

# ESPACIOS CONFINADOS.

## (ESTUDIO DE UN DETECTOR DE ATMÓSFERA SANA)

ADRIÁN PEÑALVER FERNÁNDEZ.

Ciclo Superior de Técnico en Transporte Marítimo y Pesca de Altura.  
Instituto Politécnico Marítimo Pesquero del Mediterráneo.  
2º Curso TMPA 2017-2018  
Tutor individual: Manuel Vila Manpou.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS.

<b>1</b>	<b>MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS.</b>	<b>Pág 1</b>
1.1	<i>Motivación.</i>	Pág 1
1.2	<i>Objetivos.</i>	Pág 1
<b>2</b>	<b>DEFINICIONES PRINCIPALES.</b>	<b>Pág 2</b>
2.1	<i>Espacio confinado.</i>	Pág 2
2.1.1	<i>Espacios confinados abiertos.</i>	Pág 2
2.1.2	<i>Espacios confinados cerrados.</i>	Pág 2
2.2	<i>TLW-TWA</i>	Pág 2
2.3	<i>IDLH</i>	Pág 2
2.4	<i>Atmósfera No Peligrosa.</i>	Pág 2
2.5	<i>Atmósfera Peligrosa.</i>	Pág 2
2.6	<i>Atmósfera Inerte.</i>	Pág 2
2.7	<i>Atmósfera Tóxica.</i>	Pág 3
<b>3</b>	<b>NORMATIVA INTERNACIONAL.</b>	<b>Pág 3</b>
3.1	<i>SOLAS REGULACIÓN XI-1/7</i>	Pág 3
3.1.1	<i>General.</i>	Pág 3
3.1.2	<i>Uso del instrumento de medida a bordo.</i>	Pág 4
3.1.3	<i>Calibración.</i>	Pág 4
3.1.4	<i>Manual de instrucciones.</i>	Pág 4
3.2	<i>SOLAS REGULACIÓN III/19</i>	Pág 4
3.2.1	<i>Simulacros.</i>	Pág 4
3.2.2	<i>Ejercicios.</i>	Pág 4
3.2.3	<i>Formación de la tripulación.</i>	Pág 4
<b>4</b>	<b>NORMATIVA EUROPEA.</b>	<b>Pág 5</b>
<b>5</b>	<b>NORMATIVA ESPAÑOLA.</b>	<b>Pág 5</b>
5.1	<i>Legislación nacional.</i>	Pág 6
5.2	<i>Legislación internacional.</i>	Pág 6
<b>6</b>	<b>CURSOS DE RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS.</b>	<b>Pág 6</b>

<b>7</b>	<b>SENSORES SOLAS.</b>	Pág 7
7.1	<i>Características.</i>	Pág 7
7.2	<i>Precio.</i>	Pág 7
<b>8</b>	<b>PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN.</b>	Pág 8
<b>9</b>	<b>ESTADÍSTICAS.</b>	Pág 8
9.1	<i>Monóxido de carbono.</i>	Pág 8
9.2	<i>Gas licuado derivado del petróleo.</i>	Pág 8
9.3	<i>Sulfuro de Hidrógeno.</i>	Pág 8
<b>10</b>	<b>DETECTOR DE ATMÓSFERA SANA (BETA).</b>	Pág 9
10.1	<i>Arduino.</i>	Pág 9
10.2	<i>Raspberry Pi.</i>	Pág 9
10.3	<i>Componentes electrónicos.</i>	Pág 10
10.4	<i>Arduino IDE.</i>	Pág 11
<b>11</b>	<b>CALIBRACIÓN.</b>	Pág 12
11.1	<i>Estudios previos.</i>	Pág 12
11.2	<i>Método de laboratorio.</i>	Pág 14
11.3	<i>Método de la recta.</i>	Pág 14
11.4	<i>Método de la saturación del sensor.</i>	Pág 15
11.5	<i>Calibración MQ-9.</i>	Pág 15
11.6	<i>Calibración MQ-7.</i>	Pág 15
<b>12</b>	<b>MONTAJE DE LA ELECTRÓNICA.</b>	Pág 17
12.1	<i>Resumen del montaje.</i>	Pág 17
12.2	<i>Alimentación.</i>	Pág 17
12.3	<i>Esquema de conexiones.</i>	Pág 18
<b>13</b>	<b>SOFTWARE ARDUINO.</b>	Pág 18
<b>14</b>	<b>RESULTADOS.</b>	Pág 22

<b>15</b>	<b>GASTOS.</b>	Pág 23
<b>16</b>	<b>CONCLUSIONES Y POSIBLES MEJORAS.</b>	Pág 23
16.1	<i>Conclusión.</i>	Pág 23
16.2	<i>Posibles mejoras.</i>	Pág 24
16.2.1	<i>Arduino WIFI.</i>	Pág 24
16.2.2	<i>Arduino Relé.</i>	Pág 24
<b>17</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	Pág 25
<b>18</b>	<b>ANEXOS.</b>	Pág 26
<b>19</b>	<b>ÍNDICE DE IMÁGENES Y CONTENIDOS DEL CD.</b>	Pág 27
19.1	<i>Índice de imágenes.</i>	Pág 27
19.2	<i>Contenido del CD.</i>	Pág 27

---

**Códigos QR:** Permiten acceder desde la cámara de un smarthphone a un enlace con contenido relacionado a la sección en la que el código se encuentra pegado.

Para utilizarlos se necesita descargar una aplicación llamada "Lector Codigos QR" desde la aplicación de Google Play. Una vez instalado, se abre la aplicación, se escanea el código y abrimos el enlace en un buscador de Internet.

## 1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS.

---

### 1.1 Motivación.

A lo largo de más de 6 años practicando espeleología y siendo conocedor de los espacios confinados y sus riesgos, decidí que sería de gran utilidad algún tipo de aparato para prevenir riesgos en este medio tan hostil, además a lo largo de estos dos años en el Instituto Politécnico Marítimo Pesquero del Mediterráneo, he sido consciente, sobre todo gracias a los módulos de CEM<sup>1</sup> y AGB<sup>2</sup>, del gran peligro que suponen los espacios confinados en el sector marítimo y en general en todo el sector industrial, decidiendo finalmente elegir este tema como módulo de proyecto.

He conocido que existen una gran cantidad de cursos sobre espacios confinados en diferentes sectores, pero el sector marítimo no dispone de un curso específico sobre esta materia, la principal medida de prevención y protección son una serie de ejercicios periódicos y el uso de detectores de gases para buques adscritos al convenio SOLAS<sup>3</sup>.

Los actuales detectores de gases homologados por el convenio SOLAS tienen un coste elevado, siendo así menos accesibles para buques que no pertenezcan al convenio SOLAS, pero que desean mejorar su nivel de prevención usando estos detectores.

Por todo esto surge la necesidad de establecer unas pautas comunes para el trabajo en espacios confinados, conocer la normativa al respecto y tratar de implementar un nuevo dispositivo que cumpla con las funciones de los sistemas comerciales pero con un precio reducido que ayude a mejorar la seguridad en los buques no SOLAS.

### 1.2 Objetivos.

El objetivo principal de este trabajo es definir qué es un espacio confinado, recoger las diferentes normativas que nos afectan como marinos en este ámbito, conocer los dispositivos que existen para detectar gases y, por último, diseñar un prototipo electrónico de bajo coste para ser usado en buques no SOLAS basado en Arduino Uno y Raspberry pi 3B. Usando este último como medio para programar el procesador de Arduino, además nos mostrará físicamente las mediciones durante el proceso de desarrollo y nos ayudará a saber como actuar en diferentes situaciones.

En primer lugar, se establecerán las definiciones y se expondrán las diferentes normativas a nivel nacional, europeo e internacional.

Se expondrán los principales modelos de detectores de gases y los cursos mas destacados sobre espacios confinados.

En segundo lugar, se expondrán los diferentes sistemas electrónicos a utilizar, se mostrará el montaje, la programación y el calibrado de los sensores.

Por último, se mostrará el funcionamiento del aparato, se estudiarán limitaciones, posibles mejoras y fallos del sistema.

Se expondrá el modelo como un producto BETA<sup>4</sup> y se hará presupuesto para el nuevo prototipo.

---

1 Control de las emergencias.

2 Administración y gestión del buque y de la actividad pesquera.

3 Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en la Mar. (ONU, 1974)

4 Producto en desarrollo, pudiendo ser inestable, pero útil para ser considerado como una versión preliminar.

## 2. DEFINICIONES PRINCIPALES.

---

**2.1 Espacio confinado** “cualquier espacio con aberturas limitadas de entrada y salida, estrechos o restringidos y ventilación natural desfavorable, en el que pueden darse atmósferas peligrosas al acumularse contaminantes tóxicos o inflamables, o tener una atmósfera deficiente en oxígeno, no está concebido para una ocupación continuada por parte del trabajadores y además podrían contener algún tipo de material con el potencial de atrapar a una persona como por ejemplo: Arena, lodo, etc...”.

Existen una gran cantidad de espacios susceptibles de ser definidos como espacios confinados pero para facilitar su clasificación general, diferenciaremos dos tipos de espacios confinados:

**2.1.1** Espacios confinados abiertos por su parte superior y de una profundidad tal que dificulta su ventilación natural: fosos de engrase de vehículos, cubas de desengrasado, pozos, depósitos abiertos, cubas y en general cualquier excavación de una profundidad superior a 1,50 metros.

**2.1.2** Espacios confinados cerrados con una pequeña abertura de entrada y salida: reactores, tanques de almacenamiento, sedimentación, etc.; salas subterráneas de transformadores, gasómetros, túneles, alcantarillas, galerías de servicios, bodegas de barcos, arquetas subterráneas, cisternas de transporte y tuberías de grandes diámetros.

**2.2 TLV-TWA** (Threshold Limit Value – Time-Weighted Average):

Concentración ponderada en el tiempo para 8 horas diarias y 40 horas semanales a la cual se cree que casi todos los trabajadores pueden ser repetidamente expuestos día tras día durante su vida laboral.

**2.3 IDLH** (Immediately Dangerous to Life or Health):

Establece la concentración máxima a la cual existe un peligro inmediato para la vida de cualquier individuo o que causa daños irreversibles o de largo plazo en su salud y que le podría impedir tomar acciones protectoras o de escape en atmósferas peligrosas. Estos valores fueron determinados sobre la base de que el trabajador se retira inmediatamente del sitio y para ello podría tomar un máximo de 30 minutos.

**2.4 Atmósfera No Peligrosa:**

Es aquella atmósfera que tiene una concentración de aire respirable (19.5% – 21,5% oxígeno) y que los posibles contaminantes de la atmósfera están en niveles inferiores o iguales al TWA para cada sustancia y no contiene gases o vapores inflamables.

**2.5 Atmósfera Peligrosa:**

Es aquella atmósfera que tiene una concentración de oxígeno entre (16 -19.5 o entre 21.5 y 25% de oxígeno), los posibles contaminantes de la atmósfera están en niveles superiores al TWA para cada sustancia sin alcanzar concentraciones IDLH y/o contiene gases o vapores inflamables.

**2.6 Atmósfera Inerte:**

Es una atmósfera no respirable e inmediatamente peligrosa para la vida o la salud, compuesta por un gas o mezcla de gases que no reaccionan químicamente bajo ninguna condición de temperatura y/o presión. Generalmente son atmósferas con presencia de nitrógeno o con dióxido de carbono.

## 2.7 Atmósfera Tóxica:

Es una atmósfera no respirable e inmediatamente peligrosa para la vida o la salud, que contiene uno o varios gases o vapores en una concentración superior al IDLH y/o contiene gases o vapores inflamables.

## 3. NORMATIVA INTERNACIONAL.

---

A nivel internacional, en el sector de la marina mercante, el convenio que España ha firmado y que tiene competencias en espacios confinados es el convenio SOLAS, en particular el capítulo III/19 y el XI-1/7 respectivamente.

Además, también será de aplicación el Capítulo IX sobre seguridad operacional y prevención de la contaminación (IGS), que establecerá los protocolos de actuación tanto para ejercicios como para actuaciones reales.

### 3.1 SOLAS Regulación XI-1/7

Entrará en vigor a partir del 1 de Julio de 2016, y requerirá portar un instrumento apropiado para el análisis de atmósferas o instrumentos apropiados para la entrada al espacio confinado. Estos instrumentos portátiles análisis se usarán como parte del equipo del barco. Se usarán para examinar espacios confinados desde el exterior para garantizar que sea seguro entrar en ellos y cubrirán, como mínimo, los siguientes gases: oxígeno, gases inflamables, monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Se deben proporcionar los medios adecuados para calibrarlos.

Los armadores, los operadores de buques y los gerentes deben asegurarse de que tengan instrumentos exigidos en la fecha en que entra en vigencia la regla XI-1/7 del SOLAS.

#### 3.1.1 General

3. Estas pautas se refieren al instrumento que se utiliza para probar la atmósfera en un espacio cerrado antes de la entrada y a intervalos apropiados a partir de entonces hasta que todo el trabajo sea terminado. No se refieren a un detector de gas personal que está destinado a ser transportado por un individuo mientras se encuentra dentro del espacio cerrado.

4. El instrumento debería ser capaz de realizar un muestreo y detección de todos los gases para los que está diseñado, sin interferencia de la atmósfera u otras características del espacio de medición.

5. Al activarse, el instrumento debe realizar una "autocomprobación" que indica que el instrumento está funcionando correctamente

6. Los requisitos de entrenamiento deben considerarse al seleccionar el instrumento. la prueba de atmósfera debe ser realizada por personal capacitado.

7. El instrumento debe ser capaz de medir y mostrar concentraciones de:

- .1 oxígeno.
- .2 gases o vapores inflamables (% de LFL).
- .3 monóxido de carbono.
- .4 sulfuro de hidrógeno.

8 *El instrumento debe indicar clara e inequívocamente qué gas o vapor se está midiendo.*

### **3.1.2 Uso del instrumento para análisis de atmósfera de espacios confinados a bordo de barcos.**

10. *El instrumento debe estar adecuadamente protegido, teniendo en cuenta el medio ambiente y temperaturas en las que se espera que funcione.*

11. *El instrumento debe poder transportarse fácilmente.*

12. *El instrumento debe estar adecuadamente protegido de la entrada de polvo y agua.*

13. *La duración mínima de la batería del instrumento debería ser de 10 horas.*

14. *El instrumento debe ser intrínsecamente seguro.*

15. *La pantalla del instrumento debe ser legible en todas las condiciones de iluminación.*

### **3.1.3 Calibración.**

16. *Las instrucciones del fabricante deben tener requisitos de calibración claramente definidos.*

### **3.1.4 Manual de instrucciones.**

18. *El instrumento debe estar provisto de un manual que describa sus características y alarmas y explica cómo calibrar, operar y mantenerlo.*

## **3.2 SOLAS Regulación III/19**

A partir del 1 de enero de 2015, todas las personas involucradas en entradas y/o asignadas a labores en espacios confinados deberán participar en simulacros de entrada y rescate en espacios cerrados a intervalos que no excedan los dos meses.

**3.2.1** *Los simulacros de entrada y rescate en espacios cerrados deben planificarse y llevarse a cabo de manera segura, teniendo en cuenta, según proceda, la orientación proporcionada en las recomendaciones elaboradas por la organización.*

**3.2.2** *Cada ejercicio de entrada y rescate de espacios cerrados incluirá:*

- .1 verificar y utilizar el equipo de protección personal requerido para la entrada;*
- .2 comprobación y uso de equipos y procedimientos de comunicación;*
- .3 comprobar y utilizar instrumentos para medir la atmósfera en espacios cerrados;*
- .4 comprobación y uso de equipos y procedimientos de rescate; y*
- .5 instrucciones en primeros auxilios y técnicas de reanimación.*

**3.2.3** *Todos los miembros de la tripulación recibirán instrucciones que incluirán:*

*Los riesgos asociados con los espacios cerrados y los procedimientos a bordo para la entrada segura en dichos espacios, que deberían tener en cuenta, según corresponda, la orientación proporcionada en las recomendaciones elaboradas por la Organización.*



Aunque los requisitos del SOLAS no se aplican a los buques de menos de 500 toneladas brutas, o los buques de pasaje que no participan en viajes internacionales, algunas administraciones pueden introducir legislación nacional que amplíe el nuevo reglamento a los buques no incluidos en el programa SOLAS.

#### 4. NORMATIVA EUROPEA.

---

La normativa europea en materia de seguridad y salud en el trabajo no incorpora especificaciones en cuanto a la gestión de la prevención aplicable a los trabajos que vayan a desarrollarse en espacios confinados. Sí que se establecen, no obstante, disposiciones específicas en cuanto a los requisitos de ventilación que deberán cumplir los locales cerrados, viniendo dichos requisitos incluido en el Anexo I de la Directiva **89/654/CEE**, del 30 de noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

En este sentido, y habida cuenta de los métodos de trabajo y las presiones físicas impuestas a los trabajadores, habrá que velar por que los lugares de trabajo cerrados dispongan de aire sano en cantidad suficiente. Si se utiliza una instalación de ventilación, deberá mantenerse en buen estado de funcionamiento. Además, un sistema de control deberá indicar toda avería siempre que sea necesario para la salud de los trabajadores.

Por otra parte, en el caso de que se utilicen instalaciones de aire acondicionado o de ventilación mecánica, deberán funcionar de manera que los trabajadores no estén expuestos a corrientes de aire molestas. Todos los sedimentos y manchas que puedan entrañar un riesgo inmediato para la salud de los trabajadores mediante contaminación del aire respirado deberán eliminarse con rapidez.

Sin embargo en la sección I artículo 1.2 especifica que la directiva no se aplicará:

1. *A los medios de transporte utilizados fuera de la empresa y/o del establecimiento, así como a los lugares de trabajo situados dentro de los medios de transporte;*
2. *A las obras temporales o móviles;*
3. *A las industrias de extracción y*
4. *A los barcos de pesca.*

Por lo que a normativa internacional se refiere, utilizaremos como referencia el SOLAS.

#### 5. NORMATIVA ESPAÑOLA.

---

La normativa española exige el cumplimiento para las empresas españolas de dos normativas, una nacional y tres a nivel internacional;

### 5.1 A nivel nacional:

Las empresas deben cumplir con la **Ley 31/1995 de Prevención de riesgos laborales**.

La presente ley tiene por objeto la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, y ello en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz de prevención de riesgos laborales. Reconoce el derecho de los trabajadores en el ámbito laboral a la protección de su salud e integridad, la Ley establece las diversas obligaciones que, en el ámbito indicado, garantizarán este derecho, así como las actuaciones de las Administraciones Públicas que puedan incidir positivamente en la consecución de dicho objetivo.

### 5.2 A nivel Internacional:

Las empresas deben cumplir con el **Convenio S.O.L.A.S Capítulo IX, Capítulo III y Capítulo XI-I**.

En lo referente al capítulo IX, se desarrollará más adelante, mostrando un protocolo de actuación.

## 6. CURSOS RESCATE EN ESPACIOS CONFINADOS.

---

Existen una gran variedad de cursos sobre espacios confinados, entrada en espacios confinados, etc..

Sin embargo, la mayoría de ellos no están reconocidos internacionalmente, ni siquiera están reconocidos a nivel nacional ya que muchos de estos son cursos impartidos en empresas de formación y estos cursos solo son reconocidos para trabajar en la misma empresa.

Sin embargo, cabe destacar el curso de rescate en **espacios confinados** e intervención en **espacios confinados sumergidos**, ambos son impartidos en el “Centro Jovellanos”, en el centro de formación de salvamento marítimo.

Estos cursos son reconocidos internacionalmente por entidades como GWO, OPITO y EURORSA, entidades por lo general relacionadas con el sector Offshore<sup>5</sup>.

Para acceder a estos cursos, se debe tener experiencia en trabajos verticales y en el uso del E.R.A.

En el programa de estos cursos, se incluyen los siguientes puntos:

1. Introducción a los espacios confinados, valoración de los riesgos y control de la atmósfera.
2. Normas de seguridad, técnicas de aseguramiento, equipo personal y de rescate.
3. Factores de seguridad, de caída, cálculo de los mismos y aseguramiento de víctimas.
4. Obligaciones del equipo de intervención, técnicas de rescate y casos prácticos.

---

<sup>5</sup> Sector relacionado con plataformas de extracción, campos eólicos mar adentro, tendido de cables submarinos, etc...

## 7. SENSORES SOLAS.

En el mercado existen gran variedad de detectores de gases, pero solo aquellos que cumplen con las especificaciones del convenio SOLAS son los requeridos para cumplir con la obligatoriedad de portar uno de estos aparatos.

En concreto voy a hablar sobre un detector que cumple con la regulación SOLAS, fabricado por una empresa de Reino Unido. El modelo en cuestión es el **GX-8000**, que tiene la marca del timón y tiene las siguientes características.

### 7.1 Características:



- Detección simultánea de más de 5 gases: Combustibles, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y CO.
- Gran pantalla con retroiluminación.
- Gran capacidad de bombeo (0.75L /min)
- Alarma de 95 (dB)
- 3 alarmas visuales.
- Intrínsecamente seguro.
- Resistente al polvo y al agua.
- Batería de litio recargable.
- Compacto ligero y ergonómico.
- Registro de datos.

QR Datasheet:



Figura 1. Sensor GX-8000 de la marca Riken Keiki.

Entre los usos incluidos se encuentra, como ya hemos mencionado, el uso en buques SOLAS, pero también está diseñado para ser utilizado en: plantas petroquímicas, plantas químicas, empresas de transporte de gas y productos derivados del petróleo, etc...

### 7.2 Precio:

El precio de este modelo es de unos 1,338.75 \$, que al cambio a euros equivale a 1.092 €. Este precio dificulta que el uso de estos se extienda en buques no SOLAS, además el resto de detectores de gases que no cumplen con SOLAS, aunque son bastante más económicos, no miden más de un gas y en caso de que lo hagan el precio se eleva bastante, por lo que sigue siendo bastante inaccesible, sobre todo para pequeñas embarcaciones, las cuales representan la mayor parte de la flota española, tanto mercante como de recreo.

## 8. PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN.

---

Los protocolos de actuación en espacios confinados se regulan por lo dispuesto en el capítulo IX del SOLAS, en el cual obliga a los buques a elaborar una serie de listas de comprobación para la entrada a estos espacios, así como una serie de instrucciones de seguridad y un formulario en el que el capitán concede el permiso para que una persona suficientemente formada realice un trabajo en este tipo de espacios.

Todo ello constituye un sistema de evaluación de riesgos, de forma que si al realizar este protocolo, el resultado no es favorable, entonces las labores serán suspendidas. Sin embargo, si las condiciones son favorables, se procederá a realizar las labores dentro de los estándares marcados en las instrucciones de seguridad del buque.

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) tiene como uno de sus objetivos fundamentales la elaboración de documentos y metodologías para facilitar la evaluación de los riesgos y la adopción de medidas de prevención y protección, con objeto de garantizar la seguridad y salud de los trabajadores. Por lo tanto el INSHT ha desarrollado un modelo donde recoge los protocolos de actuación, formularios y permisos de trabajos especiales que el capítulo IX de SOLAS especifica y los adapta a la normativa española, sirviendo como una guía básica de prevención de riesgos en espacios confinados. (Ver ANEXO I).

## 9. ESTADÍSTICAS.

---

**9.1 Monóxido de carbono** de acuerdo a OSHA (TWA) es de 50 partes por millón (PPM). Un (IDLH) de 200 (ppm) ha sido establecido por el Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional (NIOSH)

**9.2 Gas licuado derivado del petróleo:** (TWA) 1000 (ppm). El gas licuado no es tóxico, sin embargo, tiene propiedades ligeramente anestésicas y que en altas concentraciones produce mareos. No se cuenta con información definitiva sobre características mutagénicas, órganos que afecte en particular, o que desarrolle algún efecto tóxico. Especialmente peligroso en las atmósferas definidas como peligrosas, por su gran cantidad de oxígeno, que facilita la combustión de estos gases.

**9.3 Sulfuro de hidrógeno:** (TWA) y (IDLH) 20 (ppm). Es un gas altamente tóxico, a partir de 20 (ppm) empieza la irritación ocular, a las 250 (ppm) edema pulmonar con riesgo de muerte, llegando a las 1000 (ppm) con pérdida de conciencia y 2000 (ppm) con pérdida de conciencia inmediata y muerte.

QR guías rápidas sobre los diferentes gases:



## 10. DETECTOR DE ATMÓSFERA SANA (BETA)

Una vez expuesta la normativa, los riesgos que suponen los gases presentes en los espacios confinados, así como los dispositivos actuales en el mercado, procedemos a la implementación de un sistema de detección de gases en fase BETA, con la intención de conseguir un aparato funcional, que nos sirva de orientación a la hora de trabajar en espacios confinados y de bajo coste.

Para disminuir el precio, es preciso usar hardware y software libre, esto hace que el precio sea muy bajo, utilizaré dos plataformas libres, que son las siguientes:

**10.1 Arduino:** plataforma de hardware y software de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing. Es decir, una plataforma de código abierto para prototipos electrónicos.

Al ser Open Source, tanto su diseño como su distribución, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin necesidad de licencia. El proyecto fue concebido en Italia en el año 2005 por el zaragozano David Cuartielles, ingeniero electrónico y docente de la Universidad de Mälmo (Suecia) y Massimo Banzi, italiano, diseñador y desarrollador Web.

El diseño de Arduino UNO incluye:

Microcontrolador Atmega328, voltaje de entrada 7-12V, 14 pines digitales de I/O (6 salidas PWM), 6 entradas analógicas, 32k de memoria Flash y Reloj de 16MHz de velocidad.

**10.2 Raspberry Pi:** Raspberry Pi es una placa computadora de bajo coste, se podría decir que es un ordenador de tamaño reducido, del orden de una tarjeta de crédito, desarrollado por la Universidad de Cambridge, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas.

Funciona con diferentes distribuciones de OS, todas ellas basadas en un Kernel de Linux.

El diseño de la Raspberry Pi incluye:

Procesador central (CPU) a 1 (Ghz), procesador gráfico (GPU) VideoCore IV, módulo de 512 MB de memoria RAM, modulo WIFI, LAN y Bluetooth, 4 buses USB 2.0, una salida analógica de audio por Jack de 3.5 (mm), salida digital HDMI, pines de entrada y salida de propósito general, conector de alimentación microUSB y lector de tarjetas microSD.

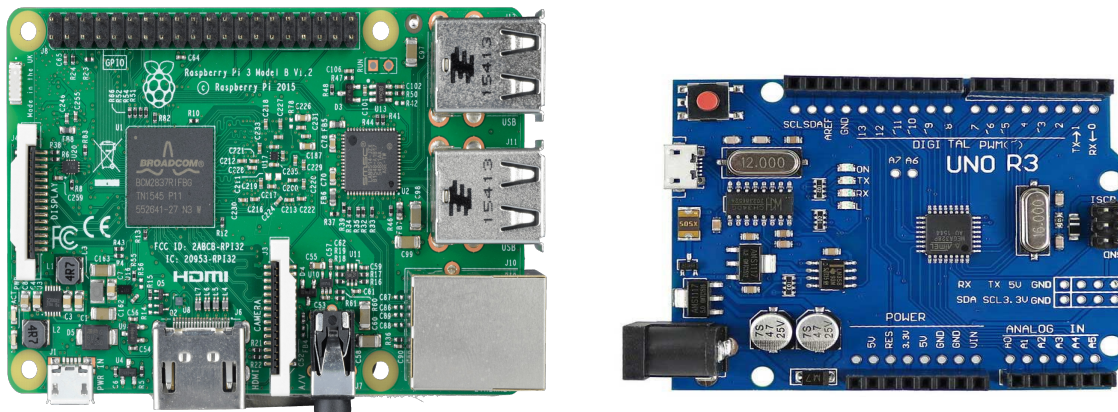


Figura 2. Raspberry Pi Model 3B y Arduino UNO.

Utilizaremos la Raspberry para programar el Arduino, ya que desde Linux es mucho mas fácil y rápido programar.

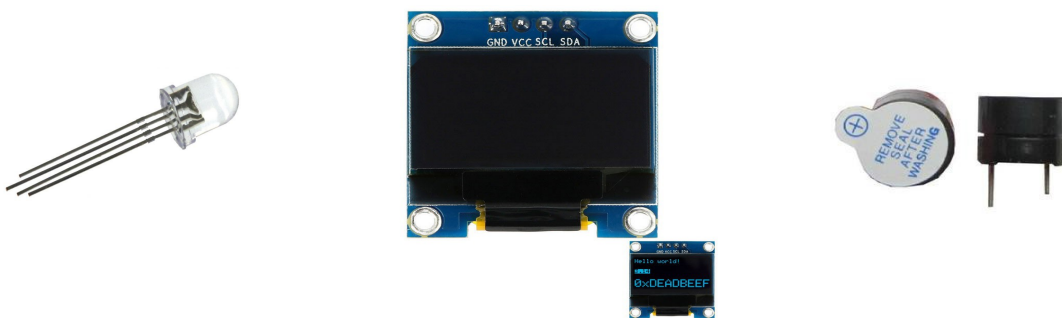
### 10.3 El resto de **componentes electrónicos** serán:

3 sensores de gases, *MQ-7* para detección de CO, *MQ-9* para la detección de LPG y *MQ-135* para comprobar la calidad del aire.



*Figura 3. Sensores de gases MQ- 7, MQ-9 y MQ-135.*

Utilizaremos un Buzzer, un LED-RGB y una pantalla OLED para poder leer los resultados y tener una alarma sonora y visual.



*Figura 4. LED-RGB, pantalla OLED x 32 y Buzzer piezo eléctrico.*

Finalmente, para conectar todos estos componentes al Arduino, utilizaremos los wires y una resistencia para el LED-RGB.



*Figura 5. Cables wire y resistencia para LED-RGB.*

Una vez conectados todos estos componentes según el orden que especificaremos más adelante, ya estará todo el sistema listo para ser programado en la memoria interna del Arduino.

Utilizaremos el IDE de Arduino para programar, comprobar los errores de programación, así como para ver los resultados en directo a través de la comunicación serial por la pantalla de la Raspberry Pi.

**10.4 El IDE de Arduino** es un software gratuito que utiliza un lenguaje de programación basado en C++, en el aparecen dos ventanas principales. En una de ellas, la más grande, escribimos nuestro código, mientras que en la ventana de abajo en negro aparecen los errores tras la compilación. Si todo está bien no aparecerá nada, pero si existe un error lo especificará en naranja como podemos ver a continuación.

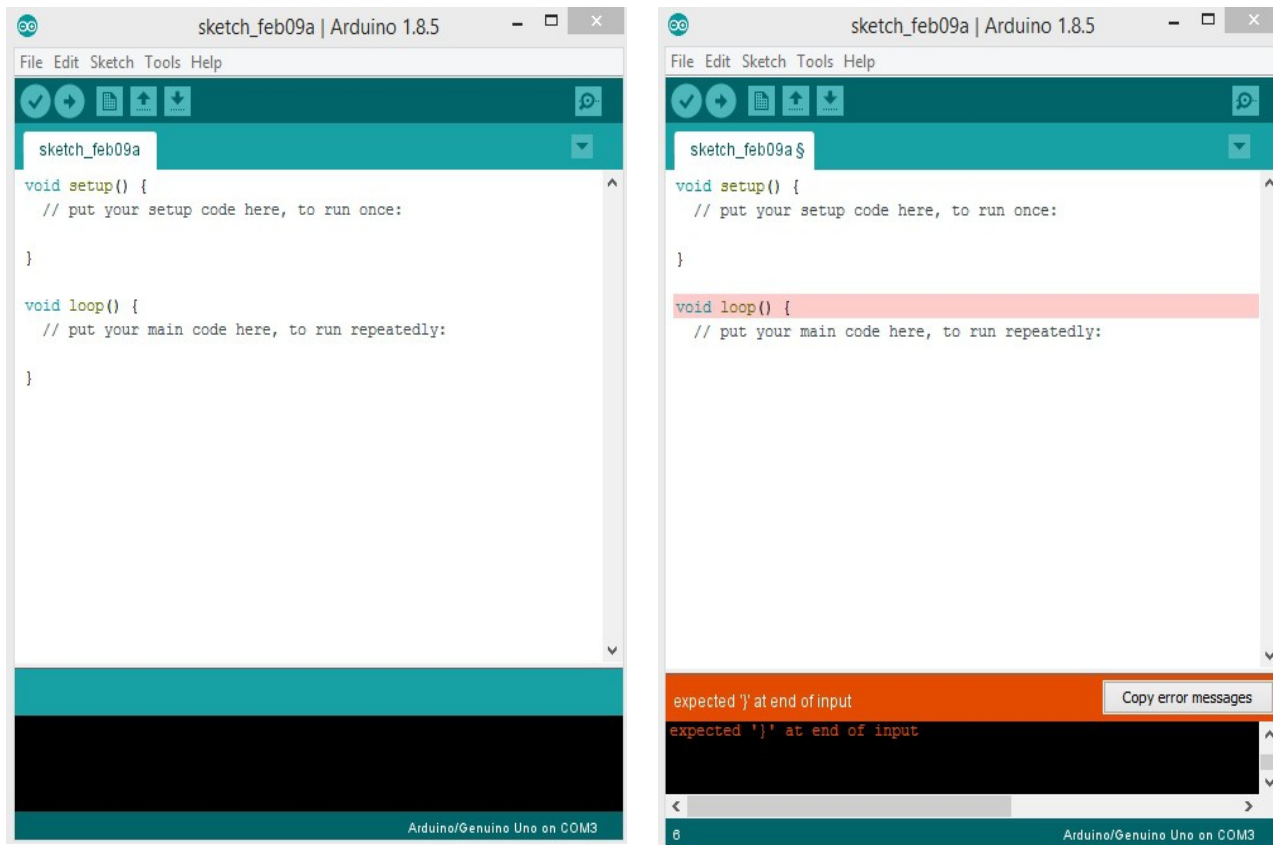


Figura 6. Pantalla Arduino IDE normal y a la derecha, pantalla con error de compilación.

En este ejemplo, a partir del código de la izquierda que está correcto, decidimos borrar el último corchete, el cual es necesario, por lo tanto a la derecha después de compilar el programa, aparece un mensaje de error abajo en naranja, además de indicarnos qué error es.

Pulsando en el botón de la lupa, que se encuentra en la esquina superior derecha, se abre una ventana que se denomina Serial, mediante la cual podemos comunicarnos con el Arduino a través de USB, así como ver lo que el Arduino nos envía, siendo esta una herramienta muy rápida para comprobar que el programa hace el trabajo deseado, ya que el programa puede estar bien redactado pero, sin embargo, la lógica no sea la correcta o que incluso las conexiones de los circuitos sea errónea y esto se puede comprobar al ver datos que no son normales para lo que hemos programado.

**QR** guías de usuario, programación e instalación:





## 11. CALIBRACION DEL SENSOR.

### 11.1 Estudios previos:

Los sensores conectados a las entradas analógicas de Arduino devuelven un valor comprendido entre 0 y 1023, por lo tanto, este dato no nos aporta ningún valor a excepción del voltaje que circula a través de nuestro sensor. Como sabemos que la familia de sensores MQ son realmente unas resistencias sensibles a ciertos tipos de gases podemos deducir que un valor muy alto de la entrada analógica significa un aumento del voltaje y por tanto un aumento de la presencia del gas al que el sensor es sensible.

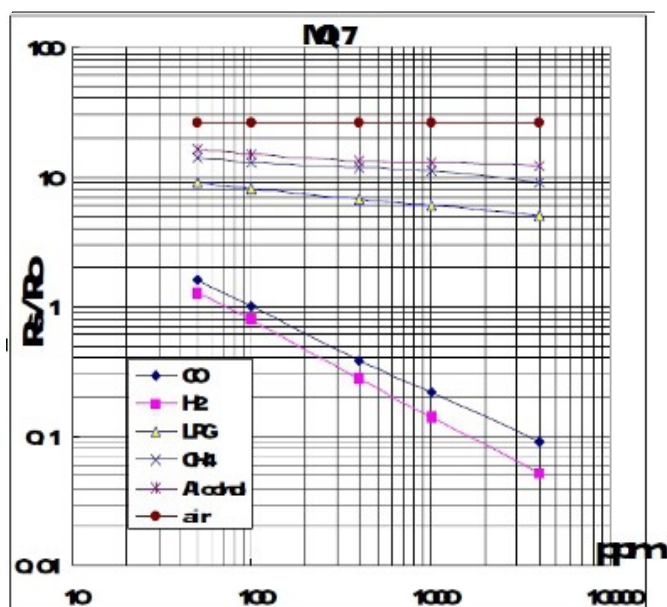
Así pues, sabiendo que todos los sensores trabajan entre 0 y 5 (v), trataremos de escalar los valores de lectura analógica a otros valores comprendidos entre 0 y 5, que nos dará como resultado el voltaje circulando por la resistencia.

$$(1) \quad V = \text{VOLTAJE} = \text{ain} \cdot \left( \frac{5}{1023} \right) ; \text{ain (Lectura analógica del sensor.)}$$

Una vez obtenida la fórmula (1), ya podemos obtener un resultado más representativo de la lectura del sensor, sin embargo, en nuestra aplicación necesitamos estos valores en unidades de medición de gas en PPM. El problema de esto es que la relación entre la lectura analógica, en este caso en voltios, y el valor real no es lineal, por lo que necesitamos estimar la curva que nos da el datasheet del fabricante del sensor para poder obtener la función de la que obtendremos los valores reales del gas, en función del voltaje.

Primero, deberemos obtener las curvas del datasheet para cada sensor.

En nuestro caso, serían las siguientes:



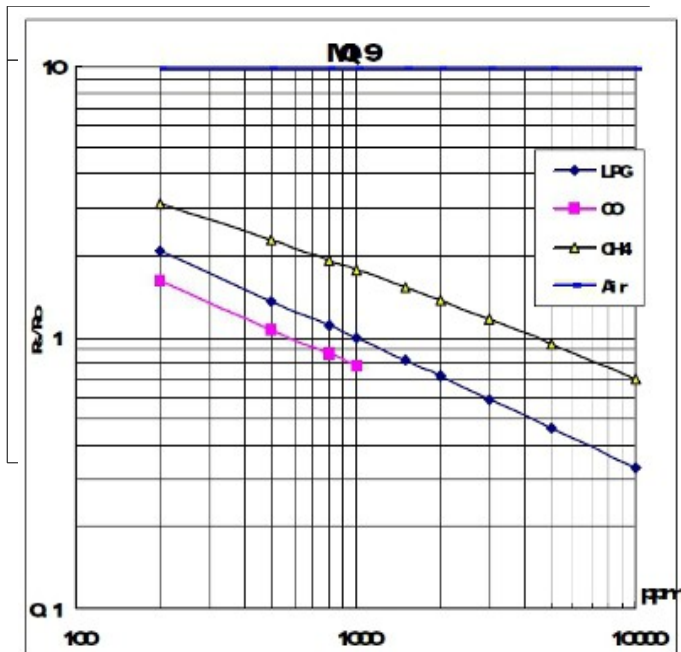
#### Sensor MQ – 7 (Monóxido Carbono)

Sensibilidades características para diferentes gases.

- Temperatura del aire: 20°C
- Humedad: 65%
- Concentración de Oxígeno: 21%
- RL=10KΩ
- RO= Resistencia del sensor a 100 ppm de CO en el aire limpio.
- RS= resistencia del sensor para varias concentraciones de gases.

Figura 7. Sensibilidades características del sensor MQ-7.





### Sensor MQ - 9 (LGP)

Sensibilidades características para diferentes gases.

- Temperatura del aire: 20°C
- Humedad: 65%
- Concentración de Oxígeno: 21%
- RL=10KΩ
- RO= Resistencia del sensor a 1000 ppm de LGP en el aire limpio.
- RS= resistencia del sensor para varias concentraciones de gases.

QR datasheet y gráficas:



Figura 8. Sensibilidades características del sensor MQ-9.

Debido a que nos da la curva pero no la ecuación es necesario estimar y por regresión hallar la ecuación para cada gas que necesitemos medir, en nuestro caso usaremos Open Office Calc. Para eso ingresamos los puntos de la curva de Monóxido de Carbono y LGP (Gas licuado del petróleo), la mayor cantidad de puntos que podamos, y graficamos en Open Office Calc. Agregamos línea de tendencia y escogemos ecuación potencial.

Las ecuaciones y gráficas que obtenemos son:

LGP:  $f(x)=y=1065.76 \cdot (x^{-2.04})$

CO:  $f(x)=y=102 \cdot (x^{-1.52})$

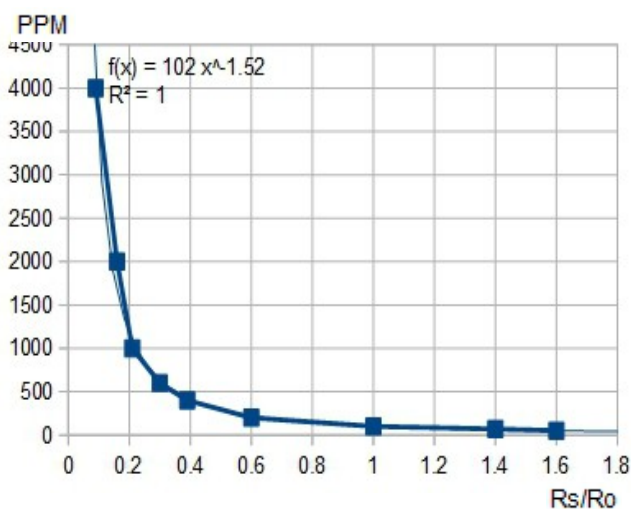


Figura 10. Curva exponencial del CO.

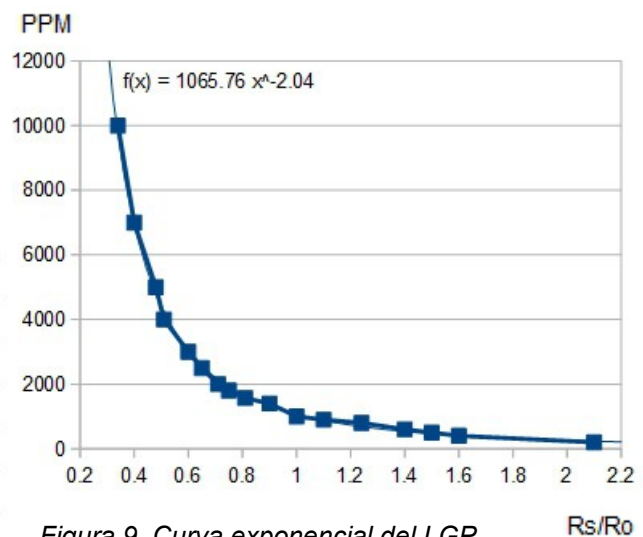


Figura 9. Curva exponencial del LGP.

Ahora que somos capaces de obtener el voltaje leído del sensor, procedemos a calcular el valor de  $R_s$ . Para ello escalamos los valores del voltaje entre los valores máximo y mínimo de la resistencia interna que en estos dos casos se aproxima a  $1(K\Omega)$ , Obteniendo así la ecuación: (2)

$$(2) \quad R_s = 1000 \cdot \left( \frac{(5-V)}{V} \right)$$

Con esta última ecuación ya podemos saber cuál es el valor de la resistencia en función del gas presente, así pues para poder despejar las funciones obtenidas anteriormente, necesitamos el valor de  $x$ , el cual está en función de  $R_O$  y  $R_S$  como podemos ver en la ecuación (3):

$$(3) \quad x = \frac{R_S}{R_O}$$

$R_O$  es una constante y es el último termino que nos falta por despejar. Para poder hallar el valor de  $R_O$  existen varios métodos como por ejemplo:

### 11.2 Método de laboratorio:

Según el datasheet, el valor de  $R_O$  es el valor de  $R_s$  cuando se usa una muestra de aire con 100 ppm de CO en condiciones normales.

En el caso del sensor MQ-9,  $R_O$  sería igual a  $R_s$  cuando existe una muestra de 1000 ppm de LGP en condiciones normales.

Bastaría con simular las condiciones en laboratorio y fácilmente se podrían calibrar ambos sensores.

### 11.3 Método de la recta:

Otra forma de calibrar es aproximando la ecuación exponencial a una recta que la aproxima, como las gráficas del datasheet se disponen en escala exponencial en ambos ejes y se aproximan a rectas bajo estas escalas, por lo tanto para determinar la ecuación de la recta (4), deberemos coger dos puntos cualesquiera de las gráficas, como por ejemplo:

$$P_0 = (X_0, Y_0) ; P_1 = (X_1, Y_1)$$

Resultando la ecuación de la recta: (4)  $Y = A \cdot x + B$  Donde A y B son constantes.

Siendo:  $A = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}$  y  $B = Y_0 - (A \cdot X_0)$  además:  $Y = \text{CONCENTRACIÓN}$   
 $X = R_S$

#### 11.4 Método de la saturación del sensor:

Por último, la forma que he utilizado para conseguir de forma aproximada el valor de  $R_o$  y así tener la ecuación resuelta sería el siguiente procedimiento.

En el gráfico de la ecuación potencial del MQ-9 observamos que el valor de  $R_s/R_o$  se acerca a 0.3 para valores superiores a la máxima concentración de LGP que el sensor puede captar, en los puntos cercanos a este punto, la variación de  $R_s/R_o$  es mínima por lo que los errores que podamos cometer al elegir la proporción  $R_s/R_o$  en esta parte de la gráfica para calcular  $R_o$  son pequeños.

#### 11.5 Calibración MQ-9:

Entonces, teniendo en cuenta que el rango de sensibilidad se encuentra en el caso del MQ-9 entre 100 y 10000 ppm y teniendo en cuenta que este se satura al llegar a 10000 ppm, a este punto según la gráfica le corresponde un  $R_s/R_o$  de 0.39, los puntos cercanos, por mayor variación de LGP que exista, el  $R_s/R_o$  tendrá variaciones mínimas. Para estar en este punto generamos un ambiente con bastante LGP, como por ejemplo el gas de un mechero, y si medimos con nuestro sensor obtendremos un voltaje de 4.24 (v), entonces usando la formula (2) hallamos  $R_s$ .

$$R_s^{LGP} = 1000 \cdot \left( \frac{(5 - 4.24)}{4.24} \right) = 179.72$$

Y mediante la formula (3) hallamos el valor de  $R_o$ , para finalmente sustituir valores en la ecuación de la curva exponencial del LGP.

$$\frac{R_s^{LGP}}{R_o^{LGP}} = 0.39 = \frac{179.72}{R_o^{LGP}} \rightarrow R_o^{LGP} = \frac{179.72}{0.39} = 460.820513$$

$$\text{Si } X = \frac{R_s^{LGP}}{R_o^{LGP}} \rightarrow y = 1065.76 \cdot \left( \left( \frac{R_s^{LGP}}{R_o^{LGP}} \right)^{(-2.04)} \right)$$

$$\text{Como } R_o^{LGP} = 460.820513 \text{ e } y = \text{LGP} \rightarrow \text{LGP} = 1065.76 \cdot \left( \left( \frac{R_s^{LGP}}{460.820513} \right)^{(-2.04)} \right)$$

Así ya estamos listos para implementar la ecuación del MQ-9 en el software y tenemos el procedimiento para volver a calibrar.

#### 11.6 Calibración MQ-7:

En el caso del MQ-7, la calibración fue un poco mas complicada, conseguir una gran cantidad de monóxido de carbono para intentar saturar el sensor fue muy difícil, así que recurrí a un motor marino para tomar muestras del tubo de escape tomando los siguientes voltajes:

$$2.41 \text{ (V)} = V_1$$

$$2.00 \text{ (V)} = V_2$$

$$2.29 \text{ (V)} = V_3$$

$$2.28 \text{ (V)} = V_4$$

$$2.15 \text{ (V)} = V_5$$

$$2.09 \text{ (V)} = V_6$$

$$2.22 \text{ (V)} = V_7$$

Siendo la media:

$$V_{\text{Medio}} = \frac{\sum_{i=1}^7 V_i}{7} = 2.20571 \text{ (V)}$$

Utilizando la fórmula (2), obtendremos nuestro nuevo RS.

$$RS^{CO} = 1000 \cdot \left( \frac{(5 - 2.20571)}{2.20571} \right) = 1266.84378$$

Como en el caso anterior, usando la fórmula (3) hallamos el valor de RO, para finalmente sustituir valores en la ecuación de la curva exponencial del CO.

$$\frac{RS^{CO}}{RO^{CO}} = 0.3 = \frac{1266.84378}{RO^{CO}} \rightarrow RO^{CO} = \frac{1266.84378}{0.3} = 4222.8126$$

$$\text{Si } X = \frac{RS^{CO}}{RO^{CO}} \rightarrow y = 102 \cdot \left( \left( \frac{RS^{CO}}{RO^{CO}} \right)^{(-1.52)} \right)$$

$$\text{Como } RO^{CO} = 4222.8126 \text{ e } y = CO \rightarrow CO = 102 \cdot \left( \left( \frac{RS^{CO}}{4222.8126} \right)^{(-1.52)} \right)$$

El rango de sensibilidad del MQ-7 se encuentra entre 20 y 2000 ppm y funciona entre 0 y 5 (v). Mediante este método, si sustituimos la fórmula exponencial por el valor de Rs de 0,23 (V) Y 4,8 (V), obtendremos el siguiente resultado:

$$CO^{V=0.23} = 9.0780(\text{ppm}) ; CO^{V=4.8} = 114139.394 (\text{ppm})$$

Podemos ver claramente como para valores bajos del voltaje los valores coinciden, pero al aumentar el valor del voltaje, las medidas son desproporcionadas, dando valores imposibles. Esto es debido a que al igual que la gráfica, el error al coger como referencia un valor de RS/RO tan bajo se vuelve exponencial. Queda claro que si no se puede obtener un valor muy superior del voltaje para poder aproximar mejor, este método es muy poco preciso, así que para este sensor utilizaremos el segundo método descrito anteriormente. Así, tendremos que relacionar el voltaje con las partes por millón y sacar dos puntos, en mi caso utilizaré el punto de mayor y menor concentración de CO respectivamente como vemos a continuación:

$$\begin{aligned} 0 (\text{ppm}) & \text{ ----> } 0.17(\text{V}) \\ & \rightarrow P_0 = (0.17, 0) ; P_1 = (5, 2000) \\ 2000(\text{ppm}) & \text{ ----> } 5 (\text{V}) \end{aligned}$$

Una vez determinados los puntos procedemos a hallar las constantes de la ecuación de la recta:

$$a = \frac{2000 - 0}{5 - 0.17} = 414.078675$$

$$Y = CO (\text{ppm}) ; X = \text{Voltaje (V)}$$

$$\rightarrow Y = (414.078675 \cdot X) - 70.3933748$$

$$b = 0 - (414.078675 \cdot (0.17)) = -70.3933748$$

Ya está solucionado el problema de la precisión en las medidas del MQ-7.

## 12. MONTAJE DE LA ELECTRÓNICA.

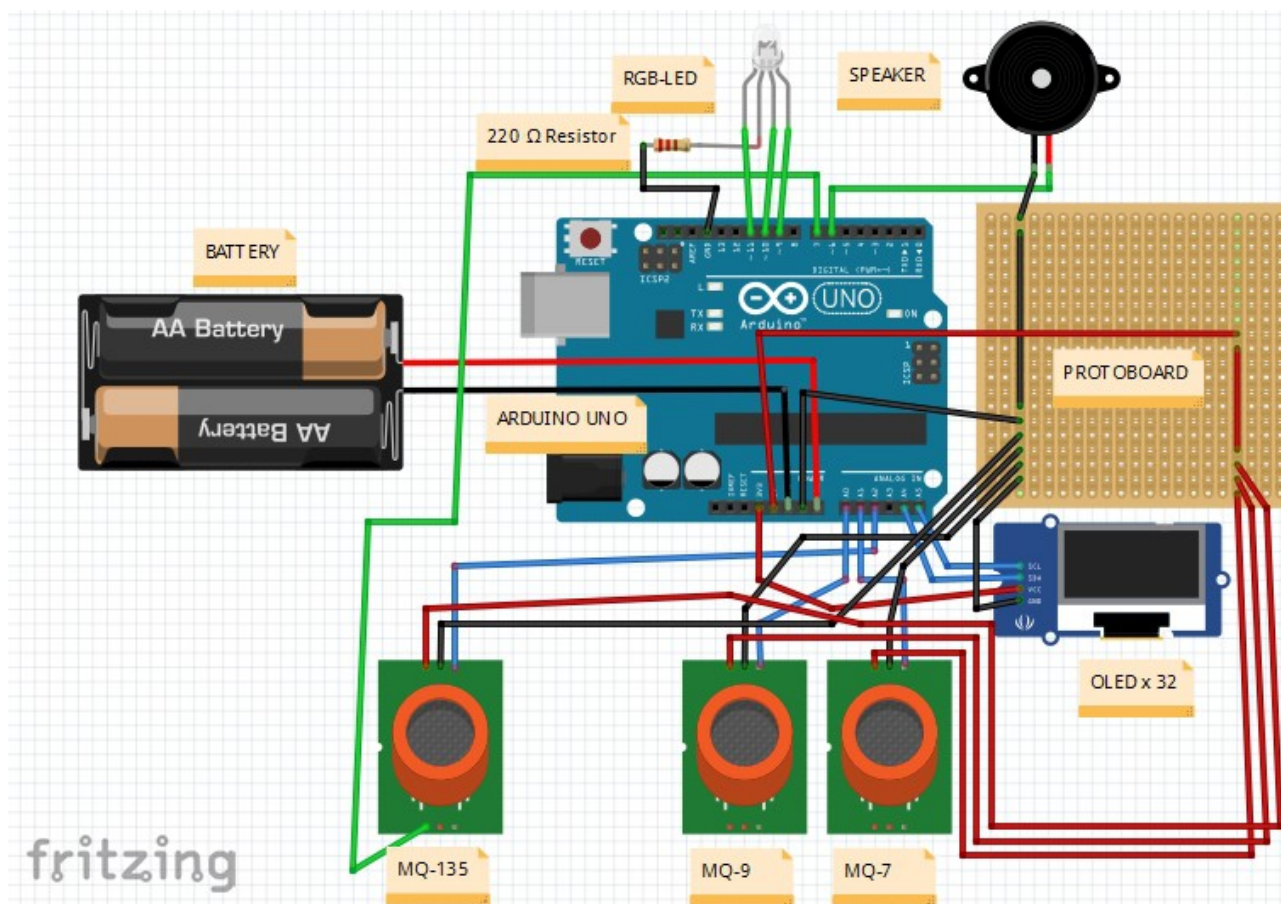


Figura 11. Fritzing o montaje de los componentes electrónicos.

### 12.1 Resumen del montaje.

En la imagen anterior podemos ver claramente cómo serán las conexiones de cada componente electrónico. En **VERDE** aparecen los cables conectados a los pines digitales de Arduino, mientras que los **AZULES** van conectados a los pines analógicos, a parte de estos debemos prestar atención a los cables **NEGROS**, los cuales son la toma de tierra, todos están conectados a la misma, también hacer mención de los cables **ROJOS**, que son los que suministran la tensión, por un lado tenemos el circuito general que se alimenta a 5v, pero es muy importante conectar la pantalla a 3,3v y no a 5v.

Como aviso también es importante recordar que la patilla de toma de tierra del LED-RGB debe ir conectada a una resistencia, para que este no se queme por una sobrecarga en el circuito.

### 12.2 Alimentación.

En nuestro caso, el sistema estará alimentado mediante un USB o bien por este mismo puede ir conectado a la corriente, sin embargo también se le puede conectar una batería o una serie de pilas para hacerlo portátil. La duración de las pilas de 9V es de unos 50 minutos, mientras que una serie de pilas AA pueden llegar fácilmente a las 5 horas.



### 12.3 Esquema de conexiones.

<b>MQ – 135 (Calidad del aire)</b> <b>VCC</b> -----> <b>5 V</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b> <b>DOUT</b> -----> <b>7</b> <b>AOUT</b> -----> <b>A2</b>	<b>MQ – 9 (LGP)</b> <b>VCC</b> -----> <b>5 V</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b> <b>AOUT</b> -----> <b>A0</b>
<b>MQ – 7 (CO)</b> <b>VCC</b> -----> <b>5 V</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b> <b>AOUT</b> -----> <b>A1</b>	<b>RGB – LED</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b> <b>RED</b> -----> <b>~11</b> <b>GREEN</b> -----> <b>~9</b> <b>BLUE</b> -----> <b>~10</b>
<b>PIEZO SPEAKER</b> <b>VCC</b> -----> <b>~6</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b>	<b>I2C OLED x 32</b> <b>VCC</b> -----> <b>3.3 V</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b> <b>SDA</b> -----> <b>A4</b> <b>SCL</b> -----> <b>A5</b>
<b>BATTERY</b> <b>VCC</b> -----> <b>V in</b> <b>GND</b> -----> <b>GND</b>	

## 13. SOFTWARE ARDUINO.

```
#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_RESET);

#define NUMFLAKES 10
#define XPOS 0
#define YPOS 1
#define DELTAY 2

#define LOGO16_GLCD_HEIGHT 16
#define LOGO16_GLCD_WIDTH 16
static const unsigned char PROGMEM logo16_glcd_bmp[] =
{ B00000000, B11000000,
```

QR descarga de código:



```
B00000001, B11000000,
B00000001, B11000000,
B00000011, B11100000,
B11110011, B11100000,
B11111110, B11111000,
B01111110, B11111111,
B00110011, B10011111,
B00011111, B11111100,
B00001101, B01110000,
B00011011, B10100000,
B00111111, B11100000,
B00111111, B11110000,
B01111100, B11110000,
B01110000, B01110000,
B00000000, B00110000 };
```

```
#if (SSD1306_LCDHEIGHT != 32)
#error("Height incorrect, please fix Adafruit_SSD1306.h!");
#endif
```

```
int MQ135 = 7;
int i;
double AB;
double CD ;
double EF ;
double GH;
```

```
void beep(unsigned char pausa){
    analogWrite(6, 20);
    delay(pausa);          // Espera
    analogWrite(6, 0);      // Apaga
    delay(pausa);          // Espera
}

void Color(int R, int G, int B){
    analogWrite(9 , R) ;    // Red   - Rojo
    analogWrite(10, G) ;    // Green - Verde
    analogWrite(11, B) ;    // Blue  - Azul
```

```
//-----SETUP-----
```

```
void setup(){

    pinMode(MQ135, INPUT);
    {for (int i =9 ; i<12 ; i++)
        pinMode(i, OUTPUT);}

    { display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); // initialize the I2C addr 0x3C
      display.display(); // init done
      delay(2000);
      display.clearDisplay(); // Clear the buffer.

      beep(50);
      Color(255 ,0 ,0) ; //AZUL
      delay(100);
      beep(50);
      Color(0,255 ,0) ; //VERDE
```

```

delay(100);
  beep(50);
  Color(0,0,255); //ROJO
delay(100);
Color(0,0,0);
  delay(500);
  beep(200);

display.setTextSize(1);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,0);
display.println("SOLAS XI-1/7 ");
display.print("I.P.M.P.M.");display.println("  APF");
display.display();
delay(2000);
display.clearDisplay();

if ( ((analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0))>= 0.5)||((analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0))>= 0.5)){

  for (int i=0; i <= 100; i++){
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0,0);
    display.print("CALENTANDO... ");
    display.println(" ");
    display.setTextSize(2);
    display.print(i); display.println(" %");
    display.display();
    delay(9000);
    display.clearDisplay(); }
  if ( ((analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0))>= 0.5)||((analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0))>= 0.5)){
    while(1){
      display.setTextSize(2);
      display.setTextColor(WHITE);
      display.setCursor(0,0);
      display.println("ERROR 001 ");
      display.println("RESET ");
      display.display();}}}
  for (int i=0; i <= 100; i++){
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0,0);
    display.print("CALIBRANDO... ");
    display.println(" ");
    display.setTextSize(2);
    display.print(i); display.println(" %");
    display.display();
    delay(200);
    display.clearDisplay();}}
AB = 3000/(5-(analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0)));
CD = -(AB*(analogRead(A1) * (5.0 / 1023.0)));
EF = 10000/(5-(analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0)));
GH = -(EF*(analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0)));}

```



```
//-----LOOP-----
void loop() {
  Color(0,255,0);
  delay(70);
  Color(0,0,0);
  int MQ7 = analogRead(A1); //Lemos la salida analógica del MQ7
  int MQ9 = analogRead(A0); //Lemos la salida analógica del MQ9
//-----MQ7-----
  float voltajeMQ7 = MQ7 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
  double CO=(AB*(voltajeMQ7))+(CD);
  if (CO < 0){
    CO = 0;}
//-----MQ9-----
  float voltajeMQ9 = MQ9 * (5.0 / 1023.0); //Convertimos la lectura en un valor de voltaje
  double METANO=(EF*(voltajeMQ9))+(GH);
  if (METANO < 1){
    METANO = 0;}
//-----MQ135-----
  boolean ESTADOMQ135 = digitalRead(MQ135); //Leemos el sensor

  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
  display.setCursor(0,0);
  display.println("_GAS LEVEL_");
  display.print("LGP: ");display.println(METANO);
  display.print("CO: ");display.println(CO);
  display.print("POLLUTION: ");display.print(ESTADOMQ135);display.println("(1F)(0T)");
  display.display();
  delay(500);
  display.clearDisplay();

  if (ESTADOMQ135 == 0){
    beep(100);
    display.setTextSize(2);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0,0);
    display.println("_POLLUTION_");
    display.print(ESTADOMQ135);
    display.display();
    display.clearDisplay();
    for (int i=0; i <= 50; i++){
      Color(0,0,255); //ROJO
      delay(100);
      Color(0,0,0);
      beep(50);}}

  else if ((CO > 200)||(METANO > 600)){
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(WHITE);
    display.setCursor(0,0);
    display.println("_ALARM_");
    display.print(CO);display.println(" LGP or CO ");
    display.display();
```

```
display.clearDisplay();
for (int i=0; i <= 50; i++){
  Color(11,225,242); //AMARILLO
  delay(30);
  beep(10);
  Color(0,0,0);
  delay(30);
  beep(10);}
  beep(200);}}
```

## 14. RESULTADOS.

Una vez programado y montado todo el equipo electrónico, el siguiente paso es introducirlo dentro de una caja hermética de plástico con una pequeña ventana translúcida para poder visualizar la pantalla. Además esta caja dispone de una serie de salidas para posibles modificaciones o variantes al prototipo, sin que sea necesario desmontar todo el equipo.

Cabe destacar que la única parte que queda por proteger del agua y la humedad son los sensores, los cuales sobresalen de la caja.

En lo referente a la alimentación, decidí utilizar la alimentación a 220 (V) para no tener que cambiar las pilas cada poco tiempo, aunque cualquiera de las otras fuentes de alimentación son factibles.

Respecto a los sensores, cabe destacar que ambos son sensibles al CO y a ciertos tipos de LGP, por lo que a valores bajos de uno u otro gas es muy difícil de determinar cual de estos gases está presente, sin embargo gracias a la sensibilidad de uno y otro es posible diferenciarlo a partir de ciertos niveles de contaminación, se determina así que si el nivel de presencia de gas en el MQ-9 es superior a 1500 (ppm), entonces el gas presente es LGP, mientras que si es inferior, es posible que sea cualquiera de ellos, para solucionar este detalle de cara a una futura mejora, se necesitaría un sensor que solo sea sensible al CO como podría ser el sensor MQ-6.

Finalmente uno de los mayores problemas radica en la programación, ya que los sensores necesitan calentarse y según el voltaje que utilizan en cada uso, las mediciones pueden variar respecto a mediciones en días anteriores, por lo que para evitar problemas desde el inicio del funcionamiento del sensor, se establece un tiempo de calentamiento de los sensores y una vez pasado ese tiempo se establece el voltaje medio de funcionamiento para poder así calibrar para cada uso el sensor, por lo que si el sensor se utiliza en lugares con grandes fluctuaciones de temperatura o se utiliza tras mucho tiempo sin usar, los errores pueden ser grandes, pero si se utiliza a menudo y en condiciones similares, es mucho más fiable.

A pesar de estos detalles, cabe destacar que es un dispositivo bastante sensible y un dispositivo apropiado para ser un indicativo inicial para decidir si proceder a un trabajo en espacios confinados, independientemente de el uso de otros dispositivos.

QR estructura del dispositivo, montaje y pruebas:



## 15. GASTOS.

A continuación se exponen los diferentes componentes que integran el proyecto y su precio:

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO (€)
Arduino UNO	1	7
MQ-7	1	4,19
MQ-9	1	4,2
MQ-135	1	4,57
PANTALLA OLED SPI	1	8
LED-RGB	1	0,2
BUZZER	1	0,47
WIRES	21	1,5
CABLE USB	1	2
CAJA ESTANCA	1	3
RESISTENCIA	1	0,05
PLACA PROTOTIPO	1	1,39
SILICONA TUBO	1	2
PLÁSTICO VENTANA	1	1,5
<b>TOTAL:</b>		<b>40,07 €</b>

Este precio es referido a cada detector independiente, aunque el precio puede reducirse si los componentes se compran directamente al fabricante por Internet, en vez de comprarlos en una tienda de electrónica, en este caso los sensores de gas, se pueden encontrar fácilmente por 3 euros y los demás componentes electrónicos como el Arduino se pueden conseguir por un precio aproximado de 5 euros, estimando aproximadamente un ahorro de 5 euros en el precio total.

## 16. CONCLUSIONES Y POSIBLES MEJORAS.

### 16.1 Conclusión:

Como conclusión cabe destacar que el aparato para medir atmósferas aquí desarrollado cumple con sus requisitos con unas medidas aceptables, por lo que podría ser una solución económica para pequeños buques que no cumplen con SOLAS y en los cuales la tripulación mínima es muy pequeña.

Por un precio muy reducido, se podrían instalar en los puntos más peligrosos del buque aunque no se trate específicamente de un espacio confinado, como por ejemplo la sala de máquinas o ciertos tipos de pañoles como el de pinturas. Esto facilitaría que los trabajadores supieran de forma rápida si existe algún tipo de contaminante y en su caso poder tomar las medidas

necesarias y evitando así posibles accidentes causados por este tipo de contaminantes, que son los gases.

En el caso particular de este dispositivo, será instalado en un buque de lista segunda, el "*Don Pancho*", en la antecámara de la sala de máquinas, puesto que en ella se acumulan una gran cantidad de productos químicos y comunica directamente con la sala de máquinas en la que podemos encontrar tres motores y, más a popa, comunica con la sala del servomotor donde además se encuentran los tanques de combustible.

### **16.2 Posibles mejoras:**

Es evidente que el aparato desarrollado es un prototipo y podría mejorarse mucho más con un poco de tiempo y con más recursos económicos, sin que este sea mucho más caro.

#### **16.2.1 Arduino WIFI:**

La principal idea para mejorar el prototipo sería sustituir la pantalla OLED y cambiar este componente por una antena WIFI. Esta antena tendría dos opciones de conexión, mediante Internet o bien sin conexión a Internet utilizando un módem existente en el buque.

De esta forma, podríamos tener una gran cantidad de sensores repartidos por todo el buque que nos proporcionarían información en directo a través de una señal WIFI. Si estamos en navegación y no tenemos Internet, la información nos llegaría directamente por la antena WIFI a cualquier ordenador del buque conectado al módem WIFI del buque.

La otra opción sería si el buque contase con módem WIFI y además con conexión a Internet, de esta forma, no solo se podría obtener la información de los sensores y a través de un ordenador conectado al módem WIFI, sino que se podría obtener desde cualquier dispositivo con conexión a Internet del mundo, siempre y cuando tenga autorización para ello.

#### **16.2.2 Arduino relé:**

Independientemente de si disponemos de conexión WIFI o no, otra opción que se puede implementar muy fácilmente a nuestro aparato sería el control de otros dispositivos. por ejemplo, podemos determinar que, en caso de que los valores de un gas superen un cierto margen, el Arduino puede "por ejemplo", activar automáticamente los extractores o cualquier otro dispositivo eléctrico o electrónico, si además nuestro dispositivo incorpora la antena WIFI, estas acciones podrían ser controladas de forma remota, lo cual es conocido como el Internet de las cosas.

En caso de que el dispositivo se preparase para una red WIFI, el precio por unidad pasaría a ser de 40 a 38 euros al eliminar la pantalla y añadir una antena WIFI, a esto se le añade el precio de un módem WIFI y un sistema central basado en Raspberry Pi, valorado todo ello en unos 90 euros, siendo finalmente el precio de 128 euros para un sistema de detector de gases conectado a una red WIFI, a este sistema se le podrían añadir tantos dispositivos de medida como fueran necesarios y podrían ser todos ellos controlados desde un lugar cómodo y seguro.

Si además queremos controlar remotamente acciones de nuestro Arduino sobre otros objetos físicos como, por ejemplo, extractores, el valor de cada unidad básica de medición se incrementaría en 2 euros siendo finalmente un precio de 40 euros aproximadamente, equivalente al precio del modelo actual.

**QR** esquema variantes e idea de posible instalación en buque:



## 17. BIBLIOGRAFÍA.

---

- (1) National Institute for Occupational Safety and Health, Immediately Dangerous To Life or Health (IDLH) Values, <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/idlhintr.html>, [ 24 febrero 2018].
- (2) Pilar González y Emilio Turmo, (1988), NTP 223: Trabajos en recintos confinados, INSHT, Barcelona.
- (3) Maritime Safety Committee, (2013), Resolution MSC.350(92), IMO.
- (4) Maritime Safety Committee, (2014), MSC./Circ.1477, IMO, London.
- (5) Consejo de las Comunidades Europeas, (1989), Directiva 89/654/CEE, UE.
- (6) Tania Berlana, Identificación y Prevención en Espacios Confinados, INSHT, Madrid.
- (7) Jefatura del Estado, (1995), Ley de Prevención de Riesgos Laborales, INSHT, Madrid.
- (8) SASEMAR, Cursos especiales, [http://www.centrojoventianos.com/categoria\\_cursos/show/29](http://www.centrojoventianos.com/categoria_cursos/show/29), [ 25 de febrero de 2018].
- (9) Riken Keiki, (2016), GX-8000 datasheet, Riken Keiki Co, Japón.
- (10) Arduino, Arduino community, <https://www.arduino.cc/>, [17 de febrero de 2018].
- (11) Raspberry pi org, Raspberry community, <https://www.raspberrypi.org/>, [15 febrero de 2018].
- (12) Crazy design, Electrónica y robótica, <https://www.grupocrazydesignalicante.es/?p=index>, [25 febrero de 2018].
- (13) Fritzing, Fritzing community, <http://fritzing.org/home/>, [28 febrero de 2018].
- (14) Fisicamatematic, Análisis de datos experimentales por mínimos cuadrados, <https://fisicamatematic.wordpress.com/tag/curva-de-aproximacion/>, [28 febrero de 2018].
- (15) AST, Don Pancho, <http://www.donpancho.es/>, [28 febrero de 2018].

## 18. ANEXOS.

### ANEXO I: Permiso para entradas a espacios confinados, según INHST.

PERMISO PARA ENTRADAS A ESPACIOS CONFINADOS																																															
<b>INFORMACIÓN GENERAL</b> <div> <div>Área de Trabajo Ubicación/ Edificio</div> <div> Propósito de entrada:  Vigencia Autorizada del Permiso: <div> Fecha Hora </div> <div> hasta hasta </div> </div> </div>																																															
<b>PELIGROS DEL ÁREA DE TRABAJO</b> <small>(Indique los peligros específicos)</small> Deficiencia de oxígeno (<19.5%) Exceso de oxígeno (>23%) Gases o vapores inflamables (>10%LSE) Partículas de polvo inflamable en atmósfera Gases o vapores tóxicos Sustancias irritantes Agentes biológicos Peligros mecánicos Choque eléctrico Atrapamiento Otro:	<b>EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA ENTRADA Y EL TRABAJO</b> <small>(Especifique según se requiera)</small> Equipos de protección individual: Medidores Atmosféricos: Tipo de Equipos de Comunicación: Equipos de Rescate: Otro:																																														
<b>PREPARACIÓN PARA LA ENTRADA</b> <small>(Indicar después de haber tomado los pasos)</small> Notificación de los departamentos afectados Métodos de aislamiento Purgar/limpiar Neutralizar Barreras Ventilar Otro Notificación del personal Repaso antes de la entrada de los peligros Repaso de los métodos de control Notificación a los contratistas Otros Permisos adicionales Trabajos con calor Otros	<b>MÉTODOS DE COMUNICACIÓN</b> <small>(Utilizados por el asistente y los entrantes)</small>																																														
	<b>ENTRANTES AUTORIZADOS</b> <small>(Nombres)</small>																																														
	<b>ASISTENTES AUTORIZADOS</b> <small>(Nombres)</small>																																														
	<b>SERVICIO DE EMERGENCIA</b> Nombre del Servicio Número telefónico Forma de contacto																																														
<b>RESULTADOS DEL EXAMEN</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Condiciones Aceptables</th> <th>Resultado :AM/ PM</th> <th>Resultado :AM/PM</th> <th>Resultado :AM/PM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oxígeno mínimo</td> <td>&gt; 19.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Oxígeno máximo</td> <td>&lt; 23</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Inflamabilidad</td> <td>&lt; 10%LSE</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tóxico (especifique)</td> <td>VLA-ED VLA-EC</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H<sub>2</sub>S</td> <td>&lt; 10 ppm &lt; 15 ppm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cl<sub>2</sub></td> <td>&lt; 0.5 ppm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CO</td> <td>&lt; 25 ppm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SO<sub>2</sub></td> <td>&lt; 2 ppm &lt; 5 ppm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Calor</td> <td>°F/°C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otro</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Iniciales del técnico que realiza la medición				Condiciones Aceptables	Resultado :AM/ PM	Resultado :AM/PM	Resultado :AM/PM	Oxígeno mínimo	> 19.5%			Oxígeno máximo	< 23			Inflamabilidad	< 10%LSE			Tóxico (especifique)	VLA-ED VLA-EC			H <sub>2</sub> S	< 10 ppm < 15 ppm			Cl <sub>2</sub>	< 0.5 ppm			CO	< 25 ppm			SO <sub>2</sub>	< 2 ppm < 5 ppm			Calor	°F/°C			Otro			
Condiciones Aceptables	Resultado :AM/ PM	Resultado :AM/PM	Resultado :AM/PM																																												
Oxígeno mínimo	> 19.5%																																														
Oxígeno máximo	< 23																																														
Inflamabilidad	< 10%LSE																																														
Tóxico (especifique)	VLA-ED VLA-EC																																														
H <sub>2</sub> S	< 10 ppm < 15 ppm																																														
Cl <sub>2</sub>	< 0.5 ppm																																														
CO	< 25 ppm																																														
SO <sub>2</sub>	< 2 ppm < 5 ppm																																														
Calor	°F/°C																																														
Otro																																															
<b>AUTORIZACIÓN DEL SUPERVISOR DE ENTRADAS</b> Certifico que todas las precauciones requeridas han sido llevadas a cabo y que los equipos necesarios para la entrada y el trabajo seguro en el espacio confinado han sido entregados. <div> <div>Nombre</div> <div>Firma</div> <div>Fecha</div> <div>Hora</div> </div>																																															

Además, todos los buques que deban cumplir con el Código (IGS) deberán elaborar una serie de listas de comprobación así como un permiso específico según lo estipulado en sistema de gestión de la seguridad de la empresa autorizada para la explotación del buque.

QR listas de comprobación y formularios previos a la entrada:



## 19. ÍNDICE DE IMÁGENES Y CONTENIDO DEL CD.

### 19.1 ÍNDICE DE IMÁGENES:

FIG 1.	Sensor GX-8000 marca Riken Keiki.	PÁG 7
FIG 2.	Raspberry Pi Model 3B y Arduino UNO.	PÁG 9
FIG 3.	Sensores de gases MQ- 7, MQ-9 y MQ-135.	PÁG 10
FIG 4.	LED-RGB, pantalla OLED x 32 y Buzzer.	PÁG 10
FIG 5.	Cables wire y resistencia para LED-RGB.	PÁG 10
FIG 6.	Pantalla Arduino IDE y error de compilación.	PÁG 11
FIG 7.	Sensibilidades características sensor MQ-7.	PÁG 12
FIG 8.	Sensibilidades características sensor MQ-9.	PÁG 13
FIG 9.	Curva exponencial del LGP.	PÁG 13
FIG 10.	Curva exponencial del CO.	PÁG 13
FIG 11.	FRITZING.	PÁG 17
FIG 12.	ANEXO I	PÁG 26



Escanear código QR para ver o descargar las imágenes.

### 19.2 CONTENIDO DEL CD.

... / CD	<ul style="list-style-type: none"> <li>CODIGO</li> <li>DOCUMENTACION</li> <li>MULTIMEDIA</li> <li>PROGRAMAS</li> <li>PRESENTACION.txt</li> <li>TRABAJO.txt</li> </ul>
... / CD / MULTIMEDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>IMAGENES</li> <li>QR</li> <li>VIDEOS</li> </ul>
... / CD / PROGRAMAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>ARDUINO</li> <li>FRITZING</li> <li>QR</li> <li>SKETCHUP</li> <li>DropboxInstaller.exe</li> <li>Install_Prezi_5-2-8 (1).exe</li> <li>wiris-desktop-2.1.3 (1).exe</li> </ul>