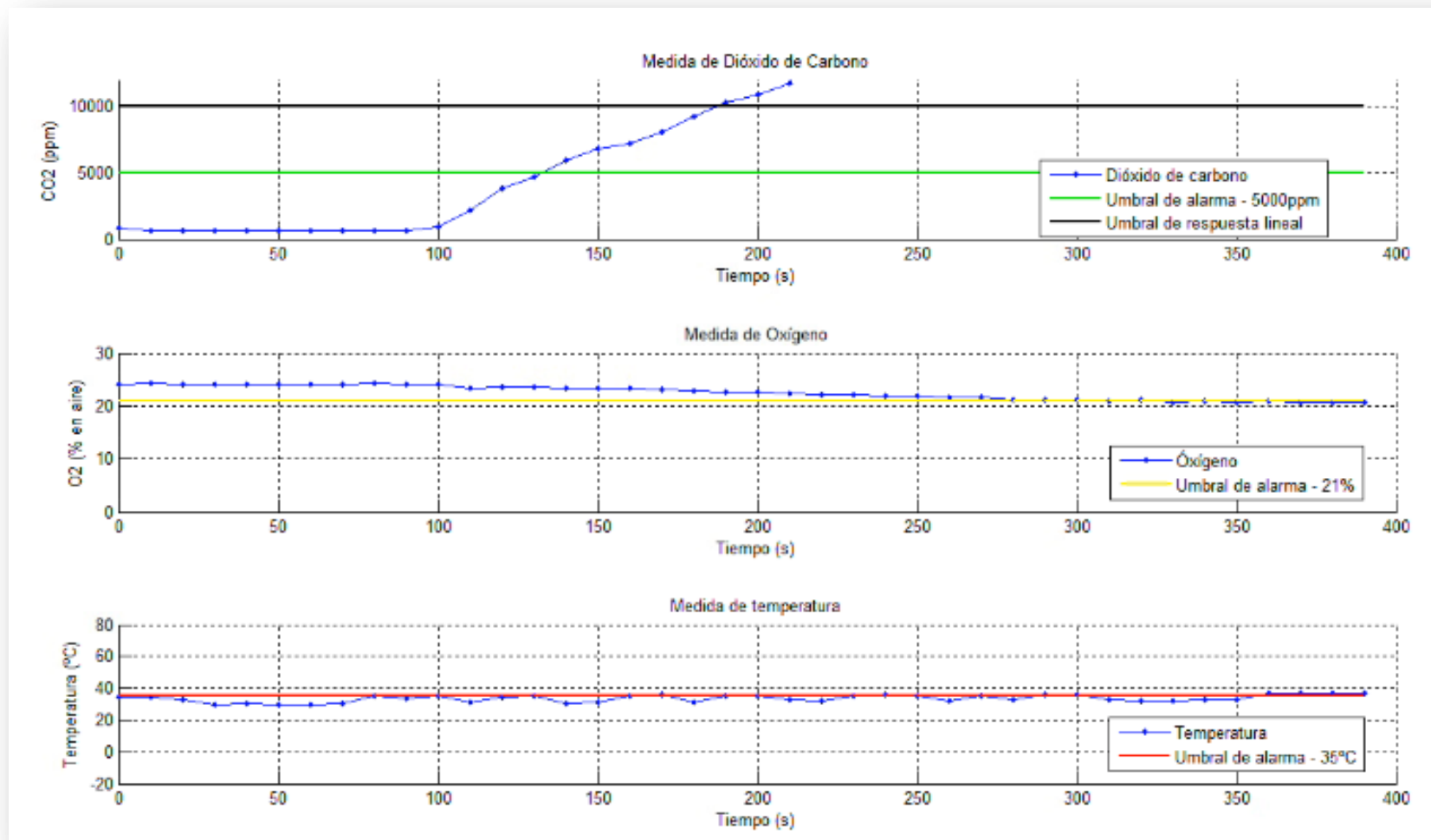


ILUSTRACIÓN 45: RESULTADO DEL EXPERIMENTO 1 DEL SISTEMA MULTISENSOR (1 VELA)

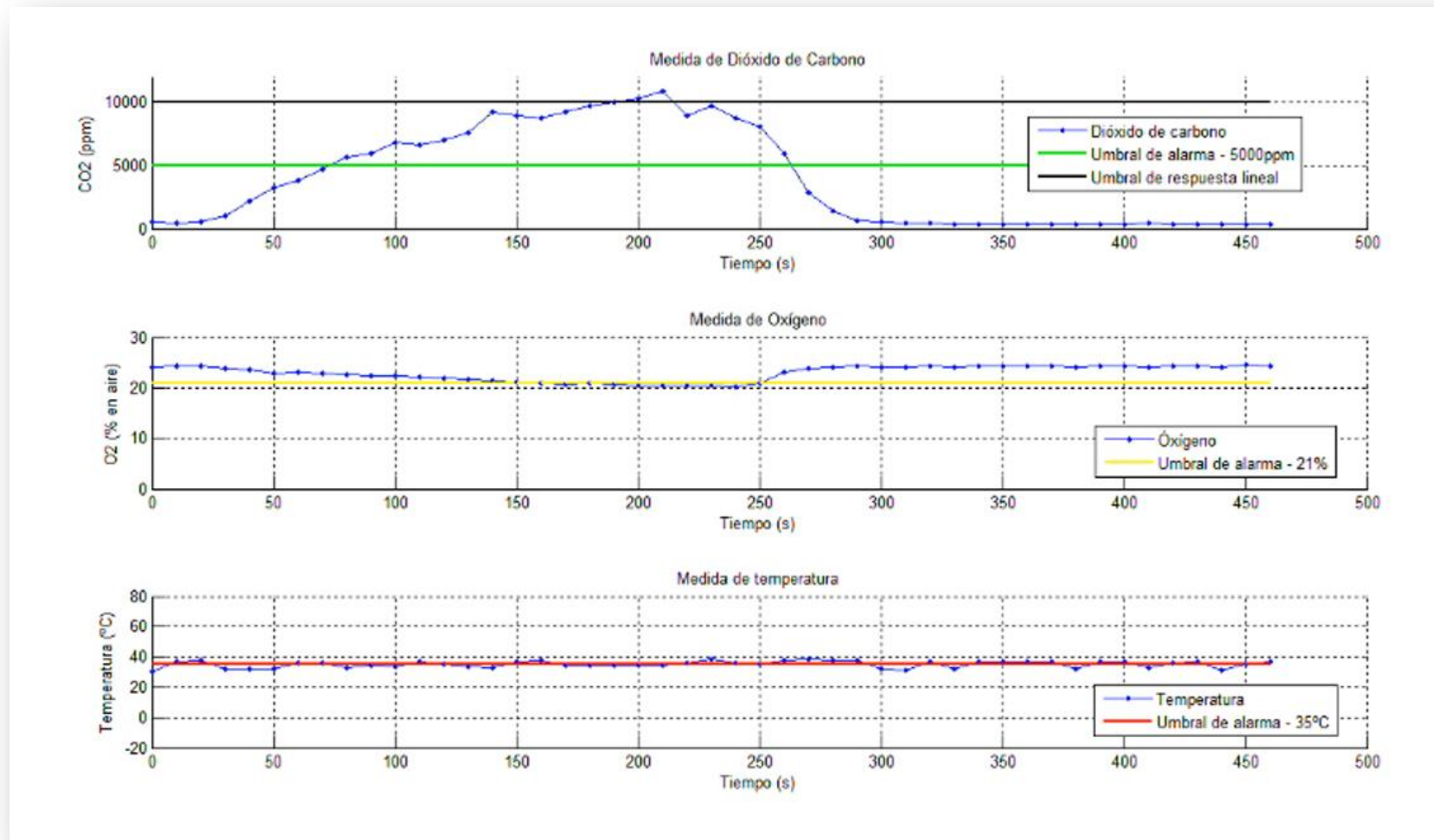


ILUSTRACIÓN 45: RESULTADO DEL EXPERIMENTO 2 DEL SISTEMA MULTISENSOR (2 VELAS)

5

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

En este Proyecto se ha llevado a cabo una prueba de concepto que persigue evaluar la posibilidad de crear un sistema de detección de bajo coste que emplee herramientas de *software* y *hardware* libre, sensores asequibles y que envíe los datos de forma inalámbrica. Uno de los principales problemas que se han encontrado a la hora de desarrollar el Proyecto ha sido la obtención de las sustancias tóxicas con las que hacer las pruebas, debido a que muchas de ellas no son fácilmente accesibles. Por otro lado, la manipulación y el riesgo de exposición a estas sustancias han sido factores determinantes en la elección de las mismas, puesto que no se dispone de las medidas de protección necesarias para poder manipularlas de forma segura. Por tanto, el Proyecto Fin de Carrera se ha centrado en utilizar sustancias fáciles de obtener y que no sean tóxicas en las concentraciones que se han manejado. Además, se ha escogido también la detección de temperatura por tratarse de un factor muy influyente en el riesgo de incendio y/o explosión de los gases inflamables, lo que afecta directamente a la seguridad de los trabajadores en el entorno laboral. Por tanto, se ha comprobado la comunicación inalámbrica de tres parámetros distintos.

Para conseguirlo ha sido necesario el estudio, implementación, evaluación y documentación de tres prototipos de sistema de detección para las tres variables elegidas: temperatura, oxígeno y dióxido de carbono. El prototipo final desarrollado resulta de la unión de los tres subsistemas anteriores e incluye una comunicación inalámbrica en tiempo real con una base de control donde se reciben los valores muestreados.

Tras el desarrollo completo de cada subsistema, se han realizado pruebas específicas para evaluar el comportamiento de cada sensor de manera individual y conocer así el resultado de la comunicación inalámbrica cuando se envía y recibe un único dato. El montaje y pruebas individuales facilitan el control de errores y la adaptación del sistema a diferentes entornos de operación, pudiendo sustituir un subsistema por otro más adecuado, o permitiendo modificar constantes, umbrales y otras variables para cada uno de los detectores.

Una vez acoplados los subsistemas, se han realizado experimentos para probar los tiempos de respuesta de la comunicación inalámbrica con el envío de las tres variables. Estas pruebas pretenden encontrar un período de muestreo que no sature ni provoque solapamiento de muestras en el sistema. Con esa intención, se tiene en cuenta el tiempo requerido para la representación de un muestreo antes de enviar otro.

El sistema de detección implementado cumple el objetivo planteado de alertar en caso de riesgo. Si como objeto adicional interesase una mayor precisión en las medidas, no sería necesaria la búsqueda de sensores de mejor calidad, y en consecuencia, de un precio más elevado. La alternativa de menor coste sería la repetibilidad de los subsistemas diseñados en distintos puntos del entorno de operación, para conseguir una medida media más fiable.

5.2 Trabajo futuro

Las líneas de actuación que se proponen para lograr mejoras de precisión ampliar el rango de actuación del sistema son las siguientes:

- Aplicación del concepto de histéresis en los detectores individuales para evitar que las alarmas se activen o desactiven con una única muestra.
- Análisis del alcance del sistema XBee en condiciones reales de funcionamiento para algún entorno de aplicación específico (por ejemplo, conducciones subterráneas).
- Prueba de arquitecturas de redes de sensores más complejas.
- Repetibilidad de los subsistemas de detección en el entorno de trabajo, de manera que se pueda obtener una media de las muestras obtenidas para cada variable.
- Alimentación con baterías recargables para conseguir la autonomía del sistema.
- Adaptación del detector para su acoplamiento a un sistema móvil para un control periférico del ambiente de trabajo, y no sólo en el entorno local del sensor.

REFERENCIAS

- [1] R. Pallás. "Sensores y acondicionadores de señal." Marcombo 1988.
- [2] Jack Chou, "Hazardous Gas Monitors: A practical Guide to Selection, Operation and Applications." McGraw-Hill Professional, 1999.
- [3] Miguel A. Pérez García y otros, "Instrumentación Electrónica." International Thomson Editores Spain, Paraninfo, 2004.
- [4] Massimo Banzi, "Getting Started with Arduino". O'Reilly Media, Inc., 2008.
- [5] Robert Faludi, "Building Wireless Sensor Networks: A practical guide to the ZigBee Mesh Networking Protocol." O'Reilly Media, Inc., 2010.
- [6] Michael Margolis, "Arduino Cookbook." O'Reilly Media, Inc., 2011.
- [7] Alasdair Allan, "iOS Sensor Apps With Arduino." O'Reilly Media, Inc., 2011.
- [8] Emily Gertz & Patrick Di Justo, "Environmental Monitoring With Arduino." O'Reilly Media, Inc., 2012.
- [9] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE):
- Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas- Reglamentación Modelo: http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev18/18files_e.html
 - ❖ Apéndices: Apéndice B – Glosario de términos (Pag. 415):
<http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev18/Spanish/Apendices.pdf>
 - ❖ Vol. 1 – Índice Alfabético (Pag. 427):
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev18/Spanish/ST-SG-AC10-1-Rev18_Vol1_s.pdf
 - ❖ Parte 2 - Clasificación:
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev18/Spanish/Part_2.pdf
- [10] Instituto Nacional de Toxicología:
https://www.administraciondejusticia.gob.es/paj/publico/ciudadano/informacion_institucional/organismos/instituto_nacional_de_toxicologia_y_ciencias_forenses/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gzT1dTz6BgExPjUBcTA0_jsDDXAA9fAwNXI6B8JG55EwNidBvgAI6EdleDXItbRbAZfnkTIwLyBhB5PO7z88jPTdUvyA2NMMj01AUA6k8A_w!!/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- [11] Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (INHST): <http://www.insht.es/>
- "Límites de Exposición Profesional Para Agentes Químicos en España" de 2013:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20 VALORES%20LIMITE/Valores%20limite/Limites2013/limites%202013.pdf>
 - "Límites de Exposición Profesional Para Agentes Químicos en España" de 2014:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20 VALORES%20LIMITE/Valores%20limite/Limites2014/FINAL%20-%20Web%20v5%20-%20LEP%202014%20-%202029-01-2014.pdf>
 - "Límites de Exposición Profesional Para Agentes Químicos en España" de 2015:
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20 VALORES%20LIMITE/Valores%20limite/Limites2015/Limites%20de%20exposicion%202015.pdf>

- [12] Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo: <https://osha.europa.eu/es>
- Sustancias Peligrosas: https://osha.europa.eu/es/topics/ds/index_html
- [13] Guía GRE2012 (Transporte Canadá):
<http://www.tc.gc.ca/media/documents/canutec-eng/GRE2012.pdf>
- [14] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - Plan AIRE:
http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/PLAN_AIRE_2013-2016_tcm7-271018.pdf
- [15] Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM):
http://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos_relacionados/Boletines/Redes_de_sensores/BVT_RededeSensores_2015_1.pdf
- [16] Universidad de Cantabria – Instrumentación Electrónica de Comunicaciones (Tema 1):
http://www.istr.unican.es/assignaturas/instrumentacion_5_IT/IEC_1.pdf
- [17] Industrial Scientific:
<http://www.indsci.es/servicios/capacitacion/educacion-general-sobre-gas/peligros-por-sector-industrial/>
- [18] Página Oficial de Arduino: <http://www.arduino.cc/>
- Placas y módulos de Arduino: <http://arduino.cc/en/Main/Boards>
 - Descarga Software: <http://arduino.cc/en/Main/Software>
 - Foro: <http://forum.arduino.cc/>
- [19] Digi XBee Examples & Guides: <http://examples.digi.com/>
- [20] ZigBee Alliance: <http://zigbee.org/>
- [21] Adafruit: <http://www.adafruit.com/datasheets/XBee%20ZB%20User%20Manual.pdf>
- [22] Diccionario de la lengua española de la Real Academia Española:
<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>
- [23] Wikipedia:
- Inglés: <http://en.wikipedia.org/>
 - Español: <https://es.wikipedia.org>
- [24] Direct Industry, El salón Online de la Industria: <http://www.directindustry.es/>
- [25] CO₂ Now ORG: <http://co2now.org/>
- [26] Carew: <http://www.mercanciapeligrosa.com/>

ACRÓNIMOS

ASICs	Application Specific Integrated Circuits
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
DAC	Digital-to-Analog Conversion
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.
FHSS	Frequency <i>Hooping</i> Spread Spectrum
FTDI	Future Technology Devices International
GPRS	General Packet Radio Service
HWB	Hardware Write Block
ICSP	In Circuit Serial Programming
JST	Japan Solderless Terminal
JTAG	Joint Test Action Group
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid crystal display
LED	Light Emitting Diode
MW	Molecular Weight
PAN	Personal Area Network
PID	Photoionization detector
PWM	Pulse-width modulation
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
SPI	Serial Perpherial Interface
TFT	Thin-film transistor
TNT	Trinitrotoluene
TTL	Transistor-transistor logic
TWI	Two-Wire Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USB OTG	Universal Serial Bus On-The-Go

Anexo A

DEFINICIONES Y DESCRIPCIONES

En este apéndice se comentan brevemente los términos o conceptos de la memoria que puedan no resultar claros para que el lector pueda entender mejor esta memoria⁶.

Agente patógeno

Es toda aquella entidad biológica capaz de producir enfermedades o daños a la biología de un huésped, ya sea animal, vegetal o humano.

Agente químico

Todo elemento o compuesto químico, por sí sólo o mezclado, tal como se presenta en estado natural o es producido, usado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad laboral, se haya o no elaborado intencionadamente y se haya o no comercializado.

Aislante

Dicho de un material que impide la transmisión del calor, la electricidad, el sonido, etc.

Analito

En química analítica, se trata de un componente (elemento, compuesto o ión) de interés analítico de una muestra. Especie química cuya presencia o contenido se desea conocer, identificable y cuantificable, mediante un proceso de medición química.

Anión

Ión que tiene carga negativa y procede de un elemento negativo.

Artefacto

Carga explosiva, como una mina, un petardo, una granada, etc.

Atmel

Compañía de semiconductores, fundada en 1984. Su línea de productos incluye microcontroladores, dispositivos de radiofrecuencia, memorias EEPROM y Flash*, ASICs, WiMAX*, y muchas otras. También tiene capacidad de ofrecer soluciones del tipo *system on chip* (SoC).

Sirve a mercados de electrónica de consumo, comunicaciones, computadores, redes, electrónica industrial, equipos médicos, automotriz, aeroespacial y militar. Líder en sistemas seguros, especialmente en el mercado de las tarjetas seguras.

Azida

Es el anión* con fórmula N₃⁻. Base conjugada del ácido hidrazoico y también un grupo funcional en Química Orgánica. La azida es un nucleófilo*, pero la alquil-azida, RN₃, es un electrófilo y por lo tanto

⁶ Los términos de las descripciones que aparezca remarcados con un * también se incluirán en esta sección para una mejor comprensión.

buen grupo saliente. N_3^- es un anión lineal que tiene propiedades isoelectrónicas con las moléculas CO_2 y N_2O .

Según la teoría del enlace de valencia, la azida puede ser descrita con diferentes estructuras resonantes, una de las más importantes es $N=N^+=N^-$.

Azoderivados

Conocidos también como azocompuestos, son aquellos compuestos que contienen el enlace $-N=N-$.

Bioacumulación

Se entiende como el resultado neto de la absorción, transformación y eliminación de una sustancia en un organismo, por todas las vías de exposición (aire, agua, sedimento/suelo y alimentos).

Blefarconjuntivitis

Inflamación de la conjuntiva ocular y de los párpados.

Calor de descomposición

Variación de entalpía* que acompaña la descomposición de 1mol de sustancia en sustancias más sencillas.

Capilaridad

La capilaridad en física es un fenómeno por el cual la superficie de un líquido en contacto con un sólido se eleva o deprime según el primero moje o no al segundo. En otras palabras, un proceso de los fluidos que depende de su tensión superficial la cual, a su vez, depende de la cohesión del líquido y que le confiere la capacidad de subir o bajar por un tubo capilar.

Catalizar

Provocar alteraciones en la velocidad de una reacción química mediante una sustancia que permanece inalterada

Cebado (medios de)

Dispositivos que sirven para provocar la detonación de un explosivo (por ejemplo, los detonadores, los detonadores para municiones y las espoletas detonantes).

Celda Galvánica

Denominada en honor de Luigi Galvani, es una celda electroquímica que obtiene la energía eléctrica a partir de reacciones redox* espontáneas que tienen lugar dentro de la misma. Por lo general, consta de dos metales diferentes conectados por un puente salino, o semi-celdas individuales separados por una membrana porosa. En el uso común, la palabra pila es una celda galvánica única y una batería propiamente dicha consta de varias celdas, conectadas en serie o paralelo. Volta fue el inventor de la pila voltaica, la primera pila eléctrica.

Cizalla

Instrumento a modo de tijeras grandes, con el cual se cortan en frío las planchas de metal. En algunos modelos, una de las hojas es fija. Usado también en plural con el mismo significado que en singular.

Comburente

Cualquier sustancia que en ciertas condiciones de temperatura y presión puede combinarse con un combustible, provocando la combustión. Actúa oxidando al combustible y, por lo tanto, siendo reducido por este último.

Combustión

Es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de puntos en forma de calor y luz, manifestándose visualmente gracias al fuego, u otros. En toda combustión existe un elemento que arde (combustible) y otro que produce la combustión (comburente*), generalmente oxígeno en forma de O₂ gaseoso. Los explosivos tienen oxígeno ligado químicamente, por lo que no necesitan el oxígeno del aire para realizar la combustión. Los tipos más frecuentes de combustible son las materias orgánicas que contienen carbono e hidrógeno. En una reacción completa todos los elementos que forman el combustible se oxidan completamente. Los productos que se forman son el dióxido de carbono(CO₂) y el agua, el dióxido de azufre (SO₂) (si el combustible contiene azufre) y pueden aparecer óxidos de nitrógeno (NO_x), dependiendo de la temperatura, la cantidad de oxígeno en la reacción y, sobre todo de la presión.

En la combustión incompleta los productos que se queman pueden no reaccionar con el mayor estado de oxidación, debido a que el comburente y el combustible no están en la proporción adecuada, dando como resultado compuestos como el monóxido de carbono (CO). Además, puede generarse carbón.

Combustión espontánea

Es la ignición de las sustancias sin aplicar una fuente externa de calor. Puede ocurrir cuando se almacenan grandes pilas de materiales inflamables (como carbón, heno húmedo o trapos grasientos) en un área en la que no circula el aire. Las reacciones químicas (como la oxidación o la fermentación) producidas en el apilamiento liberan calor que queda atrapado dentro de los materiales inflamables. A su vez, el calor atrapado aumenta la velocidad de la reacción productora de calor, y al final el material inflamable puede calentarse lo suficiente como para producir llamas.

Componente Optoelectrónico

Son aquellos cuyo funcionamiento está relacionado directamente con la luz. Si los componentes transforman la energía lumínica en energía eléctrica, son denominados fotosensibles, y si convierten la energía eléctrica en lumínica, se denominan electroluminiscentes.

Compuesto

Son sustancias puras formadas por dos o más elementos combinados químicamente en una proporción constante y pueden descomponerse en dos o más sustancias de igual forma puras, aún más simples por medio de procedimientos químicos.

Compuestos N-nitrosados

En química orgánica, nitroso se refiere a un grupo funcional que tiene la fórmula general RNO. Los compuestos nitrosos pueden ser preparados por reducción de nitroderivados*, o por la oxidación de las hidroxilaminas*.

Compuestos azoicos alifáticos

También llamados compuestos azoicos de alquilo. A temperaturas elevadas o irradiación, los enlaces carbono-nitrógeno (C-N) en ciertos compuestos azoicos de alquilo se rompen con la pérdida de gas nitrógeno para generar radicales libres. Debido a este proceso, algunos compuestos azoicos alifáticos se utilizan como iniciadores de radicales. A causa de su inestabilidad, deben manejarse con cuidado para no producir una explosión.

Conductor

Característica que define a un cuerpo que conduce el calor o la electricidad.

Creative Commons (CC)

Se trata de una es una organización sin ánimo de lucro fundada en 2001, con oficina central en Mountain View, (California - Estados Unidos). Permite usar y compartir la creatividad y el conocimiento mediante instrumentos jurídicos de carácter gratuito, consistentes en licencias de derechos de autor que ofrecen al autor de una obra una forma simple y estandarizada para dar permiso al público de compartir y usar su trabajo creativo bajo los términos y condiciones de su elección. Las licencias Creative Commons no reemplazan a los derechos de autor, sino que se apoyan en estos para permitir modificar los términos y condiciones de la licencia de su obra de la forma que mejor satisfaga sus necesidades.

CSMA/CD

Acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisiones (del inglés, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), es un protocolo de acceso al medio compartido. Su uso está especialmente extendido en redes Ethernet donde es empleado para mejorar sus prestaciones. Los dispositivos de red escuchan el medio antes de transmitir, es decir, es necesario determinar si el canal y sus recursos se encuentran disponibles para realizar una transmisión.

Cultivo

En biología, y específicamente en microbiología, es un método para la multiplicación de microorganismos, como bacterias, hongos y parásitos, en el que se prepara un medio óptimo para favorecer el proceso deseado.

Descomposición química

La descomposición química es un proceso que experimentan algunos compuestos químicos en el que, de modo espontáneo o provocado por algún agente externo, a partir de una sustancia compuesta se originan dos o más sustancias de estructura química más simple. Es el proceso opuesto a la síntesis química.

Detonación

Una detonación es una combustión supersónica que implica la existencia de una onda expansiva y una zona de reacción detrás de ella. Es un drástico proceso de transformación de la energía que contiene un material, casi siempre de naturaleza química, que se intercambia a elevadas velocidades con el medio adyacente. Así, para medir el poder detonante de un material con propiedades explosivas, se utiliza la definición de "poder detonante" y se expresa en metros por segundo, dadas las características particulares del material químico en cuestión.

La detonación en sí es un rápido micro cambio (prácticamente instantáneo), que inyecta en el material que se pretende detonar, una cierta cantidad de energía que a éste le es imposible de acumular, almacenar, o disipar por algún otro medio. Esto hace que en el material sometido se produzca una reacción crítica, principalmente en la que su estructura molecular experimenta una drástica pérdida de su geometría estructural o deformación física. De ahí que una parte de la base científica del poder detonante esté relacionada con la geometría del contenedor.

Detonador

Objeto que consiste en un tubo pequeño de metal o de plástico que contiene explosivos tales como azida de plomo, pentrita o combinaciones de explosivos. Está concebido para iniciar la detonación de una cadena de explosivos. Puede estar construido de manera que detone instantáneamente, o ir provisto de un elemento retardador. Este término comprende: detonadores para municiones y detonadores para voladuras, eléctricos y no eléctricos. Comprende también los relés de detonación sin mecha detonante flexible.

Difusión Knudsen

Es un medio de difusión que aparece cuando la longitud de escala de un sistema es comparable o menor que el recorrido libre medio de las partículas involucradas. Por ejemplo, en un largo de poros con un diámetro estrecho (2-50 nm) porque las moléculas de frecuencia chocan con la pared de los poros.

Disímil

Desemejante, diferente.

Disociación

En química, se define como la separación de los componentes de una sustancia mediante alguna acción física o química.

Ecuación de Nernst

La ecuación de Nernst se utiliza para calcular el potencial de reducción de un electrodo fuera de las condiciones estándar (concentración 1 M, presión de 1 atm, temperatura de 298 K ó 25 °C). Se llama así en honor al científico alemán Walther Nernst, quien la formuló en 1889.

Efecto fotoeléctrico

Consiste en la emisión de electrones por un material cuando se hace incidir sobre él una radiación electromagnética.

Efecto fotovoltaico

Transformación parcial de la energía lumínica en energía eléctrica.

Efecto magnetoeléctrico

Fenómeno de acoplamiento entre los campos eléctrico y magnético. Ante la acción de un campo magnético se origina una polarización eléctrica o ante la acción de un campo eléctrico se origina una magnetización.

Efecto Peltier

Consiste en la aparición de una diferencia térmica cuando se da una diferencia de potencial eléctrico si pasa una corriente a través de dos metales diferentes o semiconductores* que están conectados entre sí en dos soldaduras formando un circuito cerrado. La corriente produce una transferencia de calor desde una unión, que se enfría, hasta la otra, que se calienta (unión caliente y unión fría o de referencia respectivamente).

Efecto piezoeléctrico

Fenómeno físico por el cual aparece una diferencia de potencial eléctrico (voltaje) entre las caras de un cristal cuando éste se somete a una presión mecánica. El efecto funciona también a la inversa; cuando se aplica un campo eléctrico a ciertas caras de una formación cristalina, ésta experimenta distorsiones mecánicas.

Efecto Seebeck

Se trata de la creación de un voltaje, la FEM termoeléctrica, cuando hay una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes, lo que produce una corriente continua en los conductores si forman un circuito completo. El voltaje creado es del orden de varios micro voltios por grado Kelvin de diferencia.

Efecto termoeléctrico

Es la conversión directa de la diferencia de temperatura a voltaje eléctrico y viceversa. Un dispositivo termoeléctrico crea un voltaje cuando hay una diferencia de temperatura a cada lado. Por el contrario, al aplicar un voltaje se crea una diferencia de temperatura (Efecto Peltier).

Electrolito

Denominado también electrólito, es cualquier sustancia con iones libres que se comportan como un medio conductor eléctrico.

Electroluminiscencia

Fenómeno óptico y eléctrico en el que un material emite luz en respuesta a una corriente eléctrica que fluye a través de él, o a causa de la fuerza de un campo eléctrico.

Entalpía

También llamado calor de reacción, es la energía absorbida o desprendida de una reacción química. Es una magnitud termodinámica, simbolizada con la letra H mayúscula, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

Equilibrio dinámico

Esta situación aparece cuando dos procesos reversibles ocurren al mismo ritmo.

Estructura bivalente

En química, se trata de aquella que tiene dos valencias.

Ethernet

Estándar de redes de área local (LAN) para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones (CSMA/CD). Define tanto las características de cableado y señalización de nivel físico, así como los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI.

Explosión

Liberación brusca de una gran cantidad de energía, de origen térmico, químico o nuclear, encerrada en un volumen relativamente pequeño, que produce un incremento violento y rápido de la presión, con desprendimiento de calor, luz y gases. Va acompañada de estruendo y rotura violenta del recipiente que la contiene.

Explosión en masa

Aquella que afecta de manera prácticamente instantánea a casi toda la carga.

Explosivo líquido insensibilizado

Sustancia explosiva disuelta en agua u otros líquidos con los que forma una mezcla líquida homogénea, con el fin de suprimir sus propiedades explosivas.

Explosivo sólido insensibilizado

Sustancia que se humidifica con agua o alcoholes o se diluye con otras sustancias formando una mezcla sólida homogénea con lo que se neutralizan sus propiedades explosivas.

Exposición

Empleado sin calificativos hace siempre referencia a la exposición por inhalación. Se define como presencia de un agente químico en el aire de la zona de respiración* del trabajador, y se cuantifica en

términos de la concentración del agente obtenida de las mediciones de exposición referida al mismo período de referencia que el empleado para el valor límite aplicable.

Exposición de Corta Duración (EC)

Concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador para cualquier período de quince minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para los agentes químicos para los que se especifique un período de referencia inferior en la lista de Valores Límite.

Exposición Diaria (ED)

Concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador medida, o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo, para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de ocho horas diarias.

Se considera el conjunto de las diferentes exposiciones a lo largo de la jornada como equivalente a un única exposición uniforme de ocho horas.

Flash

Memoria derivada de la EEPROM que permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación. La tecnología flash, siempre mediante impulsos eléctricos, permite velocidades de funcionamiento muy superiores frente a la tecnología EEPROM primigenia.

Fulminante

Pequeña copa de metal rellena con material explosivo que se coloca sobre la chimenea en las armas de percusión

Gas

Es toda sustancia que a 50 °C tenga una tensión de vapor superior a 300 kPa y sea totalmente gaseosa a 20 °C, a una presión de referencia de 101,3 kPa.

Gas comprimido

Aquel que envasado a presión para el transporte, es completamente gaseoso a –50 °C.

Gas disuelto

Aquel que, envasado a presión para su transporte, está disuelto en un disolvente en fase líquida.

Gas licuado

Se trata del cual, envasado a presión para su transporte, es parcialmente líquido a temperaturas superiores a –50 °C

Gas licuado refrigerado

Aquel que, envasado para su transporte, se encuentra parcialmente en estado líquido a causa de su baja temperatura.

Grupos de compatibilidad

Clasificación de los tipos de sustancias y objetos explosivos (Clase 1) conforme a características comunes que permitan considerarlos compatibles.

Halógenos

Son los cinco elementos no metálicos que se encuentran en el Grupo 17 de la tabla periódica: flúor(F), cloro (Cl), bromo(Br), yodo(I), astato (At) y ununseptio (Uus).

A temperatura ambiente, los halógenos se encuentran en los tres estados de la materia:

- Sólido: Iodo, Astato.
- Líquido: Bromo
- Gas: Flúor, Cloro

Haluro

Es un compuesto binario en el cual una parte es un átomo halógeno* y la otra es un elemento, catión o grupo funcional que es menos electronegativo que el halógeno. Según el átomo halógeno que forma el haluro éste puede ser un fluoruro, cloruro, bromuro o yoduro, todos elementos del grupo XVII de la tabla periódica en estado de oxidación -1.

Hidroxilamina

También llamada oxiamoniaco (NH₂OH), es un compuesto que procede de la sustitución de un átomo de hidrógeno del amoniaco por un hidroxilo. No se encuentra libre en la naturaleza. Es un compuesto sólido, incoloro, inodoro, muy ávido del agua y se mezcla con ella en todas proporciones. Arde en el aire con llama de color amarillento, y calentarse en estado anhidro explota con gran violencia. Es de reacción básica, menos pronunciada que el amoniaco, además de un poderoso reductor.

Actúa como antídoto en intoxicaciones por organofosforados utilizados como insecticidas o gases de guerra (Sarin, Vx) permitiendo que el grupo fosfato salga del centro activo de la enzima y que esta se recupere para seguir degradando el exceso de acetilcolina.

Ión

Partícula que está cargada eléctricamente y constituida por un átomo o molécula que no es eléctricamente neutral. El fenómeno conocido como ionización conceptualmente se puede entender como la ganancia o pérdida de electrones a partir de un estado neutro de un átomo o partícula.

Líquido inflamable

Se trata de líquidos, mezclas de líquidos o líquidos que contienen sustancias sólidas en solución o suspensión que desprenden vapores inflamables a una temperatura no superior a 60,5°C en ensayos en vaso cerrado o no superior a 65,6 °C en ensayos en vaso abierto, comúnmente conocida como punto de inflamación.

Lixiviación

Denominada también como extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

Material radiactivo

Material que contiene átomos inestables (radiactivos) que emiten radiación (ionizante) a medida que se desintegran.

Material radiactivo en forma especial

Se trata de un material radiactivo sólido no dispersable o una cápsula sellada que contenga materiales radiactivos y que se habrá fabricado de tal forma que sólo pueda abrirse destruyéndola, y tendrá como mínimo una dimensión no inferior a 5 mm.

Mecha

Cuerda retorcida o cinta tejida hecha de filamentos combustibles, generalmente de algodón, que se pone en las piqueras o mecheros de algunos aparatos del alumbrado y dentro de las velas y bujías.

Mecha Bickford

Objetos formados por un alma de pólvora negra, de grano fino o en polvo, rodeada de una envoltura textil flexible, revestida de una o varias capas protectoras. Cuando se enciende, arde con una velocidad predeterminada, sin ningún efecto explosivo exterior.

Mecha no detonante

Objeto constituido por hilos de algodón impregnados de pulverina, que arde con llama exterior y se utiliza en cadenas de encendido de los fuegos de artificios, etc.

Mezcla

Cuerpo de dos o más sustancias puras (elementos o compuestos), que pueden separarse por procedimientos físicos

Miscibilidad

Propiedad de algunos líquidos para mezclarse en cualquier proporción, formando una solución. En principio, el término es también aplicado a otras fases (sólidos, gases), pero se emplea más a menudo para referirse a la solubilidad de un líquido en otro.

Modo AT

Modo de transmisión serial transparente en XBee. La comunicación se parece a una transmisión por un puerto serial, ya que el dispositivo crea la trama y el dato que llegue al pin Tx será enviado de forma inalámbrica. La desventaja principal es que hay que entrar continuamente al modo configuración para cambiar la dirección de destino si se quiere enviar información a diferentes nodos.

Modo API

En XBee, un microcontrolador externo se debe encargar de crear una trama específica para el tipo de información que se va a enviar. Se recomienda para redes muy grandes donde no se puede perder tiempo entrando y saliendo del modo configuración de los dispositivos.

Nitrocelulosa

Derivado nitrado de la celulosa. Según su grado de nitración se produce algodón, pólvora o colodión.

Nitroderivados

Son compuestos orgánicos que contienen uno o más grupos funcionales nitro (-NO₂). A menudo se trata de compuestos altamente explosivos, ya que impurezas varias o una manipulación inapropiada pueden desencadenar fácilmente una descomposición exotérmica violenta.

Nucleófilo

En química es una especie que reacciona cediendo un par de electrones libres a otra especie (el electrófilo), combinándose y enlazándose covalentemente con ella.

Nucleófilo

En química, es una especie que reacciona cediendo un par de electrones libres a otra especie (el electrófilo), combinándose y enlazándose covalentemente con ella.

Objeto explosivo

Aquel que contiene una o varias sustancias explosivas.

Onda expansiva

Onda producida por una explosión.

OpenWrt

Se describe como una distribución de Linux para dispositivos embebidos. En lugar de tratar de crear un único firmware estático, OpenWrt proporciona un sistema de archivos totalmente grabable con la gestión de paquetes. Esto le libera de la selección y aplicación de configuración proporcionada por el vendedor y le permite personalizar el dispositivo mediante el uso de paquetes para adaptarse a

cualquier aplicación. Para el desarrollador, OpenWrt es el marco para construir una aplicación sin tener que construir un firmware completo alrededor de ella; para los usuarios, esto significa la capacidad para una personalización completa, para utilizar el dispositivo de maneras nunca imaginadas.

Período de referencia

Período especificado de tiempo, establecido para el Valor Límite de un agente químico. Para el límite de larga duración es de ocho horas, y para el de corta duración es quince minutos.

Peróxido orgánico

Son compuestos orgánicos que contienen el grupo funcional peróxido (ROOR'). El enlace O-O se rompe fácilmente y forma radicales libres de la forma RO·. Esto hace que los peróxidos orgánicos sean muy útiles como iniciadores para algunos tipos de polimerización (como resinas epoxi usadas en plástico reforzado con vidrio). Sin embargo, eso significa también que pueden, tanto intencionada o inintencionadamente, iniciar la polimerización explosiva en materiales con enlaces químicos insaturados, y este proceso ha sido utilizado en explosivos. Muchos peróxidos orgánicos son altamente inflamables, materiales explosivos, frecuentemente potentes y volátiles. Los peróxidos orgánicos, como sus contrapartes inorgánicas, son poderosos agentes blanqueadores.

Pinout

Asignación de pines de un circuito integrado. Suele mostrarse como tabla o diagrama, indicando claramente cómo debe colocarse el circuito integrado para una correcta interpretación de los pines.

Prión

Es una partícula infecciosa formada por una proteína denominada priónica, que produce enfermedades neurológicas degenerativas transmisibles tales como la tembladera, la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y la encefalopatía espongiforme bovina.

Processing

Lenguaje de programación y entorno de desarrollo en línea. Desde 2001, ha promovido la alfabetización de procesamiento de software dentro de las artes visuales y la alfabetización visual dentro de la tecnología. Inicialmente creado para servir como un cuaderno de bocetos de software y para enseñar los fundamentos de programación de computadoras dentro de un contexto visual, hasta convertirse en una herramienta de desarrollo para los profesionales. Hoy en día, hay decenas de miles de estudiantes, artistas, diseñadores, investigadores y aficionados que utilizan el procesamiento para el aprendizaje, la creación de prototipos y la producción.

- Gratuito para descargar y de código abierto.
- Programas »interactivos con 2D, 3D o salida PDF.
- Integración »para OpenGL 3D acelerado.
- En GNU / Linux, Mac OS X y Windows.
- Más de 100 bibliotecas extienden el núcleo del software.
- Bien documentado, con muchos libros disponibles.

Proyección

En el ámbito de los explosivos, lanzamiento o dirección hacia adelante o a distancia de partículas explosivas.

Puente de Wheastone

Se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida.

Qualcomm Atheros

Desarrollador de semiconductores para redes y comunicaciones, particularmente Chipsets inalámbricos. Fundada bajo el nombre de Atheros en 1998 por expertos en Procesamiento de señales de la Universidad Stanford, la Universidad de California en Berkeley y la industria privada.

Radiación

El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

Radicales

En química, un radical (antes radical libre) es una especie química (orgánica o inorgánica), caracterizada por poseer uno o más electrones desapareados. Se forma en el intermedio de reacciones químicas, a partir de la ruptura homolítica* de una molécula y, en general, es extremadamente inestable y, por tanto, con gran poder reactivo y de vida media muy corta (milisegundos).

Radionucleidos

Elementos químicos con configuración inestable que experimentan una desintegración radiactiva que se manifiesta en la emisión de radiación en forma de partículas alfa o beta y rayos X o gama.

Reacción espontánea

Un proceso espontáneo es, en termodinámica, la evolución en el tiempo de un sistema en el cual se libera energía libre, usualmente en forma de calor, hasta alcanzar un estado energético más estable.

Reacción redox

Reacción de reducción-oxidación, es toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

RoHS

Se refiere a la directiva 2002/95/CE de Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, adoptada en febrero de 2003 por la Unión Europea.

Ruptura homolítica

Se refiere a la ruptura de un enlace químico en el que cada átomo participante del enlace retiene un electrón del par que constituía la unión formándose dos radicales libres. También se denomina homólisis.

Sales diazoicas

También conocidas como sales de diazonio, son un grupo de compuestos orgánicos cuya estructura general es $R-N_2^+X^-$, donde R puede ser cualquier residuo orgánico, un alquilo o un arilo, y X^- habitualmente un anión haluro. Las sales de diazonio alifáticas son muy inestables y no tienen aplicación práctica. En cambio, históricamente, las sales de diazonio aromáticas, más estables, se han mostrado como importantes intermedios en la síntesis de colorantes.

Semiconductor

Se dice de una sustancia aislante, como el germanio y el silicio, que se transforma en conductor por la adición de determinadas impurezas. Se usan en la fabricación de transistores, chips y derivados.

Es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores, como el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

Sensibilidad de explosivo

Se trata de la mayor o menos facilidad que tiene un explosivo para ser detonado.

Sensor magnetorresistivo

Es aquel que permite medir tanto la orientación como la magnitud del campo magnético.

Sólido inflamable

Aquel que entra fácilmente en combustión y puede producir incendios por rozamiento.

Sustancia autorreactiva

Sustancia que reacciona espontáneamente.

Sustancia con toxicidad acuática

Aquella que puede dañar a los organismos acuáticos (presentan ecotoxicidad acuática) o a las personas (toxicidad humana) a través de vías acuáticas de exposición.

Sustancia explosiva

Es una sustancia sólida o líquida (o mezcla de sustancias) que de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daños a su entorno. En esta definición quedan comprendidas las sustancias pirotécnicas aun cuando no desprendan gases.

Sustancia infecciosa

Aquello respecto de la cual se sabe o se cree fundadamente que contiene agentes patógenos.

Sustancia organometálica

Es aquella en la que los átomos de carbono forman enlaces covalentes, es decir, comparten electrones, con un átomo metálico. Los compuestos basados en cadenas y anillos de átomos de carbono se llaman orgánicos, y éste es el fundamento del nombre organometálicos. La característica de estos compuestos es la presencia de enlaces entre átomos de metal y de carbono (que pueden ser sencillos, dobles o triples) y por tanto, no se consideran organometálicos aquellos compuestos en que un metal se une a una molécula o fragmento por un átomo distinto del carbono, como ocurre en algunos compuestos de coordinación.

Sustancia pirofórica

Aquella que arde espontáneamente en contacto con el aire. Los materiales pirofóricos son a menudo reactivos frente al agua y por ello, se inflamarán cuando entren en contacto con agua o aire húmedo. Estos materiales pueden ser manejados de forma segura en atmósferas de argón o nitrógeno (con algunas excepciones). La mayoría de los incendios pirofóricos deben ser extinguidos con un extintor de clase D para metales en llamas.

Sustancia pirotécnica

Sustancia (o mezcla de sustancias) destinada a producir un efecto calorífico, luminoso, sonoro, gaseoso o fumígeno, o una combinación de tales efectos, como consecuencia de reacciones químicas exotérmicas auto sostenidas no detonantes.

Sustancia pulverulenta

Sustancia en estado de polvo.

Sustancias corrosivas

Son aquellas que, por su acción química, causan lesiones graves a los tejidos vivos con que entran en contacto o que, si se produce un escape, pueden causar daños de consideración a otras mercancías o a los medios de transporte, o incluso destruirlos.

Sustancias y objetos peligrosos varios

Corresponden a la Clase 9 de la clasificación de Mercancías peligrosas de la ONU y son aquellas que, durante el transporte, presentan un riesgo distinto de los correspondientes a las demás clases. Comprenden, entre otras cosas, las sustancias peligrosas para el medio ambiente.

Temperatura de ignición

Denominada también punto de ignición o inflamación para una materia combustible hace referencia al conjunto de condiciones físicas (presión, temperatura) necesarias para que la sustancia empiece a arder y se mantenga la llama sin necesidad de añadir calor exterior.

Tensión de vapor

Presión de la fase gaseosa o vapor de un sólido o un líquido sobre la fase líquida, para una temperatura determinada, en la que la fase líquida y el vapor se encuentran en equilibrio dinámico*. Su valor no depende de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas. Este fenómeno también lo presentan los sólidos cuando pasan al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido (proceso denominado sublimación o el proceso opuesto llamado sublimación inversa). En la situación de equilibrio, las fases reciben la denominación de líquido saturado y vapor saturado. Esta propiedad posee una relación inversamente proporcional con las fuerzas de atracción intermoleculares, debido a que cuanto mayor sea el módulo de las mismas, mayor deberá ser la cantidad de energía entregada (ya sea en forma de calor u otra manifestación) para vencerlas y producir el cambio de estado.

Transductor amperométrico

Dispositivo basado en la aplicación de un potencial fijo sobre un electrodo de trabajo, generalmente de platino, oro o grafito, respecto a un electrodo de referencia.

Transductor conductimétrico

Dispositivo con base en la medida de cambios de conductividad (o alguna propiedad asociada a ésta) provocados por el analito*, ya sea en la solución de medida o en la membrana selectiva. En algunos casos, se pueden llegar a medir incluso cambios de conductividad del propio analito.

Transductor potenciométrico

Dispositivo que se fundamenta en la determinación de una diferencia de potencial en condiciones de circuito abierto entre un electrodo de trabajo y uno de referencia.

WiMAX

Definida por las siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que emplea ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz y puede alcanzar llegar hasta los 50 km de cobertura.

Wireless

Comunicación inalámbrica o sin cables en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio.

Wiring

Es un marco de programación de código abierto para microcontroladores. Permite escribir *software* multiplataforma para el control de dispositivos conectados a una amplia gama de placas de microcontroladores para crear todo tipo de codificación creativa, objetos interactivos, espacios o experiencias físicas. El marco es creado cuidadosamente para fomentar una comunidad donde principiantes y expertos de todo el mundo compartan ideas, conocimientos y su experiencia colectiva. Hay miles de estudiantes, artistas, diseñadores, investigadores y aficionados que utilizan Wiring para el aprendizaje, la creación de prototipos, y la producción de un trabajo profesional.

- Gratuito para descargar, de código abierto y *hardware* abierto.
- En GNU / Linux, Mac OS X y Windows.
- Más de 100 bibliotecas extienden el *software*.
- Bien documentado, con muchos libros disponibles.

ZigBee Alliance

ZigBee es el único estándar inalámbrico global abierto para proporcionar la base para el Internet de las cosas, mejorando la comodidad y la eficiencia en la vida cotidiana. La ZigBee Alliance es una asociación sin ánimo de lucro compuesta de aproximadamente 400 miembros conduciendo al desarrollo de normas ZigBee innovadoras, confiables y fáciles de usar. La Alianza promueve la adopción mundial de ZigBee como estándar de sistemas de redes inalámbricas, de detección y de control principal para el uso en áreas de consumo, comerciales e industriales.

Como resultado de la afiliación diversa y creciente, la Alianza se ha convertido en un ecosistema grande y próspero de las organizaciones que proporcionan todo lo necesario para crear productos ZigBee: chips semiconductores de radio, casas de diseño, empresas de software, herramientas de apoyo y pruebas.

La Alianza cuenta con tres niveles de afiliación:

- “*Promoter*” es el nivel más influyente de la participación en la Alianza. Los miembros tienen representación en el Consejo de Administración y de los derechos de voto.
- Miembros “*Participant*” gozan de derechos de voto, desempeñan un papel activo en la evolución del desarrollo de ZigBee y reciben acceso temprano a las especificaciones y normas para el desarrollo de productos.
- Miembros “*Adopter*” reciben acceso a las especificaciones y estándares de ZigBee completados.

Zona de respiración

Espacio alrededor de la cara del trabajador del que este toma el aire que respira. Más técnicamente, semiesfera de 0.3 m de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se encuentra en el punto medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base se constituye por el plano que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe.

Anexo B

CONFIGURACIÓN DE MÓDULOS XBEE

Para la configuración de los módulos XBee se deberá tener instalado en el PC el software libre X-CTU de Digi, una aplicación gratuita multiplataforma diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con módulos Digi de Radio Frecuencia (RF) mediante una interfaz gráfica de fácil manejo, con las que configurar y probar los módulos.



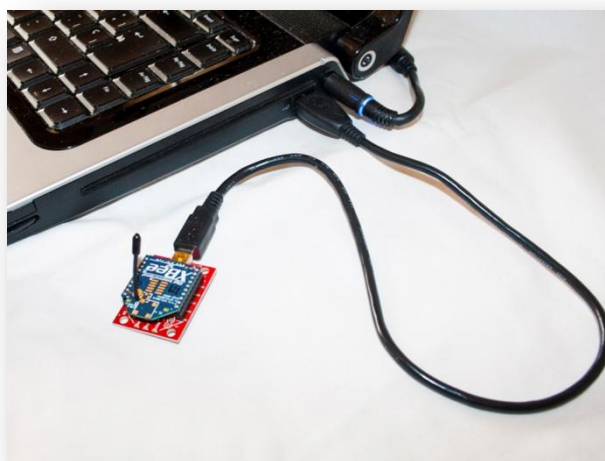
La configuración de los módulos XBee que intervienen en la comunicación inalámbrica del sistema de este Proyecto se va a realizar mediante un adaptador XBee USB-Explorer.

B.1 Configuración del módulo XBee Coordinador

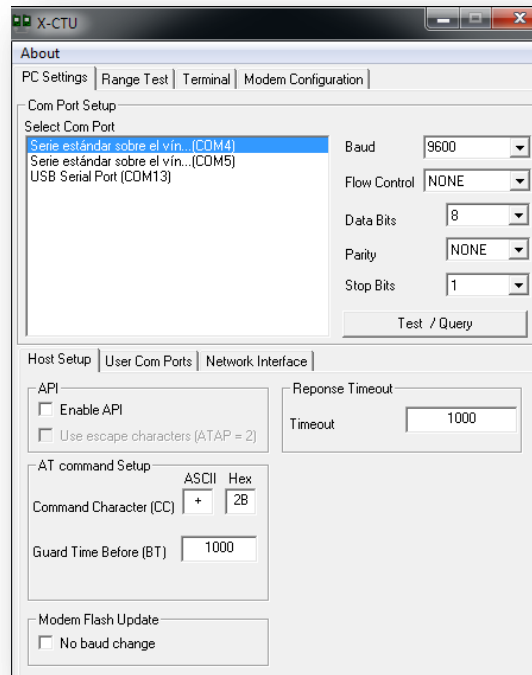
A continuación se describen los pasos a seguir en X-CTU para configurar las características del módulo que hará las veces de Coordinador de la red inalámbrica:

1. Acoplar el módulo XBee elegido como coordinador de la red inalámbrica al adaptador XBee USB-Explorer y conectarlo al PC.
Será necesario comprobar el puerto COM asignado al módulo para poder configurarlo correctamente. Para ello, se puede acceder a:

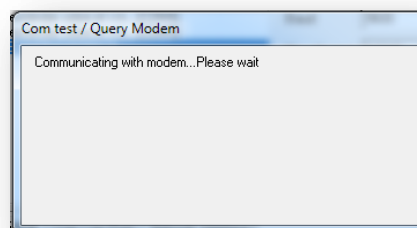
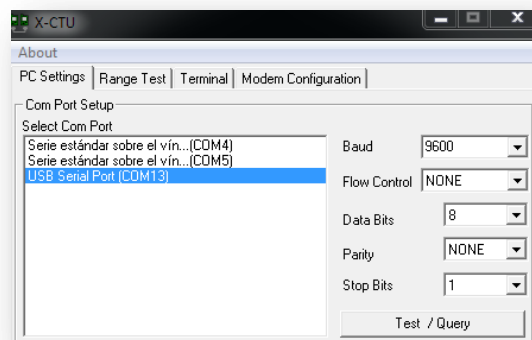
Panel de Control → Administrador de dispositivos → Puertos (COM y LPT)



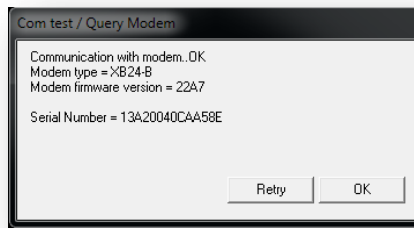
2. Abrir X-CTU.



3. Seleccionar puerto COM al que está conectado el adaptador XBee USB-Explorer y pulsar en "Test/Query" para realizar una consulta desde X-CTU al módulo de RF para comprobar la conexión.



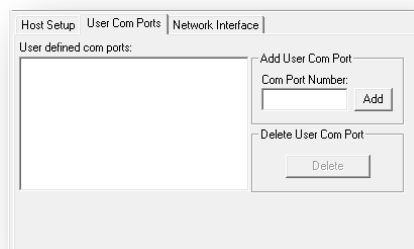
Si la prueba es correcta, se devolverá un *OK* en la ventana correspondiente, tal y como se muestra en la siguiente imagen.



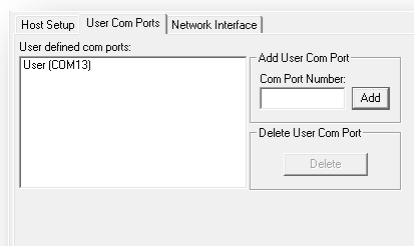
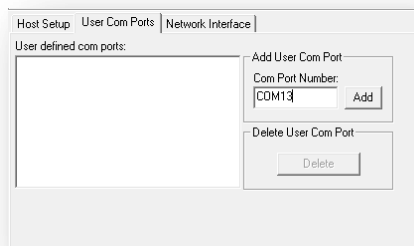
En caso contrario, se deberá revisar la conexión del módulo tanto al adaptador como al PC y que se haya elegido el puerto COM correcto.

Nota: Si el puerto no aparece de manera automática, hay que proceder a añadirlo manualmente como se describe a continuación.

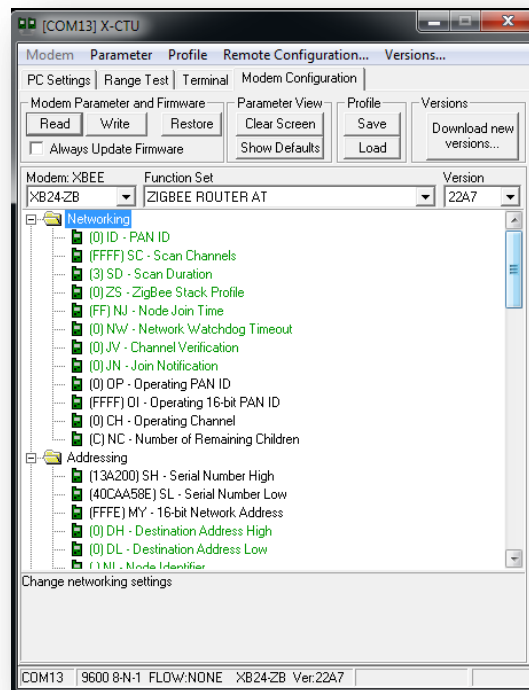
- I. Pinchar en la pestaña "User COM Ports".



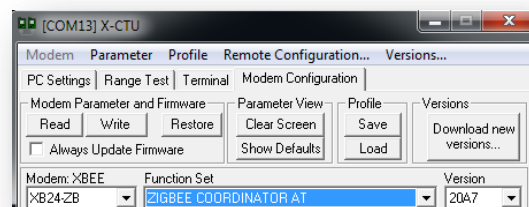
- II. Escribir el Puerto en "Number COM Port" y pinchar en "Add". El puerto deberá aparecer en la lista de la parte superior y se podrá hacer el paso 4.



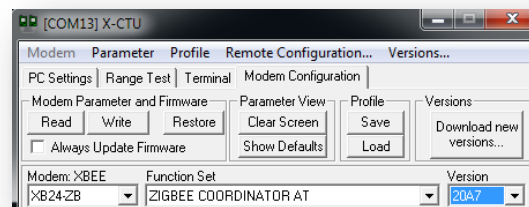
4. Acceder a la pestaña “Modem Configuration” y pinchar en “Read”.



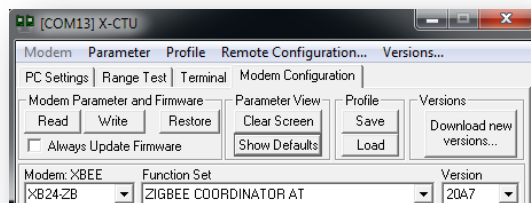
5. En “Function Set” seleccionar “ZIGBEE COORDINATOR AT”.



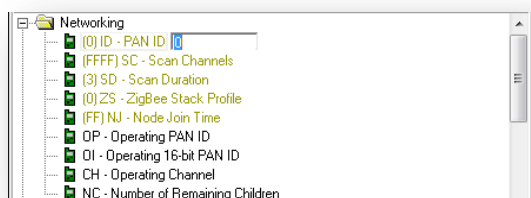
6. Elegir la versión más alta.



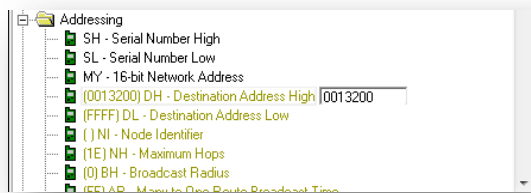
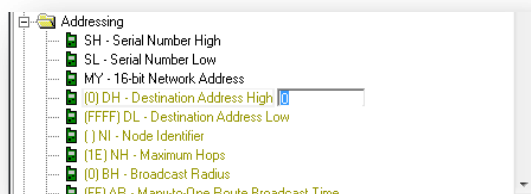
7. Pinchar en “*Show Defaults*” y escribir los valores de los siguientes parámetros como se especifica.



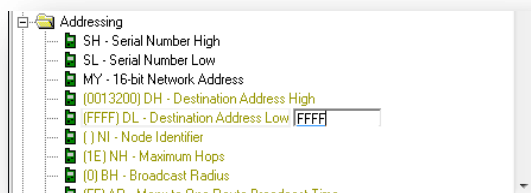
- I. PAN ID: Elegir uno que vayan a compartir todos los dispositivos de la red.



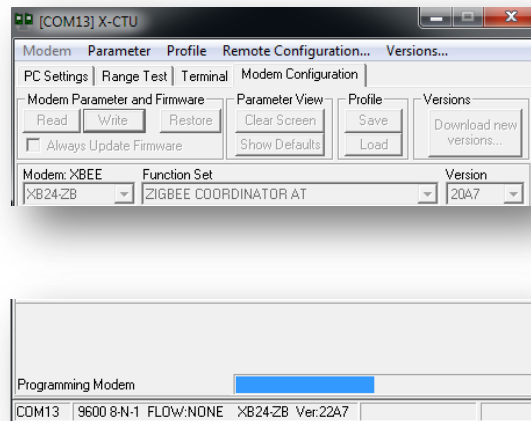
- II. DH: Escribir la dirección alta del otro dispositivo XBee con el que se va a comunicar.



- III. DL: Escribir la dirección baja del otro módulo XBee.



8. Pinchar en "Write".

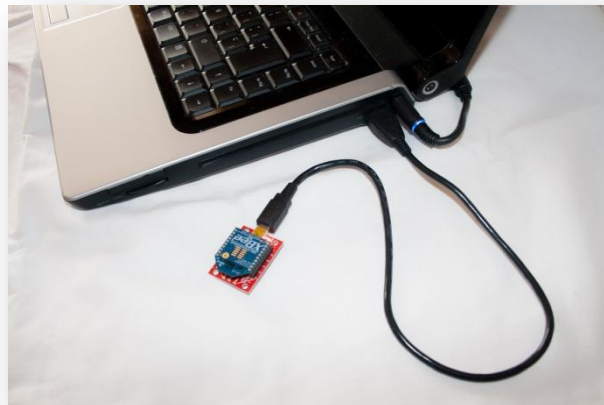


9. Cerrar X-CTU y retirar el módulo XBee del USB-Explorer.

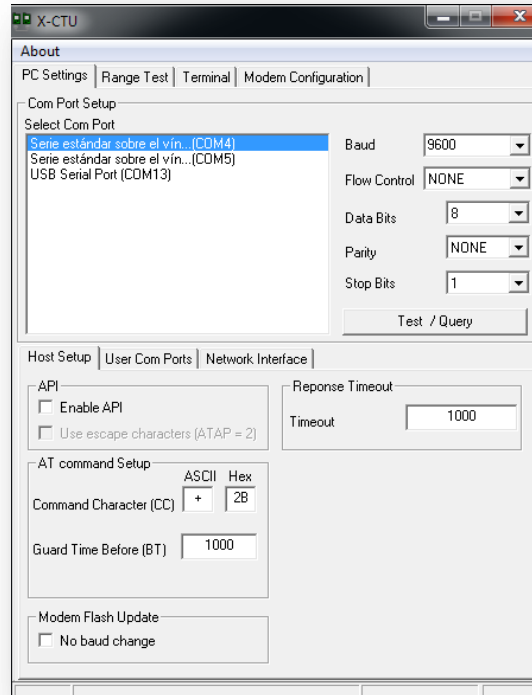
B.2 Configuración del módulo XBee esclavo

A continuación se detallan los pasos que se deben realizar para la configuración del módulo de XBee elegido como esclavo en la red inalámbrica. Este módulo estará acoplado a la placa Arduino UNO integrada en el sistema de detección multisensor y será el encargado de enviar los datos inalámbricamente a la estación de control.

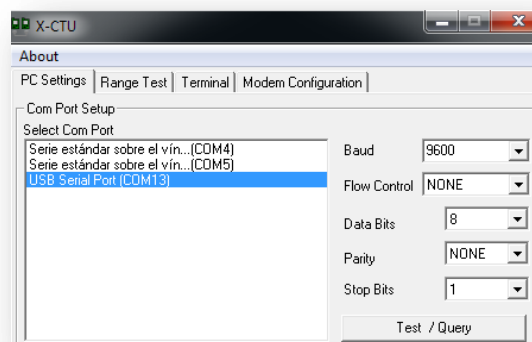
1. Acoplar el módulo XBee elegido como esclavo de la red inalámbrica al adaptador XBee USB-Explorer.



2. Abrir X-CTU.



3. Seleccionar puerto COM al que está conectado el adaptador XBee USB-Explorer y pinchar en "Test/Query" para comprobar la conexión.

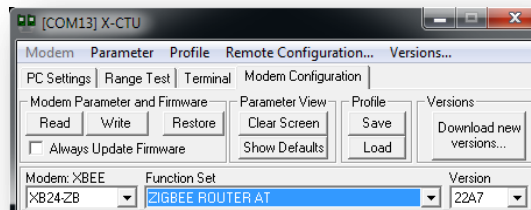


Nota: Igual que en el paso 3 de la configuración del módulo coordinador.

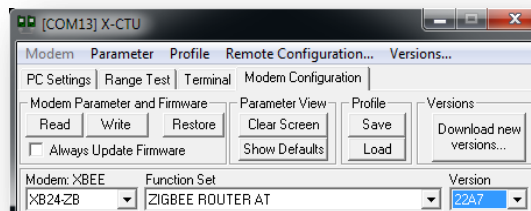
4. Acceder a la pestaña "Modem Configuration" y pinchar en "Read".

Nota: Igual que en el paso 4 de la configuración del módulo coordinador.

5. En “*Function Set*” seleccionar “ZIGBEE ROUTER AT”.

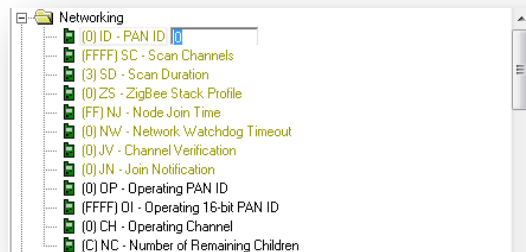


6. Elegir la versión más alta.

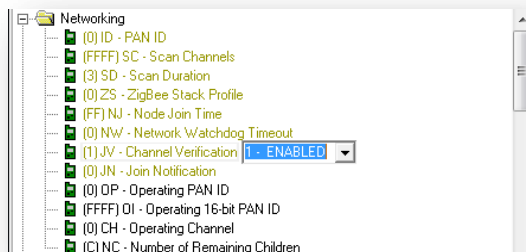


7. Pinchar en “*Show Defaults*” y escribir los valores de los siguientes parámetros como se especifica.

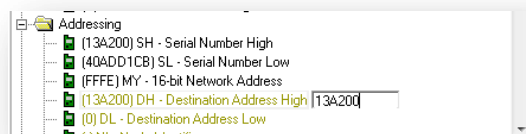
- I. PAN ID: Elegir el mismo que se escribió en la configuración del coordinador.



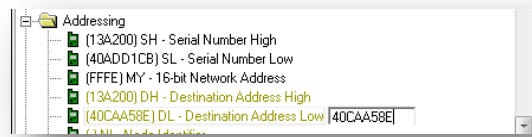
- II. JV - Channel Verification: Cambiar a “1-ENABLED”.



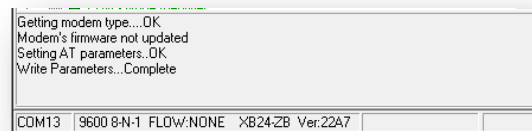
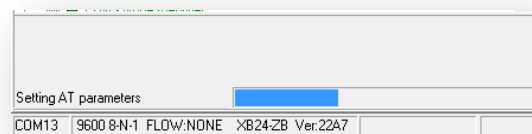
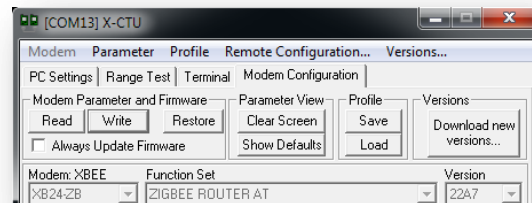
- III. DH: Escribir la dirección alta del otro dispositivo XBee con el que se va a comunicar.



IV. DL: Escribir la dirección baja del otro módulo XBee.



8. Pinchar en "Write".



9. Cerrar X-CTU y retirar el módulo XBee del USB-Explorer.

Anexo C

MANUAL DE USO DE ARDUINO

Este apartado se dedica a comentar brevemente algunos aspectos referentes a Arduino y cómo se utiliza el software de Arduino (IDE) para los requisitos de este Proyecto. Se trata de un software disponible para Windows, MAC OS X y Linux, dedicado a la programación de cualquier placa de Arduino. El entorno está escrito en Java y basado en Processing y otro software de código abierto.

En la página web de Arduino se proporcionan las instrucciones necesarias para la instalación del software (<http://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>).

C.1 Características *Hardware* de Arduino

Pines digitales configurados como salida

Los pines configurados como salida con `pinMode ()` se dice que están en un estado de baja impedancia. Esto significa que pueden proporcionar una cantidad sustancial de corriente a otros circuitos. Los pines de Atmega pueden proporcionar corriente positiva o negativa de hasta 40mA a otros dispositivos/circuitos. Esto es una cantidad suficiente de corriente para iluminar un LED brillantemente (sin olvidar la resistencia en serie), o ejecutar muchos sensores, por ejemplo, pero no es suficiente corriente para ejecutar la mayoría de los relés, solenoides o motores.

En este Proyecto los pines digitales se han utilizado para el encendido del LED de calibración y de los LED de alarma en caso de pasar el umbral elegido para cada variable detectada.

- LED rojo de la alarma de temperatura: PIN 13
- LED azul de calibración: PIN 12
- LED verde de la alarma de dióxido de carbono: PIN 11
- LED amarillo de la alarma de oxígeno: PIN 10

Pines de entrada analógica

Los controladores Atmega utilizados para la Arduino UNO contienen una conversión analógica-digital (A/D) de 6 canales. El convertidor tiene una resolución de 10 bits, devolviendo números enteros de 0 a 1023. Si bien la función principal de los pines analógicos para la mayoría de usuarios de Arduino es leer sensores analógicos, los pines analógicos también tienen toda la funcionalidad de pines de entrada/salida de propósito general (GPIO) (al igual que los pines digitales 0 - 13). En consecuencia, si un usuario necesita pines de salida de propósito más general, y todos los pines analógicos no están en uso, las clavijas analógicas pueden utilizarse para GPIO.

Los pines analógicos se pueden usar igual que los pines digitales, mediante los alias A0 (para la entrada analógica 0), A1, etc. Por ejemplo: `pinMode (A0, OUTPUT);`

Memoria

Hay tres tipos de memoria en los microcontroladores utilizados en placas Arduino basadas en AVR⁷:

- La memoria flash (espacio de programa), es donde se almacena el sketch de Arduino.
- SRAM (memoria estática de acceso aleatorio) es donde el sketch crea y manipula las variables cuando se ejecuta.
- EEPROM es el espacio de memoria que los programadores pueden utilizar para almacenar información a largo plazo.

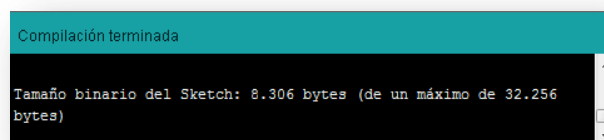
La memoria flash y la memoria EEPROM no son volátiles, mientras que la SRAM es volátil y se perderá la información que contiene cuando se interrumpe el flujo eléctrico.

La placa Arduino del Proyecto

En este Proyecto, la placa utilizada ha sido la Arduino UNO Rev. 3, y sus principales características son las siguientes:

- Microcontrolador: ATmega328.
- Voltaje de operación: 5V.
- Tensión de entrada (recomendado): 7–12V.
- Tensión de entrada (límites): 6–20V.
- Pines E/S digitales: 14 (6 pueden usarse como PWM).
- Pines de entrada analógica: 6.
- Corriente continua por pin de E/S: 40mA.
- Corriente continua para pines de 3.3V: 50mA.
- Memoria Flash: 32KB (0,5K son para el gestor de arranque).
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Velocidad de reloj: 16MHz

El programa desarrollado en este trabajo ocupa un total de 8.306 bytes de los 32.256 bytes disponibles.



C.2 Descripción del entorno de desarrollo

El entorno de desarrollo de Arduino contiene un editor de texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para acciones comunes y una serie de menús. Se conecta al hardware de Arduino para cargar programas y comunicarse con él.

Tiene herramientas para cortar/pegar y buscar/reemplazar texto. El área de mensajes ofrece información mientras el código se salva y exporta a la placa, mostrando también los errores que ocurren

⁷ Familia de microcontroladores RISC del fabricante estadounidense Atmel.

durante dichos procesos. La consola muestra la salida de texto del entorno de Arduino incluyendo mensajes de error completos y otra información de interés.

Botones de la barra de herramientas



Verificar: Chequea el código en buscar de errores.



Cargar: Compila el código y lo carga en la placa Arduino.



Nuevo: Crea un nuevo sketch.



Abrir: Presenta un menú de todos los sketches del *sketchbook*. Eligiendo uno lo abre dentro de la ventana actual.



Guardar: Guarda el sketch.



Monitor Serial: Abre el monitor serial.

Estructura del sketch

Este es el nombre que Arduino utiliza para referirse al código escrito en el editor de texto, y se corresponde con la unidad de código que se carga y ejecuta en una placa Arduino. Al escribir un programa, este se guarda con la extensión `.ino`.

Variables

Una variable es un lugar donde almacenar un dato, y se define con un nombre, un tipo y un valor. Cada vez que el nombre de esa variable aparece en el código, se recuperará su valor, lo que permite modificar los datos utilizados en el código editando la línea en la que se le asigna el valor a dicha variable. Ejemplo de declaración para la asignación del pin digital 13 a una variable: `int pin = 13;`

Funciones principales utilizadas

En cada sketch Arduino hay dos funciones que es necesario incluir, incluso aunque no se necesiten: `setup ()` y `loop ()`.

- La función `setup ()` se llama una única vez, al inicio del programa, por lo que se trata del lugar idóneo para hacer las tareas de configuración, como el establecimiento de modos de pin o inicializar las librerías.
- La función `loop ()` se llama una y otra vez, y normalmente es el corazón de la mayoría de sketches.

Por otro lado, la función `pinMode ()` configura un pin como entrada o salida. Tiene como parámetros el número del pin de configurar y la constante entrada o salida (INPUT/OUTPUT). Ejemplos de uso:

- Pin como salida: `pinMode (pin, OUTPUT);`
- Pin como entrada: `pinMode (pin, INPUT);`

La función `digitalWrite ()` proporciona un valor HIGH o LOW a un pin digital. Si el pin se ha configurado como salida con `pinMode ()`, su tensión se establece en el valor correspondiente: 5V para HIGH (3.3V o en los tableros de 3.3V) y 0V (tierra) para LOW. Si el pin se configura como una entrada, `digitalWrite ()` activará (HIGH) o desactivará (LOW) la resistencia interna de pull-up en el pin de entrada. Ejemplo de uso:

- Pin digital a 5V: `digitalWrite (pin, HIGH);`
- Pin digital a 0V: `digitalWrite (pin, LOW);`

La función `delay ()` hace que el Arduino espere el número de milisegundos especificado de antes de continuar a la siguiente línea. Ejemplo de uso para una espera de 1 segundo: `delay (1000);`

Comentarios

Los comentarios se utilizan para explicar lo que hace el programa, su funcionamiento o para agregar datos sobre porqué se escribió de esa forma, lo que ayuda a otras personas a entender y modificar el código.

En el software de Arduino, se pueden emplear dos tipos de comentarios. Por un lado, existen los comentarios cortos, de una única línea, que comienzan con `//` y continúan hasta el final de la línea. Por otro, están los comentarios largos en los que todo lo que vaya entre el `/*` y `*/` es ignorado por Arduino cuando se ejecuta el sketch.

C.3 Creación y carga de un programa en Arduino IDE

Directorios y archivos

Tanto los sistemas individuales como el detector multisensor desarrollado en este Proyecto, tienen una carpeta propia que contiene el archivo `.ino` donde se ha programado cada detección (temperatura, dióxido de carbono, oxígeno o conjunta). Todos estos directorios se ubican en la carpeta de archivos de Arduino que se crea por defecto al instalar el *software*.

En este trabajo, los directorios y archivos creados para las diferentes detecciones que se han llevado a cabo son:

- Carpeta `Final_CO2` para el detector individual de dióxido de carbono.
 - ❖ `Final_CO2.ino`
- Carpeta `Final_O2` para el detector individual de oxígeno.
 - ❖ `Final_O2.ino`
- Carpeta `Final_Temperatura` para el detector individual de temperatura.
 - ❖ `Final_Temperatura.ino`
- Carpeta `Final_Temp_CO2_O2_Abril2015` para el detector multisensor final.
 - ❖ `Final_Temp_CO2_O2_Abril2015.ino`

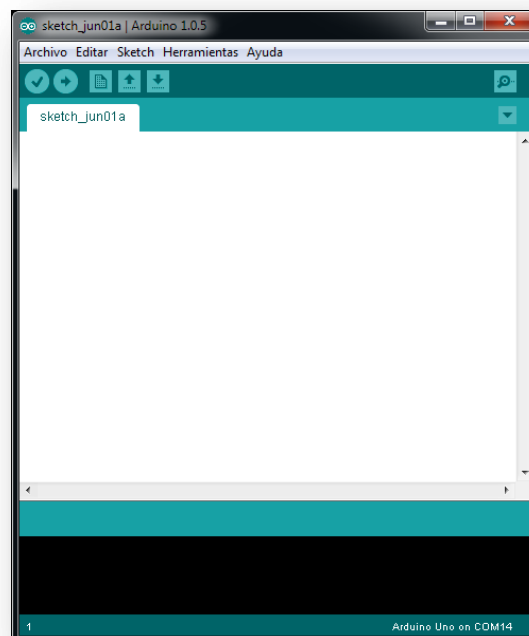
Proceso de carga

Seguidamente se va a detallar el proceso de carga de código en una placa de Arduino, tal y como se ha realizado en este Proyecto para la Arduino UNO.

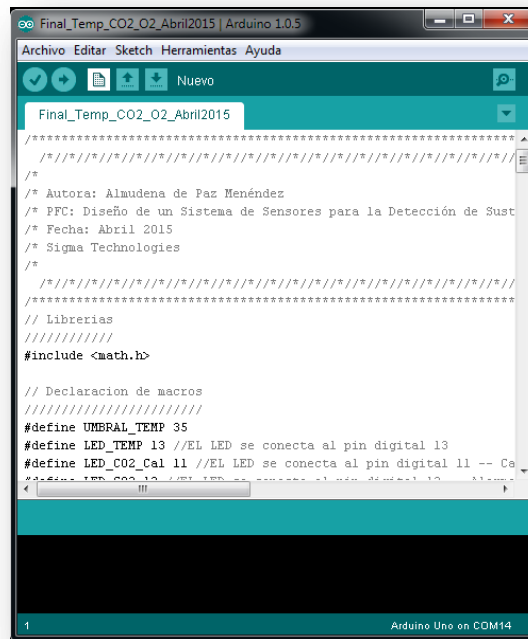
Primeramente se debe comprobar que el puerto COM asignado a la placa Arduino que aparece en la parte inferior de la ventana del entorno de desarrollo se corresponde con el puerto al que se ha conectado. En caso contrario, accediendo a la opción “Herramientas → Puerto Serial” se puede seleccionar el puerto correcto entre los disponibles del PC.



1. Apertura del software Arduino IDE.



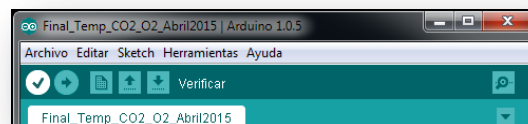
2. Escritura del programa.



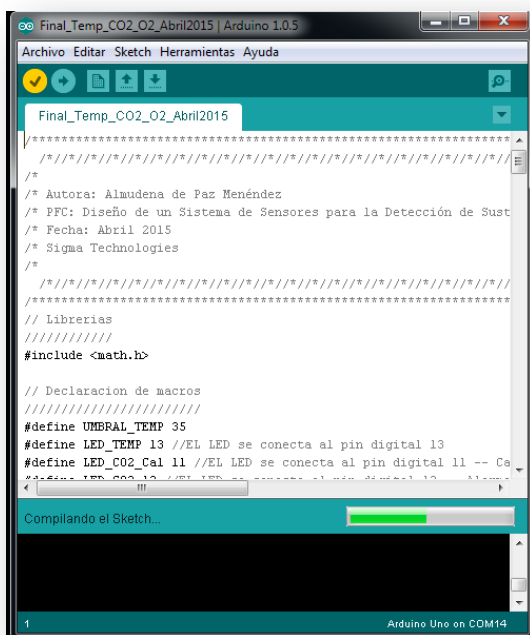
```
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Nuevo
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
/*
*****
/* Autora: Almudena de Paz Menéndez
/* PFC: Diseño de un Sistema de Sensores para la Detección de Sust
/* Fecha: Abril 2015
/* Sigma Technologies
/*
*****
// Librerías
// Librerías
// Librerías
// Librerías
// Librerías
#include <math.h>

// Declaracion de macros
// Declaracion de macros
// Declaracion de macros
#define UMBRAL_TEMP 35
#define LED_TEMP 13 //EL LED se conecta al pin digital 13
#define LED_CO2_Cal 11 //EL LED se conecta al pin digital 11 -- Ce
#define LED_CO2_12 //EL LED se conecta al pin digital 12
Arduino Uno on COM14
```

3. Compilación.

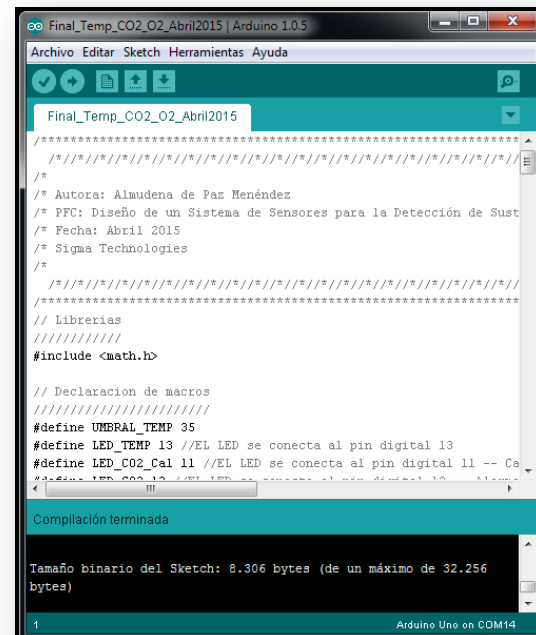


```
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Verificar
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
```



```
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
/*
*****
/* Autora: Almudena de Paz Menéndez
/* PFC: Diseño de un Sistema de Sensores para la Detección de Sust
/* Fecha: Abril 2015
/* Sigma Technologies
/*
*****
// Librerías
// Librerías
// Librerías
// Librerías
// Librerías
#include <math.h>

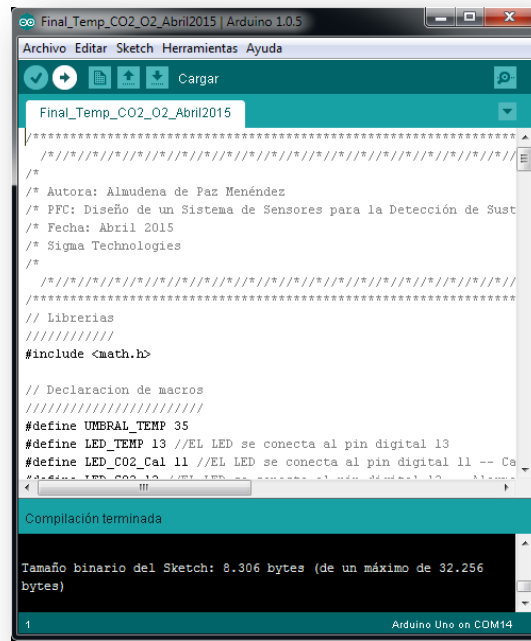
// Declaracion de macros
// Declaracion de macros
// Declaracion de macros
#define UMBRAL_TEMP 35
#define LED_TEMP 13 //EL LED se conecta al pin digital 13
#define LED_CO2_Cal 11 //EL LED se conecta al pin digital 11 -- Ce
#define LED_CO2_12 //EL LED se conecta al pin digital 12
Compilando el Sketch...
Arduino Uno on COM14
```



```
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
Final_Temp_CO2_O2_Abril2015
/*
*****
/* Autora: Almudena de Paz Menéndez
/* PFC: Diseño de un Sistema de Sensores para la Detección de Sust
/* Fecha: Abril 2015
/* Sigma Technologies
/*
*****
// Librerías
// Librerías
// Librerías
// Librerías
// Librerías
#include <math.h>

// Declaracion de macros
// Declaracion de macros
// Declaracion de macros
#define UMBRAL_TEMP 35
#define LED_TEMP 13 //EL LED se conecta al pin digital 13
#define LED_CO2_Cal 11 //EL LED se conecta al pin digital 11 -- Ce
#define LED_CO2_12 //EL LED se conecta al pin digital 12
Compilación terminada
Tamaño binario del Sketch: 8.306 bytes (de un máximo de 32.256
bytes)
Arduino Uno on COM14
```


4. Carga del programa en la placa Arduino.



Anexo D

MANUAL PARA LA REPRESENTACIÓN DE DATOS

La representación de los datos está programada en MATLAB. Los archivos y carpetas necesarios para la representación de datos tanto de los subsistemas individuales como del sistema multisensor desarrollados en este Proyecto son los siguientes:

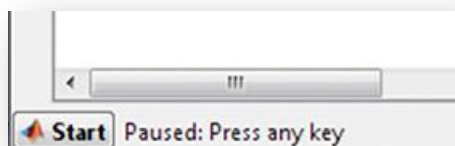
- Arduino_Matlab_Temp_Final.m
- Arduino_Matlab_CO2_Final.m
- Arduino_Matlab_O2_Final.m
- Arduino_Matlab_Temp_CO2_O2_Final.m

Como ejemplo, en esta sección se va a detallar la utilización del script del sistema multisensor para el registro y representación de los datos muestreados de temperatura, dióxido de carbono y oxígeno, así como las fases que existen en su ejecución. Si se quiere obtener la representación una de las variables de los sistemas individuales, el proceso de ejecución es el mismo.

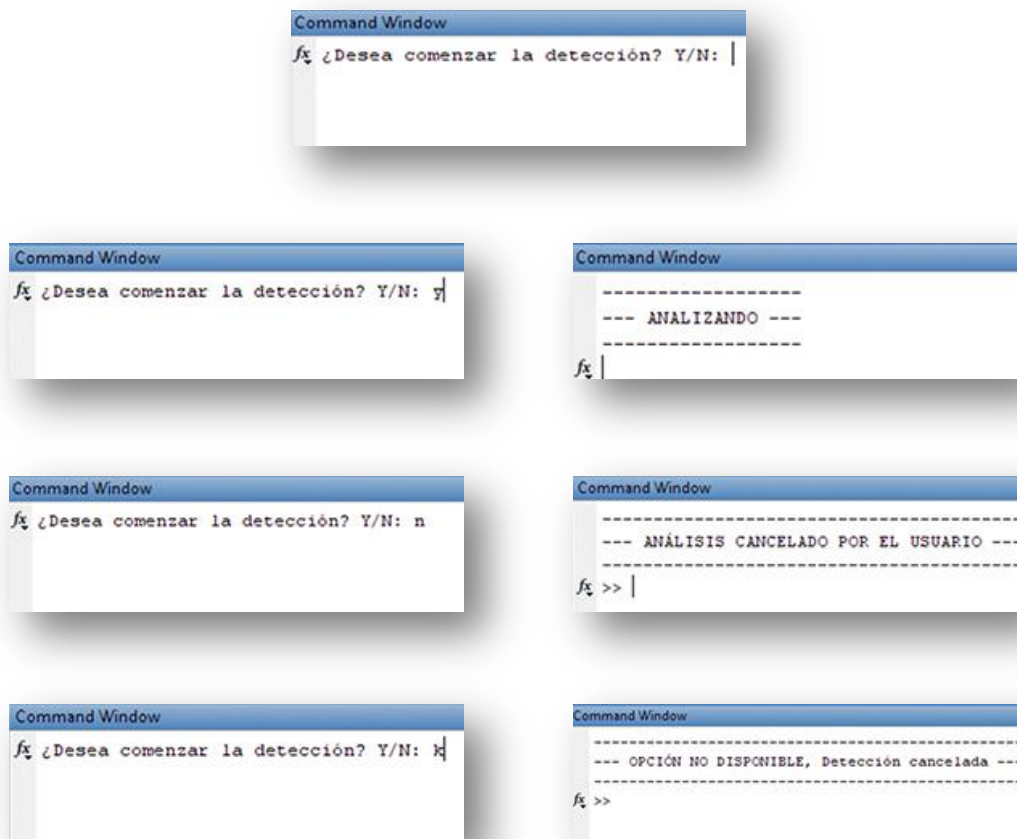
En primer lugar hay que comentar que este script se ha configurado para hacer una lectura continua del puerto serie, por lo que el XBee receptor debe estar conectado en el momento de la ejecución. Por otro lado, el tiempo de espera para la recepción de datos es de 3 minutos, de modo que el sistema multisensor debe haber acabado la calibración y estar muestreando antes o durante esos 3 minutos para evitar un error de *timeout* en la ejecución.

Más abajo se describe la secuencia de pasos para obtener la representación.

1. Cuando el script se lanza, espera a que el usuario pulse cualquier tecla antes de comenzar a ejecutarse.



2. Una vez pulsada una tecla, el script pregunta al usuario si quiere comenzar la detección, esperando una respuesta positiva (Y o y) o negativa (N o n).
Si el usuario contesta afirmativamente, aparecerá en la consola un mensaje que indicará que se ha comenzado la representación de datos en tiempo real. Si la respuesta del usuario es negativa o no corresponde a ninguna de las posibles opciones, la detección se cancelará y se mostrará un mensaje para cada caso. Estas opciones pueden verse en las imágenes a continuación.



3. Cuando finalmente comienza la ejecución, el programa pasa a mostrar la ventana donde se representarán las gráficas de las tres variables, que se irá actualizando cada 10 segundos.

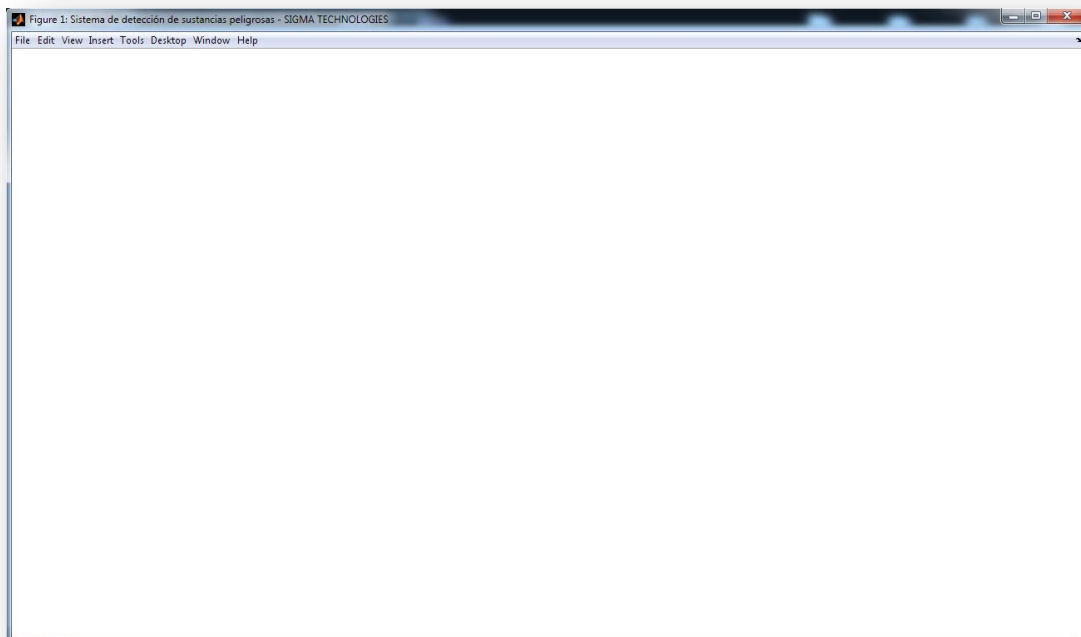


ILUSTRACIÓN 46: PANTALLA INICIAL DE REPRESENTACIÓN DE MATLAB

Anexo E

MANUAL DEL PROGRAMADOR

E.1 Código Arduino

```
/*
*****
// Autora: Almudena de Paz Menendez
// PFC: Diseño un Sistema de Sensores para la Deteccion de
// Sustancias Peligrosas
// Fecha: Abril 2015
// Sigma Technologies
//
*****/

// Librerias
//
#include <math.h>

// Declaracion de macros
//
#define UMBRAL_TEMP 35
#define LED_TEMP 13 //EL LED se conecta al pin digital 13 --
Temperatura
#define LED_CO2_Cal 11 //EL LED se conecta al pin dig.11 --
Calibracion
#define LED_CO2 12 //EL LED se conecta al pin digital 12 -- Alarma CO2
#define LED_O2 10 //EL LED se conecta al pin digital 10 -- Oxigeno
#define BUZZER 9 //El Buzzer se conecta al pin digital 9 - Alarma
Sonora
#define MAXppmCO2 10000 //X1 == ppm maxima
#define MINppmCO2 400 //X2 == ppm normal
#define WARNINGppmCO2 5000 //Umbral de alarma por CO2
#define G 10 //Ganancia LM324
#define SENSITIVITY 1.0387 // [mV/%]
#define MIN_O2 21 // [%] normal O2 en aire
#define MIN_V_SENSOR 16 //mV
#define MAX_V_SENSOR 26 //mV
#define G 110 // Ganancia LM324
#define UMBRAL_O2 20.983 //Umbral de alarma por O2

// Declaracion de variables globales
//
int Sensor_temp = 0; // Entrada del sensor LM35 en pin A0
int Sensor_CO2 = 1; // Entrada del sensor MG-811 de CO2 en pin A1
int Sensor_O2 = 2; // Entrada del sensor O2/M-100 en pin A2
float tempC_dec = 0, tempC_V = 0, tempC = 0; //Almacenan la salida del
sensor de T (tension)y la temperatura correspondiente (°C)
float CO2_1_ppm = 0, CO2_1_dec = 0, CO2_1_V = 0, CO2_1_mV = 0;
//Almacena las salida del sensor de CO2, tension y ppm
```

```

float O2_dec=0, O2_V=0,O2_mV=0, O2_concentration=0; //Almacenan la
salida del sensor, el voltaje y la concentracion
int minCO2 = 0, maxCO2 = 0; //Variables de calibracion
float minCO2ppm = 0, maxCO2ppm = 0; //Medicion de ppm maxima y minima
de CO2 en la calibracion
float VmaxCO2_mV = 0, VminCO2_mV = 0; //Maximo y minimo voltaje para
la calibracion del sensor de CO2
float exponente = 0;
float B = 0, M = 0; //Termino indep. y pendiente de sensibilidad MG-
811

// FUNCION SEMILOGARITMICA CO2
// x1=400 ppm
// x2=10000 ppm
// Funci Semilog: y=m*log(x)+b
// y: [voltios]
// x: [ppm CO2]
// Despejando b y m de las expresiones
// y1=m*log(x1)+b
// y2=m*log(x2)+b

void setup()
{
  pinMode(LED_TEMP, OUTPUT); //Configuramos como salida el LED_TEMP
  pinMode(LED_CO2_Cal, OUTPUT); //Config LED_CO2_Cal como salida
  pinMode(LED_CO2, OUTPUT); //Configuramos como salida el LED_CO2
  pinMode(LED_O2, OUTPUT); //Configuramos como salida el LED_O2
  pinMode(BUZZER,OUTPUT); //Configuramos el buzzer como salida
  Serial.begin(9600); //Abre puerto serie y lo configura a 9600 bps
  delay(10000); //10 segundos

  // Encender LED AZUL para indicar el comienzo de la calibracion
  digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);

  ////////////////////////////////////////////////////
  /// CALIBRACION ///
  ////////////////////////////////////////////////////
  // Serial.println("INICIO DE CALIBRACION DEL SENSOR DE CO2:");
  // Lectura de CO2 en condiciones normales (Mismo Vo -> min ppm)
  delay(2700000); //40 minutos
  CO2_1_dec = analogRead(Sensor_CO2); // Cuantificacion
  CO2_1_V = (CO2_1_dec*5)/1024; // Descuantificacion
  VmaxCO2_mV = (CO2_1_V*1000)/G; //mV

  // Envio de minima concentraci3n
  // Serial.println("Muestreo Minima Concentracion CO2 (Vmax):");
  // Serial.print(VmaxCO2_mV,3);

  //LED AZUL intermitente indica cambio de entorno para calibracion
  digitalWrite(LED_CO2_Cal, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(LED_CO2_Cal, LOW);
  delay(1000);
  digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);
  delay(1000);
  digitalWrite(LED_CO2_Cal, LOW);

  // Espera 3 minutos para hacer el cambio de entorno

```

```

delay(180000);

// Encender el LED AZUL para indicar el reinicio de la calibracion
digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);

// Lectura de CO2 en condiciones extremas (Minimo Vo)
//delay(2400000); //40 minutos
CO2_1_dec = analogRead(Sensor_CO2); // Cuantificacion
CO2_1_V = (CO2_1_dec*5)/1024; // Descuantificacion
VminCO2_mV = (CO2_1_V*1000)/G; //mV

// Envio de datos de maxima concentraci3n
// Serial.println("Muestreo Maxima Concentracion CO2 (Vmin):");
// Serial.print(VminCO2_mV,3);

B=(VminCO2_mV-(VmaxCO2_mV * log10(MAXppmCO2)/log10(MINppmCO2)))/
(1- (log10(MAXppmCO2)/log10(MINppmCO2)));
M=(VmaxCO2_mV-B)/log10(MINppmCO2);

// Parpadeo hasta apagar el LED AZUL → fin de la calibracion
digitalWrite(LED_CO2_Cal, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(LED_CO2_Cal, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(LED_CO2_Cal, LOW);
delay(1000);
digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);

// El LED azul encendido → sistema calibrado y listo para usarse

////////////////////////////////////
/// FIN DE CALIBRACION ///
////////////////////////////////////

// Espera 5 minutos para inciar el muestreo
delay(300000);
digitalWrite(LED_CO2_Cal, HIGH);
}

void loop()
{
////////////////////////////////////
/// MUESTREO TEMPERATURA ///
////////////////////////////////////
// Lectura de temperatura:
tempC_dec = analogRead(Sensor_temp); //Cuantificacion:Valor decimal
entre 0 y 1023 correspondiente al rango de 0 y 5V que lee
analogRead

/* Conversion a temperatura:
// T[C] = V[mV]/10
// T[C] = (5[V] * 1000[mV/V]) / (10 * 1024) */

tempC_V = tempC_dec * 5 / 1024;
tempC = (5.0 * tempC_dec * 100.0)/1024.0; //Descuantificacion

```

```

// Encendido alarma de temperatura
if (tempC >= UMBRAL_TEMP){
  digitalWrite(LED_TEMP, HIGH); //LED ON si se supera el umbral
  tone(BUZZER,500); //Buzzer ON
}
else{
  digitalWrite(LED_TEMP, LOW); //LED OFF si no se supera el umbral
  noTone(BUZZER); //Buzzer OFF
} //FIN if alarma temperatura

////////////////////////////////////
/// MUESTREO DIOXIDO DE CARBONO ///
////////////////////////////////////
// Lectura de CO2:
CO2_1_dec = analogRead(Sensor_CO2);
CO2_1_V = (CO2_1_dec*5)/1024; // Cuantificacion
CO2_1_mV = (CO2_1_V*1000)/G; //mV
exponente = (CO2_1_mV-B)/M;
CO2_1_ppm = pow(10,exponente); //Concentracion ppm

// Encendido alarma de CO2
if (CO2_1_ppm >= WARNINGppmCO2){
  digitalWrite(LED_CO2, HIGH); //LED ON si se supera el umbral
  tone(BUZZER,500); //Buzzer ON
}
else{
  digitalWrite(LED_CO2, LOW); //LED OFF si no se superan el umbral
  noTone(BUZZER); //Buzzer OFF
} //FIN if alarma CO2

////////////////////////////////////
/// MUESTREO OXIGENO ///
////////////////////////////////////
// Lectura de O2:
O2_dec = analogRead(Sensor_O2); //Valor decimal entre 0 y 1023
O2_V = (O2_dec*(5))/1024; //Cuantificacion de salida del sensor
Amplificada (Voltios)
O2_mV = (O2_V*1000)/G; // Salida sensor en mV sin amplificación

/* The oxygen concentration is then easily calculated:
   C = V / S
   where C is the oxygen concentration in %, V is the output of the
   PCB in mV and S is the sensitivity of your sensor in mV/%,
   1.0387 mV/%.*/

O2_concentration = O2_mV / (SENSITIVITY);

// Encendido alarma de O2
if (O2_concentration < UMBRAL_O2){
  digitalWrite(LED_O2, HIGH); //LED ON si baja del umbral
  tone(BUZZER,500); //Buzzer ON
}
else{
  digitalWrite(LED_O2, LOW); //LED OFF si iguala o supera el umbral
  noTone(BUZZER); //Buzzer OFF
} //FIN if alarma O2

// Envio del dato al puerto serie
////////////////////////////////////
Serial.print("s"); //Marca de inicio de la cadena

```



```
// Serial.println("Muestreo T:");
Serial.print(tempC,2);
Serial.print(";");
// Serial.println("Muestreo CO2:");
Serial.print(CO2_1_ppm,2);
Serial.print(";");
// Serial.println("Muestreo O2:");
Serial.print(O2_concentration,2);
Serial.print(";");
Serial.println("e"); //Marca de final de la cadena

// Espera 10 segundos para repetir el muestreo (Ts)
delay(10000);
}
```

E.2 Código MATLAB

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%/*
%/* Autora: Almudena de Paz Menéndez
%/* PFC: Diseño de un Sistema de Sensores para la Detección de
%/* Sustancias Peligrosas
%/* Fecha: Diciembre 2014
%/* Sigma Technologies
%/* Funcion Arduino_Matlab_Temp_CO2_O2_Final()
%/*
%/*
%/*
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

function Arduino_Matlab_Temp_CO2_O2_Final()

close all;
clc;

%% Inicializaciones
%Inicializar las variables
temp=[]; %Matriz vacía de temperaturas
co2=[];
o2=[];
t=[]; %Vector temporal de muestreo
Umbral_Temp = 35; %Umbral de temperatura de alarma
Umbral_CO2 = 5000; %Umbral de dióxido de carbono de alarma
Umbral_CO2_2 = 10000; %Umbral de dióxido de carbono de alarma
Umbral_O2 = 21; %Umbral de oxígeno de alarma
i=1; %Contador muestras
t(1)=0; %Eje de tiempos

%% Configuración Puerto Serie
%Borrar Objetos Series previos
delete(instrfind({'Port'}, {'COM13'}));
%Crear y configurar Objeto Serie
PS = serial('COM13', 'BaudRate', 9600, 'DataBits', 8, 'Parity',
'none', 'StopBits', 1, 'FlowControl', 'none', 'Terminator', 'CR');
set(PS, 'ReadAsyncMode', 'continuous'); %Lectura asíncrona continua
set(PS, 'Timeout', 180); %Tiempo de espera en segundos
set(PS, 'InputBufferSize', 25); % "n" es el número de bytes a recibir
```

```

%Abrir Puerto Serie
fopen(PS)
%Borrar contenido del Puerto Serie
flushinput(PS);

%% Fichero de registro de datos
%Crear un fichero de registro de eventos del puerto serie
PS.RecordDetail = 'verbose';
PS.RecordName = 'Registro.txt';
record(PS, 'on');

%% Iniciar sistema de detección
prompt = '¿Desea comenzar la detección? Y/N: ';
pause();
str = input(prompt, 's');
if isempty(str) %Si no se pulsa nada
    str = 'N'; %Valor por defecto
end
clc;
if (str=='Y' || str=='y') %If iniciar deteccion
    display('-----');
    display('--- ANALIZANDO ---');
    display('-----');
    screen=get(0, 'ScreenSize'); %Obtener el tamaño de la pantalla

    %Crear la figura de Representacion Grafica
    figure('Name', 'Sistema de detección de sustancias peligrosas -
SIGMA
TECHNOLOGIES', 'Color', 'w', 'Toolbar', 'none', 'Position', [70 10
screen(3)-75 709]); %Position: [left, bottom, width, height]
    while (1)
        figure(1);
        %Leer el puerto serie
        a = fscanf(PS, '%s')

        %Buscar separador de muestras para identificar variables
        [ind1]=findstr(a, 's');
        [ind2]=length(a);
        [ind3]=findstr(a, ';');

        %Trocear la cadena recibida para asignar los valores
        %correspondientes a la temperatura, co2 y o2:
        temperatura = a(ind1+1:ind3(1)-1); %Temperatura
        dióxidoCarbono = a(ind3+1:ind3(2)-1); %Dióxido de carbono
        oxigeno = a(ind3(2)+1:ind3(3)-1); %Oxígeno

        %Convertir trozos de cadena a numero (temperatura, co2, o2):
        temperatura = str2double(temperatura);
        dióxidoCarbono = str2double(dióxidoCarbono);
        oxigeno = str2double(oxigeno);

        %Guardar los datos en las tablas de registro de muestras
        temp(i)=temperatura;
        co2(i)=dióxidoCarbono;
        o2(i)=oxigeno;

        flushinput(PS);

        %% Gráfica del dióxido de carbono (Umbral verde)

```

```

subplot(3,1,1)
title ('Medida de Dióxido de Carbono','Color','k');
xlabel('Tiempo (s)','Color','k');
ylabel('CO2 (ppm)','Color','k');
ylim([0 12000]);
grid on;
hold on;
plot(t,co2,'.-','Color','b','LineWidth',1); //Muestra
plot(t,Umbra1_CO2*ones(i),'Color','g','LineWidth',2);
plot(t,Umbra1_CO2_2*ones(i),'Color','k','LineWidth',2);
legend('Dióxido de carbono','Umbral de alarma','Umbral de
respuesta lineal','location','Best');
drawnow

% Gráfica del oxígeno (Umbral amarillo)
subplot(3,1,2)
title ('Medida de Oxígeno','Color','k');
xlabel('Tiempo (s)','Color','k');
ylabel('O2 (% en aire)','Color','k');
ylim([0 30]);
grid on;
hold on;
plot(t,o2,'.-','Color','b','LineWidth',1); //Muestra
plot(t,Umbra1_O2*ones(i),'Color','y','LineWidth',2);
legend('Óxígeno','Umbral de alarma','location','Best');
drawnow

% Gráfica de la temperatura (Umbral rojo)
subplot(3,1,3)
ylim([-20 80]);
title ('Medida de temperatura','Color','k');
xlabel('Tiempo (s)','Color','k');
ylabel('Temperatura (°C)','Color','k');
grid on;
hold on;
plot(t,temp,'.-','Color','b','LineWidth',1); //Muestra
plot(t,Umbra1_Temp*ones(i),'Color','r','LineWidth',2);
legend('Temperatura','Umbral de alarma','location','Best');
drawnow

%Incrementar contadores
t(i+1)=t(i)+10;%Eje de tiempos
i=i+1;%Contador

end%Fin While

%Cerrar archivo de registro de eventos
record(PS,'off');

%Cerrar y eliminar el puerto serie
fclose(PS);
delete(PS);
%Limpiar todo
clear all;

```

```
elseif (str=='N' || str=='n')%If NO iniciar deteccion
    fclose(PS);
    display('-----');
    display('--- ANÁLISIS CANCELADO POR EL USUARIO ---');
    display('-----');
    fclose(PS);
else
    display('-----');
    display('--- OPCIÓN NO DISPONIBLE, Detección cancelada ---');
    display('-----');
    fclose(PS);
end%Fin If opciones
```

ANEXO F

PRESUPUESTO

1. Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 2.000 €
- Material de oficina 200 €
- Material y componentes electrónicos del sistema..... 250 €
- Total de ejecución material 2.450 €

2. Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material 352 €

3. Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material 132 €

4. Honorarios Proyecto

- 1800 horas a 15 € / hora 27.000 €

5. Material fungible

- Gastos de impresión 80 €
- Encuadernación 40 €

6. Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 30.286 €

7. I.V.A. aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto 6.360,06 €

8. Total presupuesto

- Total Presupuesto 36.646,64 €

Madrid, Junio de 2015

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Almudena de Paz Menéndez

Ingeniero de Telecomunicación

ANEXO G

PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, del DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho entorno. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.
2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.
3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.
4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.
5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.
6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.
7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de

unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.
9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.
10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.
11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.
12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.
13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.
14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.
15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2 %.
16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.
17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.
19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.
20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.
21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.
22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.
23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.