

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y
AUTOMÁTICA



PROYECTO FINAL DE CARRERA
DESARROLLO PLACA SENSORES PARA
MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN
TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

AUTOR: JULIÁN GARCÍA PIMENTEL
TUTOR: ALBERTO JARDÓN HUETE
JULIO 2011

Agradecimientos

A ti, Enrique; mi hermano, compañero y amigo. Desde que te fuiste te llevaste contigo una parte mía pero mientras yo esté aquí, tú también lo estarás conmigo. Por mucho que pase jamás podré acostumbrarme...

A mis padres y hermanos, por ser como son, porque me hacen feliz por formar parte de una familia tan maravillosa.

Al resto de mi familia, abuelos, tíos, primos y "primillos" por estar siempre ahí.

A mis amigos y amigas del pueblo y de Madrid. Por todos los buenos momentos que hemos compartido y compartiremos juntos.

A mis compañeros de universidad, algunos ya amigos; por vuestra inestimable ayuda y apoyo en todos estos años de carrera.

A los técnicos de laboratorio, Ángela Nombela y Fernando Sandeogracias; por sus inestimables consejos para terminar este trabajo, además del ánimo en los momentos en los que parecía que esto no tenía fin.

A Estefanía, mi amor. Por aguantarme en los momentos de desilusión y frustración, por hacerme feliz con cada una de sus sonrisas y por su amor.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

RESUMEN

El propósito de este documento es desarrollar una aplicación de un sistema de sensorización y monitorización continua de la calidad del aire en las construcciones bajo el suelo que irá ubicada en la diana de la cabeza perforadora de una tuneladora en escudo abierto en una excavación con hinca de tubo; así como, indicar los factores y consideraciones que se han tenido en cuenta para realizar la selección de los sensores más adecuados para ésta aplicación, ofrecer una explicación de los principios en que se basan y de la instrumentación necesaria para una protección satisfactoria del personal y del medio ambiente.

Este trabajo incluye el desarrollo teórico práctico de un dispositivo de protección para las excavaciones que no existe en la actualidad. Para ello se ha definido un sistema de alertas capaz de detectar de forma temprana y eficiente concentraciones nocivas de gases para los trabajadores de las rozadoras, estando dotado del sistema de comunicación necesario para tomar las medidas oportunas en caso de contaminación del aire.

The purpose of this document is to explain the development of an application of a sensing system and continuous monitoring of air quality in buildings under the ground will be located in the target of the drill head of a shield tunneling in an open excavation pipe jacking, as well as indicate the factors and considerations taken into account for selecting the most appropriate sensors for this application, provide an explanation of the underlying principles and instrumentation necessary for adequate protection staff and the environment.

This work includes the theoretic practical development of a protective device for the excavations that does not exist at the present time. This defined an early warning system to detect early and effectively to harmful concentrations of gas workers in the coal cutters, being endowed with the necessary communication system to take appropriate measures in case of air pollution.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
INDICE GENERAL.....	2
INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE TABLAS	8
INDICE DE ECUACIONES	8
1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Contexto del proyecto: La Ciudad Multidimensional	10
1.2 Motivación.....	11
1.3 Objetivos.....	12
2. ESTADO DEL ARTE	14
2.1. Ventajas de la construcción con tuneladoras	14
2.2. Estado Actual de la tecnología en tuneladoras.....	14
2.2.1. Tuneladoras de roca dura	15
2.2.2. Escudos de presión de tierras.....	18
2.2.3. Hinca de tubos.....	24
2.3. Estado actual de la tecnología en sensores de gases tóxicos	31
2.3.1. Sensores Electroquímicos	33
2.3.2. Sensores Catalíticos de gases combustibles	35
2.3.3. Sensores de Gas de Estado Sólido.....	37
2.3.4. Sensores de Infrarrojos	39
2.3.5. Detectores de Fotoionización	41
2.4. Circuitos de Acondicionamiento y medida	42
2.4.1. Puente de Wheatstone.....	42
2.4.2. Amplificador de Instrumentación	49
2.4.3. Filtros Electrónicos.....	57
2.5. Equipos de Medida Portátiles. WASPMOTE	68
2.5.1. Hardware.....	73
2.5.2. Placa de Sensores.....	75
3. ESPECIFICACIONES	83
3.1 Especificaciones Espaciales	83
3.2. Especificaciones del Sistema	85

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

4. DESARROLLO	89
4.1. Selección de Sensores.....	89
4.2. Diseño de la placa de desarrollo. Instrumentación y Hardware.	99
4.2.1. Esquemáticos.....	120
4.2.2. Simulaciones.....	128
4.2.3. Estudio de alimentación y potencia.....	134
4.3. Software.....	141
4.4. Flujoograma y Comunicación entre dispositivos	159
5. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	172
5.1 Placa de Pruebas.....	172
5.2 Comunicación con PC	174
5.3 PCB.....	177
6. CONCLUSIÓN	188
6.1. Análisis	188
6.2. Análisis Crítico.	188
6.3. Trabajos Futuros.....	189
7. ANEXOS	191
7.1 Anexo I: Datasheet	191
7.1.1.-TGS 5042 FIGARO.....	191
7.1.2.- TGS 6810 FIGARO	193
7.1.3.- CO2-D1-ALPHASENSE.....	195
7.1.4.-GUARDIAN SP-EDINBURGH	196
7.1.5.-SIRIUS-PID & 4-GASES	198
7.1.6.-TGS 3870 FIGARO.....	199
7.1.7.-S+4CO SENSORS DIRECT	201
7.1.8.-S+7CO SENSORS DIRECT	202
7.1.9.-CO-AE ALPHASENSE	203
7.1.10.-H ₂ S-A1 ALPHASENSE	205
7.1.11.-H ₂ S-P/N714 SYNKERA.....	207
7.1.12.-H ₂ S T50 Y T90 SYNKERA	209
7.1.13.-SCM 130 A	211
7.1.14.-SCM 130 MD55	214

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.15.-SCM 130 MD65	217
7.1.16.-TGS 2611 FIGARO.....	219
7.1.17.-AD620.....	221
7.1.18.-AD708.....	224
7.1.19.-TGS 2442	227
7.1.20.-VCO Sensor P/N 707	229
7.1.21.-TGS 825	231
7.1.22.-TGS 2620	233
7.1.23.-TGS 2602	235
7.1.24.-JTK1524D05	237
7.1.25.- BC547B.....	239
7.1.26.- IRF1324.....	242
7.1.27.- VARISTOR	244
7.1.28.-PIC 2455.....	246
7.1.29.- CONECTOR USB	248
7.2 Anexo II: Tabla Comparativa	249
7.3 Anexo III: Facturas Proforma	250
7.3.1- Proforma Alphasense	250
7.3.2- Proforma Synkera.....	251
7.3.3- Proforma Monolitic	252
7.4 Anexo IV: Presupuesto	253
8. BIBLIOGRAFÍA.....	255

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.- Cuadro resumen de características según el tipo de tuneladora.</i>	15
<i>Figura 2.-Cabeza cortadora de la tuneladora utilizada</i>	16
<i>Figura 3.- Vista de uno de los grippers de una tuneladora.</i>	16
<i>Figura 4.- Escudo de Presión de Tierras utilizada en el Metro de Valencia.</i>	19
<i>Figura 5.- Esquema de la junta de grasa de un escudo.</i>	20
<i>Figura 6.- Manipulación de una dovela por succión.</i>	21
<i>Figura 7.- T.B.M. con escudo</i>	23
<i>Figura 8.- Pozo de ataque</i>	25

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Figura 9.- Carga de la vagoneta	26
Figura 10.-Cilindros de empuje	27
Figura 11.-Esquema de hinca	28
Figura 12.-Vista general de obra.....	28
Figura 13.-Tubos de hormigón armado para hinca.....	30
Figura 14.- Sensor Electroquímico.	33
Figura 15.- Sensor Catalítico de gases combustibles.	35
Figura 16.- Sensor de gas de estado sólido.	37
Figura 17- Sensor de Infrarrojos.	39
Figura 18.- Detector de Fotoionización.....	41
Figura 19.-Disposición del Puente de Wheatstone.....	43
Figura 20.- Linealidad de la salida V_o de pendiente de k	47
Figura 21.- Montaje a tres hilos de un puente de Wheatstone.	48
Figura 22.- Amplificador diferencial.....	50
Figura 23.- Amplificador de instrumentación de dos operacionales.	51
Figura 24.- Amplificador de instrumentación de tres operacionales.	53
Figura 25.- Filtros de de Butterworth de distintos ordenes.	59
Figura 26.- Filtro paso bajo.....	61
Figura 27.- Filtro paso alto.....	62
Figura 28.- Filtro paso banda.....	62
Figura 29.- Filtro rechazo de banda	63
Figura 30.- Comparación entre las aproximaciones de Butterworth, Chebyshev y Bessel.....	64
Figura 31.- Especificaciones típicas de un filtro pasa banda en el dominio de la frecuencia	65
Figura 32.- Respuesta en ganancia dependiendo de Q	66
Figura 33.- Respuesta temporal ante una entrada escalón unitario de un filtro paso bajo de orden seis de Butterworth y Chebyshev respectivamente.....	67
Figura 34.- Hardware.....	75
Figura 35.-Placa de gases	80
Figura 36.- Placa de Eventos.	81
Figura 37.- Placa de Prototipado.	81
Figura 38.- Diana en la tuneladora	83
Figura 39.-Prototipo de diana.....	84
Figura 40.- Colocación de las cámaras en el interior de la diana.....	84
Figura 41.- Conversor Buck.....	101
Figura 42.- Generación de pulsos de disparo de S	101
Figura 43.- Estados del interruptor	102
Figura 44.- Corriente en el inductor.....	102
Figura 45.- Curva idealizada inversa del zener	105
Figura 46.- Circuito regulador Diodo Zener.....	106
Figura 47.- Estabilizador de tensión.....	107

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

<i>Figura 48.- Amplificador operacional.....</i>	110
<i>Figura 49.- Amplificador operacional como cuadripolo.</i>	110
<i>Figura 50.- Comparador</i>	113
<i>Figura 51.- Seguidor de Tensión.....</i>	113
<i>Figura 52.- Inversor.....</i>	114
<i>Figura 53.- No Inversor.....</i>	115
<i>Figura 54.- Conversor DC/DC de JTK1524D05 de XPPPOWER</i>	118
<i>Figura 55.- OrCAD Capture</i>	121
<i>Figura 56.- OrCAD Layout.</i>	122
<i>Figura 57.- Esquemático del diseño jerárquico</i>	123
<i>Figura 58.- Esquemático de la alimentación.</i>	123
<i>Figura 59.-Esquemático del circuito de protección.</i>	124
<i>Figura 60.- Esquemático del circuito del regulador de DC/DC con eneeable.....</i>	124
<i>Figura 61.-Esquemático del circuito del PIC.....</i>	125
<i>Figura 62.-Esquemático del TGS 5042, sensor de CO.....</i>	125
<i>Figura 63.-Esquemático del TGS 825, sensor de H₂S.</i>	126
<i>Figura 64.-Esquemático del P/N707, de tolueno.....</i>	126
<i>Figura 65.-Esquemático del TGS 2620, sensor de etanol.....</i>	127
<i>Figura 66 .-Esquemático del TGS 2602, sensor para las concentraciones.....</i>	127
<i>Figura 67.-Esquemático del TGS 6810, sensor de metano.</i>	128
<i>Figura 68.-Circuito de medida del TGS 5042, sensor de CO.....</i>	128
<i>Figura 69.- Esquemático del TGS 5042, sensor de CO y sus tensiones tras la simulación.....</i>	129
<i>Figura 70.- Simulación de la salida en tensión del TGS 5042, sensor de CO; con una fuente de corriente parametrizada.....</i>	130
<i>Figura 71.- Esquemático del TGS 5042, sensor de CO; seguido del AO inversor y sus tensiones tras la simulación.....</i>	130
<i>Figura 72.-Simulación de la salida parametrizada del TGS 5042 con AO.....</i>	131
<i>Figura 73.-Esquemático del TGS 2620 y sus niveles de tensión tras la simulación. ..</i>	131
<i>Figura 74.- Simulación de la salida en tensión parametrizada del TGS 2620.....</i>	132
<i>Figura 75.-Esquemático para la simulación de una señal escalón a la salida de un sensor.....</i>	133
<i>Figura 76.- Respuesta ante una señal escalón a la salida de un sensor.....</i>	133
<i>Figura 77.- Alimentación y potencia de cada uno de los módulos del diseño.</i>	134
<i>Figura 78.-Footprint de la bobina del filtro del conversor DC/DC.....</i>	136
<i>Figura 79.-Footprint del conversor DC/DC.....</i>	136
<i>Figura 80.-Footprint del oscilador del PIC.....</i>	136
<i>Figura 81.-Footprint del TGS 5042, sensor de CO.....</i>	137
<i>Figura 82.-Footprint del TGS825, sensor de H₂S.....</i>	137
<i>Figura 83.-Footprint del P/N707, sensor de tolueno.....</i>	137
<i>Figura 84.-Footprint del TGS2620 y TGS2602 sensores de etanol y etanol y tolueno para bajas concentraciones.....</i>	138

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

<i>Figura 85.-Footprint del TGS6810, sensor de metano.....</i>	138
<i>Figura 86.-Footprint del conector USB tipo B.</i>	139
<i>Figura 87.- PCB de la placa de desarrollo para la monitorización de los gases escala 1:1.....</i>	140
<i>Figura 88.- Detalle de los distintos módulos que componen la PCB.</i>	141
<i>Figura 89.- Creación de proyecto en MPLAB.....</i>	142
<i>Figura 90.-Selección del compilador.....</i>	143
<i>Figura 91.- Insercción del linker.....</i>	143
<i>Figura 92.- Configuración de subdirectorios de trabajo.</i>	144
<i>Figura 93.- Configuración de subdirectorios de trabajo. Ficheros de declaraciones... </i>	145
<i>Figura 94.- Configuración de subdirectorios de trabajo. Bibliotecas.....</i>	145
<i>Figura 95.- Configuración de subdirectorios de trabajo. Script de enlazado.</i>	146
<i>Figura 96.- Selección de dispositivo.....</i>	146
<i>Figura 97.- Salida al compilar el código del PIC.....</i>	156
<i>Figura 98.- Pasar el programa al PIC mediante el MPLAB ICD2.....</i>	156
<i>Figura 99.-Conexión MPLAB ICD2 con PCB de destino.</i>	157
<i>Figura 100.- Numeración de los pines del conector MPLAB ICD2.</i>	157
<i>Figura 101.-Instalación del driver de Microchip.....</i>	158
<i>Figura 102.- Selección de la localización del driver.....</i>	158
<i>Figura 103.- Comunicación entre sistemas.....</i>	160
<i>Figura 104.- Flujograma del programa.....</i>	161
<i>Figura 105.- Flujograma del programa con el sistema maestro.</i>	162
<i>Figura 106.- Placa de pruebas.....</i>	172
<i>Figura 107.- Placa de prueba por módulos.....</i>	173
<i>Figura 108.- Placa de pruebas conectada a una fuente de tensión,.....</i>	174
<i>Figura 109.- Configuración del hiperterminal para la conexión USB. Selección de puerto.</i>	175
<i>Figura 110.- Configuración del hiperterminal para la conexión USB. Configuración del puerto.</i>	175
<i>Figura 111.-Hiperterminal mostrando la frase de bienvenida de la nota de aplicación.</i>	176
<i>Figura 112.- PCB GAS SENSE sin componentes.....</i>	177
<i>Figura 113.- PCB GAS SENSE con los componentes ya soldados.....</i>	178
<i>Figura 114.- PICDEM FS USB Demo Board.....</i>	179
<i>Figura 115.- Conexión del zócalo del PIC18F2455 con los conectores de PICDEM FS USB Demo Board.....</i>	180
<i>Figura 116.- Test Primero. Entradas analógicas conectadas al potenciómetro del PICDEM.....</i>	183
<i>Figura 117.- Test Primero. Fondo de escala para entradas analógicas conectadas al potenciómetro del PICDEM.</i>	184
<i>Figura 118.- Test Segundo. Entradas analógicas conectadas a distintos niveles de tensión.....</i>	185

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.- Efectos de varias concentraciones de CO en la salud humana.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 2.- Efectos de varias concentraciones de H₂S en la salud humana.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3.- Efectos de varias concentraciones de Tolueno en la salud humana.</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 4.- Efectos de varias concentraciones de Etanol en la salud humana.</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5.- Efectos de varias concentraciones de Metano en la salud humana.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.- Características Ideales</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 7.- Resumen de consumo de potencia y alimentación.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 8.- Diferencias entre el PIC18F4550 y el PIC18F2455.....</i>	<i>181</i>

INDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i>	<i>44</i>
<i>Ecuación 2</i>	<i>44</i>
<i>Ecuación 3.....</i>	<i>44</i>
<i>Ecuación 4.....</i>	<i>44</i>
<i>Ecuación 5</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 6.....</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 7.....</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 8.....</i>	<i>45</i>
<i>Ecuación 9.....</i>	<i>46</i>
<i>Ecuación 10</i>	<i>46</i>
<i>Ecuación 11</i>	<i>47</i>
<i>Ecuación 12</i>	<i>49</i>
<i>Ecuación 13</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 14</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 15</i>	<i>50</i>
<i>Ecuación 16</i>	<i>52</i>
<i>Ecuación 17.....</i>	<i>53</i>
<i>Ecuación 18</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 19</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 20</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 21</i>	<i>54</i>
<i>Ecuación 22</i>	<i>56</i>
<i>Ecuación 23</i>	<i>57</i>

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

<i>Ecuación 24</i>	58
<i>Ecuación 25</i>	58
<i>Ecuación 26</i>	59
<i>Ecuación 27</i>	66
<i>Ecuación 28</i>	66
<i>Ecuación 29</i>	68
<i>Ecuación 30</i>	101
<i>Ecuación 31</i>	102
<i>Ecuación 32</i>	103
<i>Ecuación 33</i>	103
<i>Ecuación 34</i>	103
<i>Ecuación 35</i>	103
<i>Ecuación 36</i>	106
<i>Ecuación 37</i>	107
<i>Ecuación 38</i>	109
<i>Ecuación 39</i>	113
<i>Ecuación 40</i>	114
<i>Ecuación 41</i>	115
<i>Ecuación 42</i>	115
<i>Ecuación 43</i>	115
<i>Ecuación 44</i>	115
<i>Ecuación 45</i>	116

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto del proyecto: La Ciudad Multidimensional

La Ciudad Multidimensional, Proyecto Singular y Estratégico financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, es una iniciativa conjunta de la Industria, Centros Tecnológicos, Universidades, centros públicos y privados de investigación y otras organizaciones, para acometer el reto que se plantea en nuestra sociedad para obtener unas ciudades más confortables, sostenibles y puestas al día con espacios para las personas, eliminando la mayor parte de las molestias del tráfico, promoviendo los transportes colectivos y sociales, e incidiendo especialmente en la obra subterránea.

Esta iniciativa tiene como objetivo fundamental y prioritario el obtener una industria española competitiva y eficaz en primera línea de Europa y frente a otros mercados internacionales hacer de la ciencia y de la técnica españolas un referente mundial de primera clase. Con *La Ciudad Multidimensional* se pretende dar un salto cualitativo de I+D+i en la industria de la construcción subterránea, con el objetivo de:

- Alcanzar un desarrollo sostenible de las actividades de construcción, en especial en su impacto en el medioambiente.
- Optimizar su eficacia constructiva (planteamiento, materialización y gestión) teniendo en cuenta la durabilidad exigida para la propia obra, el mejor conocimiento de su entorno y la satisfacción del usuario final.
- Mejorar la seguridad y salud laboral, disminuyendo la siniestralidad mediante el uso de tecnologías apropiadas y promoviendo la formación de los agentes implicados.
- Considerar todos los aspectos del ciclo de vida de las obras subterráneas de forma integrada.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

El sector de la construcción subterránea tiene un peso importante en las economías española y europea y cubre una amplia gama de industrias y servicios. Las industrias relacionadas con la construcción de infraestructura por debajo del suelo proporcionan empleo a 14 millones de personas en Europa y contribuyen directamente el 11% del PNB europeo, así como la generación de conexiones que son un factor clave en el desarrollo de la cohesión económica, regional y social española y europea. Con el fin de garantizar una mayor eficiencia y sostenibilidad de los procedimientos y productos implicados en la construcción, operación y mantenimiento de las estructuras por debajo de tierra, es necesario incluir una serie de medidas elaboradas por I + D. El sector bajo tierra de construcción español ha puesto en marcha el proyecto *Ciudad Multidimensional* en respuesta a los retos planteados.

El proyecto *Ciudad Multidimensional*, con número de expediente PSE-380000-2008-5, a cargo de un consorcio de empresas y organismos públicos en el que destaca la presencia de la Universidad Carlos III de Madrid recibió financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación, en el Nacional Plan de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, y fue cofinanciado por el FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional). Este proyecto finalizó oficialmente en el 2009 aunque la Universidad Carlos III se sigue manteniendo una colaboración con alguna de las empresas participantes.

1.2 Motivación

Dentro del proyecto *Ciudad Multidimensional*, la Universidad Carlos III de Madrid en colaboración con la empresa EUROHINCA ha desarrollado el presente proyecto que envuelve el tercer objetivo global anteriormente citado, la seguridad y salud laboral, utilizando tecnologías apropiadas en los trabajos de construcción subterránea.

Los procesos industriales incluyen cada vez más la aparición, utilización o producción de sustancias altamente peligrosas, en particular

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

gases tóxicos. Desgraciadamente éstas son conocidas por sus fugas a la atmósfera y por el riesgo potencial que esto implica para sus empleados y los habitantes que viven en los alrededores.

Una de las partes clave de cualquier plan de seguridad en la reducción de riesgos para el personal es la utilización de mecanismos de advertencia tales como sistemas de detección de gases. Estos permiten realizar acciones preventivas y correctivas.

El propósito de este documento es desarrollar una aplicación de un sistema de sensorización y monitorización continua de la calidad del aire en las construcciones bajo el suelo que irá ubicada en la diana de la cabeza perforadora de una tuneladora en escudo abierto en una excavación con hinca de tubo; así como, indicar los factores y consideraciones que se han tenido en cuenta para realizar la selección de los sensores más adecuados para ésta aplicación, ofrecer una explicación de los principios en que se basan y de la instrumentación necesaria para una protección satisfactoria del personal y del medio ambiente.

1.3 Objetivos

Este proyecto, dentro de la necesidad de mejora de la seguridad en trabajos llevados a cabo con tuneladoras en escudo abierto, implica el desarrollo teórico y práctico de un sistema que integra sensores y todos los componentes necesarios para preservar la salud, en cuanto a calidad del aire, de los operarios y residentes; ya que el manejo de tuneladoras para la ejecución de túneles está siendo cada día más utilizada para la ejecución de proyectos como: colectores y redes de alcantarillado, cruces de carreteras, emisarios submarinos, desagües al mar de emisarios pluviales, desagües al mar de plantas depuradoras, tomas de agua salina para desaladoras, tomas de agua salina para piscifactorías, desagües de fondo para embalses, gaseoductos y oleoductos, conducciones eléctricas, paraguas de microtúnel para cruces entre vías de comunicación, conducciones de tubería metálica a presión, etc.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Por tanto, la realización de éste proyecto persigue los siguientes objetivos:

- Proceso de búsqueda, selección y adquisición de los sensores más adecuados para la detección de los principales gases tóxicos que pueden aparecer en los trabajos de perforación bajo tierra.
- Desarrollo del hardware necesario para la correcta medición y control de las concentraciones de los gases nocivos de las perforaciones, incluyendo tanto la parte de instrumentación (filtros, reguladores, amplificadores,...) como la parte de comunicación, y su integración en una placa de circuito impreso.
- Implementación del software adecuado para la lectura de los sensores, el estudio de los datos obtenidos a través de los mismos y la notificación de dichos datos a un sistema maestro. Todo ello se lleva a cabo con la programación de un PIC usando el entorno de trabajo MPLAB.
- Integración de la aplicación en un sistema global que incluye el guiado y control de la tuneladora y un interfaz gráfico donde se monitoriza en todo momento la posición y orientación de la misma; así como físicamente, la PCB que incluye todo el hardware va ubicada en la diana que contiene el sistema de guiado.
- Puesta en marcha y prueba a fallos de toda la aplicación que consiste en la calibración de la resistencia interna de los sensores elegidos y la comprobación del funcionamiento global del conjunto instalado en la diana.

Todos estos objetivos tienen la finalidad de crear un sistema novedoso y eficaz que mejora los prototipos existentes en el mercado.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Ventajas de la construcción con tuneladoras

Frente al método de construcción tradicional de minería y zanja supone menores riesgos laborales y menor impacto ambiental, ya que se trabaja sin explosivos, no es preciso bajar los niveles freáticos, no hay contacto directo con el frente, no se producen desprendimientos, disminuye la cantidad de escombros y al mismo tiempo no se producen alteraciones en la superficie por lo que produce una molestia menor al ciudadano. Además supone una mayor producción y rapidez en los trabajos ya que reduce el movimiento de tierras y la climatología no afecta a la producción.

2.2. Estado Actual de la tecnología en tuneladoras

Una tuneladora o minador a sección completa es una máquina capaz de excavar túneles a sección completa, a la vez que colabora en la colocación de un sostenimiento si este es necesario, ya sea en forma provisional o definitiva.

En los apartados siguientes se presenta un resumen del estado actual de la tecnología en tuneladoras así como los criterios actualmente admitidos para su utilización.

Existen dos tipos de tuneladoras que se han diseñado para ser utilizadas en terrenos completamente diferentes: **TOPOS** que son tuneladoras diseñadas principalmente para excavar rocas duras y medias sin gran necesidad de soporte inicial y por otro lado, los **ESCUDOS**, que se utilizan principalmente en la excavación de rocas blandas y en suelos, frecuentemente inestables y a veces por debajo del nivel freático, en terrenos saturados de agua.

En el cuadro de la figura 1 se representan las características más relevantes de estos tipos de máquinas que se comentan en los apartados siguientes.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

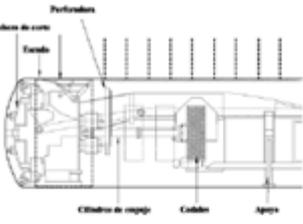
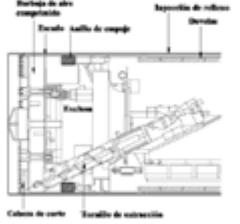
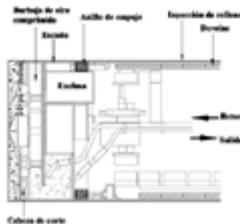
TIPO	ESQUEMA	PRINCIPIO DE EXCAVACIÓN	ASPECTO DEL TERRENO EXCAVADO	MEDIO DE CARGA	TRANSPORTE PRIMARIO	DESTINO DEL ESCOMBRO	PRINCIPAL CONSUMO DE POTENCIA	SOSTENIMIENTO	REVESTIMIENTO	TERRENO IDONEO DE APLICACIÓN
T.B.M.		DISCOS CORTADORES EMPUJADOS CONTRA EL FRENTE	LAMAS CENTRÍMETRICAS	CANGILONES	CINTA AXIAL	ESCOMBRERA	EMPUJAR LOS CORTADORES	CERCHAS — HORMIGÓN PROYECTADO	LA PROPIA ROCA — HORMIGÓN PROYECTADO	MACIZOS ROCOSOS DE RESISTENCIA MEDIA A ELEVADA
E. P. B. ESCUDOS		DISCOS QUE GIRAN CONTRA EL TERRENO	MASA GRANULAR DE CONSISTENCIA PLÁSTICA	TORNILLO DE ANQUILAS	CINTAS	ESCOMBRERA	AMASAR EL TERRENO	EL PROPIO ESCUDO DE LA MÁQUINA	DOVILAS	SUELOS COHESIVOS Y ROCAS BLANDAS
		DISCOS QUE GIRAN CONTRA EL TERRENO	GRÁNULOS EN SUSPENSIÓN ACUOSA	BOMBA DE LODOS	BOMBA DE LODOS	PLANTA DE SEPARACIÓN	BOMBEAR LODOS	EL PROPIO ESCUDO DE LA MÁQUINA	DOVILAS	SUELOS GRANULARES

Figura 1.- Cuadro resumen de características según el tipo de tuneladora.

2.2.1. Tuneladoras de roca dura

Las tuneladoras de roca dura se conocen también como T.B.M (Tunnel Boring Machine) o simplemente "topos".

Su desarrollo inicial se orientó a resolver la construcción totalmente mecanizada de los túneles hidráulicos, en los que la sección circular de excavación resulta la más apropiada.

Las tuneladoras de roca dura son máquinas relativamente simples, pero muy robustas, que realizan los procesos elementales del ciclo de trabajo en la forma que se expone a continuación.

Excavación: La excavación del terreno se realiza empujando contra él unos discos de metal duro que producen la rotura del terreno por

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

compresión, de tal forma que los fragmentos resultantes tienen forma de laja de algunos centímetros de longitud.

Actualmente la mayoría de los discos cortadores tienen un diámetro de 17 pulgadas y son empujados por una fuerza de unas 25 T. En la figura 2 se contempla la cabeza cortadora de la tuneladora utilizada en una galería para el transporte de gas.



Figura 2.-Cabeza cortadora de la tuneladora utilizada en una galería de transporte de Gas.

Para poder absorber la reacción de la cabeza cortadora y para avanzar la tuneladora, estas máquinas se apoyan en el terreno mediante unos grippers, como los que se ilustran en la figura 3.



Figura 3.- Vista de uno de los grippers de una tuneladora.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Carga y transporte de escombros: En la tuneladora de roca dura, la carga del terreno excavado se realiza mediante unos cangilones, incorporados en la cabeza cortadora.

Cuando gira la cabeza, los cangilones llegan a la posición más alta, vertiendo los escombros sobre la canaleta que los conduce a una cinta transportadora situada en el eje de la maquinaria. Esta cinta puede verter dichos escombros sobre vagonetas, para su posterior transporte al exterior del túnel y, a continuación, al vertedero.

Sostenimiento y revestimiento: En la mayor parte de los túneles construidos con tuneladora de roca dura, el sostenimiento se hace mediante sistemas de bulones, cerchas y hormigón proyectado. A veces, cuando el terreno es de buena calidad, el acabado perfecto que tiene la excavación con tuneladora permite prescindir de algún tipo de sostenimiento.

Cuando se considera necesario colocar un revestimiento, este se hace a base de hormigón, normalmente encofrado y, a veces, proyectado.

En lo referente al campo de aplicación de estas máquinas, se ha de decir que, respecto a los diámetros de excavación, las mayores tuneladoras construidas están próximas a los 13 m, aunque los diámetros más utilizados están comprendidos entre los 6 y los 12 m.

En cuanto a las características del terreno, el límite superior está condicionado por la resistencia a compresión simple de la roca intacta y por el contenido en cuarzo o minerales equivalentes.

Para contenidos en cuarzo del orden del 60% y una resistencia a compresión de 200- 250 Mpa, las tuneladoras comienzan a estar en el límite superior de sus posibilidades.

El hecho de que estas máquinas deban apoyar los *grippers* en el terreno, impone un límite inferior de resistencia del terreno para que la máquina pueda avanzar.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.2.2. Escudos de presión de tierras

Los Escudos de Presión de Tierras, también llamados tuneladoras E.P.B. (Earth Pressure Balanced), se han inventado para resolver el problema que plantea la estabilidad del frente de excavación cuando el terreno es inestable.

Esta situación se produce en los túneles excavados en terrenos de tipo suelo, sobre todo si están situados por debajo del nivel freático o cuando el terreno está constituido por una roca blanda y, la profundidad a la que se ha de excavar el túnel es considerable.

Para controlar la estabilidad del frente del túnel los Escudos de Presión de Tierras amasan los terrenos excavados empujándolos contra el frente mediante unos cilindros hidráulicos que empujan la cabeza de corte.

En función de la granulometría del terreno y de su grado de humedad, esta será más o menos fácil de amasar; por eso cuando existen dificultades con el amasado hay que acondicionar el terreno añadiendo agentes como espumas, polímeros o suspensiones de arcillas.

Para mantener la presión de tierras en la cámara de excavación, la extracción de las tierras excavadas, se realiza mediante un tornillo de Arquímedes estanco que, en los escudos de mayor diámetro, llega a medir 1,5 m de diámetro.

A diferencia de las tuneladoras de Roca Dura, los Escudos de Presión de Tierras no se apoyan sobre el terreno; sino que lo hacen sobre el revestimiento del túnel que está constituido por anillos de dovelas. Este apoyo se realiza mediante unos cilindros hidráulicos que constituyen un auténtico anillo de empuje en la parte posterior del escudo.

Los Escudos de Presión de Tierras disponen de una estructura metálica que aísla totalmente la excavación realizada del terreno y permite colocar el revestimiento sin que exista interferencia alguna por parte del terreno excavado.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

De esta forma, físicamente un Escudo de Presión de Tierras tiene, externamente, el aspecto de un cilindro metálico; tal como se muestra en la figura 4.



Figura 4.- Escudo de Presión de Tierras utilizada en el Metro de Valencia.

Dado que el anillo de dovelas se arma completamente dentro del escudo, es necesario que el diámetro exterior del escudo sea mayor que el diámetro externo del anillo de dovelas. De esta forma, al ir avanzando el escudo, los anillos de dovelas, ya montados, salen del interior del escudo dejando un espacio entre su superficie externa y el terreno excavado. Este espacio, que normalmente está comprendido entre 15 y 20 cm, ha de ser rellenado; puesto que, en caso contrario, conllevaría en poco tiempo, un incremento de varios centímetros de la subsidencia que afectaría a la superficie. Habitualmente, en los Escudos de Presión de Tierras, este espacio se rellena con un mortero de cemento que es inyectado con presiones de hasta 10 Kp/cm².

Con el objetivo de que el mortero inyectado no invada la zona de trabajo, protegida por el escudo, todas estas máquinas tienen en su cola un dispositivo denominado juntas de grasa.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

En la figura 5 se ve un esquema de la junta de grasa típica de un escudo construida por tres filas circunferenciales de cepillos de acero, entre les que se inyecta grasa consistente para conseguir la estanqueidad.

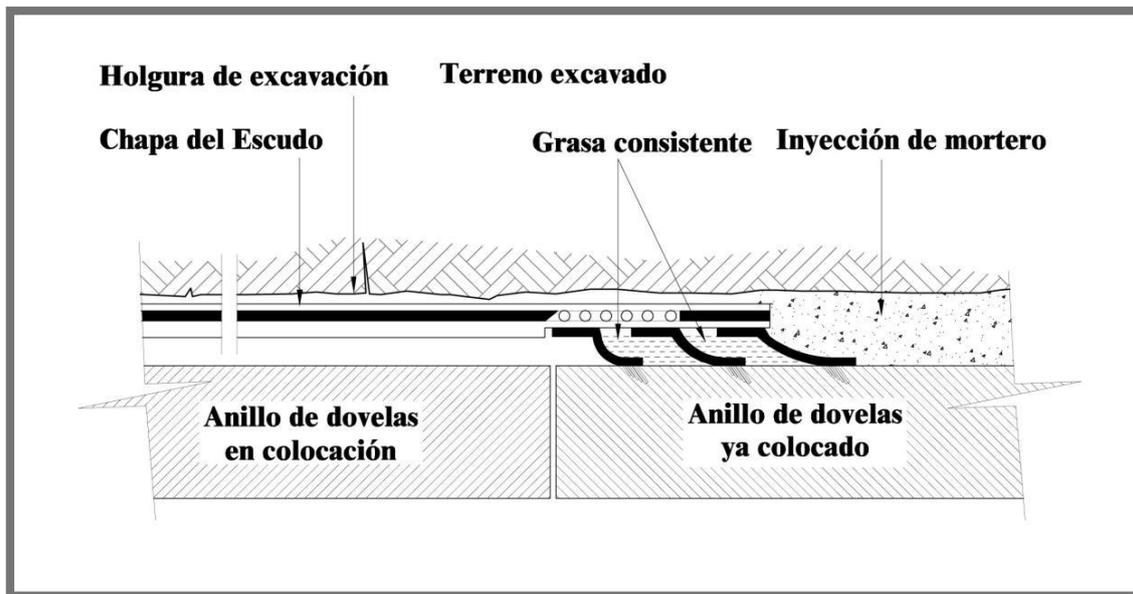


Figura 5.- Esquema de la junta de grasa de un escudo.

Además de la presión de tierras en el frente y de la inyección de mortero a presión, en el extradós de las dovelas, es posible inyectar un lodo arcilloso en el hueco que existe entre la chapa del escudo y el terreno. Esta inyección de arcilla puede servir tanto para minimizar las fuerzas de rozamiento que se oponen al avance del escudo, como para mantener el terreno confinado y disminuir al máximo la subsidencia en la superficie exterior.

Cuando el Escudo de Presión de Tierras ha de pararse, en general, la presión en el frente no podrá eliminarse; puesto que, si la presión desapareciese, el frente se volvería inestable y en consecuencia colapsaría. Es por ello, que cuando es necesario revisar los escudos se utiliza aire comprimido para mantener la presión en el frente. En estas condiciones, para acceder al frente, el escudo dispone de un sistema de esclusas, para

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

permitir el paso de personas, así como un mecanismo para poder cerrar la entrada de tierras al mecanismo de extracción.

Todos los Escudos de Presión de Tierras disponen de una grúa móvil, llamada erector, que permite manipular las dovelas para armar el anillo completo. Actualmente la mayor parte de los erectores manipulan las dovelas sujetándolas mediante un sistema de succión, al igual que los sistemas de elevación necesarios para descargar las dovelas que llegan al escudo para ser colocadas. En la figura 6 se muestra una vista de la manipulación de una dovela por succión.



Figura 6.- Manipulación de una dovela por succión.

Los Escudos de Presión de Tierras son máquinas mucho más complejas que las Tuneladoras de Roca Dura, pues realizan funciones más complicadas y variadas que las necesarias para construir un túnel en roca dura.

Por ello, los Escudos de Presión de Tierras tienen unas instalaciones auxiliares complejas, que van unidas en un conjunto de remolques, también llamados back up, arrastrados por el propio escudo. Es normal que el conjunto de un escudo y sus instalaciones remolcadas ocupen una longitud de túnel de 120 y 180 m.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Todos los escudos de presión de tierras disponen de un puesto de mando desde el que se controla la trayectoria y los parámetros que definen el funcionamiento de la tuneladora en el proceso de ejecución del túnel. Entre éstos destaca, de forma especial, la evolución de la presión de las tierras en la cámara de excavación; que ejerce un efecto muy directo e importante sobre la subsidencia que se produce en la superficie después del paso de la tuneladora.

Conseguir la presión de tierras adecuada en el frente no es una tarea sencilla en las tuneladoras de grandes diámetros que construyen túneles a poca profundidad.

En lo que se refiere a la ejecución de los trabajos que tradicionalmente componen el ciclo de avance durante la construcción de un túnel, los Escudos de Presión de Tierras trabajan de la forma que se expone a continuación:

Excavación: En los Escudos de Presión de Tierras la excavación del terreno, dado que ésta es de poca resistencia, se realiza con cinceles metálicos que están fijados en la cabeza de corte.

Carga y transporte de escombros: La extracción así como la carga primaria del terreno excavado se realiza, tal como ya se ha expuesto, mediante un tornillo de Arquímedes estanco, que vierte sobre las cintas del back up que alimentan el sistema de transporte.

El transporte de los escombros hasta el exterior del túnel se lleva a cabo, indistintamente, mediante una cinta transportadora o vagonetas arrastradas por locomotoras.

Sostenimiento y revestimiento: Las funciones de sostenimiento están aseguradas por la presión de tierras en el frente además de por la propia estructura que impide al terreno entrar en el volumen excavado. El revestimiento se realiza con anillos de dovelas de hormigón, armados bajo la protección de la estructura del escudo e inyectados con mortero en su extradós.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Los Escudos de Presión de Tierras (figura 7) están hechos para ser utilizados, sobre todo, en la construcción de túneles en suelos arcillosos o rocas blandas, condiciones que hacen inestable el frente de excavación.

Los Escudos Cerrados son aquellas tuneladoras que tienen la posibilidad de presurizar el frente para equilibrar las presiones del terreno mientras que en los Escudos Abiertos es fundamental la ausencia de niveles freáticos y el terreno a perforar ha de ser cohesivo, siendo desaconsejable su utilización en los terrenos muy sueltos y sin cohesión, muy resistentes o en presencia de agua.



Figura 7.- T.B.M. con escudo

Otro tipo de revestimiento es el que utiliza hinca de tubería. En este tipo de perforación, se utiliza el tubo como elemento definitivo del túnel y al mismo tiempo como elemento de empuje sobre la tuneladora (Hidroescudo, Escudo abierto o EPB).

El avance se realiza gracias al empuje ejecutado por un conjunto de cilindros de empuje instalados en el pozo de ataque sobre el tubo de hinca, el cual ha sido fabricado siguiendo unas normas estrictas, para poder soportar grandes esfuerzos longitudinales y transversales sin sufrir ningún deterioro.

El tubo situado sobre el bastidor formará parte del túnel una vez concluida la hinca, cada tubo lleva instalada una junta en la boquilla, que debe garantizar la estanqueidad así como de una "sufridera" en la cola, que absorbe las posibles irregularidades del tubo y que permite que este no sufra al unir dos tubos y empujar hormigón con hormigón.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

En todas las hincas se construye un pozo de ataque con un muro de reacción que soportara las presiones de empuje de toda la tubería y un pozo de llegada donde se rescatara la maquina. Para hincas de gran longitud, se instalan unos elementos entre los tubos que se denominan "Estaciones Intermedias", y que permiten distribuir los esfuerzos entre varios tramos.

Los distintos tipos de tubería a hincas y más habituales son:

- Tubo de hormigón armado.
- Tubo de acero.
- Tubo de polycrete o de resina de poliéster.
- Tubo cerámico o de gres.

2.2.3. Hinca de tubos.

Sin duda la técnica que más profusión ha tenido, debido a las múltiples ventajas que ofrece en ciertas circunstancias, es la instalación con hinca de tubo. A continuación se expone los fundamentos básicos de este sistema de puesta en obra.

Las principales tecnologías para realizar el hincado de tubería son:

- **Barrenado:** consiste en la perforación por barrenado del terreno, retirada del material mediante un tornillo sinfín y colocación de tubería. En las instalaciones en túnel, la excavación debe coincidir lo más ajustadamente que sea posible con la superficie exterior de la tubería, al igual que si se emplea el sistema de hinca directa de tubos gracias a microtunneladoras.
- **Microtunneladoras:** Requiere el uso de maquinaria especializada (tunneladoras, escudos, estaciones de empuje, estación de bombeo de bentonita,...) y de tubos especialmente diseñados para esta aplicación que puedan resistir las tensiones de empuje y cuyas

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

uniones no sean dañadas durante la puesta en obra. Con esta finalidad los tubos son equipados con unas piezas protectoras denominadas virolas, que garantizan la perfecta estanqueidad de la conducción.

El hincado de tuberías de hormigón armado con microtuneladoras es el sistema más empleado. Consta de las siguientes partes principales:

- **Pozo de ataque:** para realizar un cruce subterráneo mediante el método de hincado con escudo abierto, lo primero que se prepara es el pozo de ataque desde el que se desea comenzar la hincado de tubos. Debe tener espacio suficiente para alojar los componentes de la hincado y proteger la zona de trabajo. Su pared posterior ha de ser capaz de resistir los empujes previstos para colocar la tubería.



Figura 8.- Pozo de ataque

- **Cabeza perforadora:** formada básicamente por el cabezal de ataque donde van colocados los grupos eléctricos, oleohidráulico y compresor así como los depósitos de aire y combustible y las distintas coronas de corte dependiendo de los terrenos a perforar. En esta sección suelen incluirse los cuadros eléctricos y automatismos,

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

además del pupitre de control y la cabeza de guiado, por lo que el operario-maquinista dispone de total información durante el trabajo. El pupitre de mando ofrece la situación exacta de los gatos hidráulicos para el direccionamiento de la cabeza, pudiendo corregir las posibles desviaciones de trayectoria. Estos equipos suelen ir dotados de un sistema de guiado por láser para conocer en cada momento la posición real.

- **Sistema de extracción:** normalmente está compuesto por una cinta situada detrás de la tolva del escudo que vierte el material o detritus en una vagoneta de capacidad suficiente en función de las dimensiones de la tubería y el pozo de ataque. Una vez llena la vagoneta, por medio de un cabestrante hidráulico se retira hasta el pozo de ataque, donde se evacuan el detritus fuera del pozo. Acabada esta acción, se deposita nuevamente la vagoneta en el pozo de ataque y por medio de otro cabestrante situado en la propia maquina se introduce dentro de la tubería para así continuar con el ciclo de excavación-extracción-avance. También existe la posibilidad de la evacuación del material excavado por medio de una locomotora y vagonetas adecuadas al uso.



Figura 9.- Carga de la vagoneta

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Elemento de empuje:** formado por un sistema de cilindros hidráulicos en número adecuado al diámetro de los tubos que, a través de una corona para repartir esfuerzos, empuja sobre los tubos para introducirlos en la perforación. Dado que los cilindros hidráulicos tienen un recorrido limitado, se colocan unos postizos a medida que el tubo va introduciéndose con el fin de no parar el avance.



Figura 10.-Cilindros de empuje

Cuando los cilindros hidráulicos han realizado todo su recorrido, se recogen y se cuenta con espacio suficiente para bajar al pozo de ataque el primer tubo de hormigón. Esta operación se repite hasta llegar al pozo de salida por el cual se rescata la tuneladora.

Cuando la tubería hincada es de gran longitud se hace necesaria la utilización de estaciones intermedias de empuje. Estas constan de un sistema de cilindros hidráulicos de carrera corta, cuyo empuje actúa alternándose con el de la estación principal. La longitud de una perforación viene condicionada por la máxima presión que pueden desarrollar los cilindros y, por otra parte, por la resistencia que ofrece la compresión longitudinal de la tubería.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

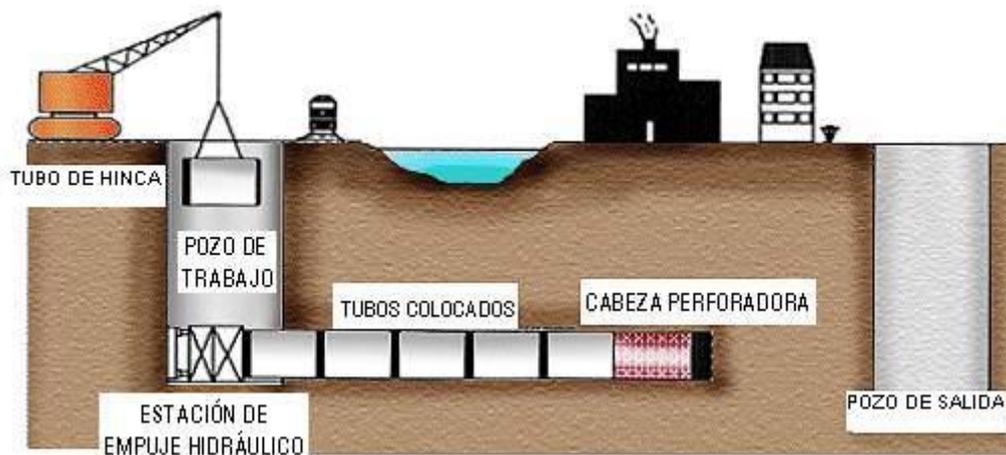


Figura 11.-Esquema de hinca



Figura 12.-Vista general de obra

Los tubos de hormigón armado para hincado, por los esfuerzos que deben soportar y por la complejidad del hincado (ya que requiere un perfecto paralelismo entre sus caras), deben ser diseñados y fabricados siguiendo los más estrictos controles de calidad. Hay, de hecho, cuatro aspectos fundamentales que caracterizan y condicionan el diseño de la tubería de hincado:

- Limitación de la longitud útil a tres metros como máximo para evitar el pandeo. Así mismo, las superficies de los frontales de los tubos, que transmitirán la carga de empuje durante el montaje de la tubería, deben ser planas y estar libres de irregularidades que puedan dar lugar a concentraciones puntuales de carga. La norma

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

UNE 127 010 marca, en su apartado **5.4.1.**, las tolerancias dimensionales admisibles para este tipo de tubos.

- Los tubos llevan un zuncho metálico galvanizado (virola) en uno de sus extremos de forma que para conseguir la estanqueidad de la conducción se colocará una junta elástica en el extremo macho del tubo para que en la unión haga tope contra la virola. Esta pletina debe ser de acero y se incorpora a los tubos durante el proceso de fabricación de modo que su unión resulte solidaria. Para ello se conecta adecuadamente a la armadura de la tubería. Además entre las testas de los tubos se intercalaran aros de madera conglomerada (sufrideras) que evitan el desconche del hormigón al recibir los esfuerzos de empuje.
- Los tubos de hinca llevan instalados unos taladros metálicos en las paredes del tubo para facilitar la instalación en obra al permitir la inyección de lodos bentoníticos que lubrican reduciendo el rozamiento y evitan el posible desmoronamiento del terreno perforado.
- En el caso de juntas a medio espesor, las armaduras de los tubos de hinca deben prolongarse desde el cuerpo del tubo hasta los extremos macho y hembra. La armadura transversal debe reforzarse en un 20 % en ambos extremos del tubo. Además se deben disponer estribos que conecten la armadura exterior e interior en los dos extremos del tubo. La cuantía de la armadura longitudinal debe ser al menos de un 10% de la armadura transversal, con una separación máxima entre barras de 40 cm.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Figura 13.-Tubos de hormigón armado para hinca

Durante la instalación de tubos de hormigón armado hincados con empujador existen dos tipos de carga aplicadas sobre el tubo: la carga de tierra debida al relleno, con la posibilidad de alguna sobrecarga debida al asentamiento del terreno de alrededor, y la compresión longitudinal provocada por las presiones aplicadas con el empujador al instalar el tubo.

El cálculo de la carga de relleno, aplicando la teoría de Marston, depende del peso del prisma de tierras sobre la perforación, de las fuerzas de rozamiento entre el prisma de tierra situado sobre la perforación y los prismas adyacentes y de la cohesión del terreno.

La fuerza del empuje se compone de la fuerza en el frente de avance y la fuerza del rozamiento envolvente. Para el cálculo en el frente de avance se tiene en cuenta la tensión de corte del terreno, cuyo valor oscila entre 300 y 600 kN/m². En el cálculo del rozamiento envolvente se considera que el terreno se aplica omnidireccionalmente al tubo, siendo este criterio el más desfavorable. Para reducir el rozamiento se puede considerar el uso de productos lubricantes, como la bentonita, que reducen el rozamiento por debajo de 10kN/m², siendo el coeficiente de fricción tubo-relleno más restrictivo, $m = 20 \text{ kN/m}^2$.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.3. Estado actual de la tecnología en sensores de gases tóxicos

Los sensores de gases generalmente constan de elementos físicos (transductores) sobre los cuales se deposita una capa activa capaz de adsorber y/o interactuar con ciertos gases. Estas capas actúan como elementos detectores de gases y dan una gran información de los elementos químicos que conforman el medio ambiente. Los mecanismos de detección involucran cambios en la conductividad eléctrica del óxido metálico ante la presencia de un gas tóxico/combustible y oxígeno debido a las reacciones catalíticas de oxidación/reducción que ocurren en la superficie del óxido metálico. Estas reacciones catalíticas son controladas por varias características del material utilizado, como puede ser la composición química, estructura cristalina y morfología de la superficie expuesta al gas.

Desde hace décadas se han dedicado una gran cantidad de esfuerzos para desarrollar dispositivos capaces de detectar gases tóxicos y/o de monitorizar el medio en el que vivimos. Los dispositivos obtenidos al final del proceso de diseño y fabricación deben permitir la monitorización continua de un amplio espectro de gases en el medio ambiente. Sin embargo la escasa selectividad que afecta a la mayoría de sensores de gases hace que puedan producirse errores a la hora de identificar con exactitud el gas (o mezcla de gases) detectado. Adicionalmente, la existencia de otros problemas inherentes a la mayoría de sensores de gases (por ejemplo, las derivas en su respuesta, su pobre reproducibilidad, etc.) no han permitido aplicarlos de forma masiva, fácil, rápida, y fiable en la multitud de aplicaciones en que potencialmente podrían ser empleados. La amplia demanda en la producción de sensores de alta sensibilidad y selectividad ha generado de manera sostenida en los últimos veinte años un crecimiento en el estudio de las propiedades de la superficie y el volumen de muchos materiales con un gran potencial de uso como materiales activos

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

para sensores de gases. Hoy en día es muy importante poder detectar trazas de gases contaminantes utilizando sistemas de bajo costo.

Para detectar trazas de diferentes gases algunos polímeros de tipo semiconductor han sido utilizados como capas activas en muchos sensores debido al gran espectro de gases que son capaces de detectar y a la simplicidad en su proceso de fabricación. Sin embargo, tienen inconvenientes: la alta sensibilidad a la humedad, sus derivas temporales y su incapacidad de detectar hidrocarburos. El desarrollo de otros tipos de sensores de gases de estado sólido, fundamentalmente basados en óxidos metálicos, ha intentado solucionar estos inconvenientes.

Los aspectos que más se desean en los materiales que son capaces de interactuar con los gases son: una alta sensibilidad y selectividad, bajos tiempos de respuesta y recuperación, mínima degradación, capacidad de operar a temperaturas muy cercanas a la temperatura ambiente, bajo consumo de potencia y que no incluyan materiales costosos en su interior. El método de preparación de estos materiales juega un papel importante en las características del sensor. También es posible realizar mejoras a las capas activas compuestas por óxidos metálicos. Éstas se pueden dopar con pequeñas cantidades de metales catalíticos con el fin de mejorar su selectividad y sensibilidad. Por otro lado, las tecnologías de fabricación de estas capas hacen posible la integración de varios sensores en pequeñas áreas, con un consumo de potencia relativamente bajo. Entre los métodos más usados se encuentran los de deposición por evaporación física (PVD), deposición por evaporación química (CVD) e incluso técnicas de preparación por sol-gel.

Los materiales que más se utilizan como sustratos son el óxido de silicio (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y otros sustratos de tipo cerámico, debido a su alta estabilidad térmica y a su gran aislamiento eléctrico. También se puede usar el silicio, explotando sus excelentes propiedades mecánicas, lo que hace viable aplicar los métodos de desarrollo y producción de circuitos integrados en la fabricación de muchos sustratos.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Los sensores comúnmente 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 y detectores de fotoionización.

2.3.1. Sensores Electroquímicos

2.3.1.1. Principio de Operación

Un típico sensor electroquímico consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito.

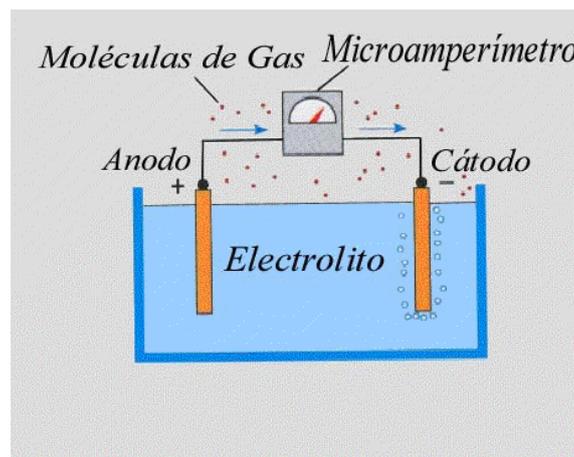


Figura 14.- Sensor Electroquímico.

Como puede observarse en la figura 14, 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. Una corriente proporcional a la concentración de gas es generada, la que puede ser medida para determinar la concentración de gas.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.3.1.2. Características y Aplicaciones

El concepto erróneo más común acerca de los sensores electroquímicos es que todos tienen las mismas características de desempeño y fiabilidad. Por el contrario, hay muchas formas en que los sensores electroquímicos están contruidos, dependiendo del tipo de gas a detectar y del fabricante, cada tipo de sensor es diferente.

Características comunes:

- *Bajo Consumo de Energía.* Esto permite que el sensor sea usado en unidades portátiles, alimentadas con baterías.
- *Buena Sensibilidad.* Este sensor es fundamentalmente conveniente para aplicaciones de límite permisible en el área de trabajo. No es apto para aplicaciones de gases combustibles.
- *Selectividad.* Comparado con otros sensores, ciertos sensores electroquímicos son bastante selectivos al gas objetivo para el cual fueron diseñados. Algunos sensores, sin embargo, 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 que el sensor es usado. Generalmente, la expectativa de vida es uno a tres años. 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 sobrevive por 100 horas.

Alrededor de 30 gases pueden ser detectados con los sensores electroquímicos en bajos rangos de ppm.

Sensores diseñados para detectar gases tales como monóxido de carbono, sulfato de hidrógeno, dióxido de sulfuro, cloro y dióxido de

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

nitrógeno son buenos sensores capaces de comportarse de acuerdo a las expectativas. Sensores para otros gases pueden ser mucho menos fiables de lo especificado.

En general, un sensor electroquímico es un tipo popular de sensor comúnmente usados en instrumentos portátiles para aplicaciones de bajas concentraciones. Para aplicaciones estacionarias, el uso es más limitado.

2.3.1.3. Ejemplo

Un ejemplo de sensor electroquímico, que además es válido para la aplicación de la tuneladora, es el TGS 5042 de FIGARO. Su datasheet está incluido en el anexo I de este documento.

2.3.2. Sensores Catalíticos de gases combustibles

2.3.2.1. Principio de Operación

Una mezcla combustible de gases no se quemará hasta que alcance la temperatura de ignición. En presencia de materiales catalíticos, sin embargo, el gas empezará a quemarse a temperaturas más bajas.

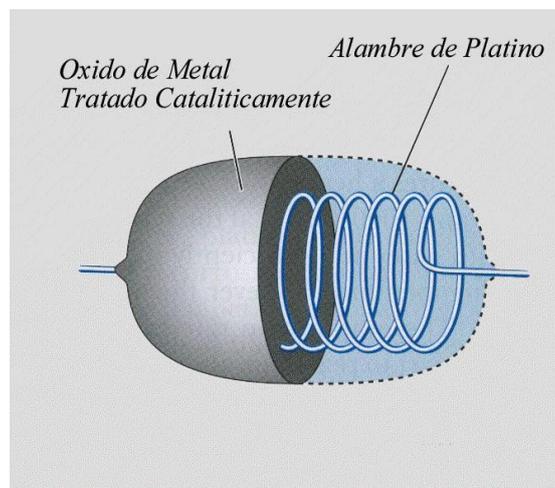


Figura 15.- Sensor Catalítico de gases combustibles.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Un alambre de platino en espiral es recubierto con un óxido metálico tratado catalíticamente (ver figura 15). 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. El cambio de temperatura altera la resistencia del alambre de platino, que es conectado a un circuito de puente Wheatstone que produce una señal proporcional a la concentración del gas.

2.3.2.2. Características y Aplicaciones

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

Características comunes:

- *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.
- *Expectativas de Vida.* Esto depende del fabricante y de la aplicación; típicamente se especifica de uno a dos años de vida útil.
- *Alteración del Catalizador.* Hay elementos químicos que desactivarán el catalizador y harán el sensor insensible al gas.
- *Factores de Corrección.* La mayoría de los sensores catalíticos se calibran comúnmente con metano. La salida es diferente para otros hidrocarburos. Generalmente, un fabricante provee un set de factores de corrección que permiten al usuario medir diferentes gases multiplicando las lecturas con los factores de corrección apropiados.

Los factores de corrección son exactos bajo condiciones controladas tales como cuando se utilizan los mismos tipos de sensores con el mismo calefactor y calibración. Ligeras diferencias entre sensores individuales o

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

cambios a medida que el sensor envejece pueden causar que los factores de corrección cambien.

La calidad de los sensores catalíticos puede variar dramáticamente de un fabricante a otro.

2.3.2.3. Ejemplo

Un ejemplo de sensor catalítico de gases combustibles es el TGS 6810 de FIGARO. También es un sensor utilizable en la aplicación de la tuneladora. En el capítulo 4.1 de este documento se especifica de forma precisa los criterios en la elección de los sensores y por qué éste y el resto de los ejemplos son utilizables o no en la aplicación. Su datasheet también está incluido en el anexo I de este documento.

2.3.3. Sensores de Gas de Estado Sólido

2.3.3.1. Principio de Operación

Un sensor de estado sólido (figura 16) 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.

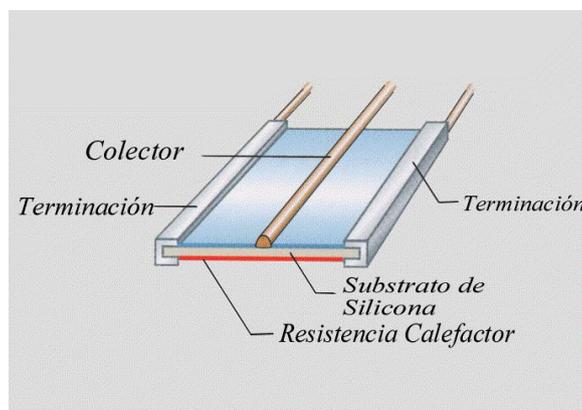


Figura 16.- Sensor de gas de estado sólido.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Un calefactor se inserta en el sensor para mantener el sensor a una temperatura óptima para la detección del gas. En presencia de un gas, el óxido metálico causa una disociación del gas en iones cargados o complejos, resultando la transferencia de electrones. Un par de electrodos apropiados se insertan en el óxido metálico, para medir sus cambios de conductividad en forma de señal.

2.3.3.2. Características y Aplicaciones

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

- *Versatilidad.* Diferentes características de respuesta de sensores se logran variando los materiales de óxidos metálicos, técnicas de procesamiento y temperatura de operación. Esto permite que los sensores de estado sólido detecten cientos de gases en una gran variedad de rangos. A menudo, un sistema de monitoreo de gases necesita monitorear varios gases en concentraciones a baja toxicidad y concentraciones combustibles altas. La flexibilidad y versatilidad de los sensores de estado sólido eliminan o minimizan el uso de otros tipos de sensores que tienen que ser designados y mantenidos diferentemente.
- *Expectativas de Larga Vida.* Un sensor de estado sólido apropiadamente construido y usado en aplicaciones normales tiene una expectativa de vida superior a los 10 años. Hay instancias en sensores que han estado en operación continua por más de 25 años sin un problema. De la simplicidad en la construcción del sensor resulta en un sensor robusto que puede resistir golpes y vibración, y puede construirse para configuraciones con cajas antiexplosivas.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- *Selectividad.* Generalmente, los sensores de estado sólido tienen una selectividad limitada.

2.3.3.3. Ejemplo

El CO₂-D1 de ALPHASENSE es un ejemplo de sensor de estado sólido. En el anexo I de este documento se puede consultar su datasheet.

2.3.4. Sensores de Infrarrojos

Analizadores y monitores usan tecnología infrarroja. Este documento sólo habla del grupo de instrumentos que son simples, robustos y aptos para el monitoreo de calidad del aire en áreas de trabajo.

2.3.4.1. Principio de Operación

Gases cuyas moléculas tienen de dos o más átomos diferentes absorben la radiación Infrarroja en longitudes de onda específicas. Esta energía absorbida causa que se incremente la temperatura de las moléculas de gas. El cambio de temperatura se mide como una concentración de gas. En la figura 17 puede observarse la base del principio físico de su funcionamiento.



Figura 17- Sensor de Infrarrojos.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.3.4.2. Características y Aplicaciones

- *Mínimo Contacto Físico.* El monitoreo usando un sensor infrarrojo se logra midiendo la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas de gas. Esto es diferente a la mayoría de las otras tecnologías en las cuales los sensores están directamente en contacto con el gas objetivo, que puede causar errores tempranos. Con sensores infrarrojos, los componentes principales están protegidos por aparatos ópticos y, por esto, el sensor puede ser usado en forma continua, expuesto a altas concentraciones de gas.
- *Robusto.* Los sensores al no estar expuestos directamente al gas, no se queman o se saturan/fallan, ni se alteran debido a una prolongada exposición al gas. Estos problemas son generalmente asociados con otro tipo de sensores. Además, estos son construidos comúnmente para satisfacer requerimientos antiexplosivos.
- *Antifallo.* 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.

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.

2.3.4.3. Ejemplo

Un ejemplo de detector de infrarrojos es el Guardian SP sensor de EDINBURGH INSTRUMENTS. Al igual que el resto de ejemplos su datasheet está disponible en el anexo I de este documento.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.3.5. Detectores 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).

2.3.5.1 Principio de Operación

Una lámpara ultravioleta especialmente construida (UV) genera energía de radiación UV. Las moléculas del gas se ionizan por esta radiación UV, que es medida como una concentración de gas (ver figura 18). La lámpara tiene un nivel de radiación de energía expresada en electrón-Voltio (eV).

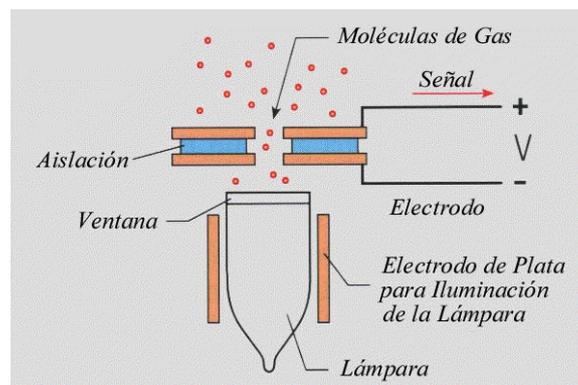


Figura 18.- Detector de Fotoionización.

La energía establecida para lámparas estándares es de 8.4 eV, 9.6 eV, 10.6 eV y 11.7 eV. La de 10.6 eV es la más práctica porque la lámpara es más robusta que otras. La lámpara de 11.7 eV usa fluoruro de litio que es suave, frágil y fácilmente dañable. Gases con un potencial de ionización por debajo del nivel de salida de la lámpara serán detectados. Por ejemplo, benceno tiene un potencial de ionización de 9.4 eV y es detectable con una lámpara de 9.6, 10.6 o 11.7 eV.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.3.5.2 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.
- *Sólo Aplicaciones Portátiles.* La lámpara necesita ser limpiada a menudo y el instrumento calibrado frecuentemente para mantener la precisión. Por esto, los instrumentos PID no son prácticos para aplicaciones de sistemas multisensor.

2.3.5.3. Ejemplo

El detector SIRIUS – PID & 4-Gases de MSA es un ejemplo de un detector de fotoionización de gases. Su datasheet está disponible en el anexo I.

2.4. Circuitos de Acondicionamiento y medida

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

2.4.1. Puente de Wheatstone

Un puente de Wheatstone es un instrumento eléctrico de medida inventado por Samuel Hunter Christie en 1832, mejorado y popularizado por Sir Charles Wheatstone en 1843. Se utiliza para medir resistencias

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

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.

2.4.1.1. Descripción

La forma básica de un puente de Wheatstone tiene una fuente de corriente continua y cada uno de los brazos del puente es una resistencia, como se muestra en la figura 19.

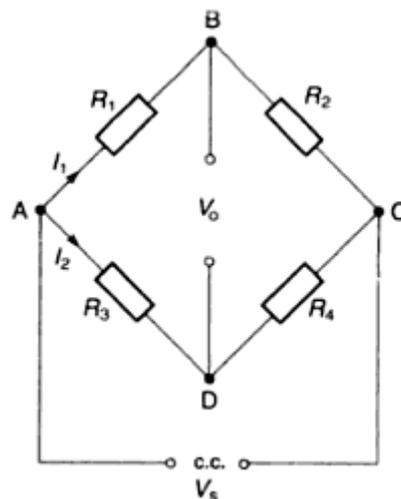


Figura 19.-Disposición del Puente de Wheatstone

Las resistencias en los brazos del puente, es decir, R_1 , R_2 , R_3 y R_4 , se han ajustado de tal manera que la salida de la diferencia de potencia V_0 sea cero. Si se conecta un galvanómetro entre los terminales de salida, las resistencias se ajustan para dar una corriente nula a través de él. Con tal condición, el puente se dice que está equilibrado.

Cuando la diferencia de potencial de salida es cero, entonces el potencial en B es igual que en D. Esto significa que la diferencia de potencia entre R_1 , es decir, V_{AB} , debe ser igual que entre R_3 , es decir, V_{AD} . Por tanto,

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

$$I_1 R_1 = I_2 R_3 \quad \text{Ecuación 1}$$

También significa que la diferencia de potencial entre R_2 , es decir, V_{BC} , debe ser igual que entre R_4 , es decir, V_{DC} . Como no hay corriente a través de BD, entonces la corriente a través de R_2 debe ser I_1 y a través de R_4 debe ser I_2 . Por tanto,

$$I_1 R_2 = I_2 R_4 \quad \text{Ecuación 2}$$

Así pues,

$$I_1 R_1 = I_2 R_3 = (I_1 R_2 / R_4) R_3 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad \text{Ecuación 4}$$

La condición de equilibrio es independiente de la fuente de tensión, dependiendo únicamente de las resistencias de los cuatro brazos del puente. Si R_2 y R_4 son dos resistencias fijas y conocidas y R_1 es una resistencia desconocida, entonces R_3 puede ajustarse para dar la condición de diferencia de potencial cero y R_1 se puede determinar a partir de los valores conocidos de R_2 , R_3 y R_4 . Con una adecuada elección de la relación R_2/R_4 , un pequeño cambio en la resistencia de R_1 se puede determinar mediante un cambio mucho mayor en la resistencia R_3 .

El puente de Wheatstone se utiliza para medidas de precisión de resistencias desde aproximadamente 1Ω hasta $1 M\Omega$. La precisión está determinada, principalmente por la precisión de las resistencias conocidas que se utilizan en el puente y por la sensibilidad del detector de cero. Los errores se pueden producir por cambios en las resistencias de los brazos de puente debidos a los cambios de temperatura y f.e.m. producidas por el contacto de metales distintos. Cuando se miden resistencias de pequeño valor, la resistencia de los hilos y contactos que conectan a las resistencias al puente pueden jugar un papel significativo, así como cuando una de las resistencias se encuentra físicamente mucho más alejada que las demás

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

(ver la posterior aclaración en este mismo capítulo para justificar este punto, apartado 2.4.1.3).

2.4.1.2 Sensibilidad y linealidad

Lograr la linealidad del sistema es una de las exigencias del acondicionador analógico en cualquier sistema de medida.

Si se considera que el puente de Wheatstone mostrado en la figura 19 no tiene un galvanómetro conectado a los terminales de salida, la resistencia de carga de salida tiene un valor infinito. La fuente de tensión se conecta entre los puntos A y C y, por tanto, la caída de potencial en la resistencia R_1 es:

$$V_{AB} = \frac{V_S * R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{Ecuación 5}$$

De forma similar, la diferencia de potencial entre R_3 es:

$$V_{AD} = \frac{V_S * R_3}{R_3 + R_4} \quad \text{Ecuación 6}$$

Por tanto, la diferencia de potencial entre los puntos B y D, esto es, la diferencia de potencial de salida V_0 , es:

$$V_0 = V_{AB} - V_{AD} = V_S \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

Si R_1 es la resistencia desconocida, entonces la relación entre su valor y la diferencia de potencia de salida V_0 es una relación no lineal. Cuando V_0 es cero, esta ecuación es idéntica a la ecuación 4.

Un cambio en la resistencia de $R_1 = R_1 + \Delta R_1$ produce un cambio en la salida de $V_0 = V_0 + \Delta V_0$, por lo que:

$$(V_0 + \Delta V_0) - V_0 = V_S \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad \text{Ecuación 8}$$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Si ΔR_1 es mucho más pequeño que R_1 , lo que es un caso muy frecuente, entonces la ecuación 8 se aproxima a:

$$\Delta V_0 = \frac{V_s * \Delta R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{Ecuación 9}$$

En tales condiciones el cambio en la diferencia de potencial de salida ΔV_0 es proporcional al cambio en la resistencia ΔR_1 .

Con el puente de Wheatstone, la tensión de salida es la pequeña diferencia entre dos tensiones mayores, las comprendidas entre B y D. Un amplificador se puede utilizar para amplificar esta diferencia de tensión e, idealmente, la amplificación debería ser proporcional a la diferencia de tensión y no depender de los valores de las dos tensiones.

Si se realizan los siguientes cambios de variable, $\Delta R_1 = xR_1$ y $k = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, donde x representa el tanto por ciento de R_1 , la ecuación 4.7 queda como:

$$V_0 = V_s \frac{k * x}{(k + 1) * (x + k + 1)} \quad \text{Ecuación 10}$$

De esta expresión se deduce que la salida es lineal para $x \ll k+1$ (ver figura 20).

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

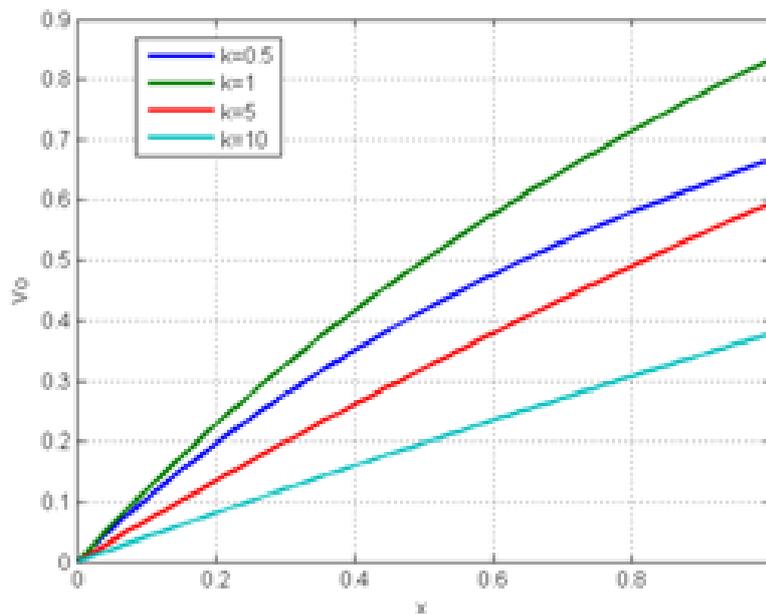


Figura 20.- Linealidad de la salida V_0 de pendiente de k .

La sensibilidad es la relación de la variación de la salida del puente V_0 respecto a la variación de la resistencia R_1 . Siguiendo con los términos obtenidos tras el cambio de variable la sensibilidad se puede expresar como:

$$S = \frac{dV_0}{dx} = \frac{V_s * k}{(k+1)(k+1+x)} \quad \text{Ecuación 11}$$

A partir de esta expresión se deduce que la máxima sensibilidad se obtiene para $k^2=x+1$.

La sensibilidad es directamente proporcional a la tensión de alimentación del puente, pero, en la misma medida que la razón característica de resistencias del puente sea mayor con el propósito de lograr mejor linealidad, la sensibilidad se reduce (para valores pequeños de x la linealidad entra en conflicto con la sensibilidad).

La sensibilidad es independiente de la variable a medir, sólo depende de la razón característica de resistencias del puente. Por lo que en el diseño

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

de este acondicionador surge un compromiso entre linealidad y sensibilidad. Posibles soluciones:

- Limitar la medida a un rango estrecho.
- Sacrificar la sensibilidad empleando valores elevados de k , tratando de compensar esta reducción con mayores voltajes.
- Linealización mediante técnicas analógicas o digitales.

2.4.1.3. Montaje a tres hilos

Es muy frecuente que el puente no pueda estar físicamente ubicado cerca de la resistencia o sensor a medir. Por ello se emplean cables conductores más o menos largos que poseen una resistencia R_h , a menudo apreciable en comparación con la resistencia a evaluar y que sus cambios con la temperatura pueden afectar seriamente a la medida.

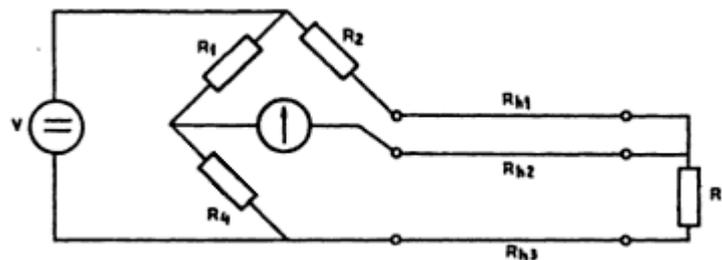


Figura 21.- Montaje a tres hilos de un puente de Wheatstone.

En caso de utilizarse conductores de aleaciones especiales de muy pequeño coeficiente térmico de variación de resistencia tales como constantán o manganina para poder evitar los errores por cambio en la temperatura de los mismos, sus resistencias suelen ser muy altas. Si, por el contrario, se utilizan cables de cobre de muy baja resistencia, los cables pueden incorporar errores por su alto coeficiente térmico. Una solución la ofrece el "método Siemens" de conexión del puente o conexión a tres hilos, ilustrado en la figura 21. Si los cables 1 y 3 son idénticos (longitud, material, calibre de la sección transversal) sus resistencia R_h son iguales y experimentan las mismas variaciones térmicas. Las características del cable

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2 son irrelevantes, pues en el equilibrio no circula corriente alguna por la rama central del puente.

Así pues la expresión en equilibrio es:

$$R_3 = \frac{R_4(R_2 + R_h)}{R_1} - R_h \quad \text{Ecuación 12}$$

2.4.2. Amplificador de Instrumentación

Un amplificador de instrumentación es un amplificador diferencial de tensión de precisión con un circuito optimizado para su trabajo en los ambientes más hostiles, caracterizados por grandes fluctuaciones de la temperatura e intenso ruido eléctrico. Este dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales debe ser capaz de trabajar con sensores de resistencia interna apreciable y no simétrica, sobre los que el ruido eléctrico inducido y/o conducido tiene una gran influencia y, por si esto fuera poco, que ofrecen señales eléctricas muy débiles.

2.4.2.1. Particularidades del amplificador de instrumentación

Para ser efectivo, un amplificador de instrumentación debe ser capaz de amplificar señales del orden de microvoltios y a la vez rechazar tensiones de modo común del orden voltios. Esto presupone que el amplificador de instrumentación tenga un elevado rechazo al modo común CMRR (del orden de 80 ó 100dB) a la vez que una gran ganancia diferencial A_d . A continuación, se exponen las configuraciones más utilizadas como amplificadores de instrumentación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Amplificador Diferencial

En la figura 22 se muestra el circuito típico de un tipo de amplificador de instrumentación conocido como amplificador diferencial.

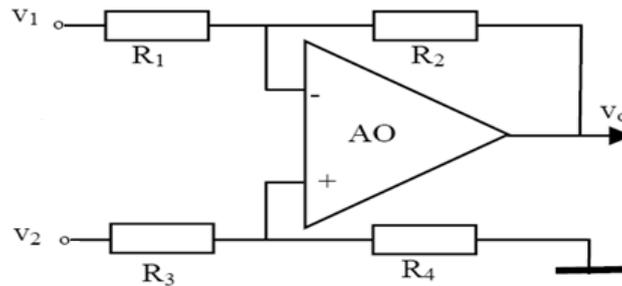


Figura 22.- Amplificador diferencial

En este circuito puede demostrarse, si se considera el AO utilizado como ideal, que la salida V_o puede representarse por la expresión:

$$V_o = -\frac{R_2}{R_1}V_1 + \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) * V_2 \quad \text{Ecuación 13}$$

Y, si se hace que $R_2=R_4$ y $R_1=R_3$, entonces la ecuación 13 queda como:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad \text{Ecuación 14}$$

Si $V_1=V_2=V_{ic}$ en la ecuación 13, se tiene que la salida para una entrada de modo común es:

$$V_{oc} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_3} - \frac{R_4}{R_3} \right) * V_{ic} \quad \text{Ecuación 15}$$

Aún cuando se consideren todas las resistencias iguales entre sí e iguales a R, la salida V_o no sólo dependerá de diferencia entre V_2 y V_1 , sino también de CMRR muy dependiente del balance real entre estas resistencias.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

En el amplificador diferencial, las impedancias de entrada vistas desde cada entrada del amplificador a masa son bajas y desiguales (la vista por V_1 es R_1 mientras que la vista por V_2 es R_3+R_4). Por otro lado, para cambiar la ganancia hay que cambiar dos resistencias y, con una muy pequeña desviación entre ellas, CMRR desciende drásticamente. Si la resistencia interna de la fuente de señal R_s no es despreciable y/o equilibrada respecto a la masa del circuito, entonces R_s (o su desequilibrio respecto a masa) contribuye a hacer desiguales las resistencias del amplificador y a la degradación tanto de la ganancia diferencial A_d como del rechazo al modo común del circuito.

No obstante, estas limitaciones constituyen el primer escalón del desarrollo de los denominados amplificadores de instrumentación.

Amplificador de instrumentación de dos operacionales

El amplificador de instrumentación de dos operacionales es una configuración que presenta resistencias de entrada altas e iguales lo que permite que la fuente de señal pueda tener una impedancia interna alta y/o desequilibrada, mejorando en este sentido la limitación del amplificador diferencial. Su esquema general se presenta en la figura 23.

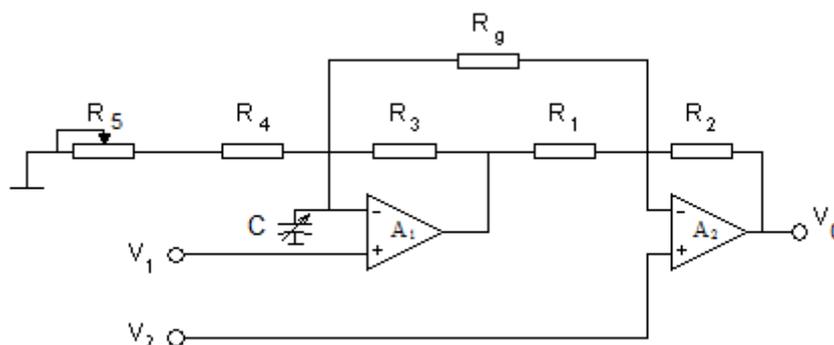


Figura 23.- Amplificador de instrumentación de dos operacionales.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Mediante un análisis similar al del circuito anterior y considerando ideales los operacionales A_1 y A_2 , puede demostrarse que si $R_2/R_1=R_4/R_3$, entonces:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G}\right)(V_2 - V_1) \quad \text{Ecuación 16}$$

La ganancia diferencial A_d puede seleccionarse variando sólo R_G . En este amplificador no se puede lograr $A_d=1$ y aun la relación de rechazo al modo común depende de la paridad entre las resistencias. El potenciómetro R_5 sirve de ajuste del rechazo al modo común en continua, mientras que C ajusta éste en alterna. La principal desventaja de este circuito es que su margen de entrada para la tensión de modo común es una función de la ganancia. De la figura 23 se puede observar que A_1 puede saturarse con una tensión de modo común relativamente baja, pues le ofrece a esta señal una ganancia dependiente de $(R_3+R_4+R_5)/(R_4+R_5)$. Si $R_3 > (R_4+R_5)$, ocurrirá la saturación de A_1 para altos valores de la tensión en modo común; si, por el contrario $R_3 < (R_4+R_5)$ no se pueden obtener en el circuito pequeñas ganancias y además los dos amplificadores A_1 y A_2 trabajarán con diferentes ganancias en bucle cerrado (diferentes anchos de banda) y esto trae como consecuencia un detrimento de la CMRR para alterna de no utilizarse C en el circuito. Esto hace que el circuito se vea limitado sólo para aplicaciones de pequeñas tensiones de modo común y, en general, en las que se cumpla:

$$(R_3+R_4+R_5)/(R_4+R_5) \leq 4$$

Amplificador de instrumentación de tres operacionales

Un circuito que integra las ventajas de los anteriores y reduce en buena medida sus desventajas es el conocido como amplificador de instrumentación de tres operacionales, o simplemente amplificador de instrumentación. La figura 24 presenta su circuito.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

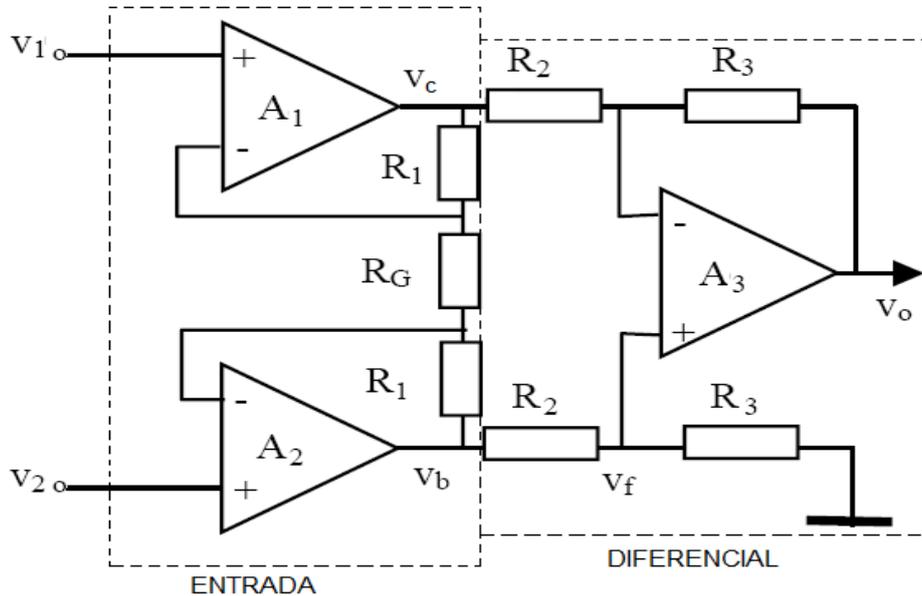


Figura 24.- Amplificador de instrumentación de tres operacionales.

En él se advierten dos etapas: la de entrada y la diferencial. La primera etapa cumple la función esencial de presentar impedancias de entrada altas e idénticas, a la vez que hace posible que el amplificador diferencial tenga como fuente de señal las salidas del mismo, caracterizadas por unas impedancias muy pequeñas e iguales, con independencia de que la fuente de señal externa del circuito tenga su resistencia R_s equilibrada o no respecto a la masa. En esta etapa, si los operacionales A_1 y A_2 son idénticos y también lo son las resistencias R_1 , la ganancia puede llegar a ser mucho mayor que 1, dependiendo sólo de los valores de R_1 y R_G . Fácilmente puede demostrarse por superposición, considerando ideales los operacionales, que, para $V_2=0$ se tiene:

$$V_C = \frac{R_1 + R_G}{R_G} V_1 \text{ y } V_D = \frac{R_1}{R_G} V_1 \quad \text{Ecuación 17}$$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Y, cuando $V_1=0$ se tiene que:

$$V_C = \frac{R_1}{R_G} V_2 \text{ y } V_D = \frac{R_1 + R_G}{R_G} V_2 \quad \text{Ecuación 18}$$

Resultando:

$$V_C = \frac{R_1 + R_G}{R_G} V_1 + \frac{R_1}{R_G} V_2$$
$$V_D = \frac{R_1}{R_G} V_1 + \frac{R_1 + R_G}{R_G} V_2 \quad \text{Ecuación 19}$$

La salida del amplificador diferencia final será, entonces:

$$V_O = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_G} \right) (V_2 - V_1) \quad \text{Ecuación 20}$$

En este circuito la exactitud de la ganancia diferencial y el rechazo al modo común dependen de la igualdad entre sí de las resistencias R_2 y de las R_3 . Incluso si existe alguna desigualdad entre las resistencias R_1 , esta no afecta al rechazo al modo común. De esta forma, CMRR puede incrementarse en proporción directa a la ganancia diferencial A_d . Además, si la etapa de entrada es simétrica, por R_G no fluye corriente alguna debida a la tensión de modo común por lo que la ganancia que ofrece esta etapa al modo común es la unidad. El amplificador de instrumentación produce toda la amplificación en la primera etapa y, generalmente la etapa diferencial se construye con $R_2=R_3$, por lo que de la ecuación 20 se obtiene A_d :

$$A_d = 1 + 2R_1/R_G \quad \text{Ecuación 21}$$

Si se desease que $A_d=1$, entonces R_G debe ser infinita. El valor máximo de la ganancia diferencial A_d en los circuitos integrados comerciales puede llegar a alcanzar hasta 1000 y R_1 es de orden de algunos kilohmios.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.4.2.2. *Parámetros que caracterizan a un amplificador de instrumentación*

Los parámetros fundamentales que caracterizan a los amplificadores de instrumentación son:

1. **Ganancia (*Gain*)**: expresa la función de transferencia lineal del amplificador, es decir, el factor de amplificación de tensión al modo diferencial A_d .
2. **Margen de ganancia (*gain range*)**: es el margen de valores en que puede estar contenida la ganancia diferencial del amplificador de instrumentación e indica la capacidad de amplificación del dispositivo.
3. **Error de la ganancia (*gain error*)**: es la desviación de la ganancia real respecto a la ideal, para una R_G constante.
4. **Deriva de ganancia (*gain drift*)**: es la variación en la ganancia diferencial producida por cambios en la temperatura, expresada generalmente en ppm/°C.
5. **Tensión de desviación (*offset voltaje*)**: es la magnitud de la tensión que aparece en la salida del amplificador cuando sus entradas están unidas y conectados al punto de referencia de la alimentación (0V). En el caso de los amplificadores de instrumentación puede estar referida a la entrada, en cuyo caso se denota con las siglas RTI (Referred To Input) o la salida (se indica como RTO o Referred To Output). En el segundo caso, el valor es directamente la tensión de desviación de salida mientras que, en el primero, para calcular su magnitud en la salida, es necesario alterar su valor por la ganancia diferencial con que trabaja el amplificador. Una parte de los fabricantes de amplificadores de instrumentación ofrecen este dato con la indicación RTI. Por ejemplo, un amplificador que tenga una tensión de desviación de 20 μ V (RTI) producirá una tensión de desviación de 2mV cuando trabaje con una ganancia 100.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Sin embargo la mayoría de los amplificadores de instrumentación con circuitos de dos etapas; por lo general, una de ellas de ganancia variable (la de entrada) y otra de ganancia fija (la de salida), por lo que la tensión de desviación tiene dos componentes introducidas por cada una de las dos etapas:

Si V_{io1} es el offset de la primera etapa y V_{io2} el de la segunda, se tiene que:

$$V_{io} = V_{io1} + \frac{V_{io2}}{G} \quad \text{Ecuación 22}$$

- 6. Deriva térmica de la tensión de desviación (*offset voltaje drift*):** es la variación de la tensión de desviación del amplificador producida por los cambios de la temperatura en el dispositivo ($\Delta V_{io}/\Delta T$). Este valor se suele expresar también referido a la entrada (RTI).
- 7. Tiempo de establecimiento (*settling time*):** este parámetro caracteriza la respuesta temporal del amplificador y se proporciona como dato habida cuenta del uso de este tipo de dispositivos como etapa de entrada que lee la señal producida por el sensor. Se define en términos del tiempo necesario para que la salida se diferencie sólo en un 0.1% del valor final. Es dependiente del ancho de banda, y por ende, de la magnitud de la ganancia. Se expresa para cada valor de ganancia y generalmente aumenta al incrementar ésta.
- 8. Producto ganancia-ancho de banda (GBW):** establece el límite de trabajo del amplificador de instrumentación.
- 9. Relación de rechazo al modo común (CMRR):** introduce el cambio que existe en la salida debido a la tensión de modo común. Se expresa como cociente entre la ganancia diferencial, A_d y la ganancia al modo común, A_c expresada en dB.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

2.4.2.3. Aplicaciones

- Acondicionar la salida de un puente de Wheatstone.
- Amplificar señales eléctricas biológicas (por ejemplo en electrocardiogramas).
- Como parte de circuitos para proporcionar alimentación a corriente constante.
- En fuentes de alimentación.

2.4.2.4. Ejemplo de amplificador de instrumentación

El AD620 es un ejemplo de amplificador de instrumentación. Es una variante mejorada del amplificador de tres operacionales cuyo datasheet puede consultarse en parte en el anexo I de este documento, que utiliza dos resistencias internas de muy alta precisión que junto con la resistencia R_G externa determinan la ganancia del circuito. Esto permite conseguir valores muy estables de la ganancia empleando resistencias de alta precisión para R_G . Este amplificador es usado en la aplicación que se desarrolla en este proyecto.

2.4.3. Filtros Electrónicos

Un filtro eléctrico o filtro electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase. Puede definirse como un cuadripolo capaz de atenuar determinadas frecuencias del espectro de la señal y permitir el paso sin atenuar de las demás.

Como cuadripolo, un filtro se caracteriza por una función de transferencia $H(s)$ de la forma:

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

Ecuación 23

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Donde $s=\sigma+j\omega$ es una variable compleja. En régimen permanente armónico, $s=j\omega$.

La función de transferencia es una expresión compleja y, por lo tanto, podrá expresarse por su módulo o *ganancia* y por su argumento o *fase* de la forma:

$$H(j\omega)=|H(j\omega)|\angle\phi(\omega) \quad \text{Ecuación 24}$$

La ganancia se suele expresar, por comodidad, en decibelios (dB), de la forma

$$20\log|H(j\omega)|$$

Si este valor es negativo, representa una atenuación.

La función de transferencia se puede escribir también como el cociente entre dos polinomios, de la forma:

$$H(s)=\frac{a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \dots + a_1 s + a_0}{s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0} \quad \text{Ecuación 25}$$

La función de transferencia determina la forma en que la señal aplicada cambia en amplitud y en fase al atravesar el filtro y lo tipifica. Los valores de los coeficientes determinan completamente las características del mismo. El grado del denominador, n , es el *orden del filtro*. Para que el filtro sea realizable, el grado del polinomio denominador debe ser mayor o igual que el grado del polinomio numerador: $n \geq m$.

El orden de un filtro describe el grado de aceptación o rechazo de frecuencias por arriba o por debajo, de la respectiva frecuencia de corte. Un filtro de primer orden, cuya frecuencia de corte sea igual a (F), presentará una atenuación de 6 dB en la primera octava ($2F$), 12 dB en la segunda octava ($4F$), 18 dB en la tercera octava ($8F$) y así sucesivamente. Como se observa en la figura 19, uno de segundo orden tendría el doble de

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

pendiente (representado en escala logarítmica). Esto está relacionado con los polos y ceros: los polos hacen que la pendiente baje con 20 dB por década y los ceros que suba también con 20 dB por década, de esta forma los polos y ceros pueden compensar su efecto.

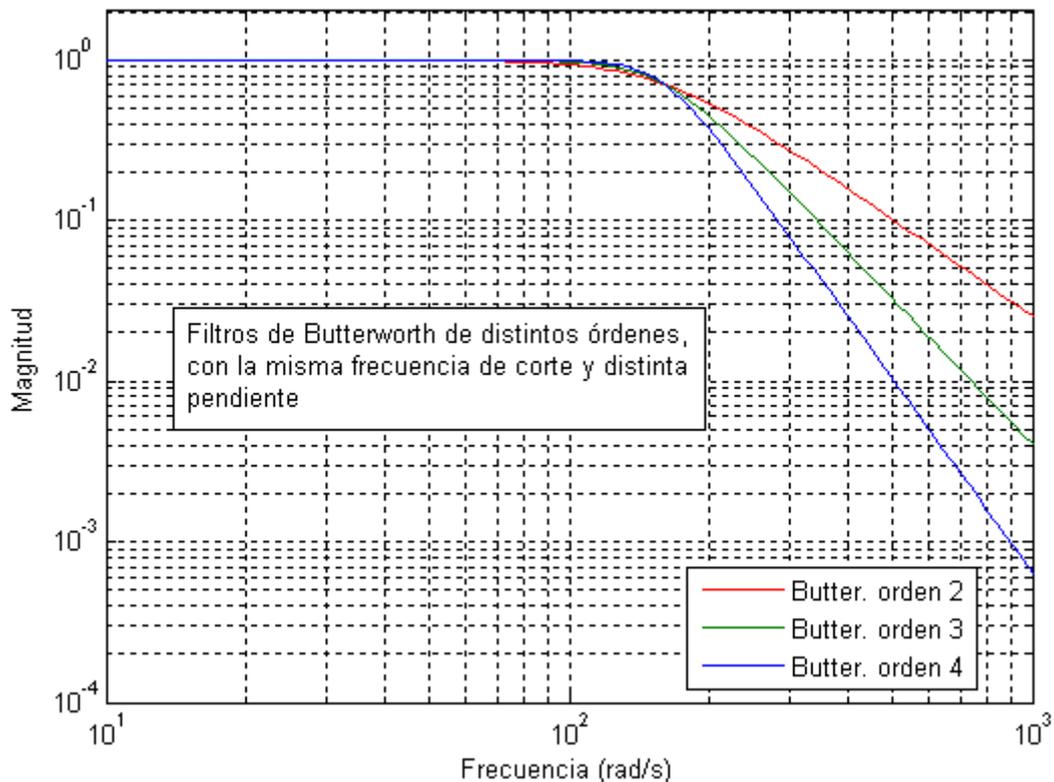


Figura 25.- Filtros de Butterworth de distintos ordenes.

Para realizar filtros analógicos de órdenes más altos se suele realizar una conexión en serie de filtros de 1º o 2º orden debido a que a mayor orden el filtro se hace más complejo. Sin embargo, en el caso de filtros digitales es habitual obtener órdenes superiores a 100.

Otra forma de escribir la función de transferencia de un filtro es factorizar los polinomios numerador y denominador:

$$H(s) = \frac{a_m (s - z_1)(s - z_2) \dots (s - z_m)}{(s - p_1)(s - p_2) \dots (s - p_n)} \quad \text{Ecuación 26}$$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Las raíces del denominador, $p_1, p_2 \dots p_n$, se denominan *polos* de la función de transferencia y las del numerador, $z_1, z_2 \dots z_n$, *ceros* de la función de transferencia.

2.4.3.1. Clasificación de filtros

Los criterios que más se suelen utilizar a la hora de intentar clasificar los distintos tipos de filtros son tres:

1. Según el tipo de señal procesada:

- **Filtros analógicos:** procesan señales analógicas. Según la tecnología empleada en su realización pueden ser:
 - **Filtros pasivos:** diseñados exclusivamente con elementos pasivos R, L, C. Si bien pueden emplearse en cualquier tipo de aplicación, su empleo se restringe a señales de frecuencias elevadas (generalmente superiores a 1 MHz) de forma que la bobina –un componente costoso– resulte pequeña. En potencia se usan en muchas ocasiones; un ejemplo son los filtros que incorporan los altavoces. Por otro lado, no hay que olvidar el filtro RC, de aplicación muy frecuente en electrónica.
 - **Filtros activos:** diseñados exclusivamente con resistencias, condensadores y amplificadores operacionales. El empleo de amplificadores operacionales, si bien permite tener una buena adaptación de impedancias entre etapas, condiciona su funcionamiento dinámico al tener limitaciones de ancho de banda.
 - **Filtros de capacidad conmutada:** a diferencia de los filtros activos anteriores, la señal de entrada es muestreada y procesada en un tiempo discreto. Las resistencias se reemplazan por interruptores MOS y condensadores integrados en el propio

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

chip. La frecuencia de corte está determinada y es proporcional a la frecuencia de un reloj externo.

- **Filtros digitales:** procesan una señal digital. La señal analógica es cuantificada previamente mediante un convertidor analógico-digital y posteriormente procesada mediante algoritmos software. Al ser programable por software es posible cambiar tanto la ganancia como la fase del filtro sin necesidad de cambiar el hardware.

2. Según la función que lleven a cabo:

- **Filtros paso bajo:** dejan pasar todas las frecuencias por debajo de una determinada frecuencia de corte, f_c , atenuando las frecuencias por encima de dicha frecuencia de corte. La figura 26 muestra la curva de ganancia de esta función en función de la frecuencia. Para $f=f_c$, la ganancia cae 3dB, con respecto a la ganancia máxima, que por comodidad se ha supuesto unidad (es decir, 0dB). Presentan ceros a alta frecuencia y polos a bajas frecuencias.

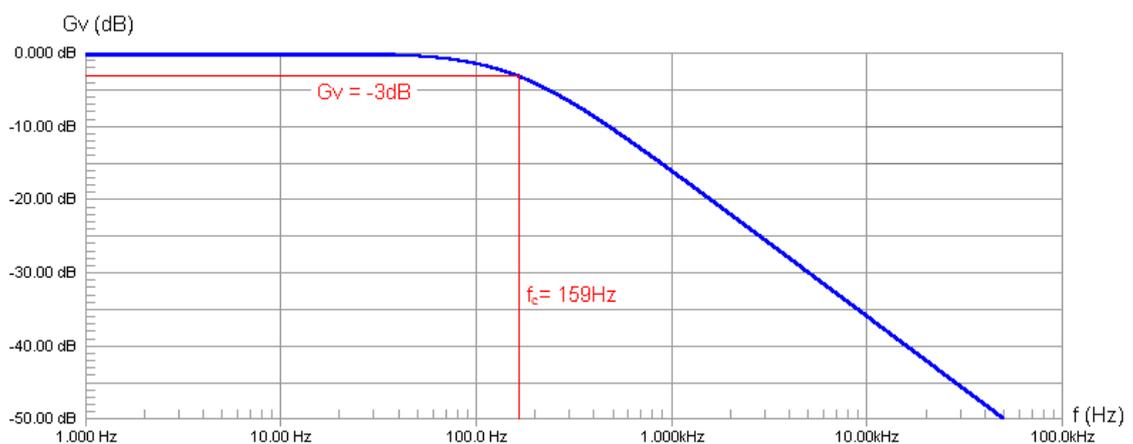


Figura 26.- Filtro paso bajo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Filtros paso alto:** atenúan las frecuencias bajas y dejan pasar aquéllas que estén por encima de la frecuencia de corte, f_c (figura 27). Presentan ceros a bajas frecuencias y polos a altas frecuencias.

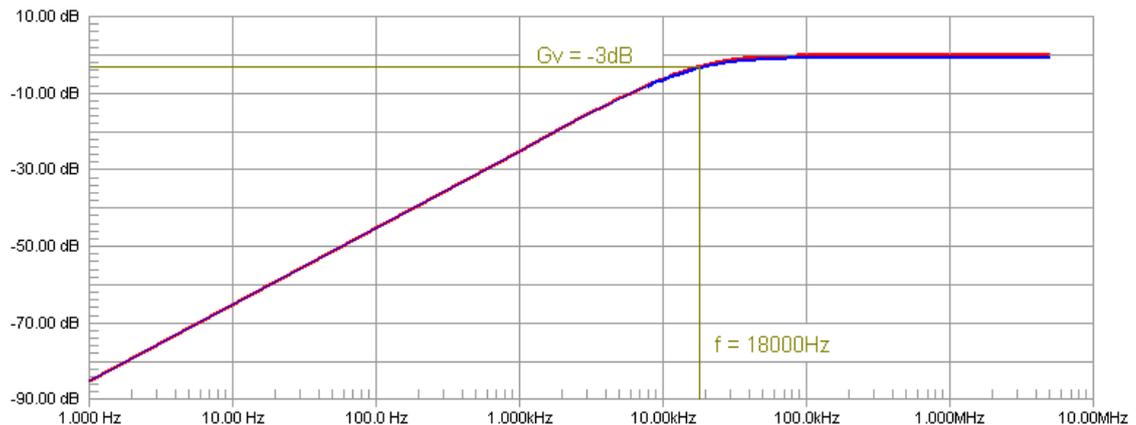


Figura 27.- Filtro paso alto.

- **Filtros paso banda:** dejan pasar aquellas frecuencias comprendidas entre la frecuencia de corte inferior, f_{c1} , y la frecuencia de corte superior, f_{c2} , atenuando las demás (figura 28). La frecuencia f_0 se denomina frecuencia central.

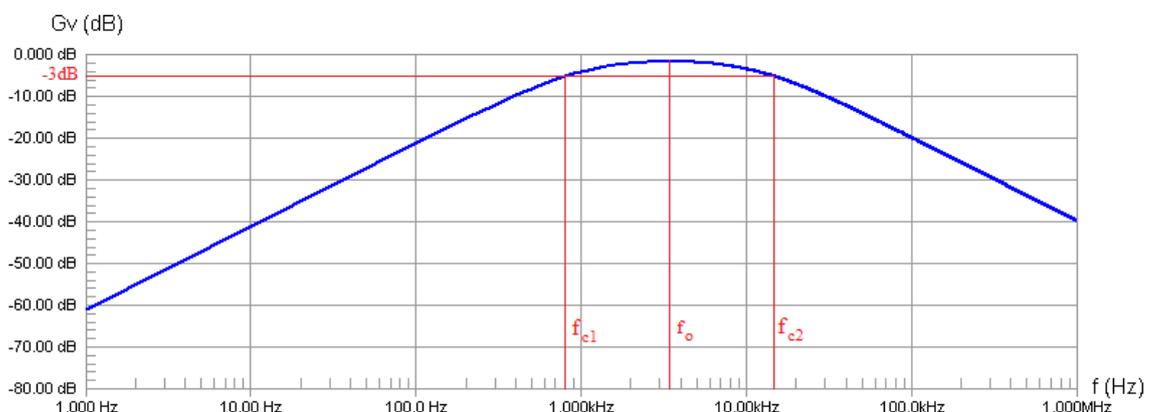


Figura 28.- Filtro paso banda

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Filtros rechazo de banda:** atenúan las frecuencias comprendidas entre las frecuencias de corte inferior (f_{c1}) y la superior (f_{c2}), dejando pasar las otras (figura 29).

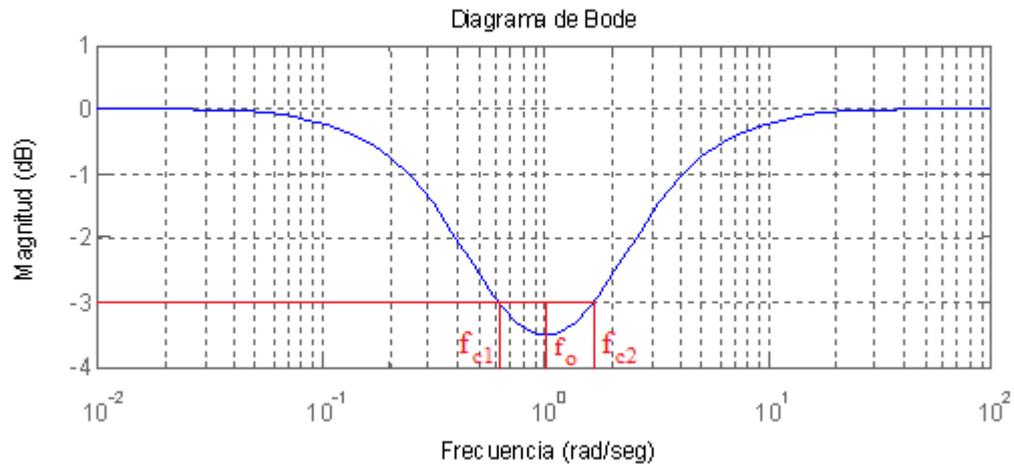


Figura 29.- Filtro rechazo de banda

3. Según la aproximación matemática empleada:

Existen diversas funciones matemáticas empleadas para aproximar la respuesta real del filtro a la ideal. Cada una de estas aproximaciones busca optimizar una determinada característica del filtro. Se tienen diversas aproximaciones, que dan nombre a los filtros que las emplean. Las más comunes son:

- **Filtros de Butterworth:** el objetivo de la aproximación de Butterworth es obtener una respuesta de ganancia plana en la banda de paso. Esto se consigue a costa de una región de transición de caída lenta y una respuesta de fase no lineal alrededor de la frecuencia de corte.
- **Filtros de Chebyshev:** el objetivo de la aproximación de Chebyshev es maximizar la pendiente de la característica de ganancia en la región de transición. Por el contrario, presenta un

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

cierto rizado en la banda de paso, que se incrementa al aumentar el orden del filtro.

- **Filtros de Bessel:** el objetivo de la aproximación de Bessel es lograr una respuesta de fase lineal en un margen de frecuencias amplio en torno a la frecuencia de corte. La ganancia de la banda de paso no es tan plana como en un filtro de Butterworth ni la pendiente en la banda de transición tan acentuada como en un filtro de Chebyshev.

Las diferencias entre estas tres aproximaciones pueden apreciarse en la figura 30;

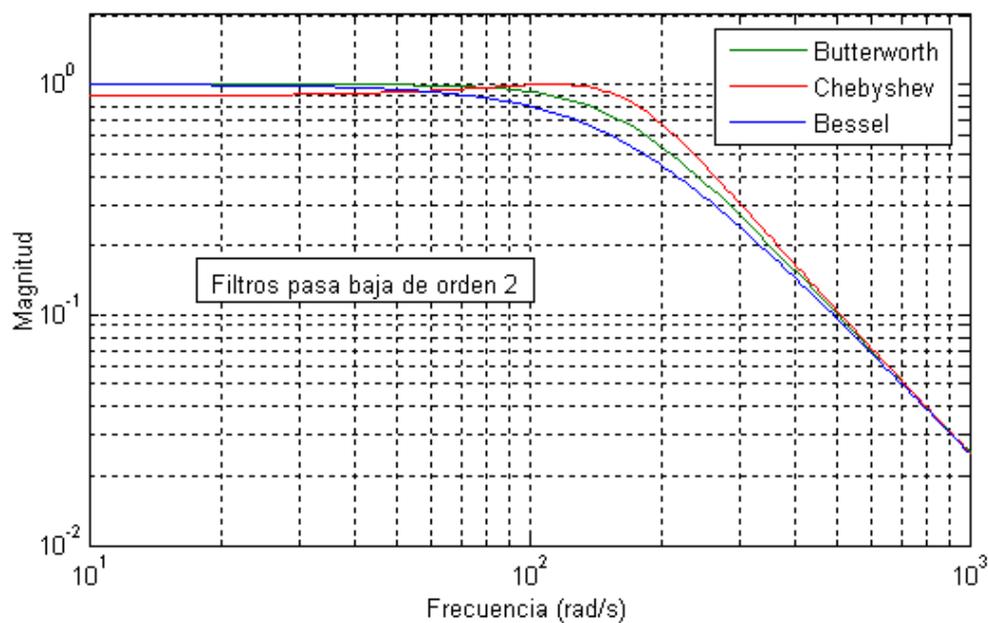


Figura 30.- Comparación entre las aproximaciones de Butterworth, Chebyshev y Bessel

2.4.3.2. Especificaciones

Si bien la ganancia del filtro, su orden y la frecuencia de corte son las especificaciones que con más frecuencia se suelen tomar para caracterizar un filtro, dependiendo de la aplicación puede ser necesario especificar otras características, tanto en el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- ESPECIFICACIONES FRECUENCIALES

En general, un filtro puede ser especificado en el dominio de la frecuencia, fijando alguno de los siguientes parámetros:

- A_{\max} es el máximo cambio permitido en la ganancia dentro de la banda de paso. También se suele denominar rizado máximo de la banda de paso.
- A_{\min} es la atenuación mínima de la banda suprimida (referida a la ganancia máxima de la banda de paso).
- f_p es la frecuencia límite de la banda de paso.
- f_s es la frecuencia a la que comienza la banda suprimida.

Estos parámetros se han representado gráficamente en la figura 31 para el caso del filtro pasa banda. Como se aprecia, la respuesta real del filtro ha de estar contenida entre los límites impuestos por dichas especificaciones.

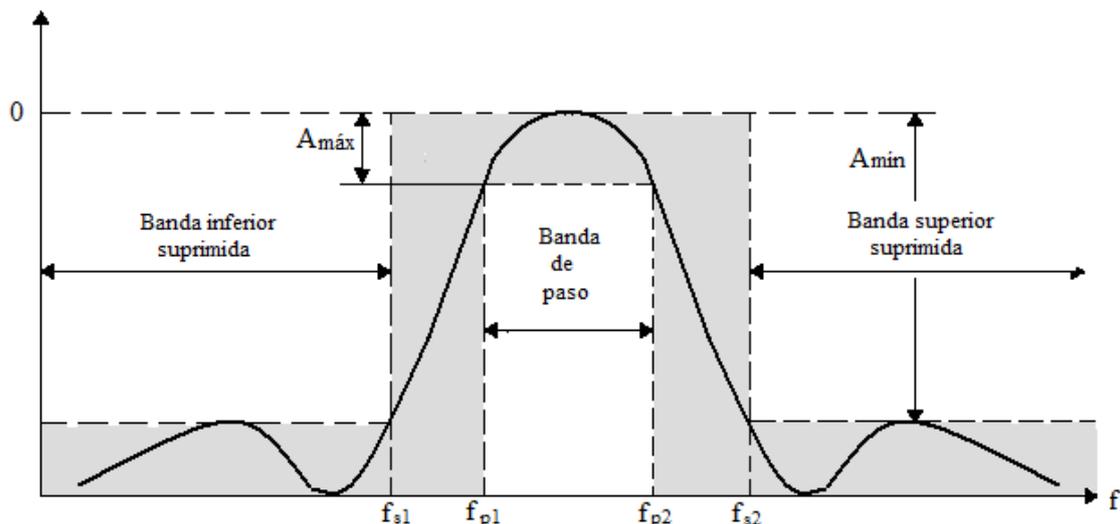


Figura 31.- Especificaciones típicas de un filtro pasa banda en el dominio de la frecuencia

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Otro parámetro de diseño es el factor de calidad del filtro (Q). Es un parámetro equivalente al orden del filtro. Se puede decir que diseñar un filtro de un orden determinado es equivalente a hacer para un valor específico de Q. Se define como la relación entre la frecuencia natural, f_n y el ancho de banda, B:

$$Q = \frac{f_n}{B} \quad \text{Ecuación 27}$$

En los filtros paso bajo y paso alto a medida que Q crece lo hace también el valor del pico de la respuesta en ganancia figura 32. En el caso de un filtro paso banda se observa cómo el filtro se va haciendo más selectivo a medida que el valor de Q aumenta.

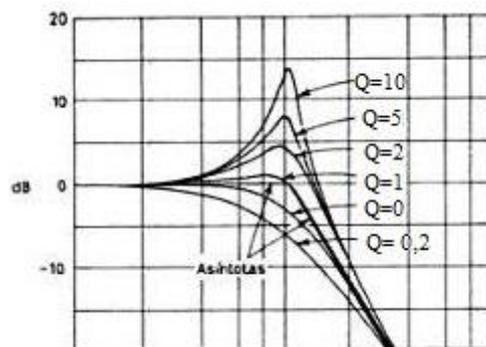


Figura 32.- Respuesta en ganancia dependiendo de Q.

Respuesta frecuencial normalizada

En adelante el eje de frecuencias se representará dividido por una frecuencia característica: la frecuencia de corte, f_c , para los filtros paso bajo y paso alto o por la frecuencia central, f_0 , en el caso de los filtros paso banda y de rechazo de banda. De la misma forma la pulsación ω , quedará normalizada sin más que dividirla por ω_c . Las expresiones de la frecuencia normalizada, f_n y de la pulsación normalizada, ω_n son, por tanto:

$$f_n = \frac{f}{f_c}; \quad \omega_n = \frac{\omega}{\omega_c} \quad \text{Ecuación 28}$$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Esta forma de proceder aporta las siguientes facilidades en el estudio de los filtros:

- a) Permite una rápida y eficaz comparación de los distintos tipos de filtros.
- b) Permite un estudio más consistente.
- c) Es la base de método para el diseño de filtros activos.

- ESPECIFICACIONES TEMPORALES

Para caracterizar la respuesta temporal de un filtro se acude a conocer la respuesta del filtro ante una entrada escalón (step response). Los principales parámetros temporales son el tiempo de subida, tiempo de establecimiento y sobreoscilación. Lo deseable de la respuesta temporal es que la salida alcance el valor final de forma rápida, sin sobreoscilación ni rizado. La figura 33 compara las respuestas temporales de las aproximaciones de Butterworth y Chebyshev ante una entrada escalón.

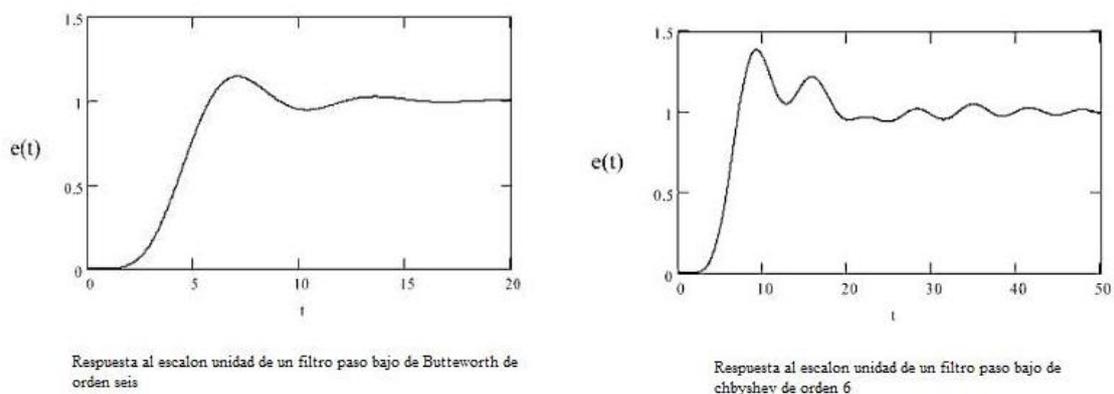


Figura 33.- Respuesta temporal ante una entrada escalón unitario de un filtro paso bajo de orden seis de Butterworth y Chebyshev respectivamente

La aproximación de Butterworth es la que tiene un mejor comportamiento en el dominio del tiempo mientras que Chebyshev presenta peor comportamiento ya que, como se puede observar, es el que presenta un mayor rizado en la banda de paso, así como sobreoscilación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Retardo de fase y retardo de grupo

En los casos donde a la entrada del filtro se aplican señales periódicas complejas, es más conveniente hablar de retardo de tiempo que de fase. Para cuantificar la relación entre fase y tiempo se supone que a la entrada de un filtro se aplica una señal senoidal $\sin(\omega t)$ y en la salida se tiene $\sin(\omega t - \phi)$, donde ϕ es el desfase. Al desfase ϕ entre las dos señales le corresponde un retardo de tiempo equivalente, ϕ/ω , conocido como retardo de fase. Por ejemplo, una señal de 1 KHz que sufre un desfase de 36° al atravesar el filtro, experimental un retardo de fase equivalente de 0,1 ms. La representación de retardo de fase visto por el grupo de frecuencias que se transmiten a través de filtro, es decir, en la banda de paso. Matemáticamente, el retardo de grupo se define como la derivada de la fase con respecto a la frecuencia:

$$T_D(\omega) = -\frac{d\phi(\omega)}{d\omega} \quad \text{Ecuación 29}$$

2.4.3.3. Aplicaciones

Los filtros encuentran aplicación en numerosos campos de la electrónica, destacando dos especialmente: el de las telecomunicaciones (TV, radio, centrales telefónicas, módem, etc.) y el de la instrumentación electrónica (instrumentación en general, sistemas de adquisición de datos, procesamiento de señales, etc.).

2.5. Equipos de Medida Portátiles. WASPMOTE

Un sistema de medida portátil permite monitorizar y controlar una gran cantidad de parámetros útiles para procesos productivos, medidas de seguridad tanto en viviendas como en ambientes de trabajo o magnitudes físicas, químicas, eléctricas y de radiación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Un sistema de medida portátil existente en el mercado que sería válido para la aplicación de la tuneladora y que además incorpora unas tarjetas sensoriales es el WASPMOTE de LIBELIUM.

Se trata de un dispositivo sensorial inalámbrico de bajo consumo capaz de monitorizar ambientes en condiciones adversas:

- **AGRICULTURA Y GANADERÍA**

Permite gestionar el cuidado de cultivos y conocer las condiciones precisas de crecimiento de las plantas a distancia gracias a las redes sensoriales inalámbricas.

Combina sensores como humedad, temperatura y luminosidad para detectar riesgo de heladas, posibles enfermedades de las plantas o la necesidad de riego según el nivel de humedad de la tierra, entre otras. Con ello se puede controlar las condiciones de viveros e invernaderos y monitorizar al detalle los cultivos de alto rendimiento o delicados, como los viñedos o los frutos tropicales, donde el mínimo cambio en la climatología puede afectar al resultado final. Toda esta información puede ayudar también a determinar las condiciones óptimas de cada cultivo, comparando las cifras obtenidas durante las mejores cosechas. Por su facilidad de instalación y escalabilidad, las redes de sensores inalámbricas pueden utilizarse también para monitorizar zonas aisladas de difícil acceso, como las zonas de crecimiento de hongos (champiñón, setas, trufas, etc).

Waspote adquiere valores del entorno pudiendo almacenarlos, enviarlos a un centro de tratamiento de datos para su análisis o enviar alarmas de forma urgente. Por ejemplo, en función de la humedad de la tierra enviará un mensaje (a través de la red ZigBee o mediante un SMS) para detener el riego y así hacer una gestión eficiente del agua.

Instalar una red sensorial inalámbrica cerca de los animales ayuda a optimizar sus condiciones de crianza. Es posible monitorizar la temperatura a la que se encuentran las crías para mantenerla en los niveles adecuados;

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

medir los niveles de los gases producidos por el ganado como metano (CH_4), amoníaco (NH_3) y sulfuro de Hidrógeno (H_2S) producidos por vacas y cerdos; o incluso controlar el nivel de estrés de los animales monitorizando la agitación del rebaño con sensores de vibración y movimiento.

- **MEDIO AMBIENTE**

A través de una red sensorial inalámbrica se pueden detectar y prevenir incendios forestales. Para ello es posible utilizar sensores de infrarrojos, ultravioleta, para la detección de llamas y calor y gases que permiten detectar las moléculas los compuestos químicos generados en la misma combustión (CO y CO_2).

El módulo GPS de Waspote permite incluir la geolocalización exacta de los nodos a la hora de enviar la alarma a los cuerpos de seguridad o al sistema de incidencias elegido.



Prevención

Una vez instalada la red sensorial, ésta también puede adquirir a diario los valores de temperatura y humedad relativa y determinar las probabilidades de incendio de cada zona vigilada. Una vez analizados estos datos es posible recibir un mensaje de alarma en el móvil con el nivel de probabilidades y la zona, lo cual ayudará a enfocar de manera más efectiva los esfuerzos de los retenes.

Es posible crear una red de comunicación inalámbrica ZigBee en cualquier entorno que se quiera proteger, ya que Waspote tiene un reducido consumo y puede llevar alimentación solar por lo que puede funcionar en el exterior durante años.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Se presenta el nuevo concepto de Ciudad Sensorial en el que una red de sensores monitoriza los niveles de contaminación de la atmósfera y recoge datos sobre el clima. De esta forma se puede saber, no sólo los niveles de contaminación sino sus patrones temporales (ej. horas del día en las que el tráfico se congestiona y aumentan las emisiones de CO₂ y NO₂) para poder tomar medidas en consecuencia y garantizar un desarrollo sostenible.

- **SALUD**

La instalación de una red sensorial de comunicación en el entorno cercano a un paciente o persona con limitaciones, permite una atención y control constante. Las enfermedades no son ciencias exactas y surgen imprevistos que pueden evitarse con un control más exhaustivo del paciente. Waspnote puede incluir sensores de medición de parámetros biométricos, capaces de monitorizar los latidos, la respiración, movimientos, etc. y también sensores ambientales para monitorizar el entorno del paciente (por ejemplo, si el nivel de oxígeno (O₂) en la sala es el correcto). En caso de detectar un valor anómalo se puede registrar la incidencia en la red interna y/o enviar un SMS a la PDA de su médico, reduciendo el tiempo de aviso y por tanto el de actuación. Esto permite monitorizar tanto a pacientes que se encuentren en un centro sanitario como los que se encuentren en su propio domicilio incluso mientras duermen.

Centros de alto rendimiento

Por su reducido tamaño y conexión permite monitorizar deportistas en el terreno de juego y enviar sus constantes al puesto médico de control en tiempo real. De esta forma, entrenadores y médicos pueden evaluar de una mejor forma las respuestas de los deportistas.

- **SEGURIDAD**

Se puede desplegar una red sensorial inalámbrica de vigilancia mediante el protocolo ZigBee en cualquier parte. Esto permite detectar

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

posibles intrusos y coordinar y enviar las alarmas oportunas mediante sensores de infrarrojos, ultrasonidos, vibración, presión etc. Otras aplicaciones son el uso de sensores de campo magnético para la detección del estado de puertas y ventanas (abierto o cerrado) y así detectar zonas inseguras en un edificio.

Útil para prevenir robos, vandalismo y otras situaciones no deseadas en combinación con otros sistemas de seguridad como cámaras de vigilancia.

- **PROCESOS INDUSTRIALES**

Hoy en día, el control de las emisiones y escapes de gases es un aspecto que preocupa tanto empresarial como ecológicamente para el desarrollo sostenible. Desde Libelium proponen el uso de las redes sensoriales inalámbricas para evitar accidentes y para verificar la magnitud de las emisiones producidas en los procesos de fabricación.

Las redes de sensoriales también sirven para mejorar la calidad de tu producto final controlando los parámetros que influyen su desarrollo. En laboratorios



de investigación donde se precisan unas condiciones muy exactas, establecer una red de sensores supone un beneficio que asegura el correcto mantenimiento del lugar de trabajo. En el momento en el que éstas cambien se podrá enviar un mensaje de alerta para poder actuar en consecuencia.

También se puede monitorizar ciertos parámetros para asegurar la seguridad en los procesos industriales ya que puede tomar las muestras sin la presencia de un humano, evitando riesgos innecesarios. De esta forma, se pueden evaluar niveles de radiación, determinar qué zonas están

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

contaminadas y cuáles tienen un riesgo potencial, además de tenerlas controladas. Por ejemplo, en una bodega se pueden monitorizar los niveles de dióxido de carbono (CO₂) durante la fermentación alertando cuando estos son nocivos.

- **LOGISTICA**

Un producto puede verse dañado durante su transporte y almacenamiento. La solución es utilizar tecnología sensorial inalámbrica para controlar la mercancía durante esta fase. La tecnología integrada en Wasmote (GPS, sensores y reloj) permite controlar en tiempo real o a posteriori en qué condiciones tiene la mercancía, dónde y cuándo.

Permite tomar y almacenar muestras ambientales durante todo el transporte del producto y así conocer si ha estado expuesto a altas temperaturas, humedades, si ha sido contaminado en el trayecto, si el contenedor fue abierto de manera no autorizada o incluso si ha sufrido caídas o golpes. Se pueden saber cosas tan diversas como si se ha roto la cadena de frío de un producto congelado o si una pintura ha estado expuesta a demasiada humedad.

Con los módulos GPS y GPRS incorporados se logra tener localizada la mercancía en todo momento, proporcionando una información detallada del estado de ésta. De esta forma se mejora la trazabilidad del producto, pudiendo determinar responsabilidades en el caso en el que éste se estropee durante toda la logística.

2.5.1. Hardware

Las características más destacadas en el hardware de Wasmote son:

- Características generales:
 - *Peso:* 20 gr.
 - *Dimensiones:* 73,5 x 51 x 13 mm.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- *Rango de Temperatura: -20°C ~ 65°C.*
- Consumo:
 - *On: 9 mA.*
 - *Sleep: 62 μA.*
 - *Deep Sleep: 62 μA.*
 - *Hibernate: 0,7 62 μA.*
- Funcionamiento: 1 año usando el modo hibernate como modo de ahorro energético.
- Entradas/Salidas: Analógicas, 8 digitales, 1 PWM, 2 UARTs, 1 I2C, 1 USB.
- Características Eléctricas:
 - *Tensión de Batería: 3.3 V ~ 4.2 V.*
 - *Carga USB: 5V ~ 100 mA.*
 - *Carga Placa Solar: 6 ~ 12 V ~ 240 mA.*
 - *Tensión de Batería Auxiliar: 3 V.*
 - Intensidad máxima admitida (continua): 200mA
 - Intensidad máxima admitida (pico): 400mA
- Sensores integrados en la placa:
 - Temperatura: -40°C ~ 85°C

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

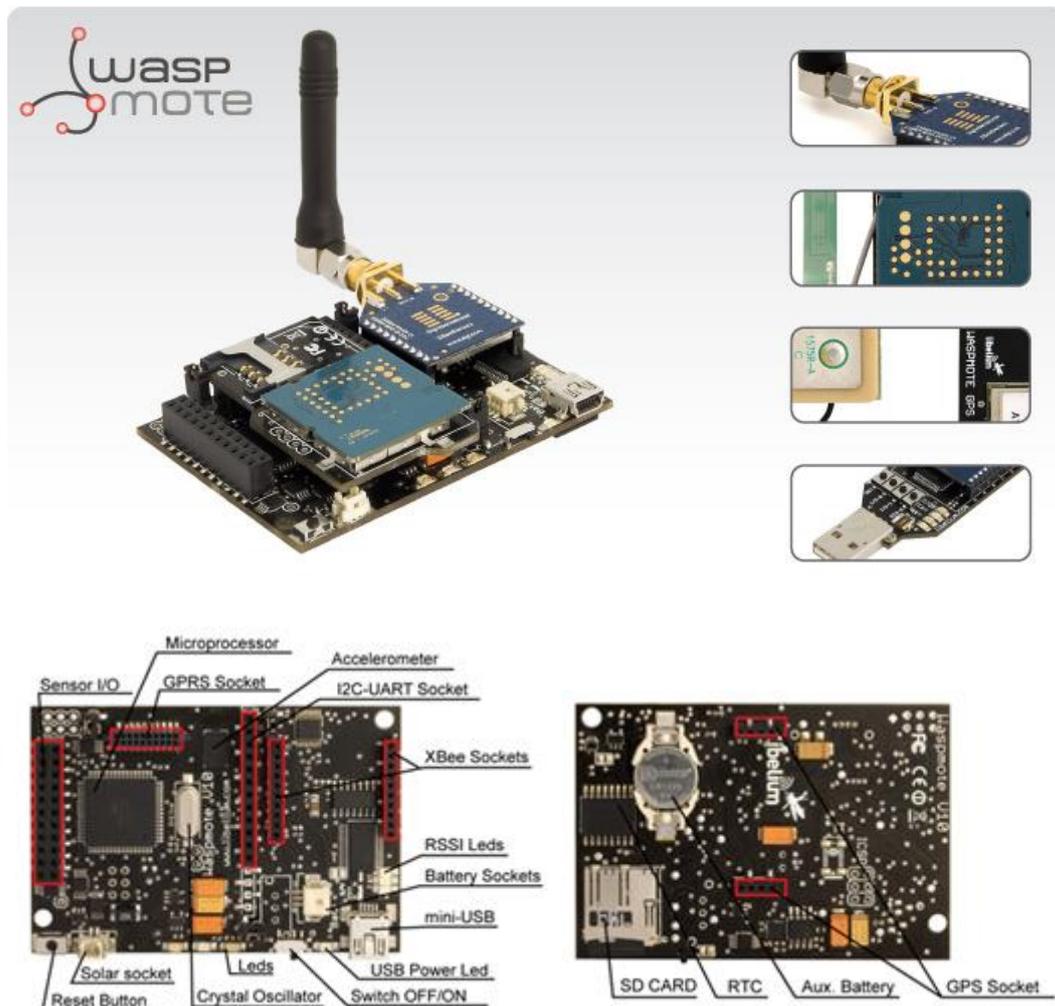


Figura 34.- Hardware

2.5.2. Placa de Sensores

La placa para sensores de gases de WaspMote ha sido diseñada para monitorizar parámetros ambientales como la temperatura, humedad, presión atmosférica y 14 tipos de gases diferentes. Permite la inclusión de 6 sensores de gases al mismo tiempo, la regulación de su alimentación a través de un sistema de interruptores de estado sólido (switches) y la amplificación de la señal de cada uno de éstos a través de una etapa de

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

amplificación no inversora de ganancia máxima 101 controlada a través de un potenciómetro digital configurable mediante el bus de interconexión de integrados (Inter-Integrated Circuit Bus, I2C).

Los gases que pueden llegar monitorizarse son: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Oxígeno molecular (O₂), Metano (CH₄), Hidrógeno molecular (H₂), Amoniaco (NH₃), Iso-butano (C₄H₁₀), Etanol (CH₃CH₂OH), Tolueno (C₆H₅CH₃), Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃), Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's) e Hidrocarburos.

Para monitorizar los gases citados anteriormente, Waspnote cuenta con los siguientes sensores:

- Sensor de Monóxido de Carbono (CO) – TGS2442 de FIGARO:
 - Gases: CO
 - Rango de medida: 30 ~ 1000ppm
 - Resistencia a 100ppm: 13.3 ~ 133kΩ
 - Sensibilidad: 0.13 ~ 0.31 (ratio entre la resistencia a 300ppm y a 100ppm)
 - Alimentación: 5V ±0.2 VDC
 - Temperatura de operación: -10 ~ +50°C
 - Tiempo de respuesta: 1segundo
 - Resistencia de carga mínima: 10kΩ
 - Consumo medio: 3mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en un segundo)

- Sensor de Dióxido de Carbono (CO₂) – TGS4161 de FIGARO :
 - Gases: CO₂
 - Rango de medida: 350 ~ 10000 ppm
 - Tensión a 350ppm: 220 ~ 490 mV
 - Sensibilidad: 44 ~ 72 mV (variación entre la tensión a 350ppm y a 3500ppm)
 - Alimentación: 5V ±0.2 VDC
 - Temperatura de operación: -10 ~ +50°C
 - Tiempo de respuesta: 1.5 minutos



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- *Consumo medio:* 50mA

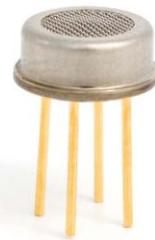
➤ Sensor de Oxígeno molecular (O₂) – SK-25 de FIGARO:

- *Gases:* O₂
- *Rango de medida:* 0 ~ 30%
- *Rango de salida:* 0 ~ 10mV aproximadamente
- *Tensión inicial:* 5.5 ~ 8.8mV
- *Temperatura de operación:* 5 ~ +40°C
- *Tiempo de respuesta:* 15 segundos
- *Consumo:* 0μA



➤ Sensor de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) – MiCS-2710 de e2v:

- *Gases:* NO₂
- *Rango de medida:* 0.05 ~ 5ppm
- *Resistencia en aire:* 0.8 ~ 8kΩ (típicamente 2.2kΩ)
- *Sensibilidad:* 6 ~ 100 (típicamente 55, ratio entre la resistencia a 0,25ppm y en aire)
- *Alimentación:* 1.7 ~ 2.5 VDC
- *Temperatura de operación:* -30 ~ +85°C
- *Tiempo de respuesta:* 30 segundos
- *Consumo medio:* 26mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en un segundo)



➤ Sensor de Amoniaco (NH₃) – TGS2444 de FIGARO:

- *Gases:* NH₃, H₂S
- *Rango de medida:* 10 ~ 100ppm
- *Resistencia a 10ppm:* 3.63 ~ 36.3kΩ
- *Sensibilidad:* 0.063 ~ 0.63 (ratio entre la resistencia a 300ppm y a 100ppm)
- *Alimentación:* 5V ±0.2 VDC
- *Temperatura de operación:* -10 ~ +50°C
- *Tiempo de respuesta:* 250ms
- *Resistencia de carga mínima:* 8kΩ
- *Consumo medio:* 12mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en 250ms)



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

➤ Sensor de Metano (CH₄) – TGS2611 de FIGARO:

- Gases: CH₄, H₂
- Rango de medida: 500 ~ 10000ppm
- Resistencia a 5000ppm: 0.68 ~ 6.8kΩ
- Sensibilidad: 0.6 ± 0.06 (ratio entre la resistencia a 9000ppm y a 3000ppm)
- Alimentación: 5V ±0.2 VDC
- Temperatura de operación: -10 ~ +40°C
- Tiempo de respuesta: 30 segundos
- Resistencia de carga mínima: 0.45kΩ
- Consumo medio: 61mA



➤ Sensores de Gases Licuados del Petróleo – TGS2610 de FIGARO:

- Gases: CH₃CH₂OH, CH₄, C₄H₁₀, H₂
- Rango de medida: 500 ~ 10000ppm
- Resistencia a 1800ppm (isobutano): 0.68 ~ 6.8kΩ
- Sensibilidad: 0.56 ± 0.06 (ratio entre la resistencia a 3000ppm y a 1000ppm)
- Alimentación: 5V ±0.2 VDC
- Temperatura de operación: -10 ~ +40°C
- Tiempo de respuesta: 30 segundos
- Resistencia de carga mínima: 0.45kΩ
- Consumo medio: 61mA



➤ Sensor de Contaminantes del Aire – TGS2600 de FIGARO:

- Gases: C₄H₁₀, CH₃CH₂OH, H₂, CO, CH₄
- Rango de medida: 1 ~ 100ppm
- Resistencia en aire: 10 ~ 90kΩ
- Sensibilidad: 0.3 ~ 0.6 (ratio entre la resistencia en 10ppm de H₂ y en aire)
- Alimentación: 5V ±0.2 VDC
- Temperatura de operación: -10 ~ +40°C
- Tiempo de respuesta: 30 segundos



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- *Resistencia de carga mínima:* 0.45kΩ
- *Consumo medio:* 46mA

➤ **Sensor de Contaminantes del Aire – TGS2602 de FIGARO:**

- *Gases:* C₆H₅CH₃, H₂S, CH₃CH₂OH, NH₃, H₂
- *Rango de medida:* 1 ~ 30ppm
- *Resistencia en aire:* 10 ~ 100kΩ
- *Sensibilidad:* 0.15 ~ 0.5 (ratio entre la resistencia en 10ppm de Etanol y en aire)
- *Alimentación:* 5V ±0.2 VDC
- *Temperatura de operación:* +10 ~ +50°C
- *Temperatura de almacenamiento:* -20 ~ +60°C
- *Tiempo de respuesta:* 30 segundos
- *Resistencia de carga mínima:* 0.45kΩ
- *Consumo medio:* 61mA



➤ **Sensor de Vapores Solventes – TGS2620 de FIGARO:**

- *Gases:* CH₃CH₂OH, H₂, C₄H₁₀, CO, CH₄
- *Rango de medida:* 50 ~ 5000ppm
- *Resistencia a 300ppm de Etanol:* 1 ~ 5kΩ
- *Sensibilidad:* 0.3 ~ 0.5 (ratio entre la resistencia a 300ppm y a 50ppm)
- *Alimentación:* 5V ±0.2 VDC
- *Temperatura de operación:* -10 ~ +40°C
- *Tiempo de respuesta:* 30 segundos
- *Resistencia mínima de carga:* 0.45kΩ
- *Consumo medio:* 46mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en 250ms)



➤ **Sensor de Ozono (O₃) – MiCS-2610 de e2v:**

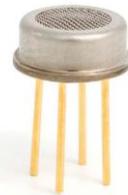
- *Gases:* O₃
- *Rango de medida:* 10 ~ 1000ppm
- *Resistencia en aire:* 3 ~ 60kΩ (típicamente 11kΩ)
- *Sensibilidad:* 2 ~ 4 (típicamente 1.5, ratio entre



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- la resistencia a 100ppm y a 50ppm)
 - *Alimentación:* 1.95 ~ 5 VDC
 - *Temperatura de operación:* -30 ~ +85°C
 - *Tiempo de respuesta:* 30 segundos
 - *Consumo medio:* 34mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en un segundo)
- Sensor de VOC's – MiCS-5521 de e2v:
- *Gases:* CO, Hidrocarburos, Compuestos Orgánicos Volátiles *
 - *Rango de medida:* 30 ~ 400ppm
 - *Resistencia en aire:* 100 ~ 1000kΩ
 - *Sensibilidad:* 1.8 ~ 6 (típicamente 3, ratio entre la resistencia a 60ppm y a 200ppm de CO)
 - *Alimentación:* 2.1 ~ 5V DC
 - *Temperatura de operación:* -30 ~ +85°C
 - *Tiempo de respuesta:* 30 segundos
 - *Consumo medio:* 32mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en un segundo)



(*) Hidrocarburos clorados, hidrocarburos aromáticos, alcoholes aromáticos, alcoholes alifáticos, terpenos, glicoles, aldehídos, esterés y ácidos... La lista detallada puede encontrarse en <http://www.libelium.com/downloads/voc-sensors.xls>



Figura 35.-Placa de gases

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Además de la placa de gases, Waspnote cuenta también con una placa de eventos (figura 36) con la que es capaz de monitorizar magnitudes tan importantes como: presión, peso, curvatura, estiramiento, vibración, impacto, inclinación, temperatura, nivel de líquido, luz, PIR, efecto Hall y presencia de líquido.



Figura 36.- Placa de Eventos.

Del mismo modo dispone de una placa de prototipado preparada para la integración de cualquier tipo de sensor y para permitir el encendido/apagado de aparatos eléctricos que requieran una alimentación de hasta 10A, Área Pads, Área Circuitos Integrados, Etapas de Amplificación, Etapa de conversión Intensidad - Tensión, Conversor analógico/digital (16b) y Relé (10A).

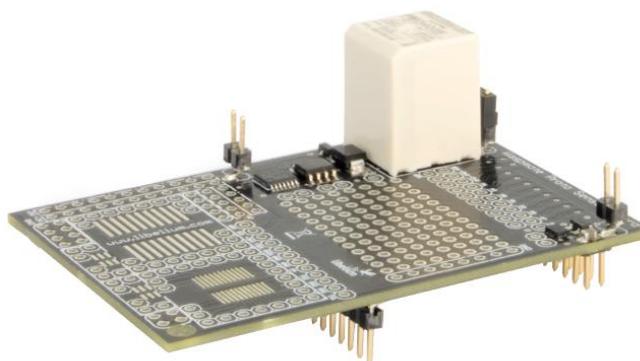


Figura 37.- Placa de Prototipado.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Para más información y soporte dirigirse a la web de Libelium <http://www.libelium.com/>

La opción de utilizar la placa de sensores de Waspnote como solución para monitorizar gases nocivos en excavaciones con tuneladoras en escudo abierto ha sido desechada aunque, a primera vista, pudiera parecer totalmente válida y con aplicaciones extra debido a las tarjetas sensoriales de las que dispone. Los motivos por los que se ha rechazado se explican detalladamente al inicio del cuarto capítulo de este documento.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

3. ESPECIFICACIONES

Para llevar a cabo el correcto desarrollo de una placa de sensores capaz de detectar gases nocivos en el ámbito de una excavación con hinca de tubo se ha de considerar las siguientes especificaciones:

3.1 Especificaciones Espaciales

La diana es el elemento donde incidirá el láser para el guiado de la tuneladora y permitirá realizar el cálculo de la trayectoria. Va colocada en el interior de la tuneladora ver figura 38.

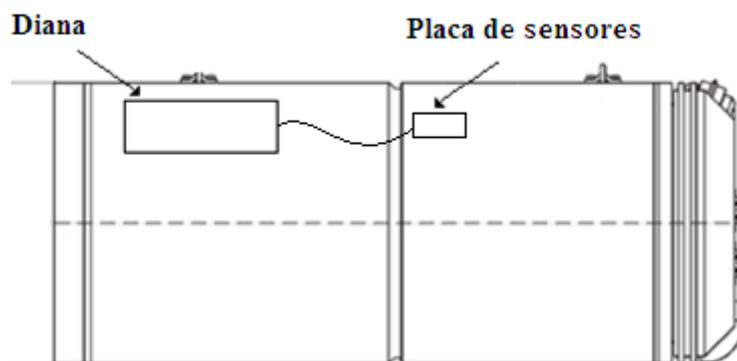


Figura 38.- Diana en la tuneladora

La placa de sensores irá conectada físicamente a la diana y se ha de prever que esté dentro de ésta. La siguiente imagen muestra el prototipo de diana construido para la realización del proyecto La Ciudad Multidimensional con sus dimensiones exteriores en centímetros:

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Figura 39.-Prototipo de diana.

La diana consta de un sistema de filtrado que está proyectado para el sistema de guiado. Aprovechando este sistema, el poder alojar la placa de sensores dentro de la caja facilitaría el llevar los gases a los sensores limpios de partículas, polvo y suciedad.

Además, el sistema de visión utiliza dos cámaras para la detección de los puntos generados en la diana por el láser. Las cámaras van colocadas en el interior de la diana en uno de los paneles laterales, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

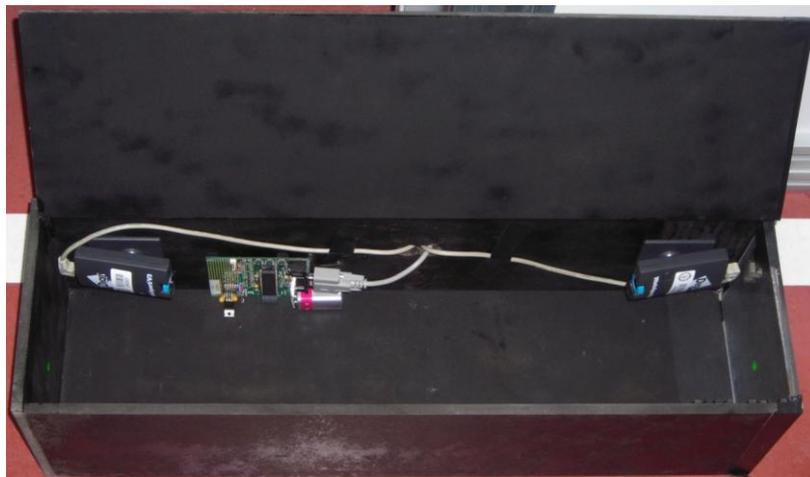


Figura 40.- Colocación de las cámaras en el interior de la diana.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Así mismo el interior de la diana alberga la placa de desarrollo del inclinómetro que permite conocer el ángulo de alabeo de la tuneladora. Esto limita aún más el área útil dentro del interior de la diana, puesto que se debe evitar que se impida la generación del punto en el fondo de la diana generado por el láser.

Por todo ello la placa de sensores para la monitorización de gases tóxicos debe tener unas dimensiones reducidas ya que también va instalada en el interior de la diana.

3.2. Especificaciones del Sistema

Según las especificaciones recibidas por parte de la empresa colaboradora EUROHINCA, el sistema se encarga de detectar la presencia de gases peligrosos para los operarios de las rozadoras, siendo capaz de alertar de forma temprana de la presencia de emisiones de gases nocivos, como: CO (anhídrido de carbono), H₂S (sulfuro de hidrogeno), tolueno, y etanol en las concentraciones (medidas en partes por millón (ppm) y volumen en el aire (LEL)) y márgenes indicados en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 de este capítulo.

Nivel CO (ppm)	EFFECTOS EN LA SALUD
1 – 70 ppm	Efectos inciertos. La mayoría de la gente no padece ningún síntoma excepto pacientes que sufren de corazón, a los cuales puede producirles un incremento de dolor de pecho.
70 – 150 ppm	Dolor de cabeza, fatiga y nauseas.
150 – 200 ppm	Desorientación, pérdida de conocimiento, hasta la muerte.

Tabla 1.- Efectos de varias concentraciones de CO en la salud humana.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Nivel H₂S (ppm)	EFFECTOS EN LA SALUD
20 ppm o inferior	Por unas horas en contacto con los ojos, produce irritación de la conjuntiva, nariz y garganta. Por exposición repetida, se presenta lagrimeo, dolor y visión nublada.
A partir de 50 ppm	Efecto narcotizante sobre células receptoras del olfato. No se percibe el olor.
A partir de 100 ppm	Puede producir la muerte.
> 500 ppm (Exposiciones breves)	Pérdida de conocimiento y posible muerte.

Tabla 2.- Efectos de varias concentraciones de H₂S en la salud humana.

- Se reconoce por su desagradable olor a huevo putrefacto.
- Algunas personas se recuperan sin sufrir otros efectos; otras parecen sufrir efectos permanentes (dolor de cabeza y falta de concentración, mala memoria y mala función motora).

Nivel Tolueno (ppm)	EFFECTOS EN LA SALUD
Niveles bajos o moderados (< 100 ppm)	Cansancio, confusión, debilidad, pérdida de memoria, dolor de cabeza, náuseas, mareos, irritación de ojos y nariz y pérdida de apetito, audición y vista. Desaparece cuando termina la exposición.
A partir de 100 ppm (Exposiciones prolongadas)	Afectan al sistema nervioso central, producen alteración del cuadro hemático y otros efectos crónicos.
Altos niveles de tolueno (Períodos breves)	Mareos, somnolencia, pérdida de conocimiento y en casos extremos puede provocar la muerte.

Tabla 3.- Efectos de varias concentraciones de Tolueno en la salud humana.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- La concentración máxima permitida de vapores de tolueno en lugares de trabajo es de 50 ppm.
- El control de trabajadores expuestos al tolueno ha arrojado resultados contradictorios.
- Puede producir cáncer a personas expuestas por un largo tiempo a sus efectos (responsable de la metabolización del benceno y el tolueno).

Nivel Etanol (ppm)	EFFECTOS EN LA SALUD
Concentraciones no muy altas	Mareos; en el sistema nervioso central puede producir euforia, desinhibición; somnolencia, confusión, alucinaciones (al mismo tiempo baja los reflejos).
En concentraciones más altas	Ralentiza los movimientos, impide coordinación correcta de los miembros, pérdida temporal de la visión, etc. En algunos casos irritabilidad del sujeto intoxicado y agresividad; en otra cierta cantidad de individuos, se ve afectada la zona que controla los impulsos, finalmente conduce al coma y puede producir la muerte.

Tabla 4.- Efectos de varias concentraciones de Etanol en la salud humana.

- Es inflamable, se presenta como un líquido incoloro e inflamable, punto de ebullición 78°C.
- Al mezclarse con agua se produce una mezcla azeotrópica.
- La concentración máxima permitida en lugares de trabajo es de 1000 ppm.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Nivel CH₄ (LEL)	EFFECTOS
LIE 10 %	Parar obra y producción.
LIE 15 %	Evacuación de zona del personal.
Efectos agudos	Asfixia; en algunos casos inconsciencia. Ataques cardiacos o lesiones cerebrales

Tabla 5 .- Efectos de varias concentraciones de Metano en la salud humana.

- Límites de explosividad. 5 % - 15 %

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

4. DESARROLLO

Tras la investigación de las tecnologías y las soluciones integradas existentes se procede a un profundo análisis del que se concluye que no hay ninguna propuesta que se adecúe totalmente a las especificaciones requeridas en este proyecto por lo que se resuelve desarrollar un prototipo.

La solución integrada cuyas especificaciones más se adecúan a los requerimientos exigidos es la placa de sensores de Waspote (por eso se ha elegido como ejemplo para ilustrar un sistema de medida portátil, además de que usa varios de los sensores que finalmente se han seleccionado para el desarrollo de la placa de sensores). Ésta idea ha sido desechada debido a dos puntos principalmente:

- La duración de su vida útil es de un solo año (usando el modo hibernar como modo de ahorro de energía). Por el contrario, la duración de la mayoría de los sensores, entre ellos los seleccionados para la implementación de la placa de sensores, es de 2 años.
- La arquitectura de comunicaciones de la diana soportaría dispositivos de comunicaciones inalámbricas pero el entorno de operación bajo tierra, temperatura, humedad, vibraciones y sobre todo el ruido electromagnético provocado por electrobovinas y demás maquinaria pesada en el interior del topo; desaconsejan la utilización de cualquier tecnología Wifi, Zigbee,...

4.1. Selección de Sensores

A partir de las especificaciones que debe tener la aplicación y habiendo realizado un estudio previo en cuanto a tecnologías existentes se procede a realizar un sondeo en el mercado para estudiar los sensores disponibles en el mismo que pudiesen ser interesantes.

En esta investigación se localizan tres firmas potencialmente utilizables. A continuación se enumera, de forma muy superficial, los

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

sensores disponibles y sus características más importantes en el tema a tratar.

1.- ALPHASENSE

Alphasense suministra una amplia gama de sensores sensibles a gases tóxicos e inflamables. Su principal ventaja consiste en que la mayoría son amperométricos, lo que es muy interesante ya que conllevarían un ahorro considerable en el consumo. Seguidamente se expone una pincelada de los sensores disponibles y que pudieran interesar:

SENSORES DE CO:

- SERIE A: Para aplicaciones portátiles:
 - AE: rango extendido.
 - AF: general.
 - AX: TUV-approved. Baja sensibilidad al hidrógeno.
- SERIE B: Para aplicaciones fijas:
 - BF: general.
 - BX: baja sensibilidad al hidrógeno.
- SERIE C: Igual a la serie A pero con filtros químicos para proteger al sensor de gases nocivos:
 - CE: rango extendido.
 - CF: general.
 - CX: TUV-approved. Baja sensibilidad al hidrógeno.
- SERIE D: Miniatura. Se distinguen en el tamaño lo que permite un bajo costo de fabricación y una alta conectividad.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

SENSORES DE H₂S:

- SERIE A: Para aplicaciones portátiles:
 - AH: mejor resolución.
 - A1: general.
 - AE: altas concentraciones.
- SERIE B: Para aplicaciones fijas:
 - BH: mejor resolución.
 - B1: general.
 - BE: altas concentraciones
- SERIE D: Miniatura. Se distinguen en el tamaño lo que permite un bajo costo de fabricación y una alta conectividad.

FLAMMABLE GAS SENSOR: Disponible el general (CH-A3) y miniatura (CH-D3).

2.- SYNKERA.

Synkera desarrolla, fabrica y comercializa sensores basados en una combinación de la nanotecnología y la ingeniería de materiales.

SENSORES DE H₂S:

- H₂S-T90 y T50: Se encuentran en proceso de desarrollo. Además no cubren el rango requerido
- P/N 714: No abarca el rango. Tiene un consumo aproximado de 900 mW.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

VCOs SENSOR:

- P/N 707: Aplicable para el tolueno y el etanol. Su consumo aproximado es de 400 mW.

FLAMMABLE GAS SENSOR:

- P/N 711: Aplicable al metano y el monóxido de carbono. Consume unos 900 mW

3.- FIGARO.

Figaro produce innovadores sensores de gas electroquímicos para la detección de gases tóxicos, metano, propano, CO, CO₂, alcohol y gases combustibles.

SENSORES DE CO:

- TGS 2442: Consumo aproximado de 14 mW.
- TGS 5042: Amperométrico.

SENSORES DE METANO & CO:

- TGS 3870: Consume unos 38 mW.

SENSORES DE METANO:

- TGS 2611: Consumo de unos 280 mW.

SENSORES PARA LA DETECCIÓN DE CONTAMINANTES DEL AIRE:

- TGS 2602: Aplicable para el tolueno y el etanol. Consume 280 mW.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

SENSORES DE Metano & LP:

- TGS 6810: Tiene un consumo de unos 525 mW.

SENSORES DE ALCOHOL:

- TGS 2620: Aplicable al etanol, monóxido de carbono y metano. Consume unos 210 mW.

Otro fabricante interesante es SENSORS DIRECT ya que dispone de varios sensores amperométricos pero ha sido imposible contactar con él por lo que no se ha podido definir datos relevantes como el circuito de medida de los mismos.

A modo de resumen se adjunta una tabla comparativa de todos ellos en el anexo II, además de sus datasheet en el anexo I. Para más información dirigirse a sus páginas web:

- www.alphasense.com
- www.synkera.com
- www.figaro.co.jp

Asumiendo el rango de medida exigido para cada gas, buscando economizar lo máximo en consumo y que se va a usar un microcontrolador para regular el sistema con un convertidor analógico digital de 10 bits, se concluye que los sensores más adecuados son:

- **Para el CO:** el sensor de **ALPHASENSE CO-BX**, ya que cubre todo el rango y es el de mayor sensibilidad dentro de los que no son de rango extendido.
 - **Rango solicitado:** 1 – 200 ppm.
 - **Rango sensor:** 0 – 2000 ppm.
 - **% cubierto:** 1000 %.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Para el H₂S:** el sensor de **ALPHASENSE H₂S-A1**. Aunque su rango no alcanza las 500 ppm, se decide seleccionar este sensor porque es el de mayor sensibilidad dentro de los de rango no extendido y además, sí que es capaz de detectar 100 ppm, concentración que puede producir la muerte, por lo que si se llegasen a estas cifras de concentración de H₂S ya habría que tomar medidas antes de alcanzar las 500 ppm (0 – 100 ppm es el rango de operación normal del sensor siendo 500 ppm el valor máximo de concentración para una respuesta estable).
 - **Rango solicitado:** 0 → + de 500 ppm.
 - **Rango sensor:** 0 – 100 ppm.
 - **% cubierto:** 20%.
- **Para el Tolueno:** el **VCO sensor P/N 707 de SYNKERA**. Cubre el rango de medida exigido aunque para obtener una gran sensibilidad a bajas concentraciones se incluye en el diseño el **TGS 2602 de Figaro** de alta sensibilidad a bajas concentraciones.
 - **Rango solicitado:** 0 → + de 100 ppm.
 - **Rango sensor:** 10 – 1000 ppm (P/N 707) y 1 – 30 ppm (TGS 2602).
 - **% cubierto:** 1000%.
- **Para el Etanol:** el **TGS 2620 de FIGARO**. Como ocurre para el tolueno, este sensor cubre todo el rango exigido pero para obtener alta sensibilidad en concentraciones muy bajas se añade también en el diseño el **TGS 2602 de FIGARO**.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Rango solicitado:** Altas y bajas concentraciones. La concentración máxima permitida en lugares de trabajo es de 1000ppm.
- **Rango sensor:** 50 – 5000 ppm.
- **% cubierto:** 500%.
- **Para el Metano:** el **CH-A3 de ALPHASENSE**. Cubre todo el rango aunque el fabricante advierte que no funciona por encima de un LEL del 5%, sin embargo también advierte que el 100% del LEL del metano es del 5%.
 - **Rango solicitado:** LIE 1 –15 %.
 - **Rango sensor:** 0 – 100 %.

Una vez realizada la selección de sensores se procede a pedir presupuesto de los mismos a los fabricantes enviando éstos unas facturas proforma que se incluyen en el anexo III de este documento.

A la vista de estas facturas y debido al encarecimiento del producto se decide sacrificar el ahorro en consumo que suponían los sensores amperométricos de ALPHASENSE, resolviendo que los más adecuados son:

- **Para el CO:** el sensor **TGS 5042 de FIGARO**, ya que cubre todo el rango y además es amperométrico, pero mucho más económico que sus análogos de ALPHASENSE, con un circuito de instrumentación muy sencillo (véase en el apartado 4.2.1 y 4.2.2).
 - **Rango solicitado:** 1 – 200 ppm.
 - **Rango sensor:** 0 – 1000 ppm.
 - **% cubierto:** 500 %.
 - **Salida en corriente:** 1.2 – 2.4 nA/ppm.
 - **Temperatura de operación:** -10 ~ +60°C

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Humedad de operación:** 5 ~ 99 %RH
- **Tiempo de respuesta:** 60 segundos.
- **Escalón con la resolución de la captura:**
4.89 mV/1ppm (*)

- **Para el H₂S:** el sensor **TGS 825 de FIGARO**, Aunque su rango no alcanza las 500 ppm, sí que es capaz de detectar 100 ppm, concentración que puede producir la muerte, por lo que si se llegasen a estas cifras de concentración de H₂S ya habría que tomar medidas antes de alcanzar las 500 ppm.
 - **Rango solicitado:** 0 → + de 500 ppm.
 - **Rango sensor:** 5 – 100 ppm.
 - **% cubierto:** 19 %.
 - **Resistencia a 50ppm de Etanol en aire:** 3 ~ 30kΩ
 - **Resistencia de carga:** 10kΩ±10%.
 - **Alimentación:** 5V ±0.05 VDC
 - **Escalón con la resolución de la captura:**
4.89 mV/0,1ppm (*)

- **Para el Tolueno:** el **VCO sensor P/N 707 de SYNKERA**. Cubre el rango de medida exigido aunque si fuera necesario tener mucha sensibilidad a bajas concentraciones también se podría incluir en el diseño el **TGS 2602 de FIGARO** de alta sensibilidad a bajas concentraciones.
 - **Rango solicitado:** 0 → + de 100 ppm.
 - **Rango sensor:** 10 – 1000 ppm (P/N 707) y 1 – 30 ppm (TGS 2602).

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **% cubierto:** 1000%.
- **Tiempo de respuesta típico:** < 1 minuto al 90% de la escala completa.
- **Temperatura de operación:** - 20 a 50°C.
- **Humedad de operación:** 0 a 90 %RH.
- **Escalón con la resolución de la captura:**
4.89 mV/1ppm (*)

- **Para el Etanol: el TGS 2620 de FIGARO.** Como ocurre para el tolueno, el sensor cubre todo el rango exigido pero si fuera necesario tener alta sensibilidad en concentraciones muy bajas se podría añadir también en el diseño el **TGS 2602 de FIGARO.**
 - **Rango solicitado:** Altas y bajas concentraciones. La concentración máxima permitida en lugares de trabajo es de 1000ppm.
 - **Rango sensor:** 50 – 5000 ppm. 1 – 30 ppm (TGS 2602).
 - **% cubierto:** 500%.
 - **Resistencia a 300ppm de Etanol:** 1 ~ 5kΩ
 - **Sensibilidad:** 0.3 ~ 0.5 (ratio entre la resistencia a 300ppm y a 50ppm)
 - **Alimentación:** 5V ±0.2 VDC
 - **Temperatura de operación:** -10 ~ +40°C
 - **Tiempo de respuesta:** 30 segundos

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- **Resistencia mínima de carga:** 0.45k Ω
- **Consumo medio:** 46mA (a lo largo del ciclo completo de alimentación en 250ms)
- **Escalón con la resolución de la captura:**
4.89 mV/5ppm (*)
- **Para el Metano:** el **TGS 6810 de FIGARO**. Se ha elegido frente al sensor TGS 2611, ya que cubre todo el rango de medida exigido aunque consume un poco más.
 - **Rango solicitado:** LIE 1 –15 %.
 - **Rango sensor:** 0 – 100 %.
 - **% cubierto:** 100%.
 - **Escalón con la resolución de la captura:**
4.89 mV/0.1% LIE.
- **TGS 2602 de FIGARO:** Se ha elegido para reforzar la sensibilidad a bajas concentraciones de tolueno y etanol.
 - **Rango del sensor:** 1 – 30 ppm.
 - **Sensibilidad:** 0.15 ~ 0.5 (ratio entre la resistencia en 10ppm de Etanol y en aire)
 - **Resistencia en el aire:** 10 – 100k Ω
 - **Alimentación:** 5V \pm 0.2 VDC.
 - **Temperatura de operación:** 10 – 50 $^{\circ}$ C
 - **Tiempo de respuesta:** 30 segundos.
 - **Resistencia de carga mínima:** 0.45k Ω
 - **Consumo medio:** 61 mA

En esta nueva selección se ha unificado lo máximo posible el proveedor para aprovechar los portes y así disminuir el precio, sin perder ni una sola de las características requeridas en la aplicación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Nótese que la mayoría de los sensores tienen un tiempo de respuesta típico de 30 segundos a 1 minuto, intervalo de tiempo suficiente para responder a las especificaciones requeridas por EUROHINCA en sus requisitos.

(*) 4,89mV corresponden a los 5V a los que se alimenta el microcontrolador dividido entre 1024 que corresponden a los 10 bits del convertidor analógico digital del microcontrolador.

4.2. Diseño de la placa de desarrollo. Instrumentación y Hardware.

En el desarrollo del diseño hay que tener en cuenta una serie de consideraciones:

- La placa será alimentada exteriormente a +24 VDC. Esto implica que hay que usar un conversor de corriente continua con sus correspondientes filtros de entrada y salida.

Se llama conversor de corriente continua a un dispositivo que transforma corriente continua de una tensión a otra. Para el caso que se está tratando se va a usar un conversor reductor que es un convertidor de potencia que obtiene a su salida un voltaje continuo menor que a su entrada.

Los convertidores reductores son parte integral de muchos equipos electrónicos actuales. Estos permiten reducir un voltaje continuo (generalmente no regulado) a otro de menor magnitud (regulado). Básicamente están formados por una fuente DC, un dispositivo de conmutación y un filtro paso bajo que alimentan a una determinada carga.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Hay dos diseños básicos para los conversores o reguladores: regulador lineal y regulador conmutado. El funcionamiento del primero es similar a una resistencia variable que mantiene el voltaje de carga constante gracias a la realimentación proveniente de carga. En un regulador conmutado se emplean principalmente elementos de conmutación e inductores para lograr obtener el voltaje de carga deseado.

Si bien hoy en día es posible encontrar diversas variantes y topologías, se pretende detallar el funcionamiento de este dispositivo a través de la descripción breve del funcionamiento y los parámetros de diseño de un convertidor Buck con una frecuencia de conmutación fija, modulación por ancho de pulso y la operación en modo continuo.

EL CONVERTIDOR BUCK.

El circuito que define a este convertidor se muestra en la figura 41, en el cual se puede observar el dispositivo de conmutación o interruptor S, un diodo D, un inductor L, un condensador C y la carga a alimentar R. El circuito de la figura 42 muestra la forma como se producen los pulsos que se aplican a la base o gate del dispositivo de conmutación (el dispositivo de conmutación puede ser un BJT, IGBT, o bien un MOSFET). Se comparan dos señales una señal triangular (portadora) y una señal de referencia que representa el voltaje deseado en la salida del convertidor. Ambas señales se introducen a un comparador, el cual emitirá una tensión en la salida cada vez que la señal de la portadora sea de menor magnitud al de la señal de referencia.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

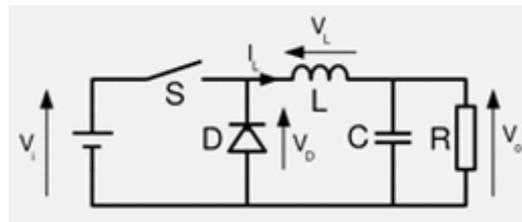


Figura 41.- Conversor Buck

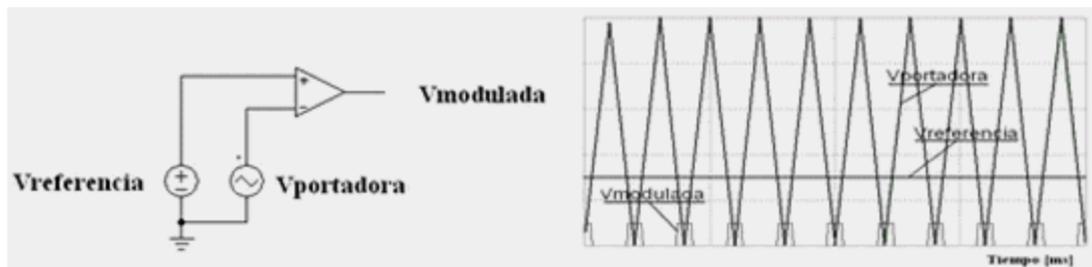


Figura 42.- Generación de pulsos de disparo de S

Se dice que el convertidor Buck trabaja en modo continuo, si la corriente que atraviesa el inductor nunca llega a cero; de otro modo se dice que trabaja en modo discontinuo.

El periodo de conmutación T consta de un subperiodo de encendido t_{on} y uno de apagado t_{off} (fig.44). El ciclo de trabajo D es un escalon que se define como la relación entre el periodo de encendido y el periodo de conmutación.

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad \text{Ecuación 30}$$

El funcionamiento del convertidor implica dos estados: un estado ON en el cual el interruptor permite la circulación de corriente, transmitiendo la tensión de entrada a un extremo del inductor y un estado OFF en el cual dicho dispositivo se comporta como un circuito abierto aislando la tensión de entrada. La figura 43 muestra dichos estados.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Para simplificar el análisis se asumirá que todos los dispositivos semiconductores son ideales.

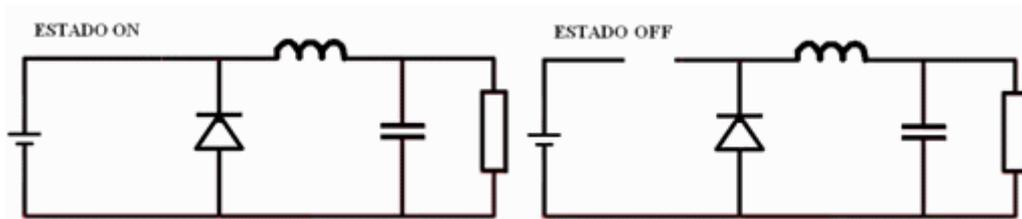


Figura 43.- Estados del interruptor

La corriente ideal que circularía por el inductor se muestra en la figura 44.

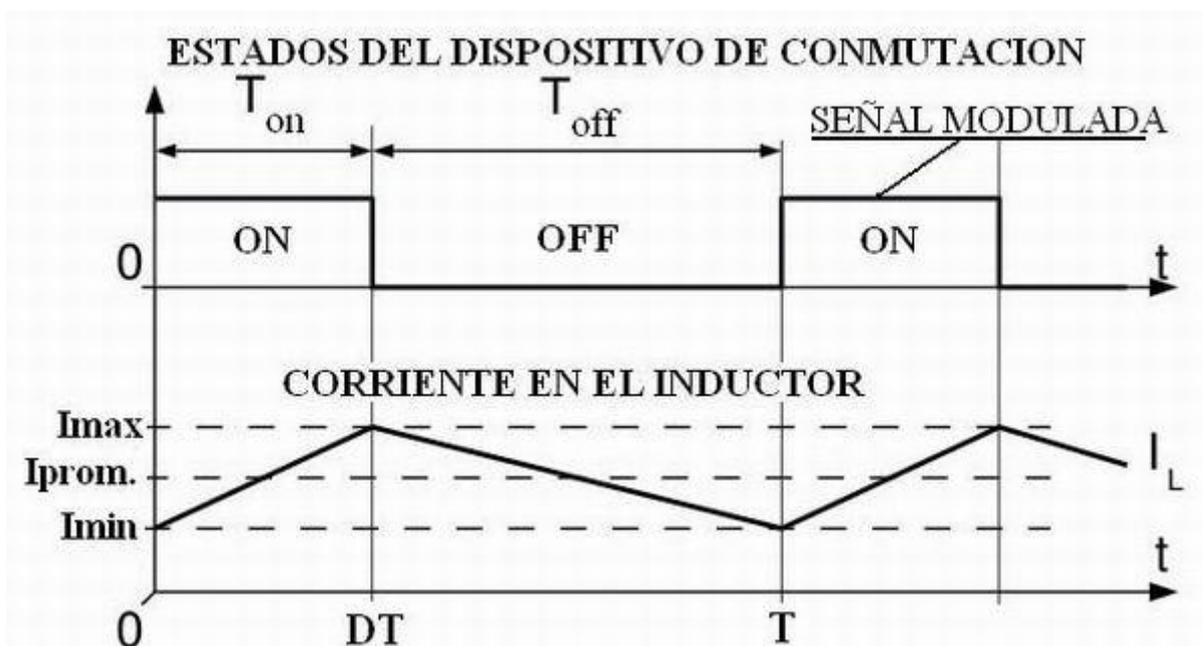


Figura 44.- Corriente en el inductor

En estado ON, la tensión de la fuente es aplicada directamente al diodo que está en polarización inversa, la corriente que atraviesa el inductor crece linealmente y puede calcularse mediante:

$$\Delta I_{LON} = \int_0^{DT} dL_L = \int_0^{DT} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o)}{L} DT \quad \text{Ecuación 31}$$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

En estado OFF, la tensión de la fuente es desconectada y la carga es alimentada desde la inductancia quien cambia de polaridad permitiendo que el diodo quede polarizado directamente y la variación de corriente para el circuito en OFF será:

$$\Delta I_{LOFF} = \int_0^{T-DT} dL_L = \int_0^{T-DT} \frac{V_L}{L} dt = -\frac{V_o}{L} (1 - D)T \quad \text{Ecuación 32}$$

Si el convertidor opera en régimen estable y considerando un ciclo completo de trabajo, la energía almacenada al principio y al final de dicho ciclo es la misma; por lo tanto la corriente al principio y final del ciclo también es la misma, con lo cual:

$$\Delta I_{LON} = \Delta I_{LOFF} \quad \text{Ecuación 33}$$

es decir:

$$\frac{(V_i - V_o)}{L} DT - \frac{V_o}{L} (1 - D)T = 0 \quad \text{Ecuación 34}$$

simplificando:

$$V_o = DV_i \quad \text{Ecuación 35}$$

Puesto que $0 < D < 1$, podemos concluir que la tensión de salida es siempre menor a la tensión de entrada y que varía linealmente con el ciclo de trabajo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- Al estar alimentada a 24 VDC, se debe configurar un circuito de protección o regulador de tensión de para preservar de posibles sobretensiones al resto del circuito.

Un regulador de es un dispositivo electrónico diseñado con el objetivo de proteger aparatos eléctricos y electrónicos sensibles a variaciones de diferencia de potencial o voltaje y ruido existente en la corriente de la distribución eléctrica.

Los reguladores de tensión están presentes en las fuentes de alimentación de corriente continua reguladas, cuya misión es la de proporcionar una tensión constante a su salida. Un regulador de tensión eleva o disminuye la corriente para que el voltaje sea estable, es decir, para que el flujo de tensión llegue a un aparato sin irregularidades.

El funcionamiento de estos dispositivos es el siguiente. Cuando la tensión excede cierto límite establecido que el dispositivo puede soportar, el circuito de protección trabaja para evitar que se dañe el mismo.

Suele estar constituido por uno o varios de los siguientes componentes: un fusible, un protector magnético que desconecta el circuito cuando se está sobrepasando el límite de corriente, un transformador, una resistencia variable o un diodo Zener también conocido como diodo de supresión de voltaje.

La tensión que llega a las tomas de corriente de los hogares, no es adecuada, en general, para alimentar los aparatos electrónicos, ya que es una tensión cuyo valor y sentido de circulación cambia periódicamente. La mayoría de los circuitos electrónicos necesitan una tensión de menor amplitud y valor continuo en el tiempo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Lo primero que se hace es reducir esta tensión con un transformador, después se rectifica para que circule en un solo sentido, y luego se añade un filtro que absorberá las variaciones de tensión; todos estos bloques componen la fuente de alimentación regulada básica.

Ante el gran número de configuraciones posibles y la variedad de dispositivos que pueden actuar como circuito de protección se elige el Diodo Zener para ilustrar un ejemplo de su funcionamiento.

Regulación con diodo Zener

El diodo Zener es un tipo especial de diodo preparado para trabajar en la zona inversa. Cuando se alcanza la denominada tensión Zener en polarización inversa, el diodo recorta la onda de tensión, de este modo mantiene la tensión constante entre sus terminales dentro de ciertos márgenes. Si la corriente es muy pequeña la tensión empezará a disminuir, pero si es excesiva puede destruir el diodo.

Esta propiedad hace que el diodo Zener sea utilizado como regulador de tensión en las fuentes de alimentación.

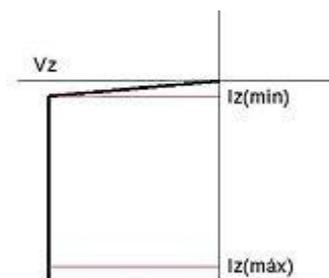


Figura 45.- Curva idealizada inversa del zener

Un ejemplo de circuito de protección regulado con el zener es el regulador en paralelo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

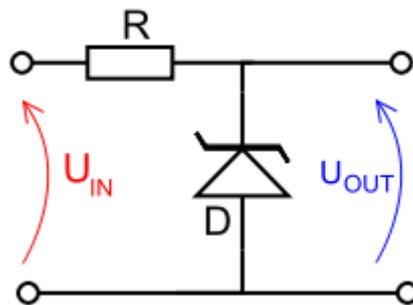


Figura 46.- Circuito regulador Diodo Zener.

Es el regulador de tensión más sencillo. Consiste en una resistencia serie de entrada y el diodo zener en paralelo con la carga como se muestra en la siguiente imagen.

Cuando la tensión de entrada aumenta se produce un aumento de la corriente de entrada, como la tensión del diodo zener es constante, absorbe el exceso de corriente, mientras la resistencia de entrada absorbe esta variación de tensión. Si se produce una disminución de la tensión de entrada, la caída de tensión en la resistencia de entrada disminuirá, compensando la disminución inicial y por el zener circulará menor corriente.

Del circuito se deduce que para que el zener estabilice correctamente, la tensión mínima a su entrada (U_{IN}), debe ser mayor que la tensión de referencia del zener (V_z). También hay un límite de tensión máxima debido a las limitaciones de potencia del dispositivo. Si se cumplen estas premisas, la tensión en la carga será muy aproximada o igual a la del zener.

Las ecuaciones básicas del circuito son las siguientes:

$$V_{in} = V_r + V_z \quad \text{Ecuación 36}$$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Donde V_{in} es la tensión de entrada, V_r la tensión en la resistencia serie y V_z la tensión del zener o de la resistencia de carga.

$$I_e = I_z + I_s \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde I_e es la corriente de entrada, I_z la corriente por el zener e I_s la corriente por la carga.

Otro ejemplo que usa el diodo zener es un regulador en serie conocido como estabilizador de tensión.

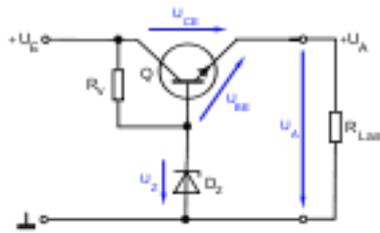


Figura 47.- Estabilizador de tensión.

Este tipo de regulador utiliza un transistor en serie con la carga, como puede observarse en la figura 47.

En este circuito la corriente de entrada sigue los cambios de la corriente por la carga, sin embargo, en el regulador paralelo la corriente por la carga se mantenía constante. Al haber sustituido la resistencia serie por un transistor, este regulador tiene un mayor rendimiento que el regulador paralelo, por lo que se utiliza en circuitos de mayor potencia. Si se produce una bajada en el valor de la resistencia de carga, la corriente de entrada al circuito estabilizador aumenta y por tanto, también aumenta la corriente por la resistencia R_1 , como el diodo zener mantiene su tensión constante, aumenta la caída de tensión en R_1 , con lo que la tensión colector-base del transistor aumenta, volviéndose menos conductivo, y estabilizando el aumento inicial de corriente.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Finalmente, cabe resaltar los reguladores integrados y los conmutados para terminar de definir los circuitos de protección.

Reguladores integrados

Hoy en día es más común encontrar en las fuentes de alimentación reguladores integrados. Son componentes muy parecidos a los transistores de potencia, suelen tener tres terminales, uno de entrada, un común o masa, y uno de salida, tienen una capacidad de reducción del rizado muy alta y normalmente sólo hay que conectarles un par de condensadores. Existen circuitos reguladores con un gran abanico de tensiones y corrientes de funcionamiento. Los de mayor potencia necesitarán un disipador de calor, este es el principal problema de los reguladores serie lineales tanto discretos como integrados, al estar en serie con la carga las caídas de tensión en sus componentes provocan grandes disipaciones de potencia. Normalmente estos reguladores no son buenos para aplicaciones de audio por el ruido que pueden introducir en preamplificadores. Para ello es mejor utilizar regulación con componentes discretos o reguladores tipo LDO de bajo ruido.

Reguladores conmutados

Los reguladores conmutados solucionan los problemas de los dispositivos anteriormente citados, poseen mayor rendimiento de conversión, ya que los transistores funcionan en conmutación, reduciendo así la potencia disipada en estos y el tamaño de los disipadores. Se pueden encontrar este tipo de fuentes en los ordenadores personales, en electrodomésticos, reproductores DVD, etc, una desventaja es la producción de ruido electromagnético producido por la conmutación a frecuencias elevadas, teniendo que apantallar y diseñar correctamente la PCB del convertidor.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- La salida en tensión producida por la resistencia de carga de los sensores es del orden de milivoltios. A su vez, la salida en tensión del sensor amperométrico TGS 5042 es de -2V en su fondo de escala. Debido a esto, hay que añadir a la salida de los mismos unos amplificadores operacionales tanto para aislar impedancias, en el caso que sea necesario, como para aumentar los niveles de tensión de salida hasta 5V (tensión a la que se va a alimentar el microcontrolador) para obtener una mayor resolución en la captura.

Amplificador operacional

Un amplificador operacional (comúnmente abreviado A.O. u op-amp), es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G) (ganancia):

$$V_{out} = G(V_{+} - V_{-}) \quad \text{Ecuación 38}$$

Originalmente los A.O. se empleaban para operaciones matemáticas (suma, resta, multiplicación, división, integración, derivación, etc.) en calculadoras analógicas. De ahí su nombre.

El A.O. ideal tiene una ganancia infinita, una impedancia de entrada infinita, un ancho de banda también infinito, una impedancia de salida nula, un tiempo de respuesta nulo y ningún ruido. Como la impedancia de entrada es infinita también se dice que las corrientes de entrada son cero.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

El amplificador operacional se representa como en la siguiente figura:

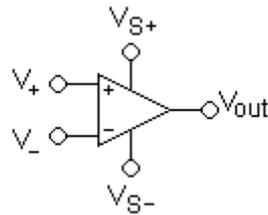


Figura 48.- Amplificador operacional

Los terminales son:

- V_+ : entrada no inversora
- V_- : entrada inversora
- V_{OUT} : salida
- V_{S+} : alimentación positiva
- V_{S-} : alimentación negativa

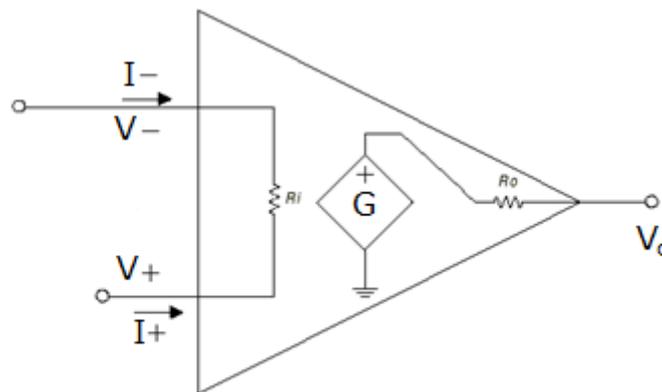


Figura 49.- Amplificador operacional como cuadripolo.

Los terminales de alimentación pueden recibir diferentes nombres, por ejemplos en los A.O. basados en FET V_{DD} y V_{SS} respectivamente. Para los basados en BJT son V_{CC} y V_{EE} .

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Normalmente los pines de alimentación son omitidos en los diagramas eléctricos por claridad.

Tabla de Características Ideales

Parámetro	Valor ideal
Z_i	∞
Z_o	0
B_w	∞
A_v	∞
A_c	0

Tabla 6.- Características Ideales

Nota: Los valores reales dependen del modelo, estos valores son genéricos y son una referencia. Si van a usarse amplificadores operacionales, es mejor consultar el datasheet o características del fabricante.

Comportamiento en lazo abierto

Si no existe realimentación, la salida del A. O. será la resta de sus dos entradas multiplicada por la ganancia. Este factor de ganancia suele ser del orden de 10^5 . Por lo tanto si la diferencia entre las dos tensiones es de 1V la salida debería ser 100.000 V. Debido a la limitación que supone no poder entregar más tensión de la que hay en la alimentación, el A. O. estará saturado si se da este caso. Esto será aprovechado para su uso en comparadores, como se verá más adelante. Si la tensión más alta es la aplicada a la patilla + la salida será la que corresponde a la alimentación V_{S+} , mientras que si la tensión más alta es la del pin - la salida será la alimentación V_{S-} .

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Comportamiento en lazo cerrado o realimentado

Se conoce como lazo cerrado a la realimentación en un circuito. Para comprender su funcionamiento de esta configuración se supondrá realimentación negativa. Se parte de las tensiones en las dos entradas exactamente iguales, se supone que la tensión en la pata + sube y, por tanto, la tensión en la salida también se eleva. Como existe la realimentación entre la salida y la pata -, la tensión en esta pata también se eleva, por tanto la diferencia entre las dos entradas se reduce, disminuyéndose también la salida. Este proceso pronto se estabiliza, y se tiene que la salida es la necesaria para mantener las dos entradas, idealmente, con el mismo valor.

Siempre que hay realimentación negativa se aplican estas dos aproximaciones para analizar el circuito:

$$\begin{cases} V_+ = V_- & \text{(lo que se conoce como principio del cortocircuito virtual)} \\ I_+ = I_- = 0 \end{cases}$$

Cuando se realimenta negativamente un amplificador operacional, al igual que con cualquier circuito amplificador, se mejoran algunas características del mismo como una mayor impedancia en la entrada y una menor impedancia en la salida. La mayor impedancia de entrada da lugar a que la corriente de entrada sea muy pequeña y se reducen así los efectos de las perturbaciones en la señal de entrada. La menor impedancia de salida permite que el amplificador se comporte como una fuente eléctrica de mejores características. Además, la señal de salida no depende de las variaciones en la ganancia del amplificador, que suele ser muy variable, sino que depende de la ganancia de la red de realimentación, que puede ser mucho más estable con un menor coste. Asimismo, la frecuencia de corte superior es mayor al realimentar, aumentando el ancho de banda.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

De la misma forma, cuando se realiza realimentación positiva (conectando la salida a la entrada no inversora a través de un cuadripolo determinado) se buscan efectos muy distintos. El más aplicado es obtener un oscilador.

Configuraciones

Comparador

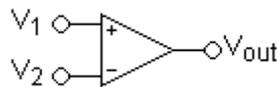


Figura 50.- Comparador

Esta es una aplicación sin la retroalimentación. Compara entre las dos entradas y saca una salida en función de qué entrada sea mayor. Se puede usar para adaptar niveles lógicos.

$$V_{out} = \begin{cases} V_{S+} & V_1 > V_2 \\ V_{S-} & V_1 < V_2 \end{cases} \quad \text{Ecuación 39}$$

Seguidor de Tensión

Es aquel circuito que proporciona a la salida la misma tensión que a la entrada.

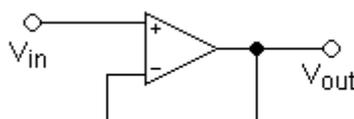


Figura 51.- Seguidor de Tensión

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Se usa como un buffer, para eliminar efectos de carga o para adaptar impedancias (conectar un dispositivo con gran impedancia a otro con baja impedancia y viceversa). Como la tensión en las dos patillas de entradas es igual:

$$V_{out} = V_{in} \quad \text{Ecuación 40}$$

La impedancia de entrada es $Z_{in} = \infty$.

Presenta la ventaja de que la impedancia de entrada es elevadísima, la de salida prácticamente nula, y puede ser útil, por ejemplo, para poder leer la tensión de un sensor con una intensidad muy pequeña que no afecte apenas a la medición. De hecho, es un circuito muy recomendado para realizar medidas de tensión lo más exactas posibles, pues al medir la tensión del sensor, la corriente pasa tanto por el sensor como por el voltímetro y la tensión a la entrada del voltímetro dependerá de la relación entre la resistencia del voltímetro y la resistencia del resto del conjunto formado por sensor, cableado y conexiones.

Inversor

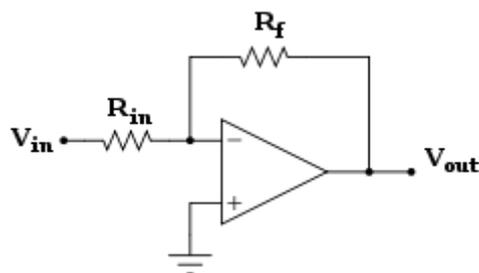


Figura 52.- Inversor

Este montaje se llama así porque la señal de salida es inversa de la de entrada, en polaridad, aunque puede ser mayor, igual o menor,

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

dependiendo esto de la ganancia que se le dé al amplificador en lazo cerrado.

El análisis de este circuito es el siguiente:

$$V_{+} = V_{-} = 0 \quad \text{Ecuación 41}$$

Definiendo corrientes:

$$\frac{V_{in} - 0}{R_{in}} = - \frac{V_{out} - 0}{R_f} \quad \text{Ecuación 42}$$

y de aquí se despeja

$$V_{out} = -V_{in} \frac{R_f}{R_{in}} \quad \text{Ecuación 43}$$

Para el resto de circuitos el análisis es similar.

$$Z_{in} = R_{in} \quad \text{Ecuación 44}$$

Por lo cual podemos controlar la impedancia de entrada mediante la elección de R_{in}

Esta configuración es una de las más importantes, porque gracias a ella, se puede elaborar otras configuraciones, como la del derivador, integrador y sumador.

No inversor

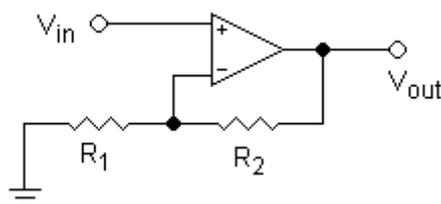


Figura 53.- No Inversor

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Este circuito es muy parecido al inversor, la diferencia es que la señal se introduce por el terminal no inversor, lo cual va a significar que la señal de salida estará en fase con la señal de entrada y amplificada. El análisis matemático será igual que en el montaje inversor obteniendo la ecuación 45.

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{Ecuación 45}$$

$Z_{in} = \infty$, lo cual supone una ventaja frente al amplificador inversor.

Otras configuraciones muy útiles con realimentación negativa y que no se van a explicar en profundidad en este documento son: sumador inversor, restador Inversor, integrador ideal, derivador ideal, conversor de corriente a voltaje, función exponencial y logarítmica y convertidor Digital-Analógico (R-2R)

Aplicaciones más significativas de los AO

- Calculadoras analógicas
 - Filtros
 - Amplificadores y buffers de audio y video
 - Reguladores
 - Conversores
 - Evitar el efecto de carga
-
- El valor estimado de la resistencia interna de los sensores está comprendido entre unos rangos facilitados por el fabricante. Como consecuencia de lo anterior, se emplean potenciómetros en lugar de resistencias en los amplificadores operacionales y en la resistencia de carga ya que de esta forma se podrá calibrar manualmente el aumento de tensión a 5 V con la finalidad de obtener la mayor resolución posible. La elección de la ganancia de la etapa de amplificación y de la resistencia de carga del sensor debe efectuarse en función de dos parámetros: el sensor concreto del que se dispone,

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

ya que pueden existir variaciones importantes entre dos sensores diferentes del mismo modelo, y el valor y rango de concentraciones de gas que se desea monitorizar. También debe tenerse en cuenta que, tanto los sensores como el microcontrolador deben alimentarse con una tensión de 5V para funcionar adecuadamente, por lo tanto será necesario calcular los valores de la resistencia de carga y ganancia para adecuar el rango de medida del sensor a la entrada del PIC. La precisión que puede conseguirse en el valor de salida del sensor será función del modo en que se alimente. De este modo, cuanto mayor sea el tiempo de alimentación o el ciclo de trabajo, según el caso, mejor precisión se obtendrá. Cuando un sensor permanezca sin alimentación durante un tiempo prolongado es posible que muestre una salida poco estable. Dicha estabilidad se recupera después de permanecer un tiempo encendido o de varios ciclos consecutivos de alimentación. La sensibilidad de los sensores puede variar cuando el dispositivo se encuentre sometido a variaciones grandes de temperatura o humedad, por ejemplo en condiciones de exteriores. Para compensar dichas variaciones hay que utilizar las tablas y gráficas incluidas en las hojas de características de los sensores.

- El sistema tiene la capacidad de habilitar y deshabilitar todo el circuito a través de un "enable" en el convertidor DC/DC de donde se alimenta el resto del circuito. También tiene la posibilidad de habilitar por separado cada subcircuito de cada sensor con el microcontrolador para tener sólo activo en cada momento los sensores que se vayan a usar y así tener un consumo más eficiente.
- Los valores de concentración de gas obtenidos tienen que ser transmitidos a un sistema maestro exterior. Para ello se opta por una conexión USB. Los valores obtenidos en la lectura de los sensores deberán ser transformados antes de ser transmitidos vía USB. Este punto se analiza más detalladamente en el apartado 4.3 de este documento.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se procede a la selección de componentes del circuito:

- Como convertor DC/DC se elige el **JTK1524D05** de **XPPOWER** ya que tiene pin de "enable", una salida dual de $\pm 5V$ para alimentar a los amplificadores operacionales y una corriente de salida de 1.5 A para alimentar a todos los sensores (en el apartado 4.2.3 aparece con más detalle la alimentación y el consumo de potencia de todo el circuito) y al PIC (microcontrolador de Microchip). Sus características principales son:

- **Tensión de entrada:** 9-36 V
- **Tensión de salida:** $\pm 5V$
- **Corriente de salida:** $\pm 1.5A$. Esto cubre el consumo previsto para el segmento del circuito alimentado a ± 5 V.
- **Corriente de entrada sin carga/a plena carga:** 15 mA/744 mA.
- **Máxima capacidad de carga:** $\pm 470\mu F$
- **Eficiencia:** 85%



Figura 54.- Convertor DC/DC de JTK1524D05 de XPPOWER

Para el filtro de entrada del convertor se ha empleado dos condensadores de $2,2 \mu F$ y una bobina de $12\mu H$. Como filtro de salida se ha utilizado, teniendo en cuenta el datasheet del dispositivo, un condensador cerámico de $1 \mu F$ y un condensador de tantalito de $10 \mu F$

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

cruzados en los pines de salida. Para observar la disposición exacta de los componentes que conforman tanto el filtro de entrada como el de salida dirigirse a la figura 60 del próximo capítulo.

- Para la protección se opta por implementar un circuito con un transistor, un MOSFET y un varistor. Un varistor (*variable resistor*) es un componente electrónico cuya resistencia óhmica disminuye cuando la tensión que se le aplica aumenta; tienen un tiempo de respuesta rápido y son utilizados como limitadores de picos voltaje. Como transistor se ha elegido el **BC547B**, el MOSFET es un **IRF1324** (MOSFET de potencia que soporta los 24 V de alimentación) y un varistor de 9V del fabricante **AVX** para proteger el pin de enable del conversor DC/DC que empieza a estar activo a los 3 V.

En la figura 59 del próximo capítulo (4.2.1. Esquemáticos) puede observarse como se ha implementado el circuito de protección usando los componentes anteriormente citados.

- Para habilitar y deshabilitar cada sensor se opta también por un circuito con un transistor y un MOSFET que se utilizan como interruptores dependiendo de la tensión que les llegue respectivamente a su base y a su puerta (Gate). Los transistores y MOSFETs elegidos son los mencionados anteriormente (Ver figuras de la 63 a la 67 del próximo capítulo).
- Como amplificador operacional se selecciona el **AD708** que es un AO dual de una excelente precisión en continua que se ha escogido por sus magníficas características:
 - **Máxima tensión de offset:** 30 μV .
 - **Máxima deriva térmica de la tensión de offset:** 0.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.
 - **Máxima tensión de ruido:** 0.35 μV (de 0.1 Hz a 10 Hz)
 - **Ganancia mínima en Lazo Abierto:** 5 millones V/V.
 - **CMRR mínima:** 130 dB CMRR.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Los AD708 utilizados se han implementado tanto en configuración de inversor y no inversor, según corresponda, para elevar la tensión de salida de la resistencia de carga de los sensores así como en modo seguidor de tensión para aislar impedancias.

- Como conector USB se selecciona el tipo B.
- El microcontrolador elegido es el **PIC18F2455** de Microchip ya que dispone de la posibilidad de comunicación mediante USB en alta velocidad, tres puertos de salidas con 8 bits cada uno para habilitar los módulos de los sensores y de un convertidor analógico digital de 10 bits y 10 canales para convertir los valores en tensión recibidos de los sensores a partes por millón (ppm).
 - En el apartado 5.3 de esta memoria se explica cómo y porque se decide sustituir este microcontrolador por otro de su misma familia, el PIC18F4550.

El datasheet de todos los componentes enunciados anteriormente se adjunta en el anexo primero de este documento.

4.2.1. Esquemáticos.

Para implementar el diseño de la placa de desarrollo se ha utilizado el programa de diseño asistido por ordenador OrCAD.

OrCAD es un software para automatizar el diseño de circuitos electrónicos. Su principal ámbito de aplicación es el diseño de circuitos impresos y la simulación de esquemáticos.

ORCAD incluye una herramienta, OrCAD Capture, en la que puede editarse los componentes electrónicos que se van a usar en un diseño, la conexión de sus terminales y se consigue simular su comportamiento obteniendo los valores de tensión, intensidad y potencia de cada rama del circuito si así se desea. Además si alguno de los elementos que se quiere utilizar para un diseño no forman parte de la librería estándar de OrCAD,

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

como es el caso de este proyecto, ofrece la posibilidad de crear tus propios componentes. Los componentes para el conector usb, el conversor dc/dc con eneeable y el PIC han sido creados expresamente para este diseño simulado la geometría descrita en sus hojas de características (Ver en sus esquemáticos en este capítulo). En la figura 55 se muestra un pantallazo de este entorno de diseño.

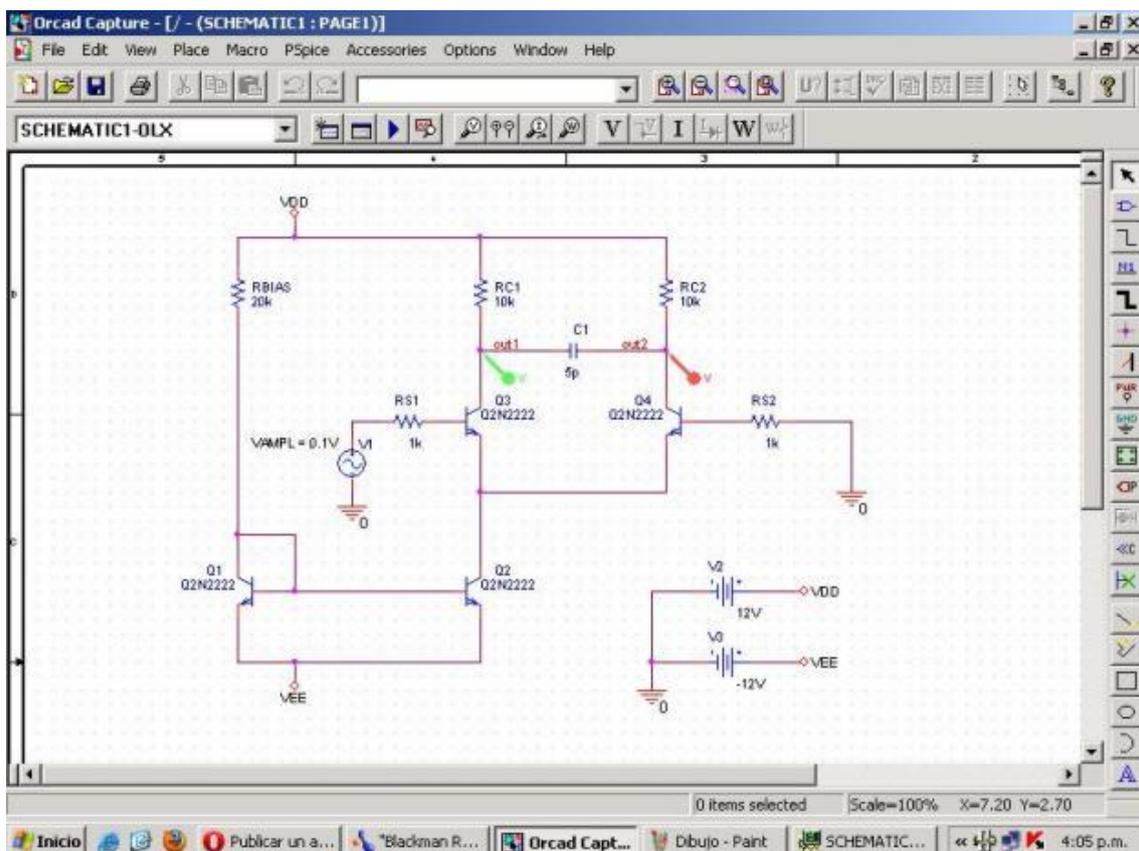


Figura 55.- OrCAD Capture

OrCAD incluye otra herramienta, OrCAD Pspice, que permite simular en una gráfica el comportamiento del circuito en un intervalo tiempo, hacer un estudio en frecuencia y utilizar fuentes parametrizadas para ilustrar la respuesta ante diferentes escenarios; entre otras posibilidades de análisis. En el capítulo 4.2.2. se incluye varios pantallazos de simulaciones con las respuestas de los diferentes módulos del diseño realizado para la PCB de detección de gases nocivos.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Por último, OrCAD también tiene otra herramienta, OrCAD Layout, para que una vez se haya implementado y probado que un diseño responde de forma satisfactoria a los requerimientos para los cuales fue realizado; plasmarlo en un circuito impreso. Esta aplicación permite definir las diferentes capas que se van a utilizar para el diseño, las anchuras de las pistas que unen los componentes, el tamaño, forma y profundidad de los pad de los componentes, la orientación de los mismos y cualquier otra funcionalidad necesaria para el correcto diseño de un circuito impreso. Además ofrece también la posibilidad de que si uno de los componentes no forma parte de su librería estándar, el usuario pueda crearse su propio "footprint" (huella) e incluso definir una librería propia para sus diseños.

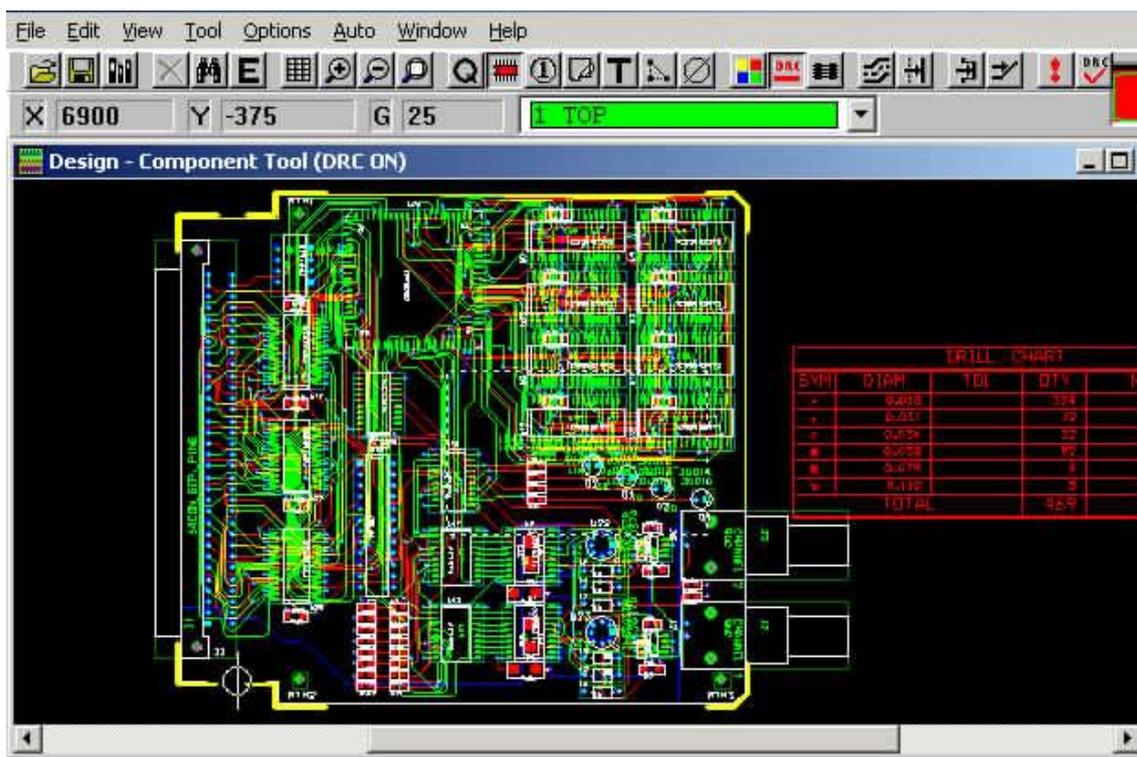


Figura 56.- OrCAD Layout.

A continuación se muestran las imágenes de los esquemáticos tanto del diagrama jerárquico de la PCB como de cada módulo para ilustrar los componentes y conexiones utilizados para el diseño, realizados con la herramienta Capture de OrCAD.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

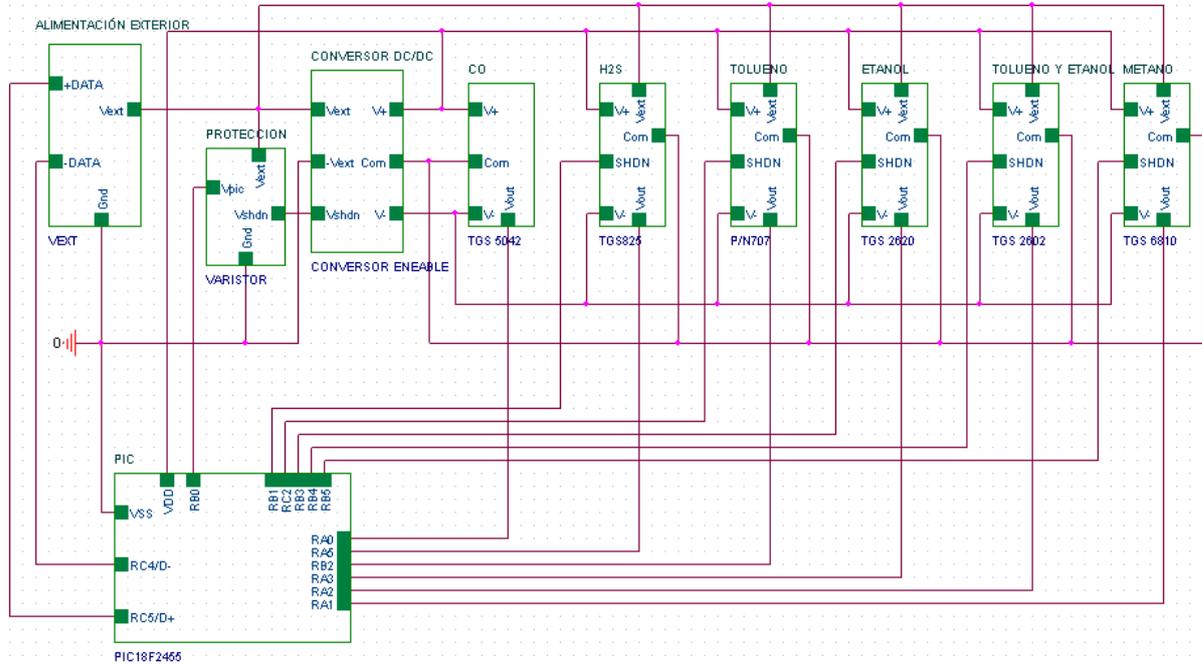


Figura 57.- Esquemático del diseño jerárquico

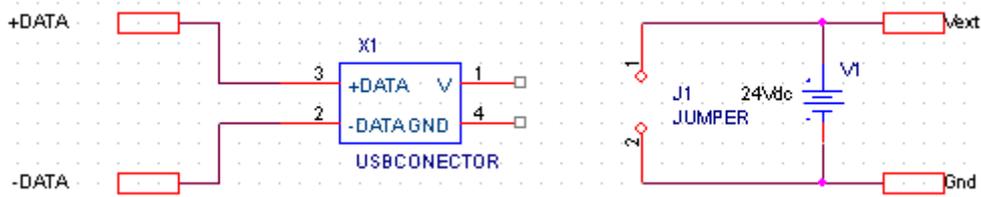


Figura 58.- Esquemático de la alimentación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

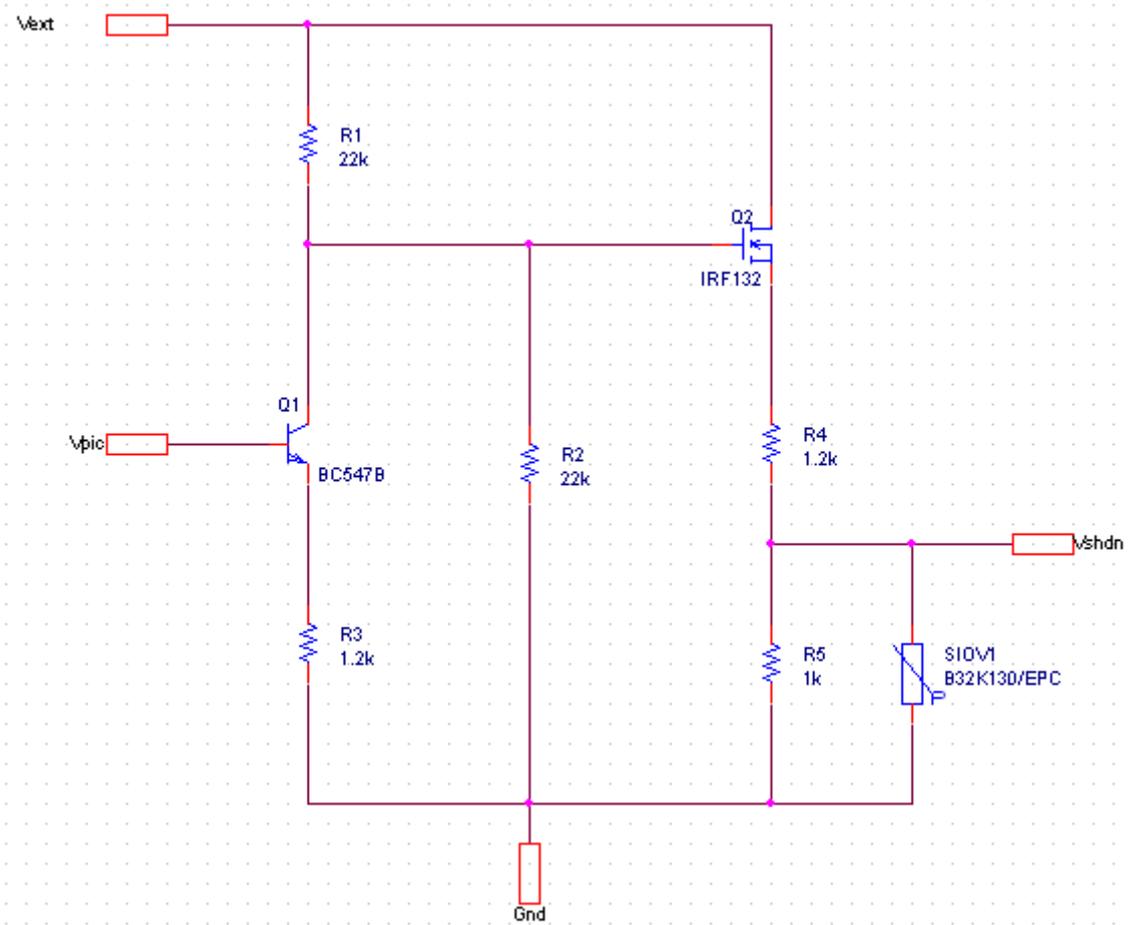


Figura 59.-Esquemático del circuito de protección.

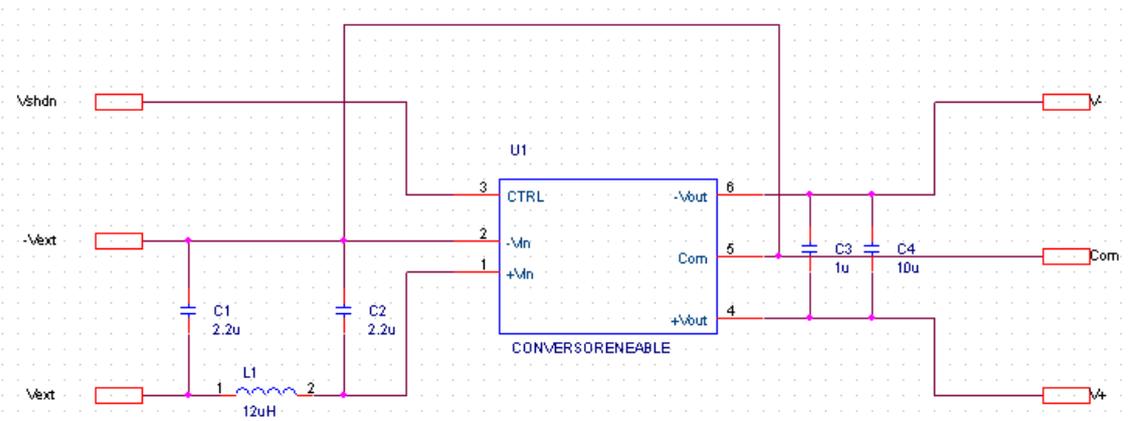


Figura 60.- Esquemático del circuito del regulador de DC/DC con eneeble.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

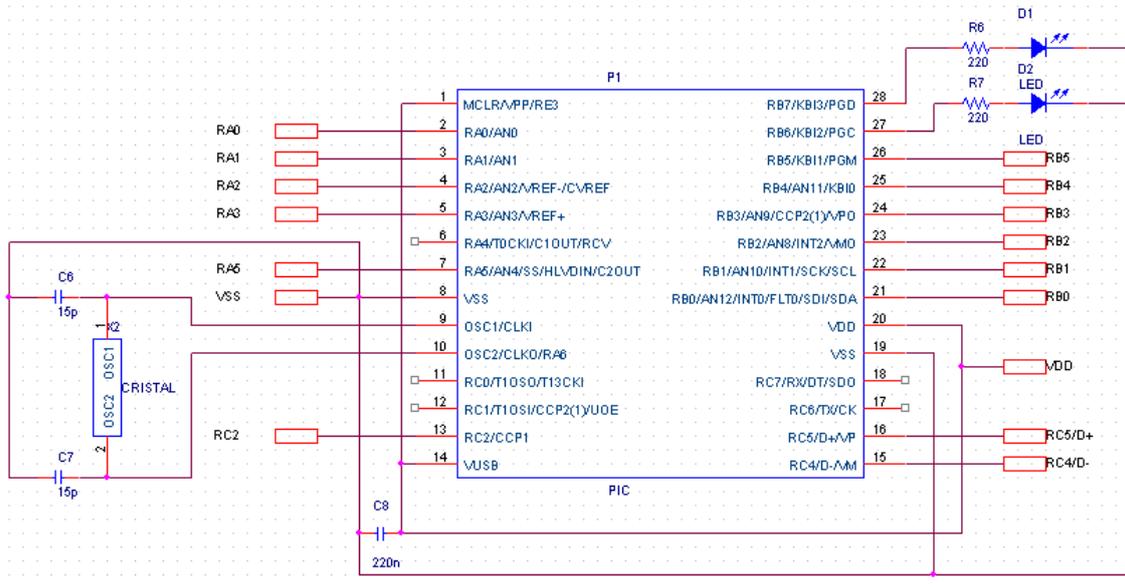


Figura 61.-Esquemático del circuito del PIC.

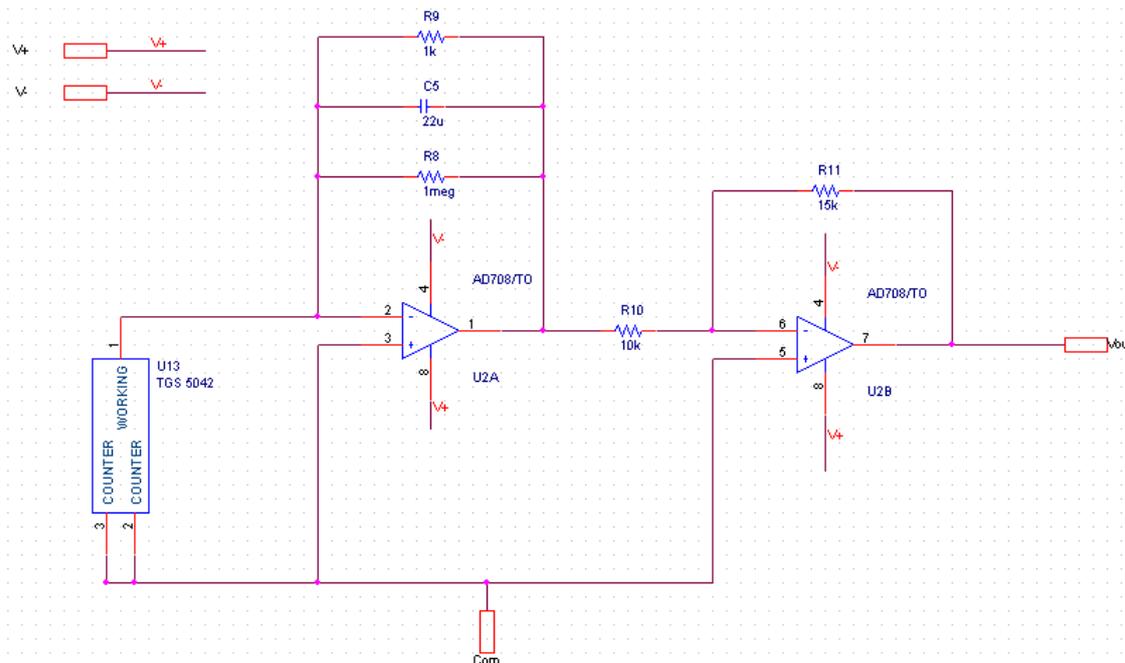


Figura 62.-Esquemático del TGS 5042, sensor de CO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

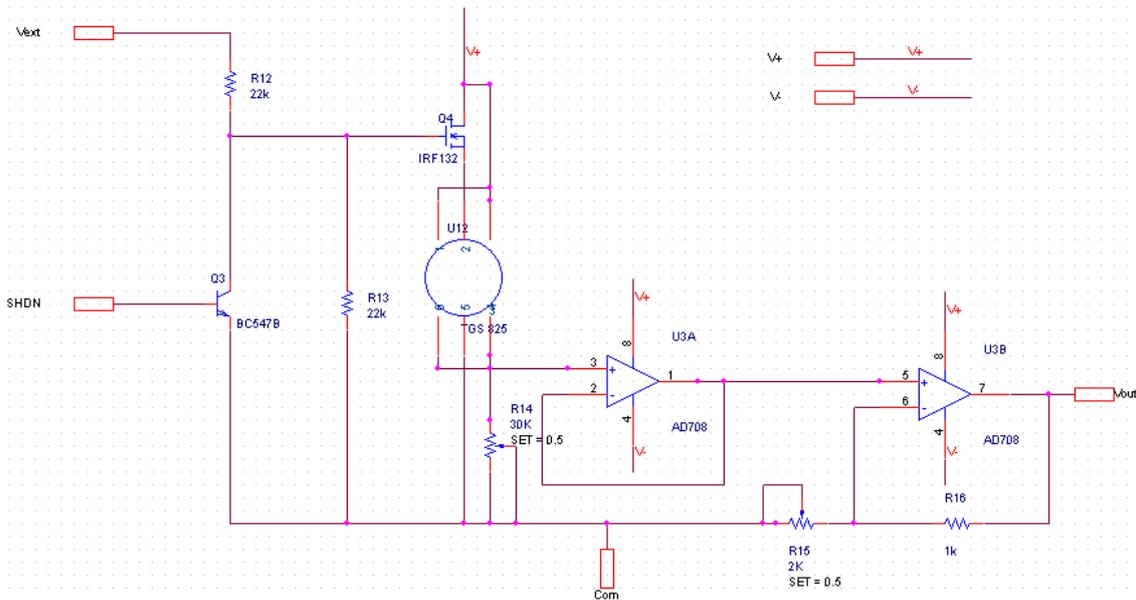


Figura 63.-Esquemático del TGS 825, sensor de H₂S.

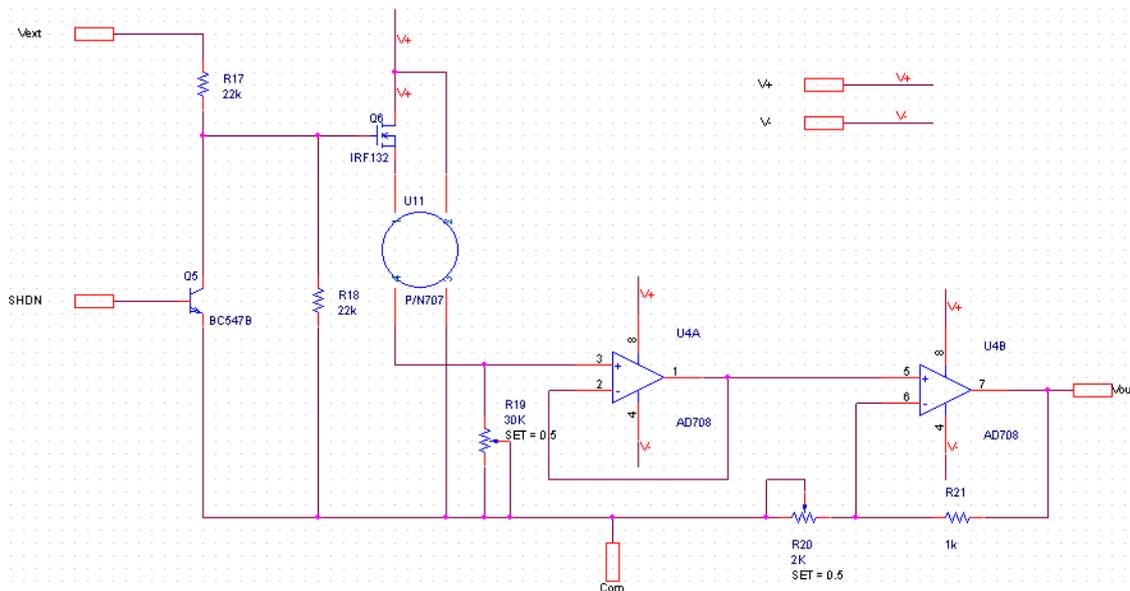


Figura 64.-Esquemático del P/N707, de tolueno.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

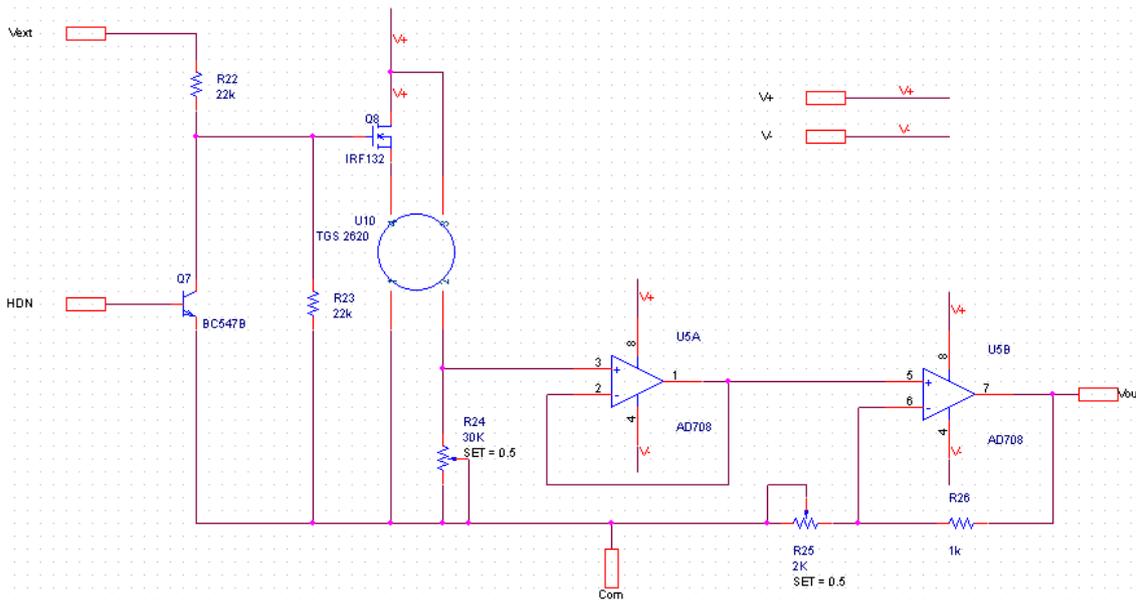


Figura 65.-Esquemático del TGS 2620, sensor de etanol.

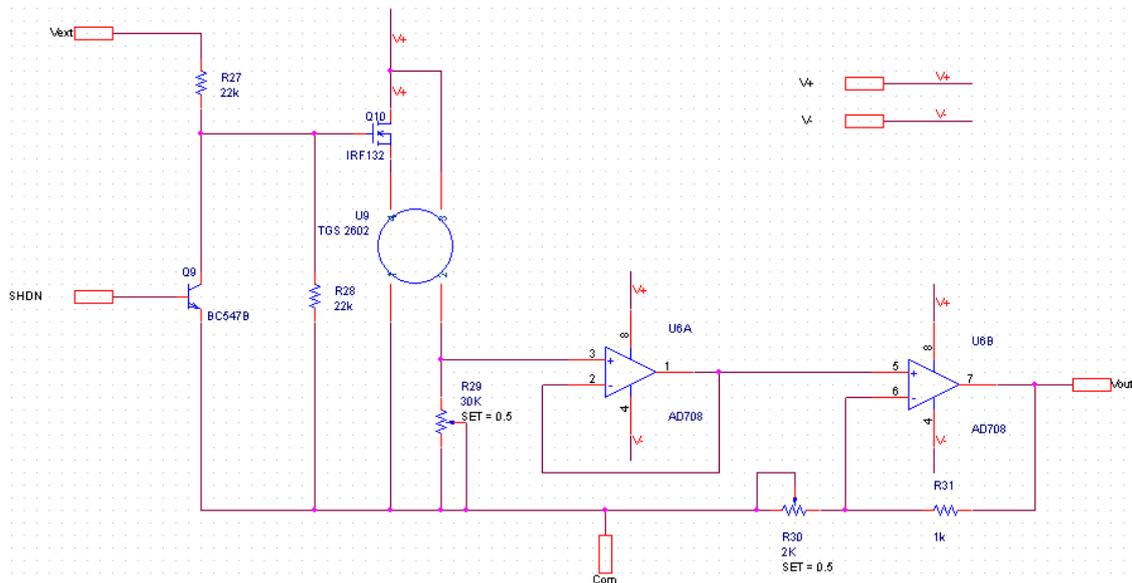


Figura 66 .-Esquemático del TGS 2602, sensor para las concentraciones bajas de tolueno y etanol.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

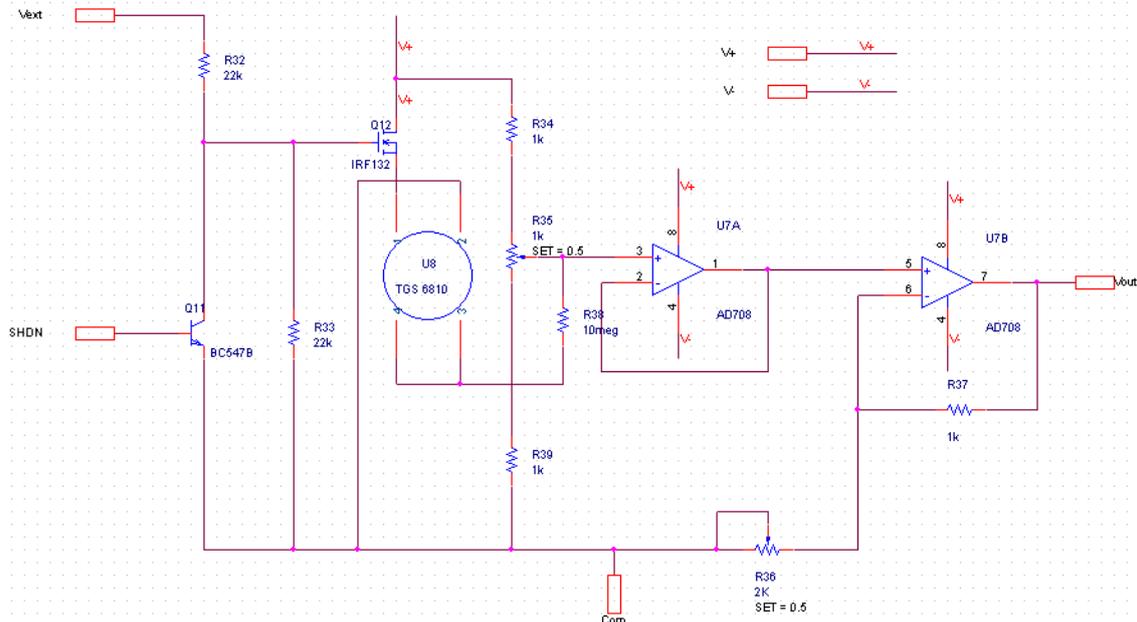


Figura 67.-Esquemático del TGS 6810, sensor de metano.

4.2.2. Simulaciones.

Para confirmar que la salida en cada sensor se va a comportar como se espera, en el diseño se realizan una serie de simulaciones. Para ello se usa la herramienta de OrCAD PSpice.

En primer lugar se realiza una simulación del comportamiento del circuito de medida del TGS 5042 cuyo esquemático se observa en la figura siguiente.

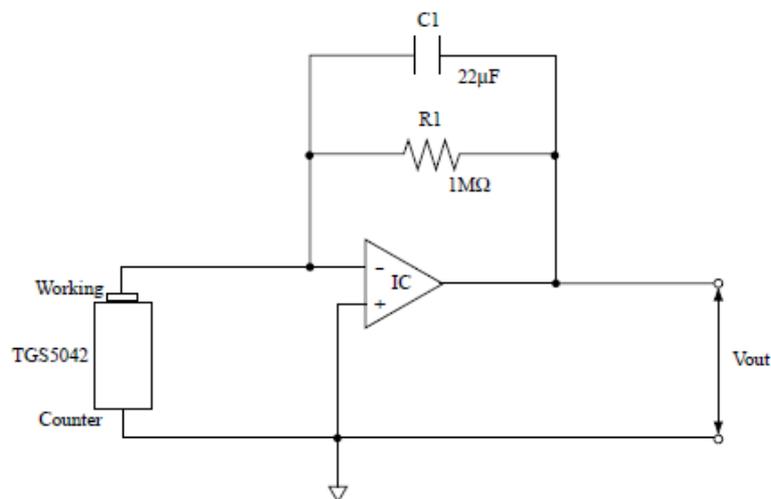


Figura 68.-Circuito de medida del TGS 5042, sensor de CO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

La corriente generada por el sensor se sustituye por una fuente de corriente continua parametrizada con el fin de simular todo el rango de la salida del sensor comprendido entre 0 y 2 μA (Ver en su datasheet). Además se introduce una resistencia de carga, para observar la salida en tensión, que no se incluye en el diseño de la PCB. En la figura 69 se puede advertir dicha fuente y los valores en tensión en cada parte del circuito tras realizar la simulación.

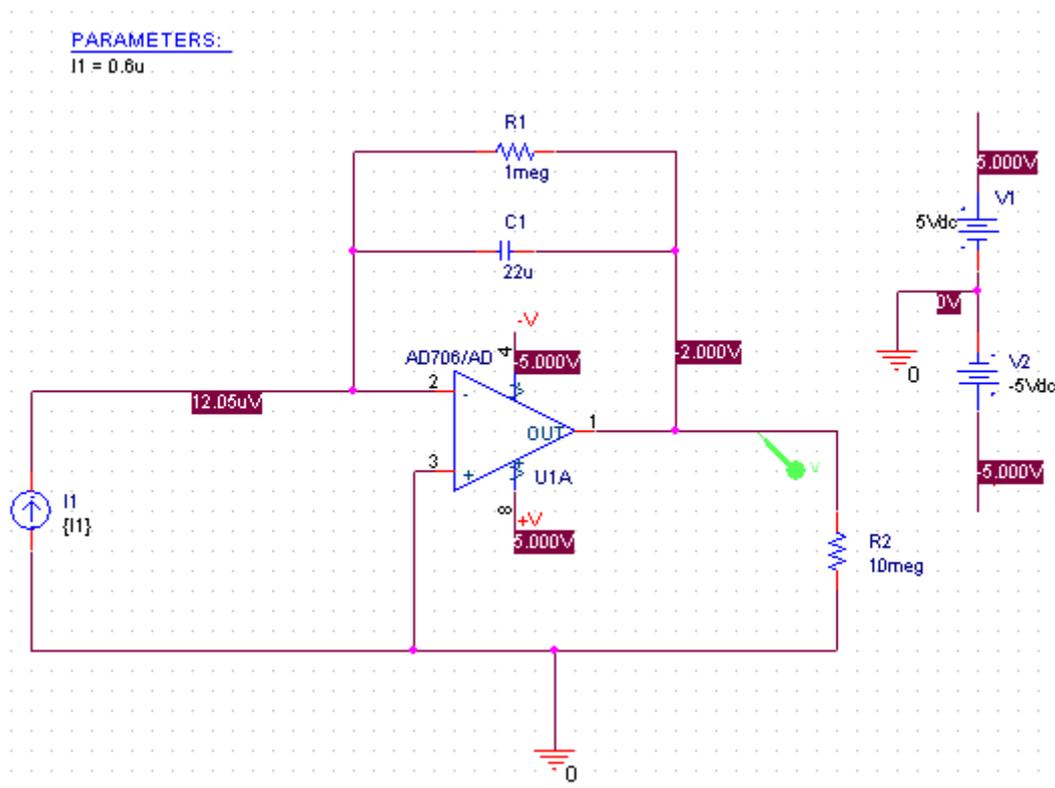


Figura 69.- Esquemático del TGS 5042, sensor de CO y sus tensiones tras la simulación.

En figura 70 se observa la salida del sensor para todo el rango de concentraciones que abarca. Como puede apreciarse la tensión para la máxima concentración es de -2V por lo que se ratifica que se hace necesario incluir un amplificador operacional inversor para obtener la máxima resolución posible.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

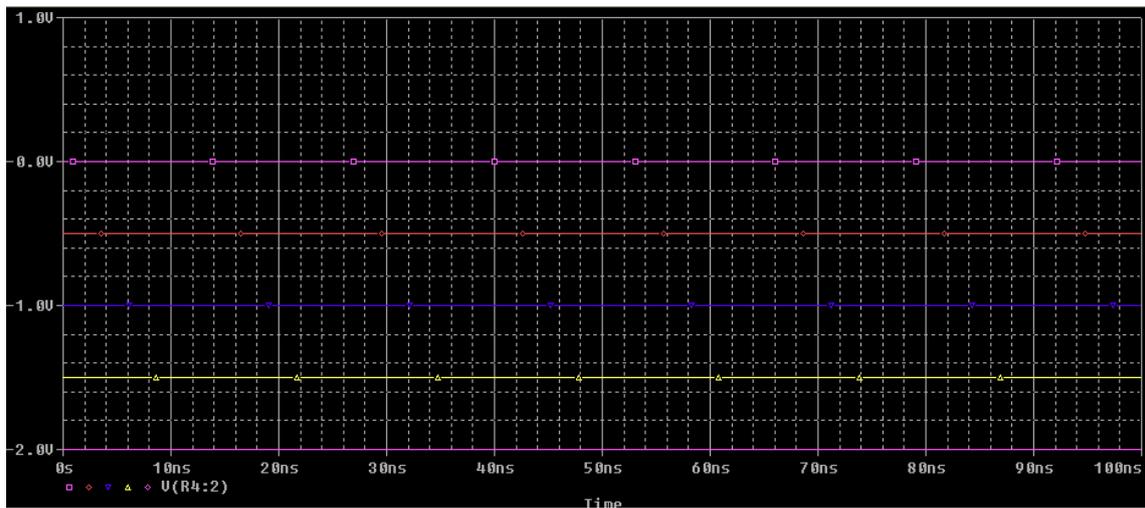


Figura 70.- Simulación de la salida en tensión del TGS 5042, sensor de CO; con una fuente de corriente parametrizada.

En la figura 71 se puede estudiar la salida para el sensor TGS 5042 seguido de AO inversor como está en el diseño.

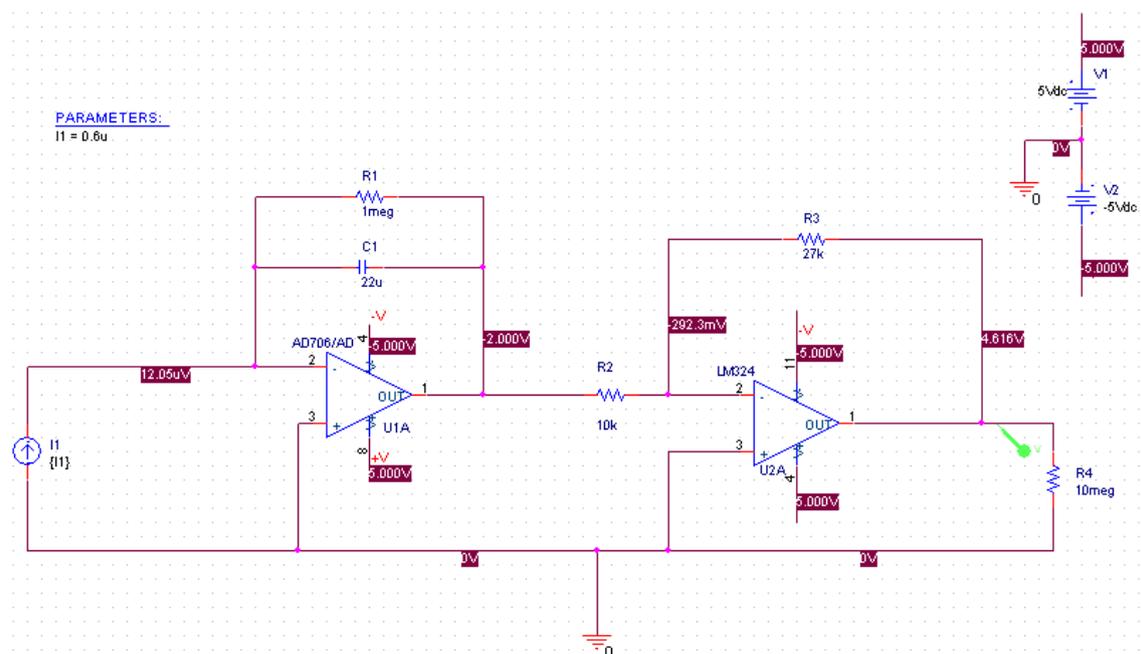


Figura 71.- Esquemático del TGS 5042, sensor de CO; seguido del AO inversor y sus tensiones tras la simulación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

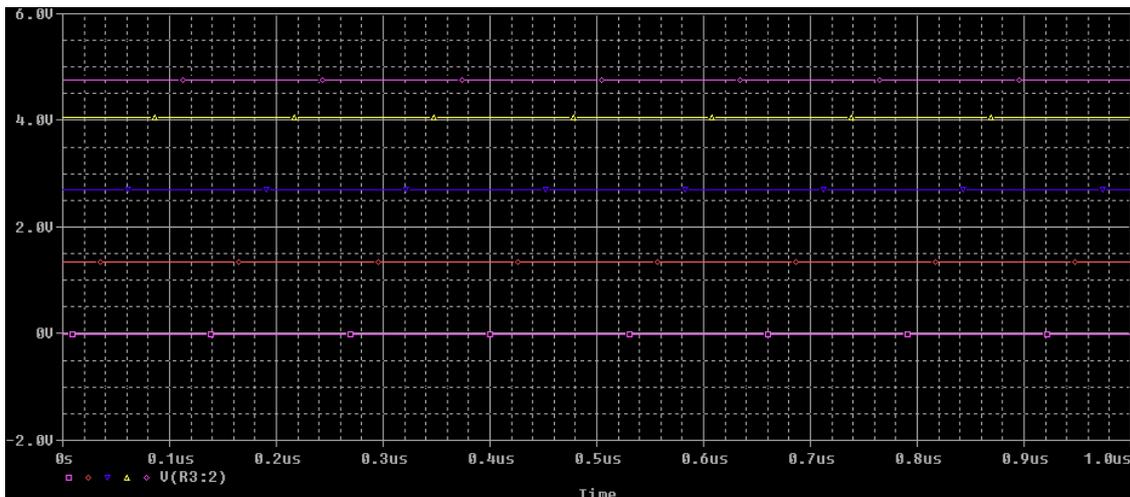


Figura 72.-Simulación de la salida parametrizada del TGS 5042 con AO

A continuación se realiza la simulación de la salida de circuito de medida del TGS 2620 como ejemplo del mismo y de todos los demás, ya que todos tienen a continuación de su salida, en la resistencia de carga, un AO como seguidor de tensión para aislar impedancias y, posteriormente, otro AO no inversor para aumentar el nivel de tensión en la resistencia de carga que es de milivoltios. Para apreciar la salida en tensión se ha añadido una resistencia de carga en la salida AO inversor. Ver figura 73.

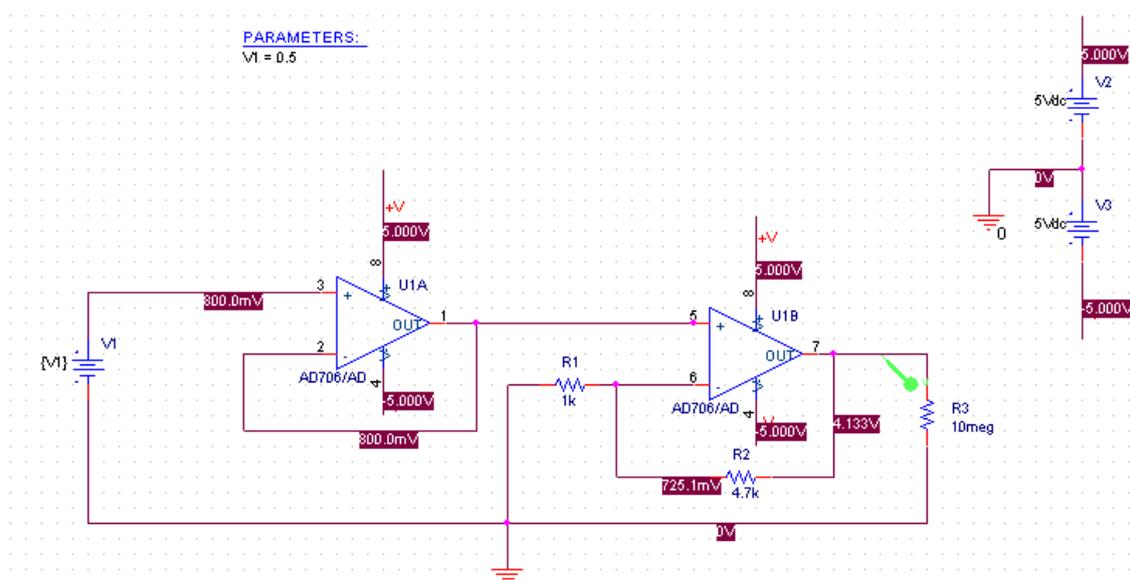


Figura 73.-Esquemático del TGS 2620 y sus niveles de tensión tras la simulación.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

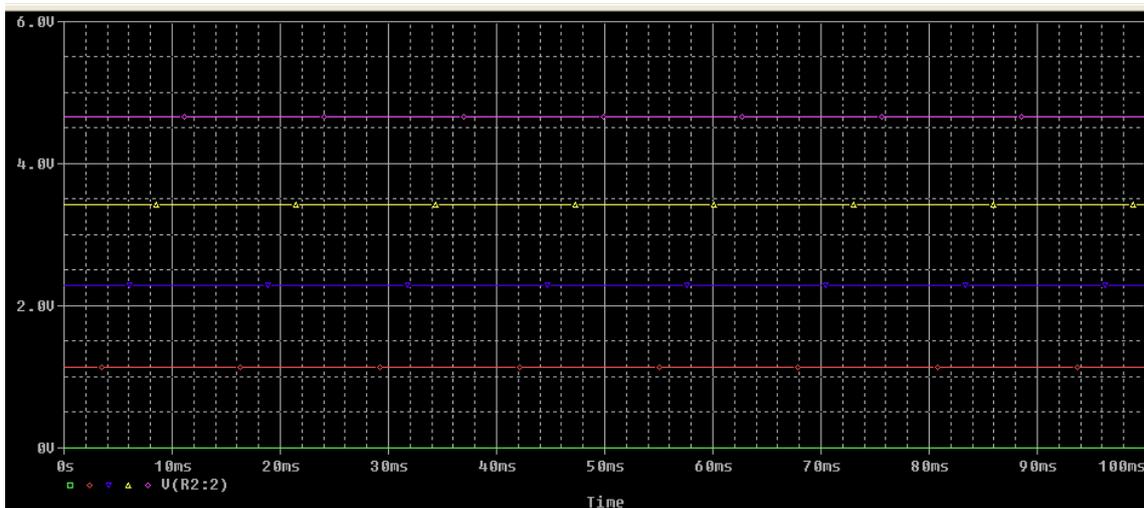


Figura 74.- Simulación de la salida en tensión parametrizada del TGS 2620.

En la figura 74 puede apreciarse como se aumenta el nivel de tensión al introducir los amplificadores operacionales. Para estudiar las distintas salidas también se ha insertado en el circuito a simular una fuente de tensión de continua parametrizada para así poder abarcar todo el rango que cubren los sensores.

Por último, se incluye una simulación de una señal escalón a la salida del sensor, en la resistencia de carga. El objetivo de esta simulación es demostrar que los circuitos de instrumentación que se han introducido tras la resistencia de carga de los sensores son capaces de reflejar al instante los posibles cambios bruscos en la salida del sensor provocado por una fuerte fluctuación en la concentración del gas.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

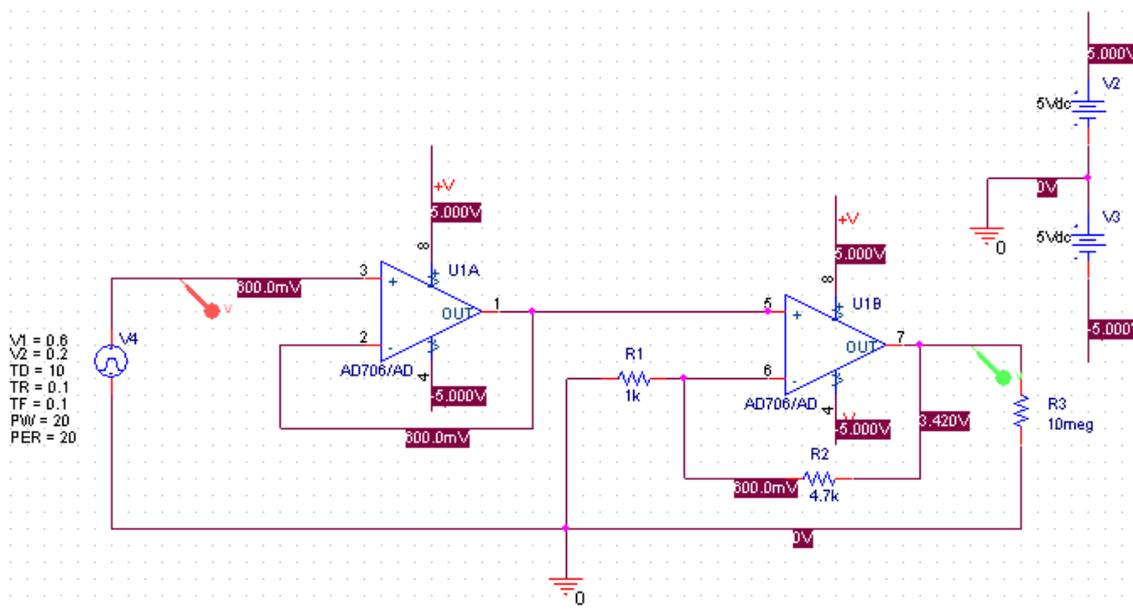


Figura 75.-Esquemático para la simulación de una señal escalón a la salida de un sensor.

Como rampa se ha elegido una señal de 600 mV que a los 10 segundos pasa a 200 mV en un tiempo de bajada de 0.1 segundo. Como puede apreciarse en la figura 76, el circuito de instrumentación copia esta salida instantáneamente pero, eso sí, amplificada.

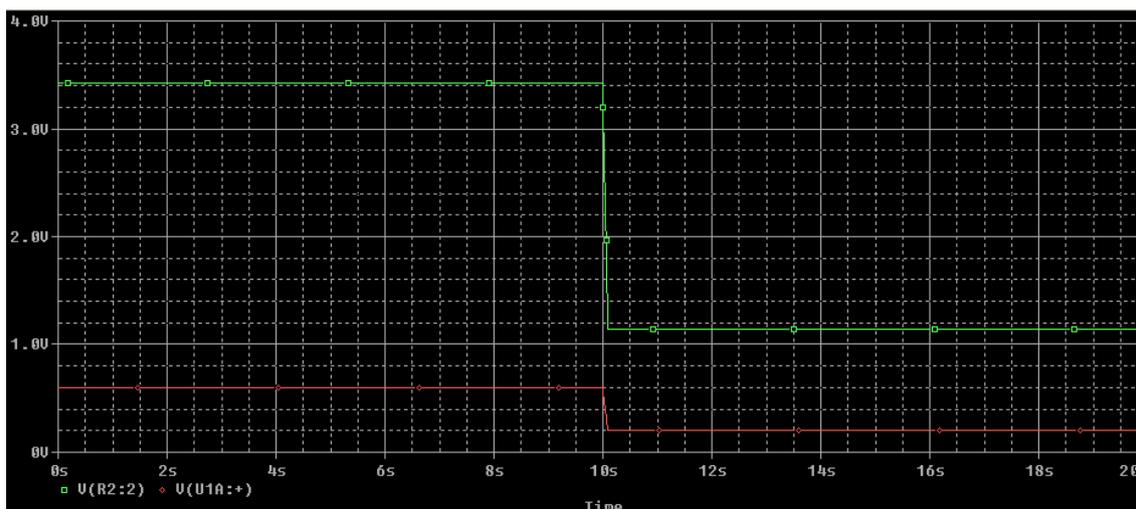


Figura 76.- Respuesta ante una señal escalón a la salida de un sensor.

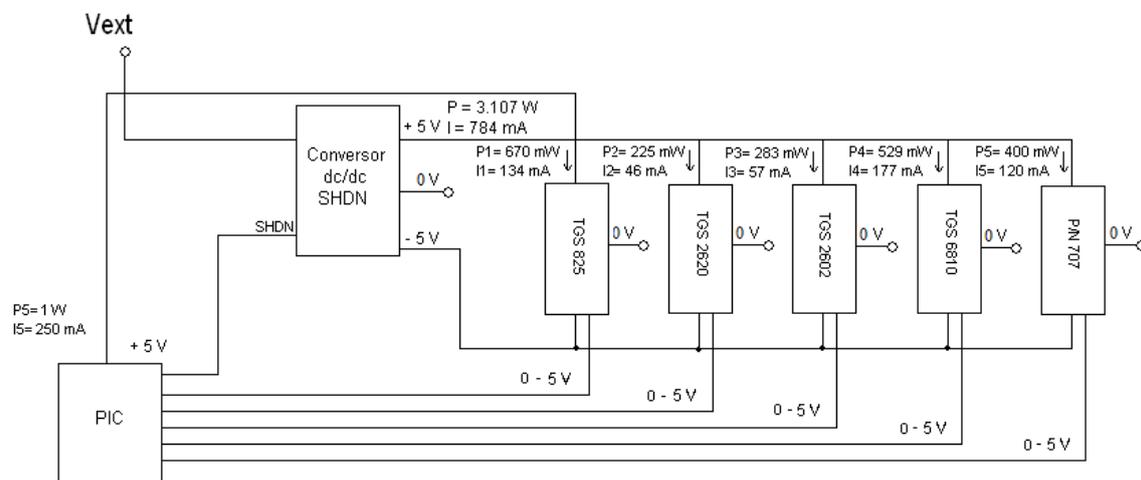
DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

La respuesta es instantánea debido al excelente Slew Rate ($0,3 \text{ V}/\mu\text{s}$) que presenta al amplificador elegido para la aplicación. Por tanto, El desfase que pueda haber entre la variación de concentración en un ambiente y el reflejo de ésta variación en el PIC es debido al tiempo de respuesta de los sensores, que como se ha explicado en un punto anterior, es lo suficientemente corto como para cumplir con los requerimientos.

4.2.3. Estudio de alimentación y potencia

Para realizar el estudio de alimentación y potencia de la placa de sensores se ha recurrido a las hojas de características de los sensores, el convertor y el PIC para consultar los datos que facilitan el posterior cálculo de la alimentación y el consumo. En la figura 77 se analiza gráficamente los resultados que arroja este estudio, visualizando qué alimentación necesita y cuánto consume aproximadamente cada módulo.



* La potencia y la corriente en el sensor P/N 707 es una estimación debido a que el datasheet del mismo no ofrece los datos necesarios para realizar los cálculos exactos pero sí para realizar una aproximación totalmente válida.

Figura 77.- Alimentación y potencia de cada uno de los módulos del diseño.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

SENSOR	POTENCIA (mW)	CORRIENTE (mA)
TGS 825	670	134
TGS 2620	225	46
TGS 2602	283	57
TGS 6810	529	177
P/N 707	400	120
TOTAL	3107	784

Tabla 7.- Resumen de consumo de potencia y alimentación.

Cabe significar que del total de la potencia consumida, unos 3W, y de la corriente suministrada, casi 1A; la gran mayoría es requerido por las resistencias calefactoras "heater" que se encargan calentar los sensores hasta su temperatura óptima de trabajo. De ahí que la primera opción en la selección de sensores fueran los sensores de tipo amperométrico que no necesitan de este tipo de resistencias.

4.2.4. Circuito impreso.

Una vez que los resultados de las simulaciones verifican que el diseño funciona según lo esperado se procede a plasmarlo como circuito impreso utilizando la herramienta Layout de OrCAD.

Las huellas (footprint) de los sensores, el conversor DC/DC, la bobina del filtro del conversor, el oscilador del PIC y del conector USB se han diseñado manualmente ya que no forman parte de la librería estándar de OrCAD. Para ello se ha tomado como apoyo sus hojas de características para tener referencia exacta de sus dimensiones y poder reproducirlas en el Library Manager del Layout de OrCAD. A continuación se muestran las imágenes del footprint de cada uno de estos componentes que no tienen huella estándar.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

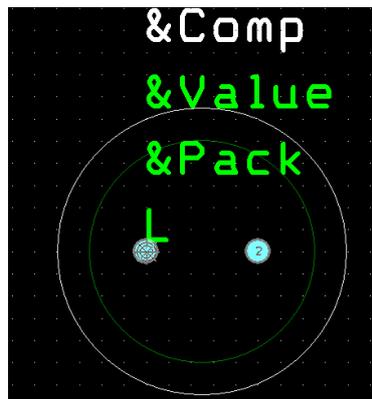


Figura 78.-Footprint de la bobina del filtro del convertor DC/DC.

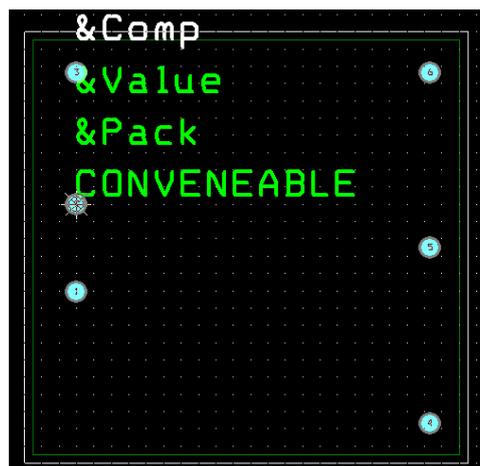


Figura 79.-Footprint del convertor DC/DC.



Figura 80.-Footprint del oscilador del PIC.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

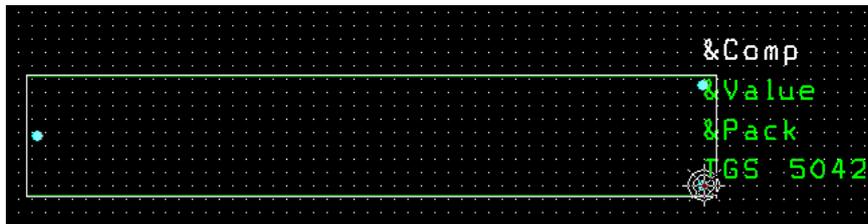


Figura 81.-Footprint del TGS 5042, sensor de CO.

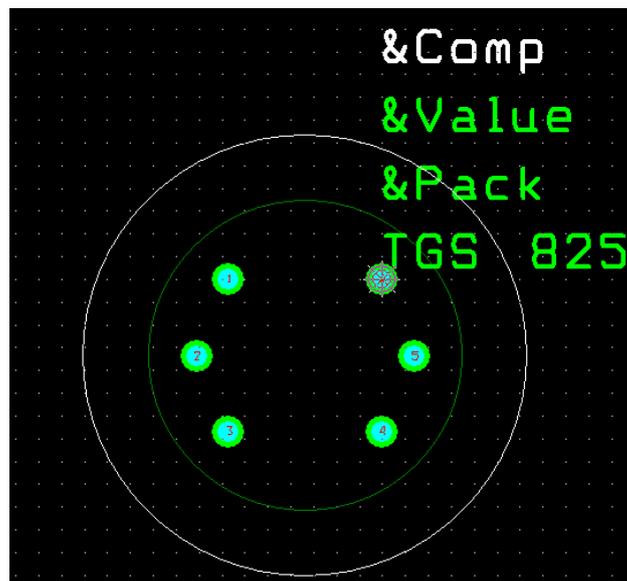


Figura 82.-Footprint del TGS825, sensor de H2S.



Figura 83.-Footprint del P/N707, sensor de tolueno.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

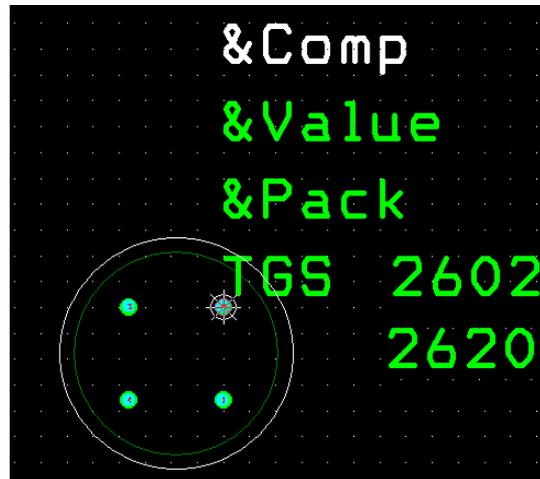


Figura 84.-Footprint del TGS2620 y TGS2602 sensores de etanol y etanol y tolueno para bajas concentraciones.

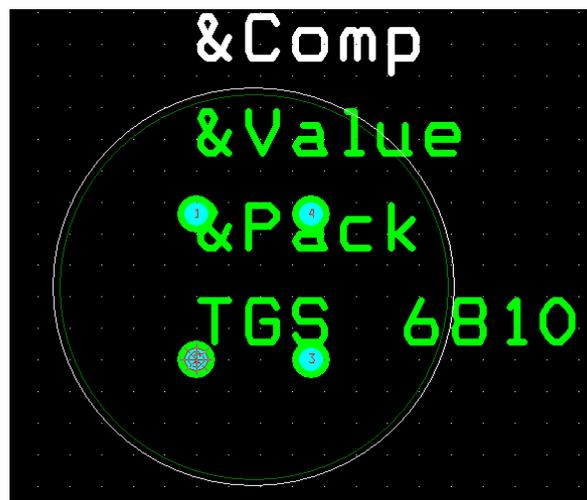


Figura 85.-Footprint del TGS6810, sensor de metano.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

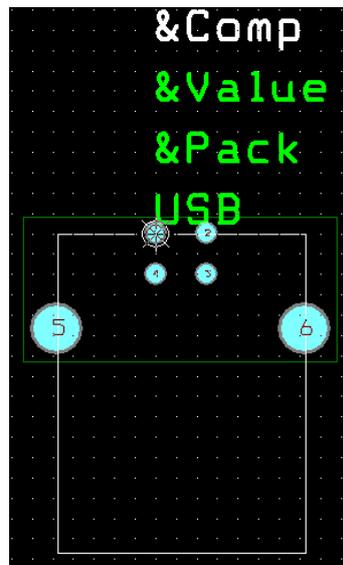


Figura 86.-Footprint del conector USB tipo B.

Una vez que se tienen las huellas de todos los componentes "pintadas" en el Layout se procede a colocarlas y a rutar sus uniones del tal forma que ocupen el menor espacio posible para que el diseño pueda alojarse en el interior de la diana. En la colocación de los distintos componentes se tiene en cuenta, a parte de la restricción dimensional, que las pistas sean lo más cortas y directas posibles para evitar interferencias y ruidos que distorsionen la señal.

Para realizar el rutado se ha optado por unir pistas ("layer") por dos capas y no usar plano de masa. Las pistas que forman parte del circuito de potencia y llevan la alimentación son un poco más gruesas que el resto.

Al ejecutar el rutado por dos capas también se hace necesario realizar los taladros metalizados para poder unir las capas en los pines que tienen pistas en ambas caras. También se procedió a unificar todo lo posible el diámetro de los "pads" para no tener que usar una herramienta para cada componente. Esto conlleva que los "pads" de alguno de los sensores no tenga exactamente las dimensiones de los footprint reflejados en sus hojas de características, sino que son un poco mayores. La consecuencia es que en la placa va a quedar un espacio mayor del necesario para el pin de algún sensor. Esto que aparentemente parece un defecto o un error no es tal. Se

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

ha llevado a cabo con el fin de, aparte de unificar la herramienta para efectuar los taladros, proporcionar una mayor rigidez mecánica (ya que, de esta forma, cuando se sueldan a la placa adquieren una mayor solidez) lo que supone un beneficio puesto que va a estar sometidos a fuertes vibraciones en el entorno donde van a trabajar.

Como resultado de estas acciones se obtiene el siguiente diseño, figura 87.

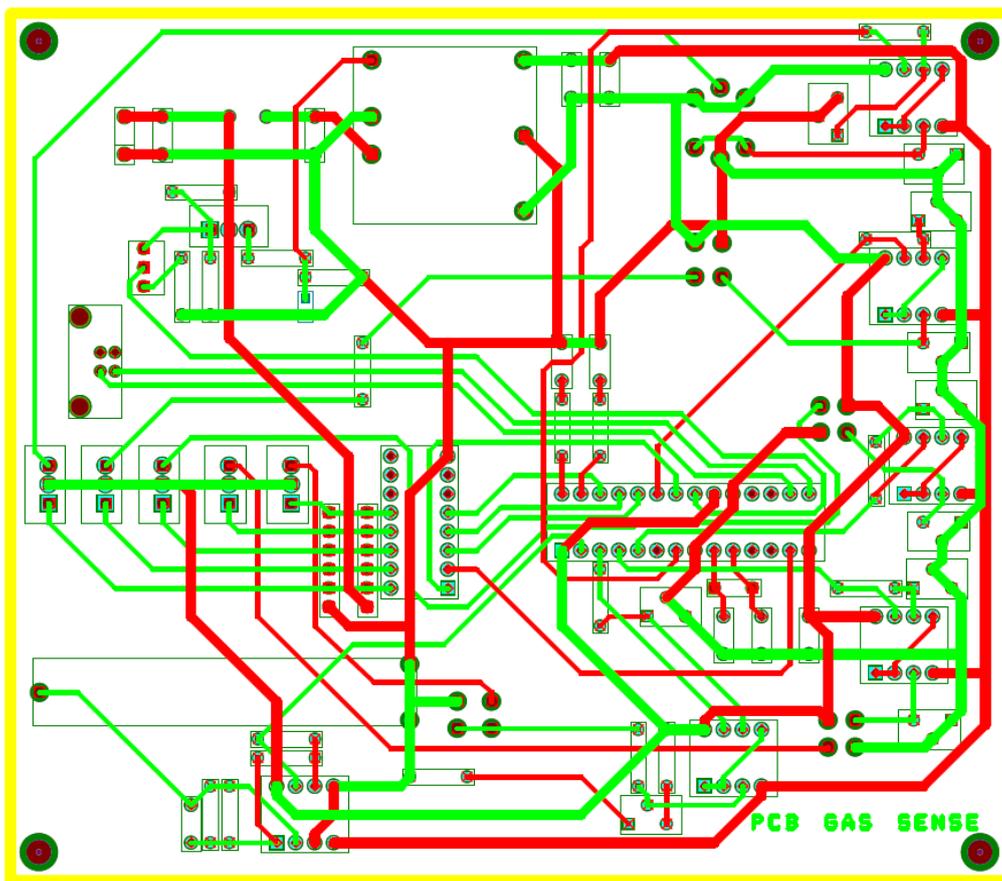


Figura 87.- PCB de la placa de desarrollo para la monitorización de los gases escala 1:1.

Como puede observarse en la figura 88, los transistores y resistencias que permiten habilitar cada módulo de sensores se han aglutinado en un array de transistores y dos arrays de resistencias con el fin de ahorrar espacio y conseguir que el diseño se pueda alojar fácilmente en el interior de la diana.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

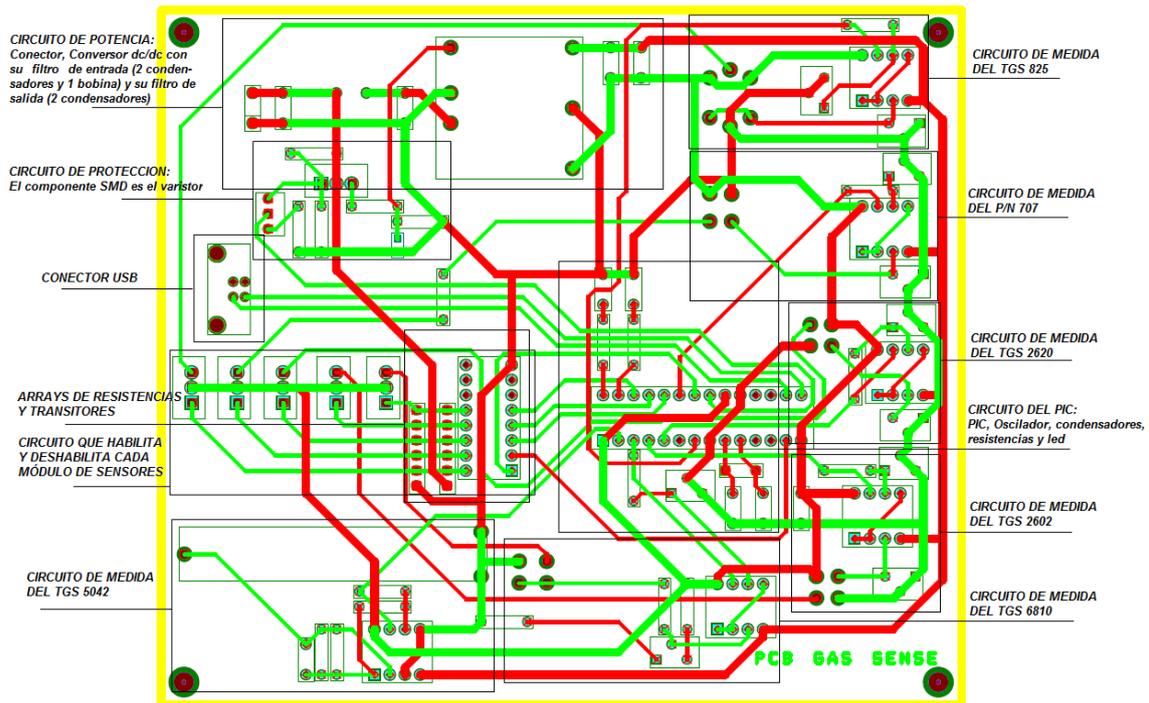


Figura 88.- Detalle de los distintos módulos que componen la PCB.

Además en la figura 88 se muestran e indican la colocación de los distintos módulos que componen la PCB.

4.3. Software.

Para la realización del software que dirija el funcionamiento del PIC se usa la herramienta MPLAB que suministra Microchip para la programación de sus dispositivos.

MPLAB-IDE es una Plataforma de Desarrollo Integrada bajo Windows, con múltiples prestaciones, que permite escribir el programa para los PIC, crear proyectos, ensamblar o compilar, simular el programa y finalmente programar el componente, si se cuenta con el programador adecuado.

MPLAB incorpora todas las utilidades necesarias para la realización de cualquier proyecto y permite editar el archivo fuente en lenguaje

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

ensamblador, además de ensamblarlo y simularlo en pantalla, disponiendo de un debugger que permite ejecutarlo posteriormente en modo paso a paso y ver como evolucionarían tanto sus registros internos, la memoria RAM y/o EEPROM de usuario como la memoria de programa, según se fueran ejecutando las instrucciones.

El compilador y el programador elegidos son, respectivamente, el MCC18 y el MPLAB ICD2. El MPLAB ICD2 es un programador y depurador en tiempo real de microcontroladores PIC.

Para poder programar el PIC es necesario configurar MPLAB para que trabaje con el compilador C18. El primer paso es entrar en MPLAB y crear un nuevo proyecto.

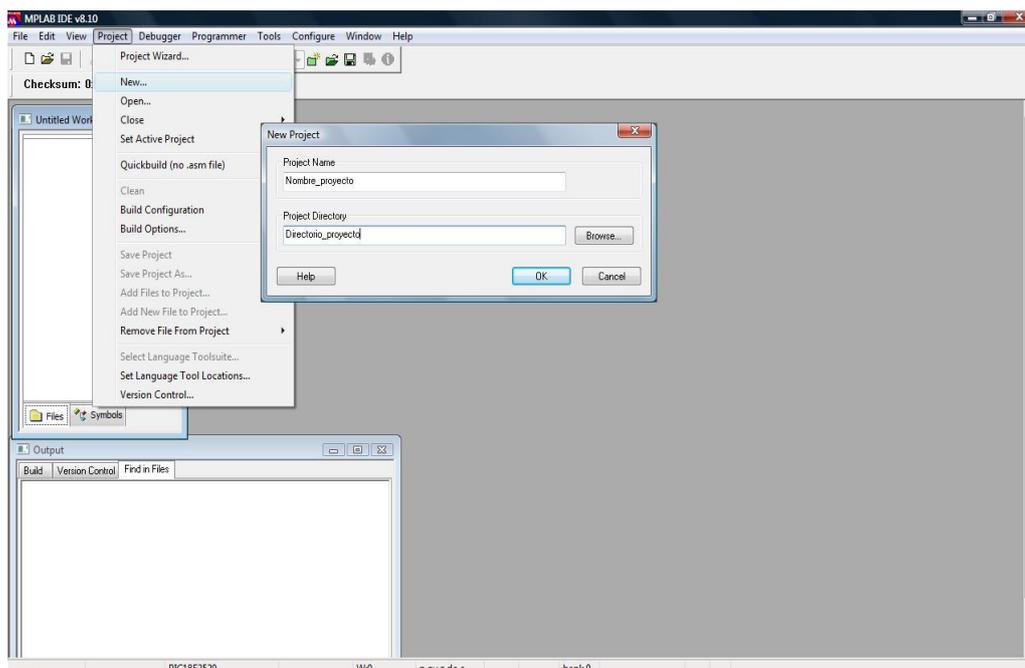


Figura 89.- Creación de proyecto en MPLAB

A continuación decide que compilador se va a utilizar. Se definen los ejecutables mplink.exe, mcc18.exe y mplib.exe que se encuentran en el directorio de mcc18, que aparece al instalar el compilador, en la carpeta bin.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

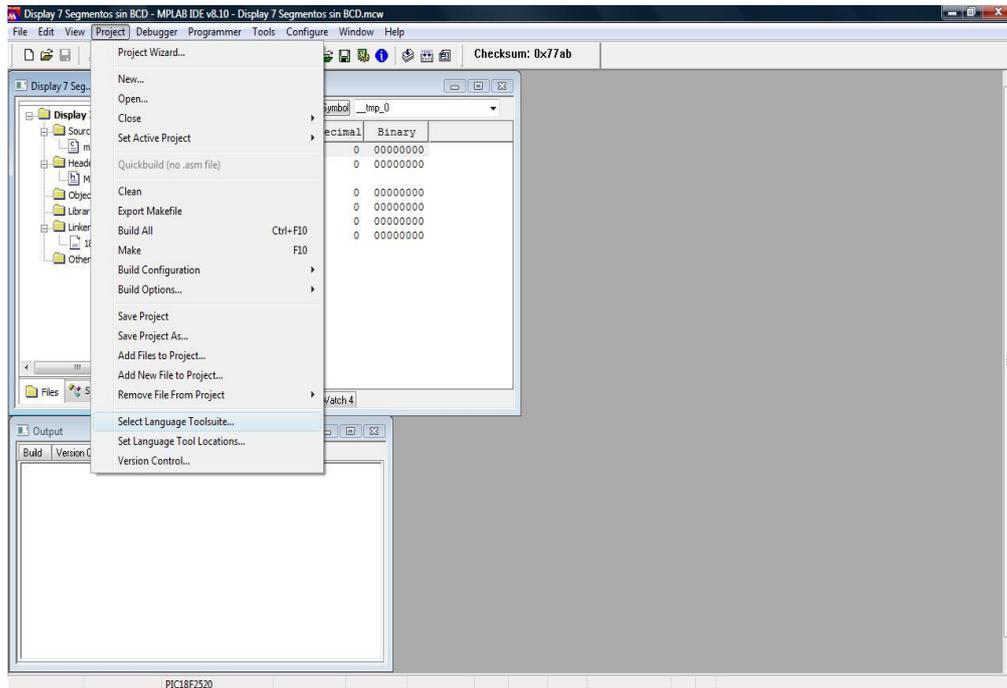


Figura 90.-Selección del compilador

Se ha de insertar el archivo linker. Con el botón derecho en la carpeta linker script del proyecto, se busca el directorio mcc18 de instalación del compilador c18 y se elige el linker del microcontrolador que se va a usar.

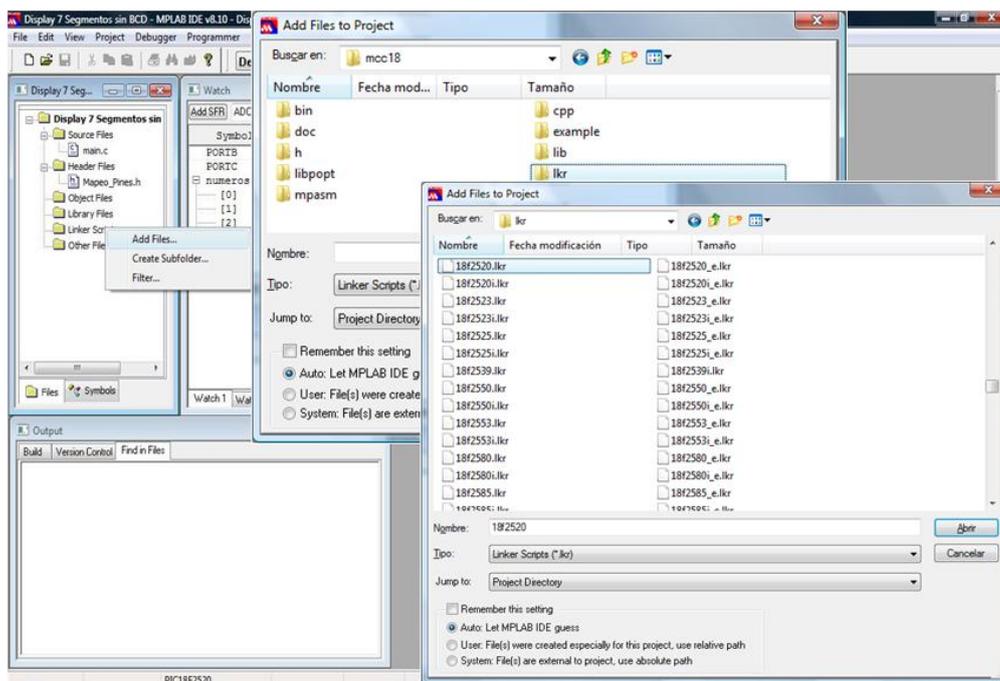


Figura 91.- Inserción del linker.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Al igual que se ha introducido el linker también pueden introducirse archivos de cabecera o archivos fuente en sus respectivas carpetas.

Se configura los subdirectorios de trabajo. Se selecciona la ubicación de ficheros de declaraciones (Include search path), bibliotecas (Library search path) y script de enlazado (Linker-script search path). Esto se hace en "build option".

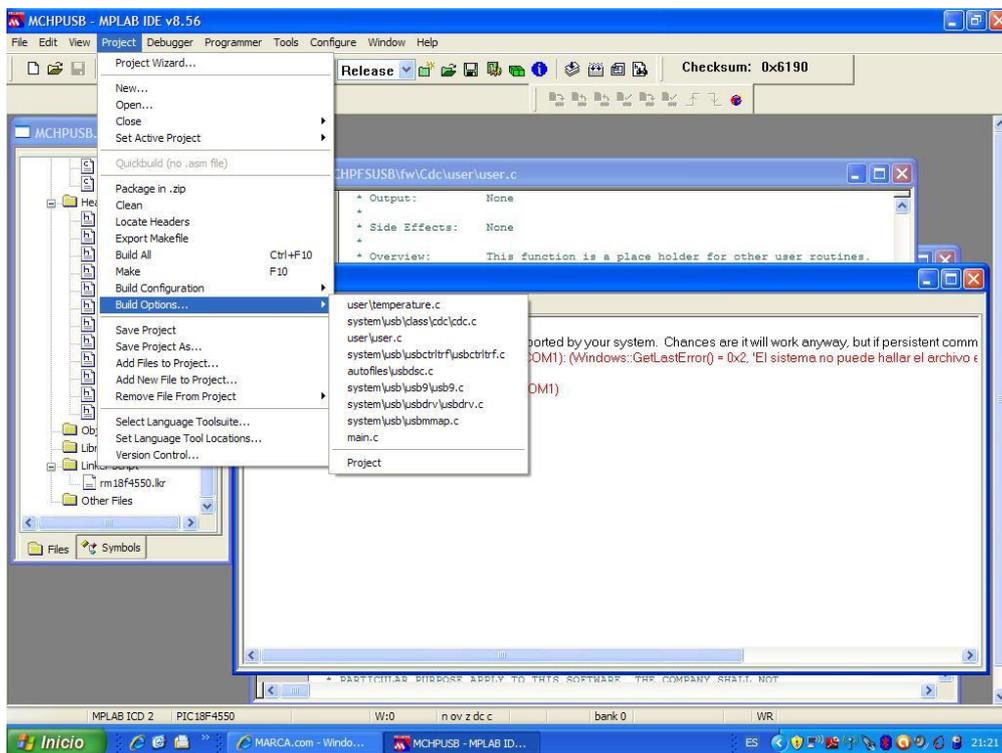


Figura 92.- Configuración de subdirectorios de trabajo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

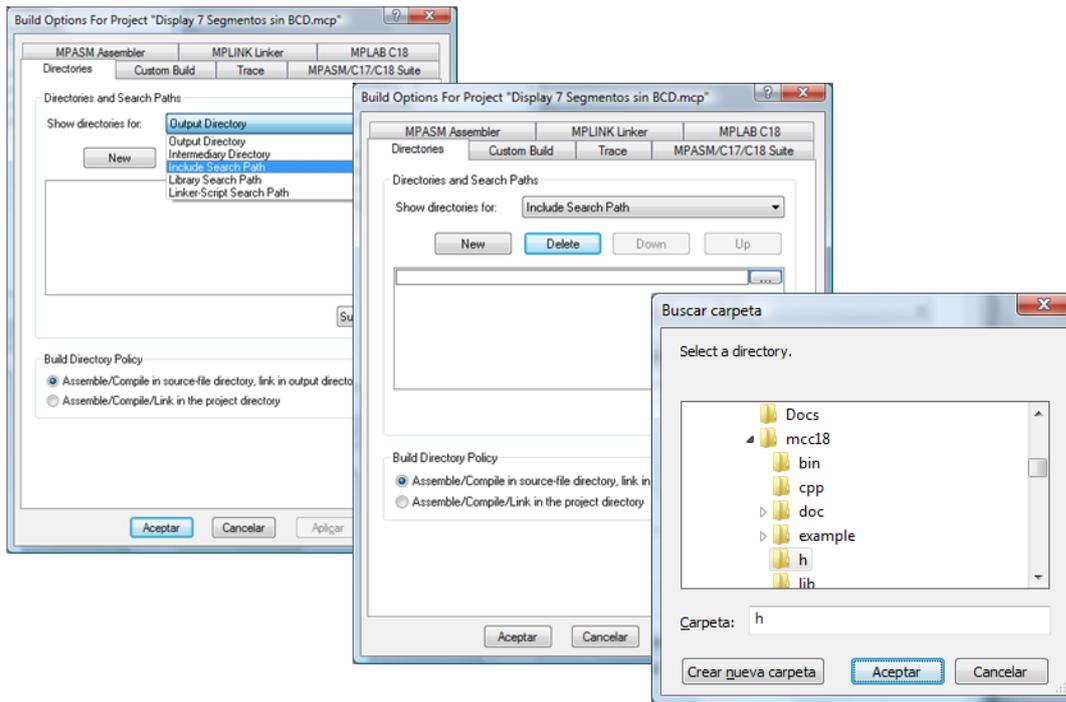


Figura 93.- Configuración de subdirectorios de trabajo. Ficheros de declaraciones.

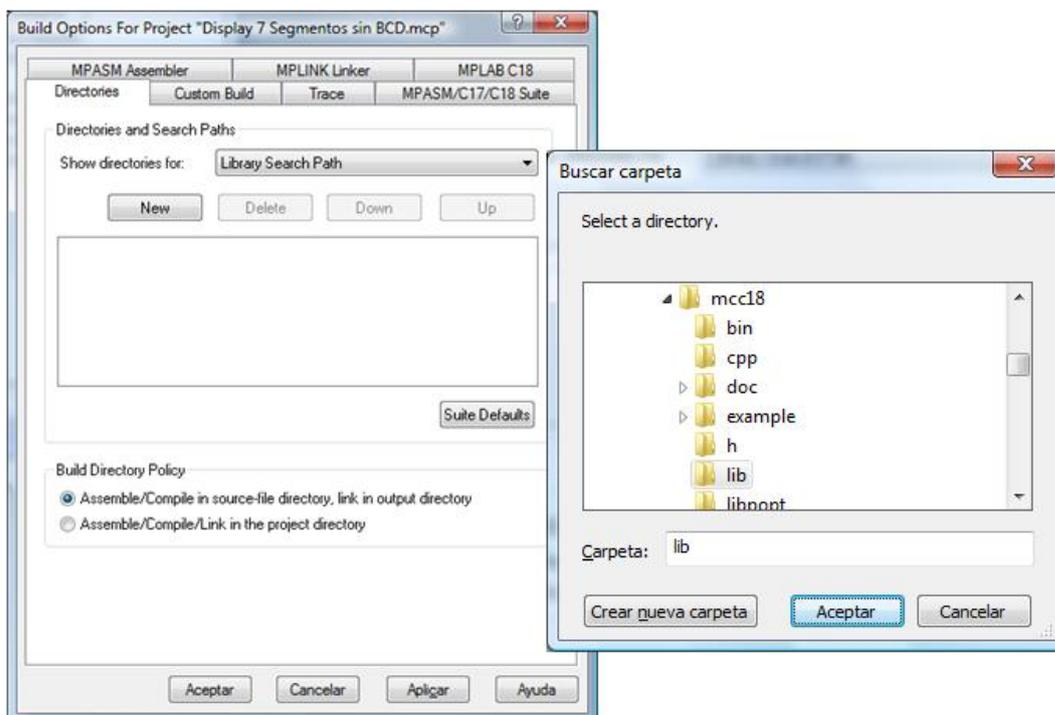


Figura 94.- Configuración de subdirectorios de trabajo. Bibliotecas

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

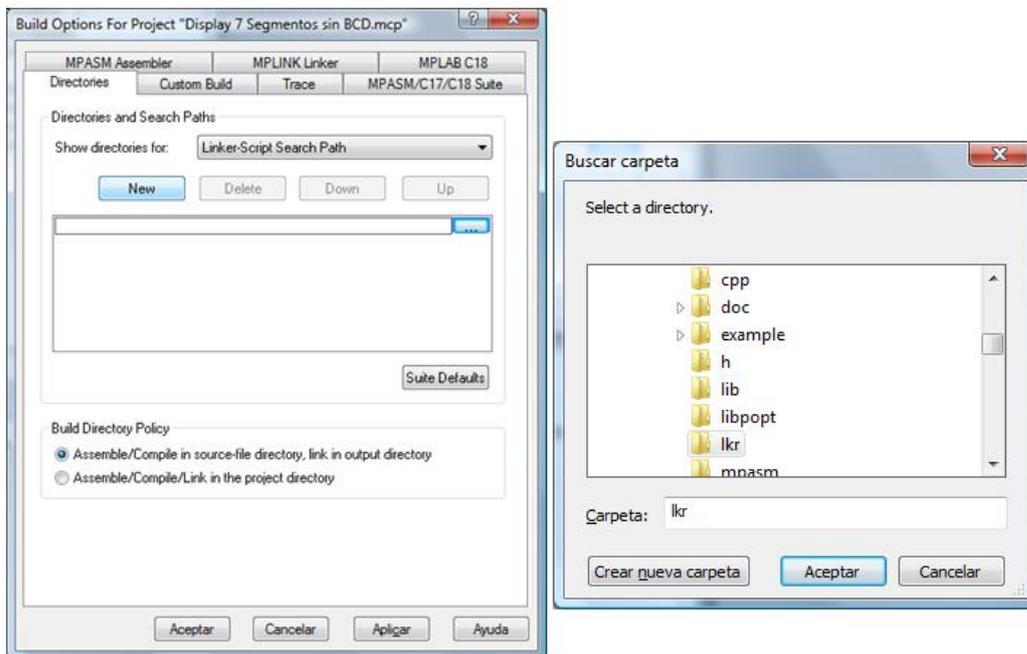


Figura 95.- Configuración de subdirectorios de trabajo. Script de enlazado.

Por último se selecciona el dispositivo con el que se va a trabajar en Configure → Select Device.

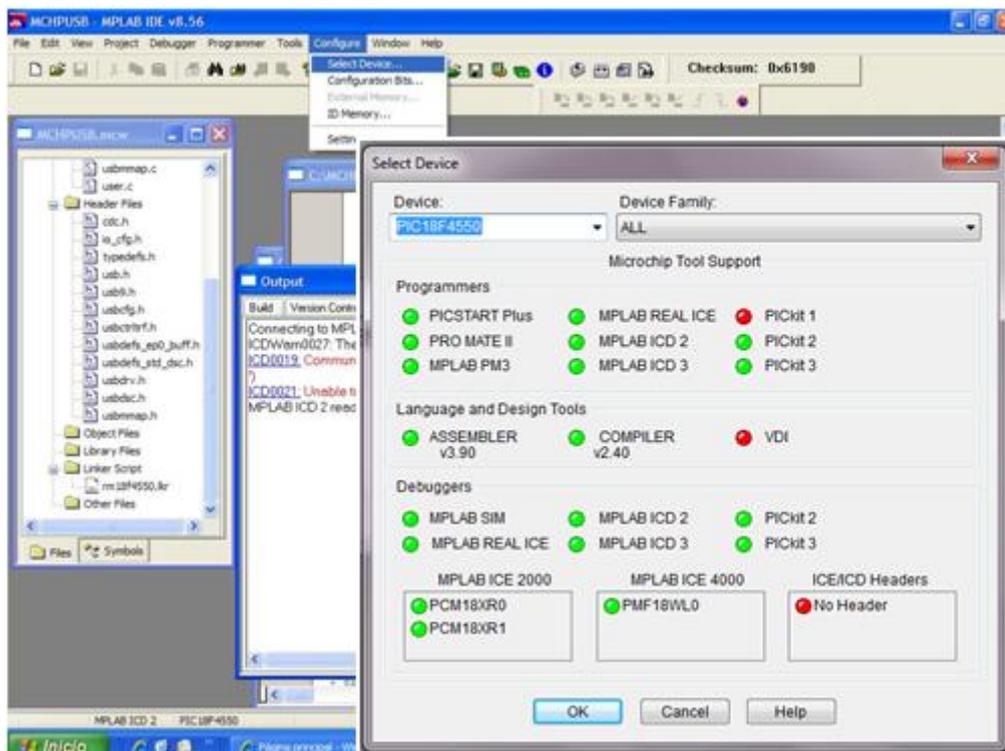


Figura 96.- Selección de dispositivo.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Para escribir el programa que rige todo el funcionamiento de la placa de sensores se ha utilizado como base la nota de aplicación AN956 de Microchip que contiene la aplicación de migración a USB de RS-232 UART con un mínimo impacto en el software para el PC. Sobre este programa ejemplo desarrollado tanto para la placa de desarrollo PICDEM FS USB Demo Board de un PIC18F4550, como para la placa de desarrollo del PIC18F87J50 FS USB Plug-In Module board; se han ido haciendo las modificaciones necesarias para conseguir adaptarlo al PIC18F2455 y a la PCB desarrollada en este proyecto.

A parte de los cambios básicos para hacer funcionar el PIC18F2455 con el USB en full-speed (frecuencia del oscilador, modo de funcionamiento del oscilador, división de la PLL,..), también se le ha introducido al programa base las sentencias correspondientes a la conversión analógica-digital de las tensiones recibidas desde los sensores y a su posterior tratado para transmitir éstos datos a un maestro.

El valor devuelto por el ADC no implica el mismo resultado en partes por millón para todos los sensores debido a que no todos tienen el mismo fondo de escala. Así pues, considerando lineal la recta que representa la sensibilidad en los sensores (ver en las hojas de características de los mismos) y considerando *lectura* como el valor obtenido en la conversión, hay que realizar las siguientes operaciones e incluirlas en el programa antes de transmitir los datos al sistema maestro:

- Para el TGS 5042: $ppm = 0.977 \times lectura$

Suponiendo que la concentración es el fondo de escala de este sensor (1000 ppm), la salida del circuito amplificada por el circuito de amplificación del mismo sería de unos 5V. La conversión de estos 5V en el conversor A/D es $2^{10} = 1024$. Para que estos 1024 sean el fondo de escala del sensor hay que multiplicarlo por 0.977.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- Para el TGS 825: $ppm = 0.0977 \times lectura$
Suponiendo que la concentración es el fondo de escala de este sensor (100 ppm), la salida del circuito amplificada por el circuito de amplificación del mismo sería de unos 5V. La conversión de estos 5V en el conversor A/D es $2^{10} = 1024$. Para que estos 1024 sean el fondo de escala del sensor hay que multiplicarlo por 0.0977.
- Para el P/N 707: $ppm = 0.977 \times lectura$
El fondo de escala de este sensor es de 1000 ppm, entonces la salida del circuito amplificada por el circuito de amplificación del mismo sería de unos 5V. La conversión de estos 5V en el conversor A/D es $2^{10} = 1024$. Para que estos 1024 sean el fondo de escala del sensor hay que multiplicarlo por 0.977.
- Para el TGS 2620: $ppm = 4.885 \times lectura$
Suponiendo que la concentración es el fondo de escala de este sensor (5000 ppm), la salida del circuito amplificada por el circuito de amplificación del mismo sería de unos 5V. La conversión de estos 5V en el conversor A/D es $2^{10} = 1024$. Para que estos 1024 sean el fondo de escala del sensor hay que multiplicarlo por 4.885.
- Para el TGS 2602: $ppm = 0.02931 \times lectura$
Suponiendo que la concentración es el fondo de escala de este sensor (30 ppm), la salida del circuito amplificada por el circuito de amplificación del mismo sería de unos 5V. La conversión de estos 5V en el conversor A/D es $2^{10} = 1024$. Para que estos 1024 sean el fondo de escala del sensor hay que multiplicarlo por 0.02931.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- Para el TGS 6810: $\%LEL = 0.004885 \times lectura$

Suponiendo que la concentración es el fondo de escala de este sensor (5 %LEL), la salida del circuito amplificada por el circuito de amplificación del mismo sería de unos 5V. La conversión de estos 5V en el conversor A/D es $2^{10} = 1024$. Para que estos 1024 sean el fondo de escala del sensor hay que multiplicarlo por 0.004885.

Los datos se envían al sistema maestro siguiendo el siguiente protocolo:

1. El PIC recibe la tensión de salida del módulo del sensor TGS 825 proporcional a la concentración de H₂S a través del pin AN0, realiza su conversión analógica-digital, lo transforma en un dato de tipo cadena y lo almacena en un dato llamado *envío*.

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH0 &
ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

Configuración del ADC: frecuencia de oscilación y tiempo de adquisición, selección del canal, interrupciones deshabilitadas y tensión de referencia la de la alimentación del micro.

```
ConvertADC();
```

Iniciar conversión.

```
while(BusyADC()==1){}
```

No continuar hasta que no termine la conversión.

```
lectura= ReadADC();
```

Dar a lectura el valor de la conversión.

```
CloseADC();
```

Cerrar el ADC.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
ppm= lectura*0.0977;
```

Realiza la multiplicación necesaria para obtener la resolución máxima y llegar al fondo de escala.

```
itoa(ppm, datos);
```

Convierte las ppm en una cadena llamada datos.

2. El PIC recibe la tensión de salida del módulo del sensor P/N707 proporcional a la concentración de tolueno a través del pin AN4, realiza su conversión analógica-digital, lo transforma en un dato de tipo cadena y lo concatena y almacena en el anterior dato *envio*.

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH4 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

Configuración del ADC: frecuencia de oscilación y tiempo de adquisición, selección del canal, interrupciones deshabilitadas y tensión de referencia la de la alimentación del micro.

```
ConvertADC();
```

Iniciar conversión.

```
while(BusyADC()==1){}
```

No continuar hasta que no termine la conversión.

```
lectura= ReadADC();
```

Dar a lectura el valor de la conversión.

```
CloseADC();
```

Cerrar el ADC.

```
ppm= lectura*0.977;
```

Realiza la multiplicación necesaria para obtener la resolución máxima y llegar al fondo de escala.

```
itoa(ppm, datos);
```

Convierte las ppm en una cadena llamada datos.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

3. El PIC recibe la tensión de salida del módulo del sensor TGS 2620 proporcional a la concentración de etanol a través del pin AN5, realiza su conversión analógica-digital, lo transforma en un dato de tipo cadena y lo concatena y almacena en el anterior dato *envío*.

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH5 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

Configuración del ADC: frecuencia de oscilación y tiempo de adquisición, selección del canal, interrupciones deshabilitadas y tensión de referencia la de la alimentación del micro.

```
ConvertADC();
```

Iniciar conversión.

```
while(BusyADC()==1){}
```

No continuar hasta que no termine la conversión.

```
lectura= ReadADC();
```

Dar a lectura el valor de la conversión.

```
CloseADC();
```

Cerrar el ADC.

```
ppm= lectura* 4.885;
```

Realiza la multiplicación necesaria para obtener la resolución máxima y llegar al fondo de escala.

```
itoa(ppm, datos);
```

Convierte las ppm en una cadena llamada datos.

4. El PIC recibe la tensión de salida del módulo del sensor TGS 2602 proporcional a la concentración de etanol y tolueno en bajas concentraciones a través del pin AN6, realiza su conversión analógica-digital, lo transforma en un dato de tipo cadena y lo concatena y almacena en el anterior dato *envío*.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH6 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

Configuración del ADC: frecuencia de oscilación y tiempo de adquisición, selección del canal, interrupciones deshabilitadas y tensión de referencia la de la alimentación del micro.

```
ConvertADC();
```

Iniciar conversión.

```
while(BusyADC()==1){}
```

No continuar hasta que no termine la conversión.

```
lectura= ReadADC();
```

Dar a lectura el valor de la conversión.

```
CloseADC();
```

Cerrar el ADC.

```
ppm= lectura* 0.02931;
```

Realiza la multiplicación necesaria para obtener la resolución máxima y llegar al fondo de escala.

```
itoa(ppm, datos);
```

Convierte las ppm en una cadena llamada datos.

5. El PIC recibe la tensión de salida del módulo del sensor TGS 6810 proporcional a la concentración de metano a través del pin AN7, realiza su conversión analógica-digital, lo transforma en un dato de tipo cadena y lo concatena y almacena en el anterior dato *envio*.

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH7 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

Configuración del ADC: frecuencia de oscilación y tiempo de adquisición, selección del canal, interrupciones deshabilitadas y tensión de referencia la de la alimentación del micro.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
ConvertADC();
```

Iniciar conversión.

```
while(BusyADC()==1){}
```

No continuar hasta que no termine la conversión.

```
lectura= ReadADC();
```

Dar a lectura el valor de la conversión.

```
CloseADC();
```

Cerrar el ADC.

```
ppm= lectura* 0.004885;
```

Realiza la multiplicación necesaria para obtener la resolución máxima y llegar al fondo de escala.

```
itoa(ppm, datos);
```

Convierte las ppm en una cadena llamada datos.

6. El PIC recibe la tensión de salida del módulo del sensor TGS 5042 proporcional a la concentración de CO, realiza su conversión analógica-digital a través del pin AN10, lo transforma en un dato de tipo cadena y lo concatena y almacena en el anterior dato *envio*.

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH10 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

Configuración del ADC: frecuencia de oscilación y tiempo de adquisición, selección del canal, interrupciones deshabilitadas y tensión de referencia la de la alimentación del micro.

```
ConvertADC();
```

Iniciar conversión.

```
while(BusyADC()==1){}
```

No continuar hasta que no termine la conversión.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
lectura= ReadADC();
```

Dar a lectura el valor de la conversión.

```
CloseADC();
```

Cerrar el ADC.

```
ppm= lectura* 0.977;
```

Realiza la multiplicación necesaria para obtener la resolución máxima y llegar al fondo de escala.

```
itoa(ppm, datos);
```

Convierte las ppm en una cadena llamada datos.

7. Por último, la cadena *envio* formada por la concatenación de una lectura de cada sensor es enviada al sistema.

```
if(mUSBUSARTIsTxTrfReady())  
    putsUSART(envio);
```

El código del programa se asegura que cada lectura recibida y convertida sea de cuatro dígitos añadiendo, en el caso de que sea menor, los ceros necesarios con las siguientes sentencias:

char corrector[1]="0"; **Se define únicamente en la sección de definición de variables**

```
if (ppm<1000)
```

```
    strcat(envio,corrector);
```

```
if (ppm<100)
```

```
    strcat(envio,corrector);
```

```
if (ppm<10)
```

```
    strcat(envio,corrector);
```

```
    strcat(envio,datos);
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Para concatenar cadenas, se utiliza la función **strcat**, que está disponible en la biblioteca estándar de C. La sintaxis de una llamada a **strcat** es:

```
strcat( <cadena_destino>, <cadena_fuente> )
```

La función `strcat` añade el contenido de la `<cadena_fuente>` a la `<cadena_destino>`.

El motivo de que cada lectura tenga 4 dígitos es que la persona que va a desarrollar el sistema maestro que va a integrar la placa de sensores, el inclinómetro, el sistema de guiado,...; lo ha pedido expresamente porque considera que es la mejor solución.

De esta forma el sistema maestro siempre recibe cadenas de 24 caracteres siendo cada 4 consecutivos la concentración de cada sensor, atendiendo la petición expresa de su desarrollador.

Para cualquier tipo de consulta el código completo del programa en lenguaje C se adjunta en formato digital con este documento.

Una vez definido el código se procede a compilarlo para cerciorarse de que no hay ningún tipo de error (figura 97).

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

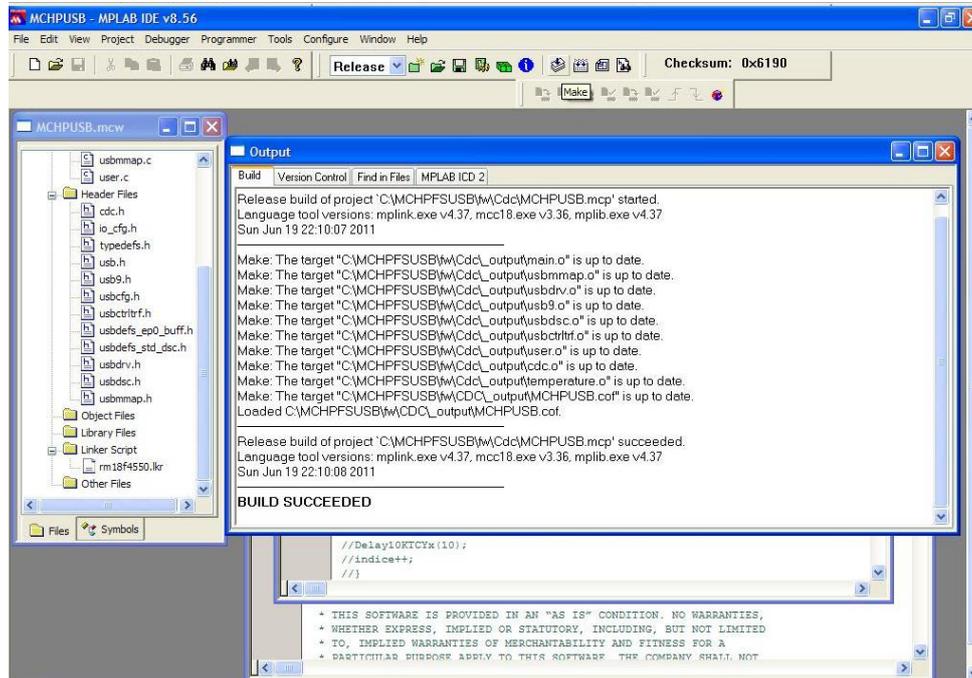


Figura 97.- Salida al compilar el código del PIC

Cuando el código es correcto se pasa el programa al PIC mediante el programador MPLAB ICD2.

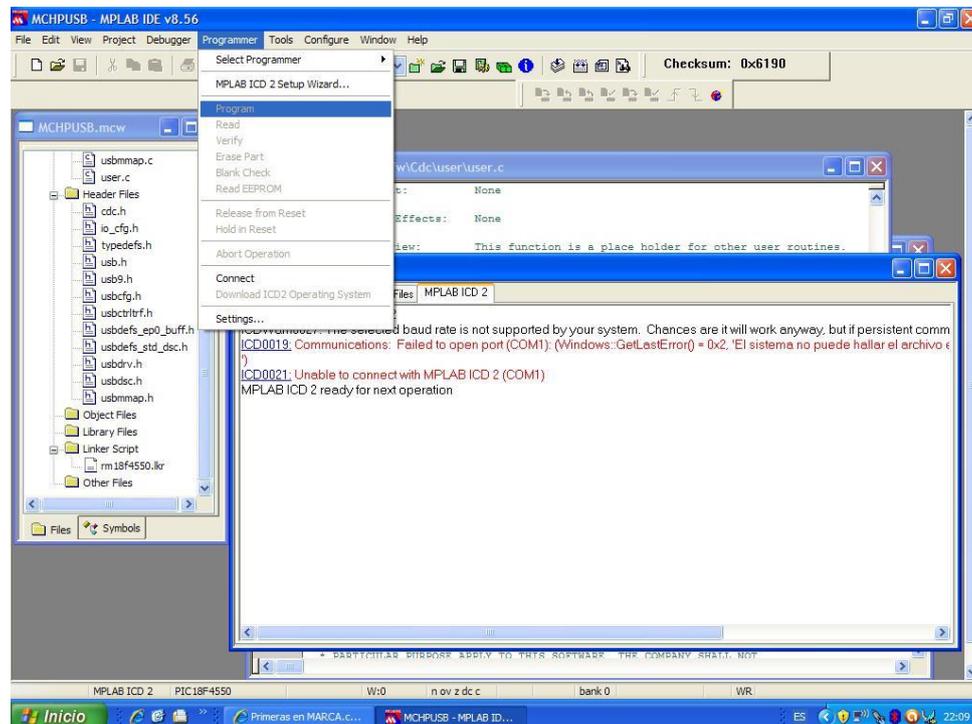


Figura 98.- Pasar el programa al PIC mediante el MPLAB ICD2

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Para que el programa se inserte correctamente en el PIC, el MPLAB ICD2 debe estar conectado al PCB de destino como se ilustra en las dos imágenes de a continuación:

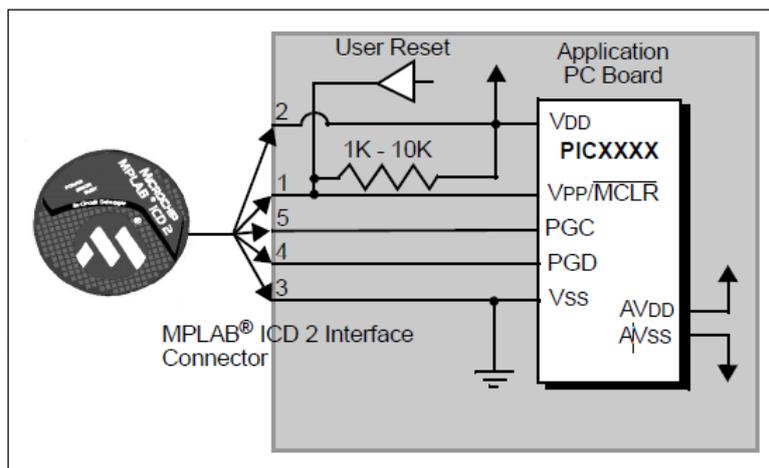


Figura 99.-Conexión MPLAB ICD2 con PCB de destino.

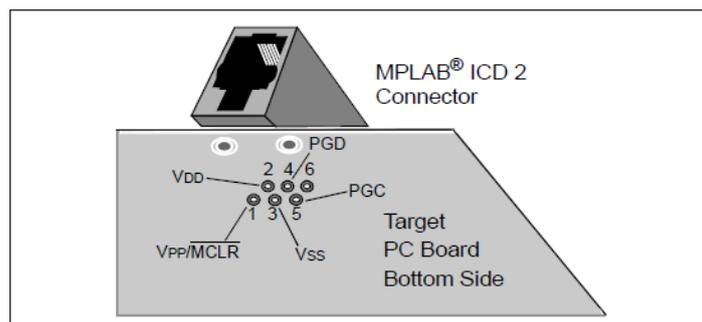


Figura 100.- Numeración de los pines del conector MPLAB ICD2.

Tras insertar el código en el dispositivo, el último paso que queda por realizar es instalar el driver en el procesador en el que se vaya conectar la PCB. Una parte del código que se inserta en el PIC espera la conexión con un dispositivo, el cual, a su vez necesita un driver para reconocer el dispositivo origen que se le está conectando vía USB. Este driver lo facilita Microchip en la aplicación de instalación de la nota AN956.

Cuando la PCB se conecta al PC aparece la siguiente ventana de diálogo para configurar el driver.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Figura 101.-Instalación del driver de Microchip

Se elige la opción instalar desde una localización específica y se introduce la localización C:\MCHPFSUSB\fw\CDC\inf\win2k_winxp

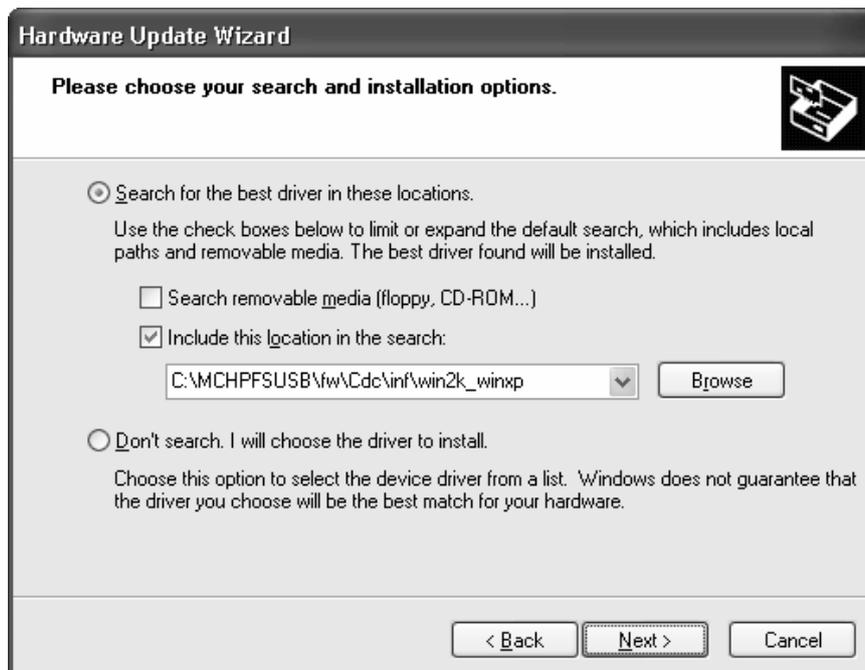


Figura 102.- Selección de la localización del driver

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Con el driver instalado los dispositivos ya están listos para comunicarse, enviar y recibir datos mutuamente.

4.4. Flujograma y Comunicación entre dispositivos

El sistema queda preparado para una comunicación maestro-esclavo.

El software implementado permite que un sistema maestro mediante la activación de un flag pueda realizar una petición de envío de datos. Al activar este flag, automáticamente el programa del PIC realiza la adquisición y conversión de los datos enviados por los módulos de cada sensor y los remite al sistema maestro, con el protocolo explicado en el punto anterior; reseteando el flag y así quedando preparado para una nueva solicitud del sistema maestro.

En la fecha de finalización del presente proyecto, el sistema maestro no está desarrollado por lo que las sentencias del reseteo del flag y la activación del mismo quedan pendiente, ya que, dependiendo del criterio de la persona que desarrolle dicho sistema, con el tiempo se puede encontrar una solución más eficiente.

A continuación se muestran las figuras con el flujograma del programa actual y el flujograma que tendría tras introducir un sistema maestro.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

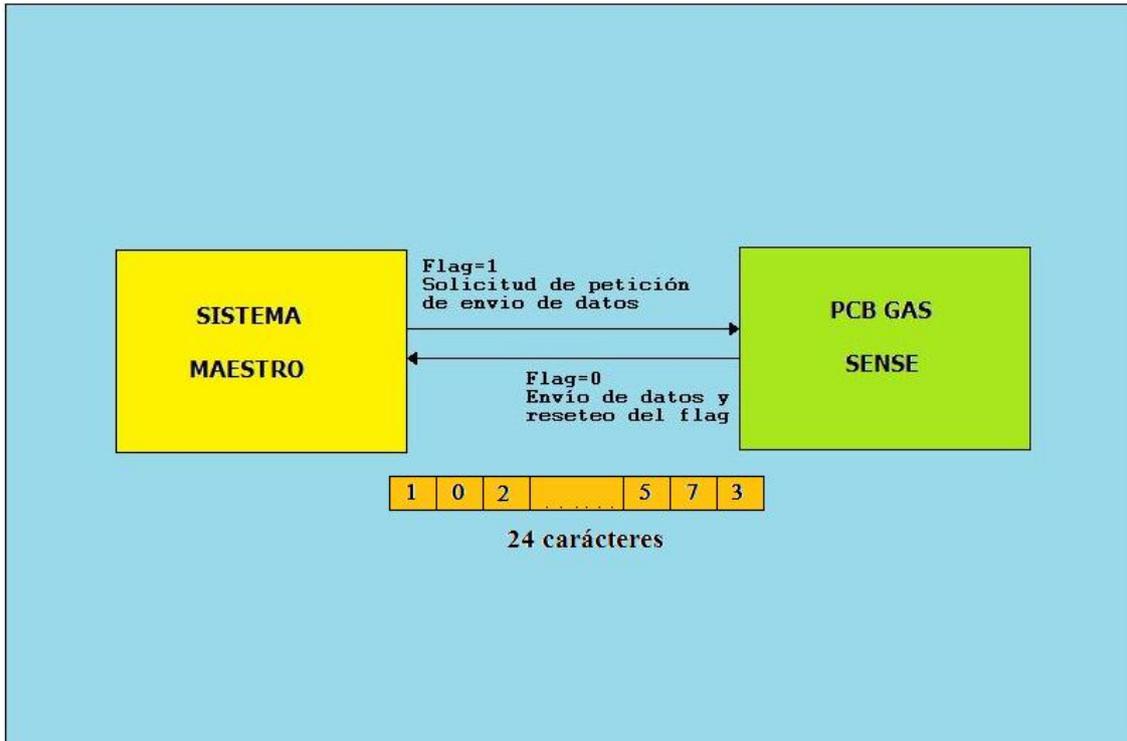


Figura 103.- Comunicación entre sistemas.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

FLUJOGRAMA SIN CONECTAR LA PLACA DE GASES CON UN PC QUE REALICE LAS FUNCIONES DE SISTEMA MAESTRO

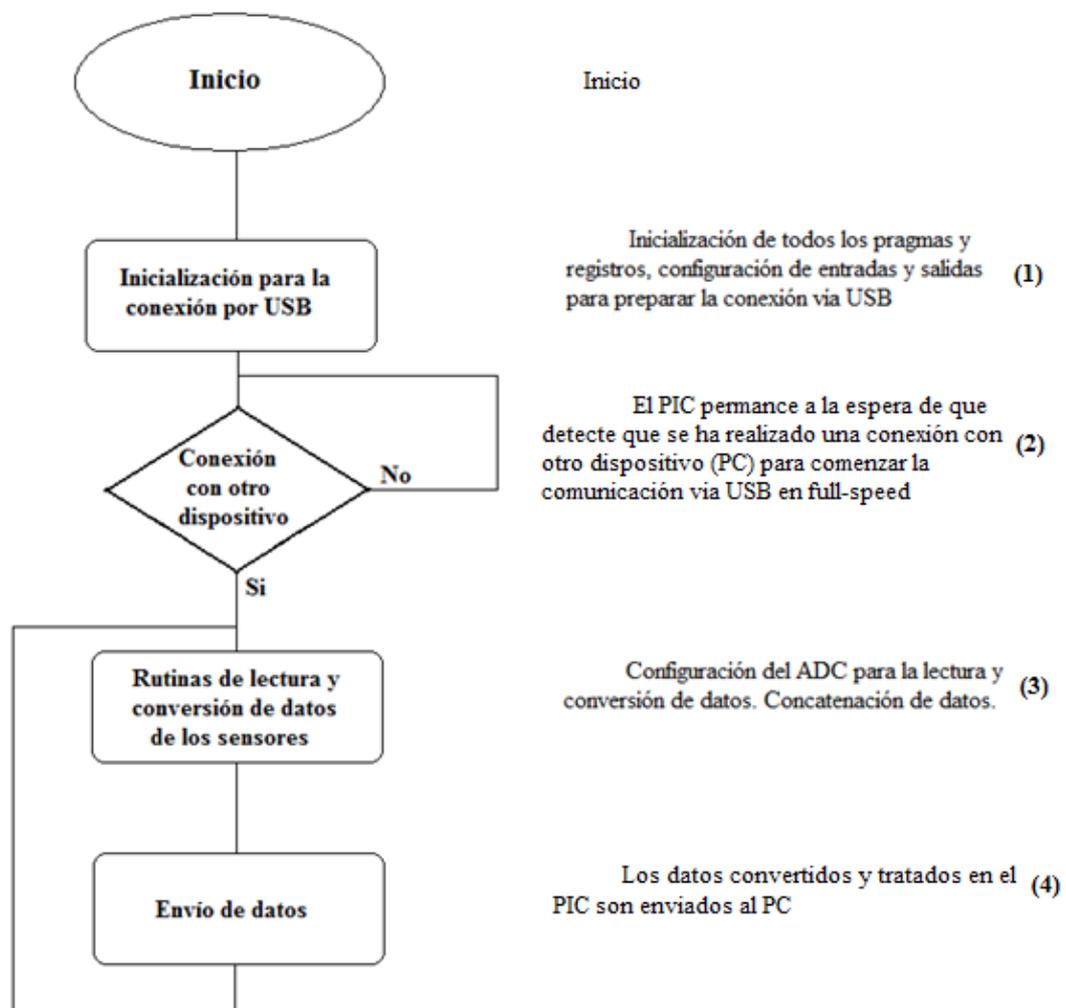


Figura 104.- Flujograma del programa

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

FLUJOGRAMA CON LA PLACA DE GASES CONECTADA A UN PC QUE REALICE LAS FUNCIONES DE SISTEMA MAESTRO

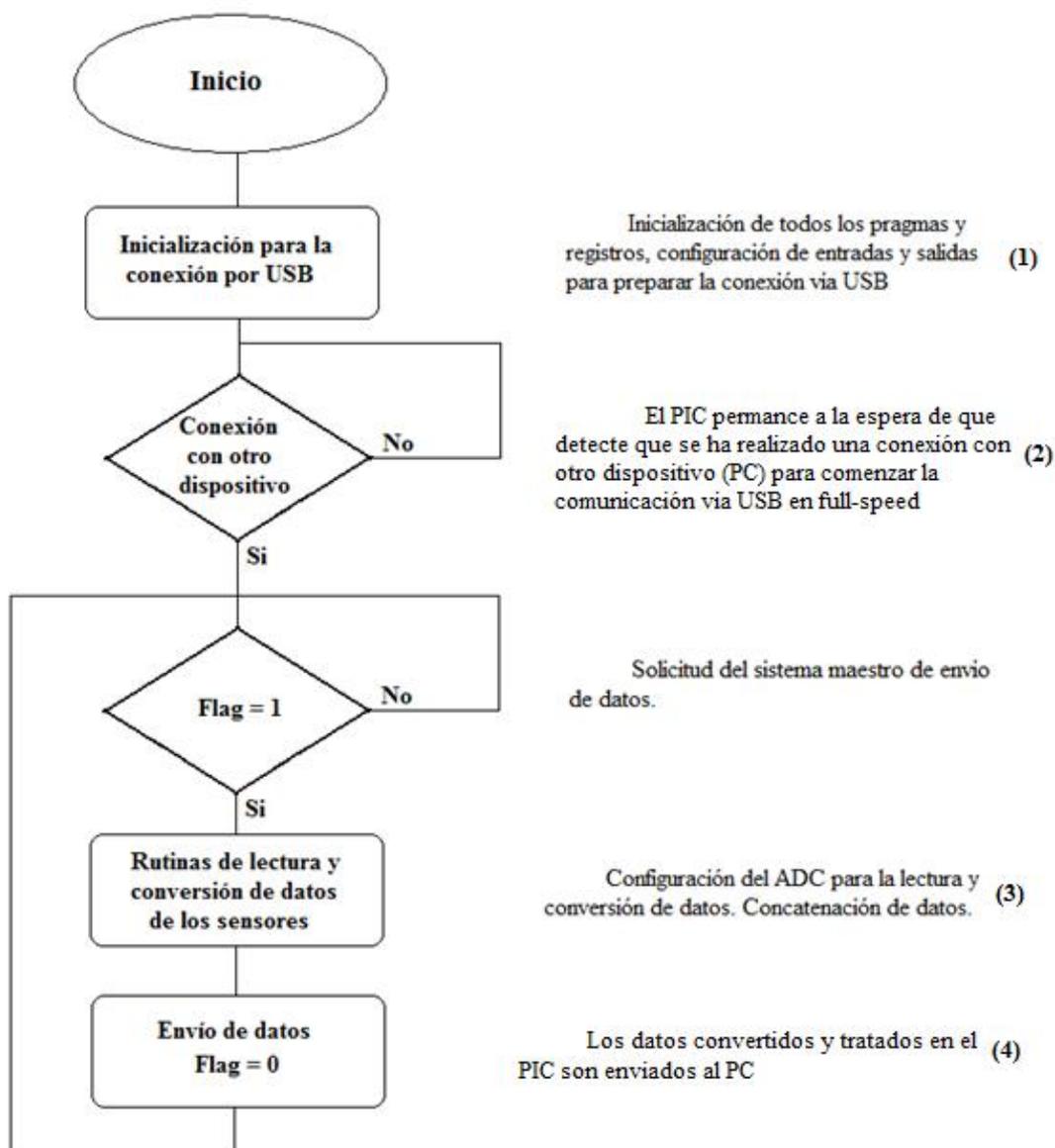


Figura 105.- Flujograma del programa con el sistema maestro.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

1.- Inicialización y configuración de todos los pragmas que configuran el PIC para que esté listo para la comunicación USB full-speed. Dentro de éstas sentencias se incluyen las que definen los valores de división de la PLL, la frecuencia de oscilación, el modo del reloj, habilitación o no del Watchdog Timer, ... A continuación se presentan las sentencias pragma de configuración del PIC.

```
#elif defined(PIC18F2455_PCB_GAS_SENSE)

    // Configuration bits for PIC18F2455_PCB_GAS_SENSE

    #pragma config PLLDIV = 5    // (20 MHz crystal)
    #pragma config CPUDIV = OSC1_PLL2
    #pragma config USBDIV = 2    // Clock source from 96MHz PLL/2
    #pragma config FOSC = HSPLL_HS
    #pragma config FCMEN = OFF
    #pragma config IESO = OFF
    #pragma config PWRT = OFF
    #pragma config BOR = ON
    #pragma config BORV = 3
    #pragma config VREGEN = ON    //USB Voltage Regulator
    #pragma config WDT = OFF
    #pragma config WDTPS = 32768
    #pragma config MCLRE = ON
    #pragma config LPT1OSC = OFF
    #pragma config PBADEN = OFF
    // #pragma config CCP2MX = ON
    #pragma config STVREN = ON
    #pragma config LVP = OFF
    // #pragma config ICPRT = OFF // Dedicated In-Circuit Debug/Programming
    #pragma config XINST = OFF // Extended Instruction Set
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
#pragma config CP0    = OFF
#pragma config CP1    = OFF
// #pragma config CP2    = OFF
// #pragma config CP3    = OFF
#pragma config CPB    = OFF
// #pragma config CPD    = OFF
#pragma config WRT0    = OFF
#pragma config WRT1    = OFF
// #pragma config WRT2    = OFF
// #pragma config WRT3    = OFF
#pragma config WRTB    = ON    // Boot Block Write Protection
#pragma config WRTC    = OFF
// #pragma config WRTD    = OFF
#pragma config EBTR0    = OFF
#pragma config EBTR1    = OFF
// #pragma config EBTR2    = OFF
// #pragma config EBTR3    = OFF
#pragma config EBTRB    = OFF
```

2.- Cuando el PIC es alimentado recorre todo el programa hasta detenerse en una sentencia donde espera que conecte con un dispositivo exterior (PC) para poder comenzar con las conversiones de los datos que va a recibir de los circuitos de acondicionamiento que hay a la salida de los sensores. En caso de no conectarse permanece a la espera sin hacer nada, preguntando en todo momento si ha conseguido contactar. En las siguientes líneas se pueden apreciar las sentencias donde el PIC se detiene a esperar el estado que le indique que ha interactuado con un dispositivo exterior y

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

las sentencias donde se puede valorar el comportamiento de los leds que hay a la salida del PIC dependiendo del estado del mismo.

```
void ProcessIO(void)
{
    BlinkUSBStatus();

    // User Application USB tasks
    if((usb_device_state < CONFIGURED_STATE) || (UCONbits.SUSPND==1)) return;

    Conversion_Transmission();
}

void BlinkUSBStatus(void)
{
    static word led_count=0;

    if(led_count == 0)led_count = 10000U;

    led_count--;

    #define mLED_Both_Off()    {mLED_1_Off();mLED_2_Off();}
    #define mLED_Both_On()    {mLED_1_On();mLED_2_On();}
    #define mLED_Only_1_On()  {mLED_1_On();mLED_2_Off();}
    #define mLED_Only_2_On()  {mLED_1_Off();mLED_2_On();}

    if(UCONbits.SUSPND == 1)
    {
        if(led_count==0)
        {
            mLED_1_Toggle();

            mLED_2 = mLED_1;    // Both blink at the same time

        }
    }
}
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
else
{
    if(usb_device_state == DETACHED_STATE)
    {
        mLED_Both_Off();
    }
    else if(usb_device_state == ATTACHED_STATE)
    {
        mLED_Both_On();
    }
    else if(usb_device_state == POWERED_STATE)
    {
        mLED_Only_1_On();
    }
    else if(usb_device_state == DEFAULT_STATE)
    {
        mLED_Only_2_On();
    }
    else if(usb_device_state == ADDRESS_STATE)
    {
        if(led_count == 0)
        {
            mLED_1_Toggle();
            mLED_2_Off();
        }
    }
    else if(usb_device_state == CONFIGURED_STATE)
    {
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
    if(led_count==0)
    {
        mLED_1_Toggle();
        mLED_2 = !mLED_1;    // Alternate blink
    } //end if
} //end if(...)
} //end if(UCONbits.SUSPND...)

} //end BlinkUSBStatus
```

3.- Una vez que el PIC se ha conectado con un PC procede a la lectura de la concentración de los gases y a enviar dicha lectura, ya tratada al PC. Las líneas de código que realizan éstos pasos son:

```
void Conversión_Transmisión(void)
{
    {
        ADCON1=0x08;
        TRISAbits.TRISA0=1;    //  Ponere como entrada analógica los pines
correspondientes.-
        TRISEbits.TRISE0=1;
        TRISAbits.TRISA5=1;
        TRISEbits.TRISE1=1;
        TRISEbits.TRISE2=1;
        TRISBbits.TRISB1=1;

        OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH0 &
ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
        ConvertADC();           // Comienza conversión.-
        while(BusyADC()==1){}   // Hasta que se finalice conversión.-
    }
}
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
        lectura= ReadADC();    // Toma la lectura.-
        CloseADC();

ppm= lectura * 0.0977;    // Multiplicación para resolución máxima.-
itoa(ppm, datos);        // Transforma la lectura en una cadena.-
strcpy(envio,inicio);    // Inicializa la posterior cadena envio con " " .-
if (ppm<1000)            // Se asegura que el dato tiene cuatro dígitos
        strcat(envio,corrector);

if (ppm<100)
        strcat(envio,corrector);

if (ppm<10)
        strcat(envio,corrector);

strcat(envio,datos);    // Pasa el dato a la cadena envio.

        OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH4 &
ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );

        ConvertADC();                // Comienza conversión.-
        while(BusyADC()==1){} // Hasta que se finalice conversión.-
        lectura= ReadADC();    // Toma la lectura.-
        CloseADC();

ppm= lectura * 0.977;
itoa(ppm, datos);
if (ppm<1000)
        strcat(envio,corrector);

if (ppm<100)
        strcat(envio,corrector);

if (ppm<10)
        strcat(envio,corrector);

strcat(envio,datos);
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH5 &
ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

```
ConvertADC();           // Comienza conversión.-
while(BusyADC()==1){ // Hasta que se finalice conversión.-
lectura= ReadADC();    // Toma la lectura.-
CloseADC();
```

```
ppm= lectura * 4,885;
itoa(ppm, datos);
if (ppm<1000)
    strcat(envio,corrector);
if (ppm<100)
    strcat(envio,corrector);
if (ppm<10)
    strcat(envio,corrector);
strcat(envio,datos);
```

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH6 &
ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

```
ConvertADC();           // Comienza conversión.-
while(BusyADC()==1){ // Hasta que se finalice conversión.-
lectura= ReadADC();    // Toma la lectura.-
CloseADC();
```

```
ppm= lectura * 0.02931;
itoa(ppm, datos);
if (ppm<1000)
    strcat(envio,corrector);
if (ppm<100)
    strcat(envio,corrector);
if (ppm<10)
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
strcat(envio,corrector);
```

```
strcat(envio,datos);
```

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH7 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

```
ConvertADC(); // Comienza conversión.-
```

```
while(BusyADC()==1){ // Hasta que se finalice conversión.-
```

```
lectura= ReadADC(); // Toma la lectura.-
```

```
CloseADC();
```

```
ppm= lectura * 0.004885;
```

```
itoa(ppm, datos);
```

```
if (ppm<1000)
```

```
    strcat(envio,corrector);
```

```
if (ppm<100)
```

```
    strcat(envio,corrector);
```

```
if (ppm<10)
```

```
    strcat(envio,corrector);
```

```
strcat(envio,datos);
```

```
OpenADC( ADC_FOSC_32 & ADC_RIGHT_JUST & ADC_12_TAD, ADC_CH10 & ADC_INT_OFF & ADC_VREFPLUS_VDD, 15 );
```

```
ConvertADC(); // Comienza conversión.-
```

```
while(BusyADC()==1){ // Hasta que se finalice conversión.-
```

```
lectura= ReadADC(); // Toma la lectura.-
```

```
CloseADC();
```

```
ppm= lectura * 0.977;
```

```
itoa(ppm, datos);
```

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

```
        if (ppm<1000)
            strcat(envio,corrector);
        if (ppm<100)
            strcat(envio,corrector);
        if (ppm<10)
            strcat(envio,corrector);

        strcat(envio,datos);

        strcat(envio,retorno);    // Añade a la cadena los caracteres necesarios para
que el siguiente envio aparezca dos filas por debajo.-

        if(mUSBUSARTIsTxTrfReady())    // Se asegura que el driver este listo para
transmitir los datos por USB.-
        {
            putsUSBUSART(envio); //Transmite envio por USB.-
        }
    }
} //end Conversión_Transmisión
```

4.- Cuando todos los sensores han realizado la captura, conversión y tratamiento de sus lecturas correspondientes, éstas son enviadas en forma de cadena de 24 caracteres al PC al que se ha conectado (tanto si éste PC es el que hace las veces de sistema maestro como si no).

* La única diferencia entre los dos flujos es que el que no se conecta a un sistema maestro no necesita que le pidan datos y desde que se conecta empieza a mandarlos hasta que se le deja de alimentar; sin embargo, el que se conecta con un PC que hace las veces de sistema maestro, es éste el que le indica al PIC cuando quiere que le mande los datos.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 Placa de Pruebas

Antes de lanzar a fabricar el diseño definitivo se construye una placa de pruebas para realizar los primeros ensayos. Esta placa consiste en una placa de puntos donde se han soldado zócalos para los componentes principales que son: el convertidor de continua, los sensores, los amplificadores operacionales, la bobina del filtro del convertidor DC/DC y el array de transistores y el resto de componentes se han soldado directamente uniando los pines mediante cable (observar figura 106)

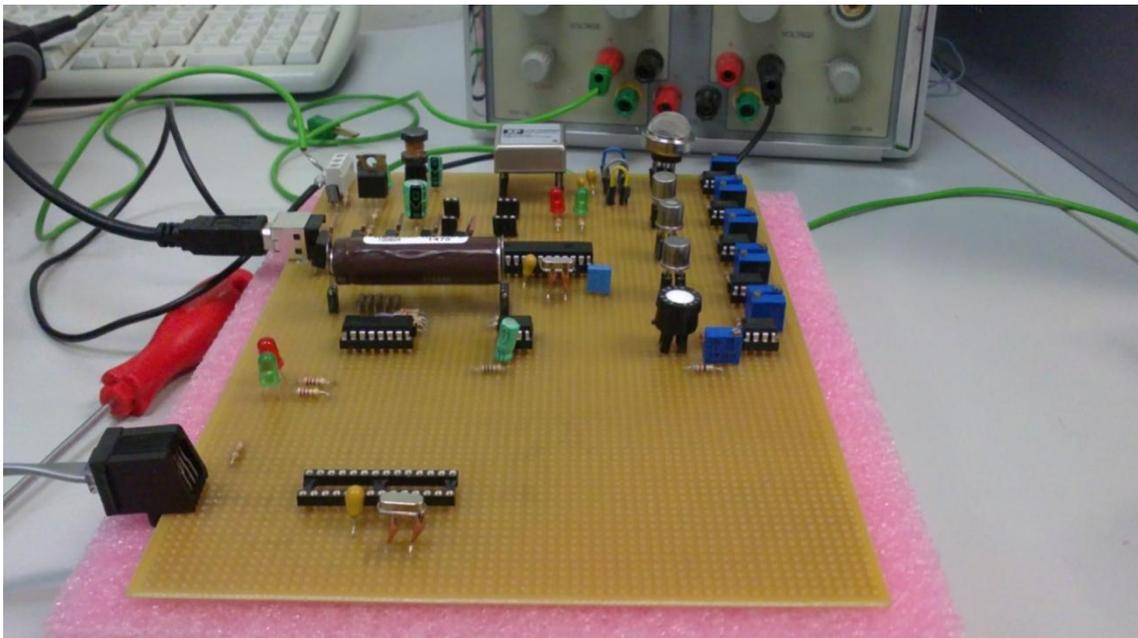


Figura 106.- Placa de pruebas.

En dicha placa puede apreciarse cada parte que compone el diseño. Además puede observarse el circuito que se ha utilizado para programar el PIC descargando el programa del MPLAB mediante el MPLAB ICD2. También se aprecia como en este diseño no se ha incluido el varistor para las pruebas.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

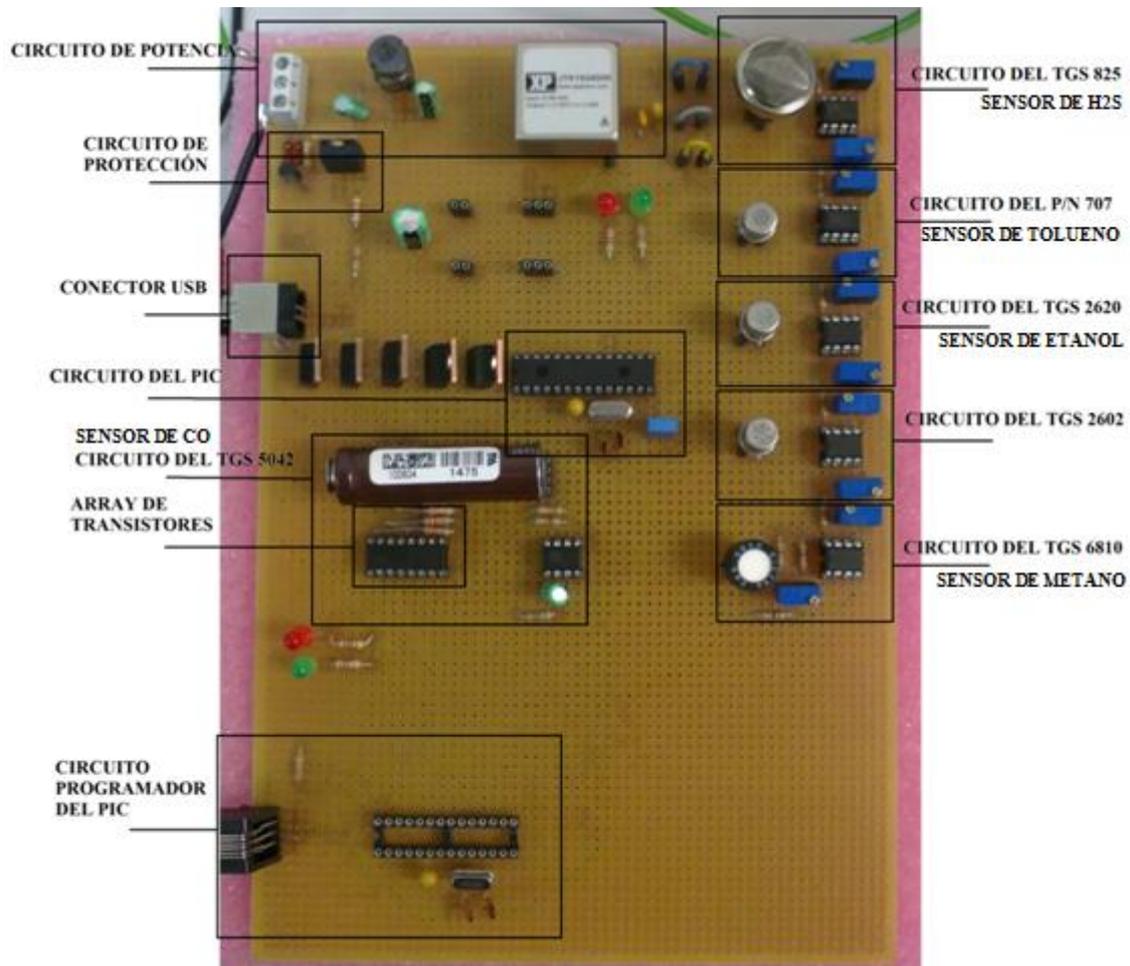


Figura 107.- Placa de prueba por módulos

Con esta placa de puntos se han realizado los primeros test para verificar el correcto funcionamiento de todo el conjunto. En primer lugar se comprobó que la alimentación trabajase correctamente, corroborando que a la salida del convertidor se obtuviesen los ± 5 V que se precisan para alimentar el resto del conjunto. A continuación, con una fuente de alimentación de continua se introdujeron unos centenares de milivoltios para simular la salida de los sensores y comprobar el correcto funcionamiento de los operacionales y su salida hacia el PIC. Por último, se programó el PIC con el código, que se adjunta en formato digital, y se confirma que la comunicación USB con un PC marcha perfectamente.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Figura 108.- Placa de pruebas conectada a una fuente de tensión, el programador ICD 2 y un PC.

5.2 Comunicación con PC

Debido a que el sistema maestro no está finalizado, la forma de ver los resultados arrojados tras la lectura y conversión de la concentración de gas es utilizando el hiperterminal del PC al que se conecta la placa de pruebas. El procedimiento es el siguiente:

Se abre el hiperterminal y se define una nueva conexión utilizando el puerto adecuado (Ver figura 109)

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Figura 109.- Configuración del hiperterminal para la conexión USB. Selección de puerto.

A continuación se definen las propiedades de la conexión configurando los parámetros del puerto anteriormente seleccionado para una conexión USB a alta velocidad (19200 baudios full speed).

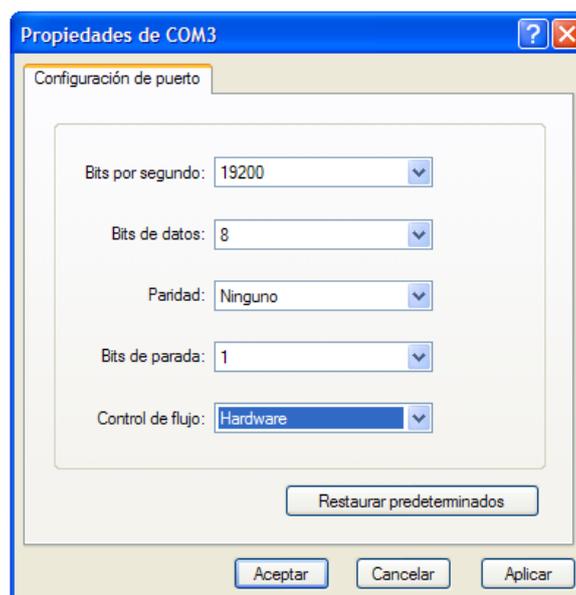


Figura 110.- Configuración del hiperterminal para la conexión USB. Configuración del puerto.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Una vez establecidos estos parámetros, la conexión USB en alta velocidad con el hiperterminal ya está preparada para recibir datos de la PCB de detección de gases.

En un primer test se programó el PIC para que enviase la frase de bienvenida de la nota de aplicación de la migración a USB de RS-232 UART obteniendo como resultado el que se aprecia en la figura 111.

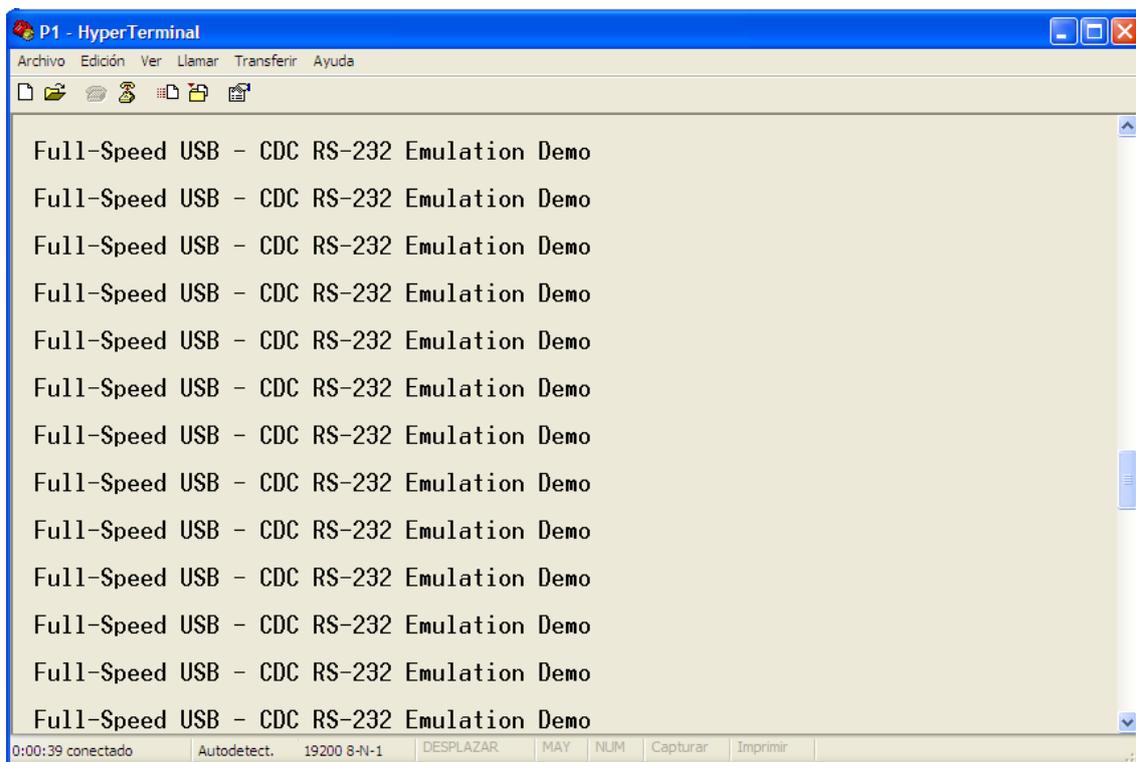


Figura 111.-Hiperterminal mostrando la frase de bienvenida de la nota de aplicación.

Como puede comprobarse en la parte inferior de la imagen se consigue una conexión full-speed a 19200 baudios.

En un segundo test se programa el PIC para que muestre los valores obtenidos por un sensor al azar. Como la salida del sensor va a ser constante y prácticamente inapreciable debido a que se encuentra en unas buenas condiciones ambientales se opta por variar la entrada de los operacionales utilizando una fuente de tensión continua. De esta forma se puede corroborar que el programa es capaz de responder a las variaciones

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

de concentraciones y por tanto a las variaciones de tensión en la salida de los sensores. El resultado de este test es igual a la figura 116. La diferencia entre ambos test, en el siguiente capítulo se explica la otra prueba, es que en este se muestra la salida de un mismo sensor repetidamente mientras que en el otro caso todas las entradas analógicas están conectadas a una misma señal con lo que el resultado de ambas pruebas es el mismo.

5.3 PCB

Como resultado de todo el desarrollo explicado en los puntos anteriores se obtiene la PCB que se muestra a continuación. Como puede observarse se ha realizado el rutado usando dos capas.

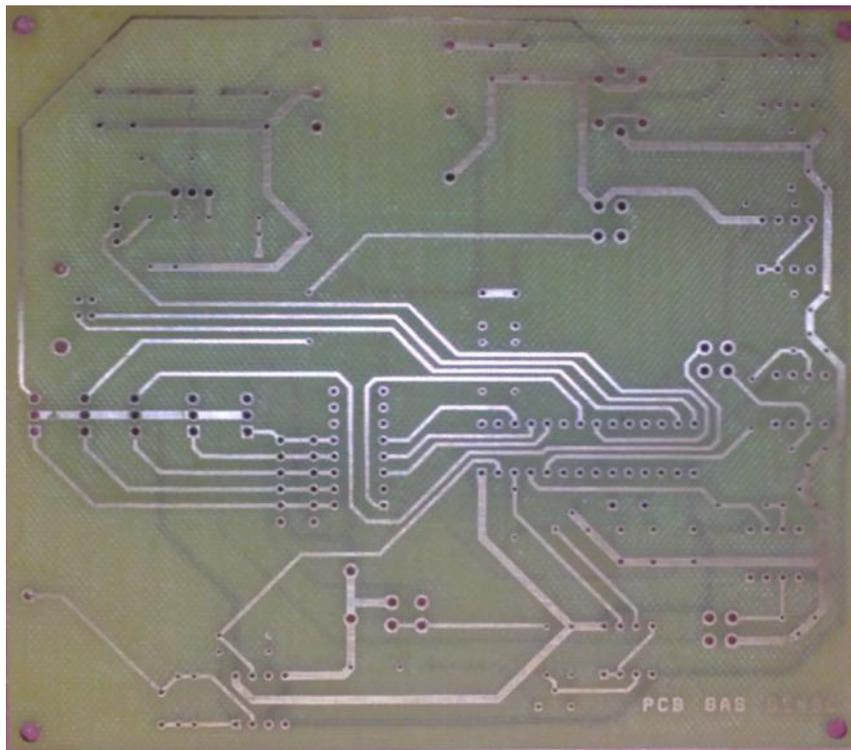


Figura 112.- PCB GAS SENSE sin componentes

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

En la figura 113 puede observarse la PCB con los componentes ya soldados y puede apreciarse cada una de las partes que de las que está compuesta.

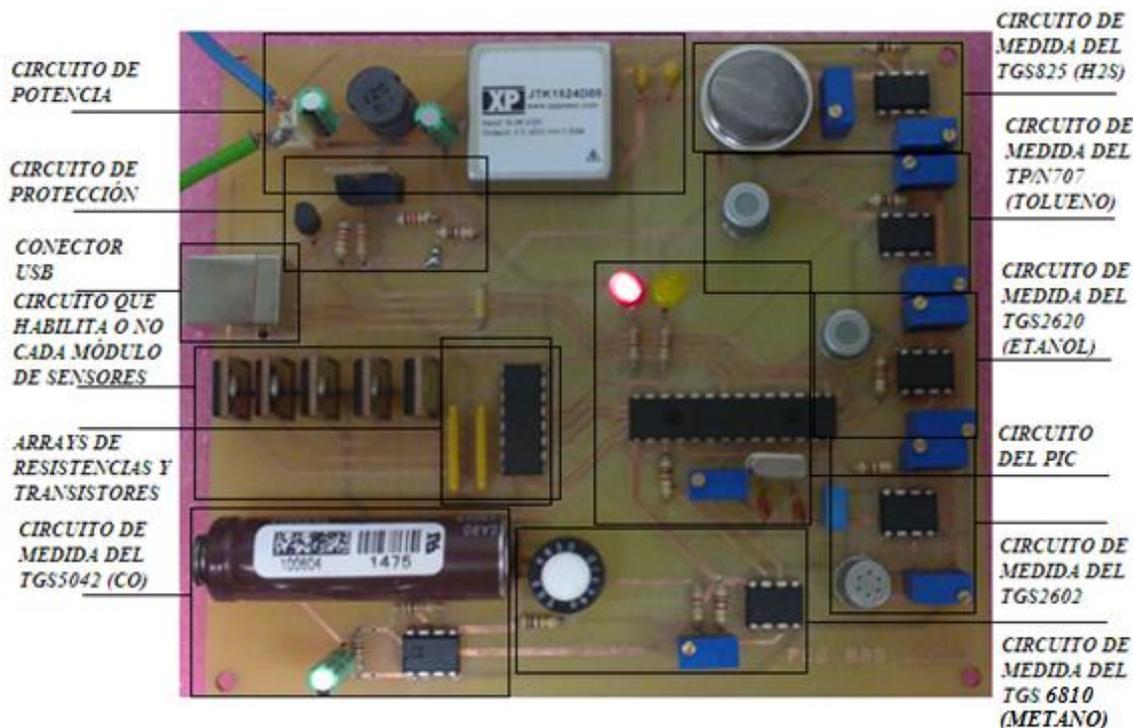


Figura 113.- PCB GAS SENSE con los componentes ya soldados

Tras unos ensayos en la PCB se comprueba que en un porcentaje muy elevado de ocasiones el microcontrolador pierde la programación y no consigue conectarse con el PC debido a que no logra reconocer la PCB. En el resto de los casos la comunicación funciona correctamente pero no esto no es admisible para un sistema de seguridad como el que se está diseñando. Por tanto, se decide sustituir el PIC18F2455 por la PICDEM FS USB Demo Board de Microchip que incluye otro PIC, el PIC18F4550.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

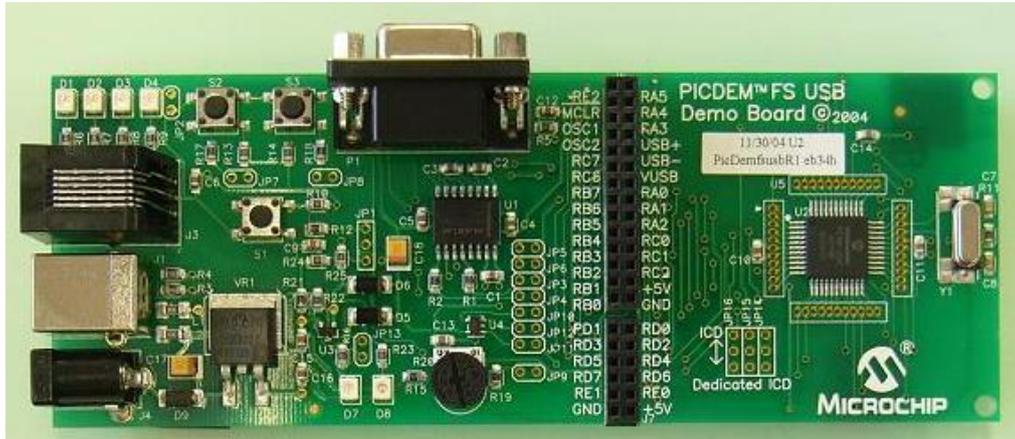


Figura 114.- PICDEM FS USB Demo Board

PICDEM FS USB es un entorno demo y de evaluación para microcontroladores Flash de la familia PIC18F4550 con interface full speed USB 2.0. El entorno contiene un PIC18F4550 que pertenece a la familia PIC18F2455 lo que permite sólo se tenga que hacer una pequeña variación en el código ya implementado. Esta variación se comenta en párrafos posteriores.

El entorno demo incluye varios dispositivos entre los que destacan los siguientes:

- Un cristal de 20 MHz
- Un Puerto serie conector/interface
- Conexión a MPLAB® ICD 2 In Circuit Debugger
- Un sensor de temperatura TC77
- Un potenciómetro para demos de conversión A/D.
- LEDs para visualizar el estado.
- Switches .
- Botón de Reset.

El PIC viene precargado con un USB bootloader pero puede ser reprogramado con un programador externo. Sólo hay que tener en cuenta como colocar los jumpers siguiendo las instrucciones que se facilitan en el manual PICDEM™ FS USB Demonstration Board User's Guide que también se adjunta en formato digital con esta memoria.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

datasheet para explicar su funcionamiento. Como puede apreciarse en la tabla 8, las diferencias entre ellos radica en la cantidad de memoria flash, la cantidad de entradas y salidas que se traducen en un mayor o menor número de puertos y la cantidad de canales o posibles entradas analógicas para el conversor analógico digital entre otras.

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI™	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Tabla 8.- Diferencias entre el PIC18F4550 y el PIC18F2455

Esta circunstancia implica que el cambio que hay que realizar en el código generado es mínimo ya que ambos dispositivos se rigen por las mismas sentencias. Únicamente hay que variar las sentencias pragmas iniciales y la configuración del ADCON para adecuarle al número de entrada analógica del ADC. Realmente, no hay que realizar cambio alguno ya que la parte de pragmas desarrollada para el PIC18F2455 forma parte de una sentencia if en el que la primera condición es si se usa PICDEM™ FS USB Demo Board, y en este caso, al ser afirmativa, el programa no pasaría por las sentencias pragmas del PIC18F2455. Como se ha explicado anteriormente, la nota de aplicación AN956 sobre la que se basa el código viene configurada para usar el PIC18F4550 con interface full speed USB 2.0, por lo que facilita mucho la integración del sistema ya implementado. Para cualquier tipo de duda se recomienda consultar tanto el datasheet de la familia de microcontroladores PIC18F4550 como la nota de aplicación AN956 y el código completo que se adjuntan con este documento.

Con la sustitución del PIC por el entorno demo de Microchip se consigue solucionar completamente el problema de la comunicación reconociéndose mutuamente los dispositivos en la totalidad de las ocasiones en las que son conectados.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Una vez resuelto el problema de la comunicación se procede a realizar varios test para comprobar el correcto funcionamiento del conjunto.

Test Primero. Se conectan todas las entradas analógicas con la entrada que a su vez está unida con el potenciómetro que incluye por defecto PICDEM™ FS USB Demo Board. Con esta prueba se quiere conseguir ver que todas las entradas varían de igual forma ante la misma entrada y que el ADC llega al fondo de escala. El resultado se observa en las figuras 116 y 117.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

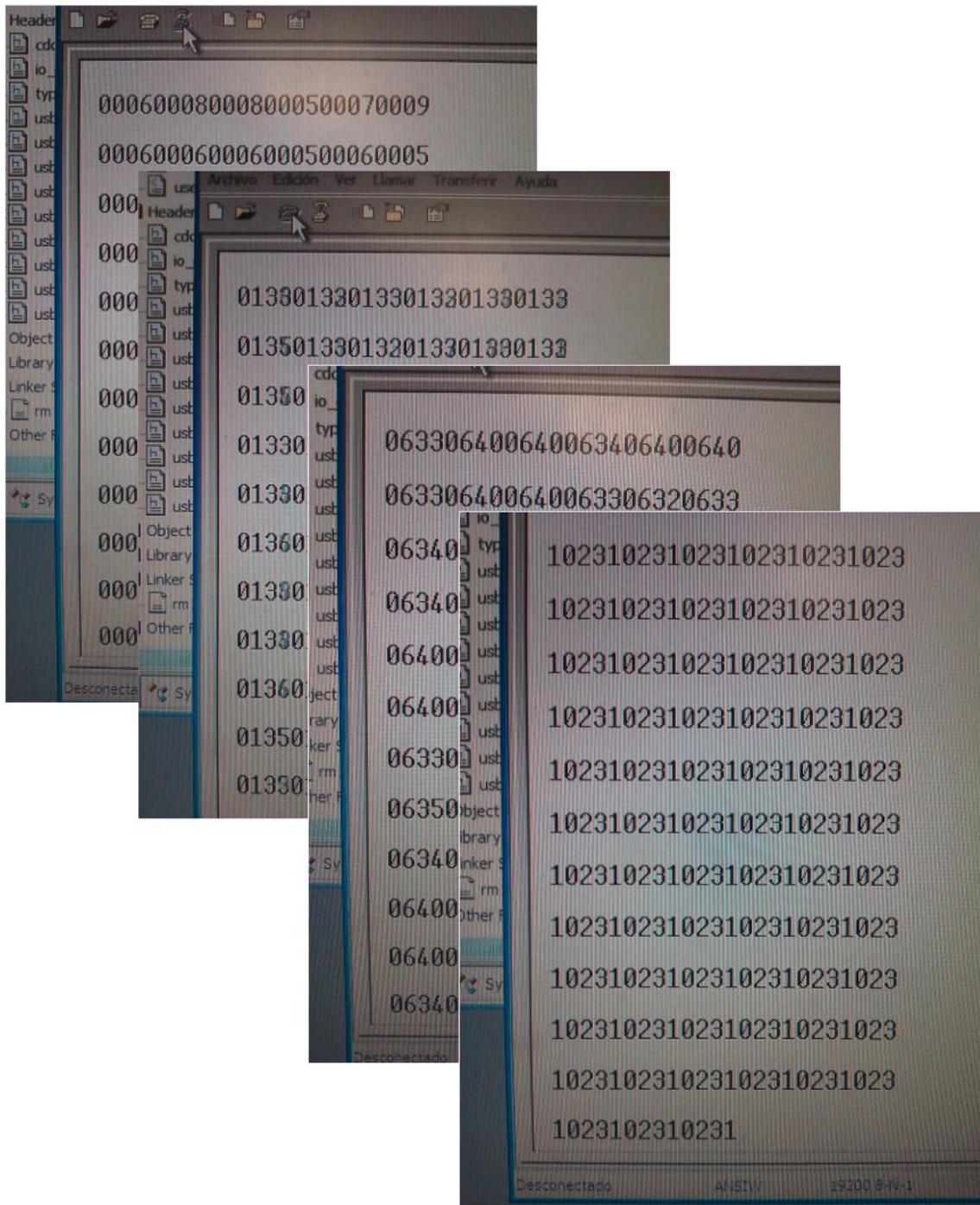


Figura 116.- Test Primero. Entradas analógicas conectadas al potenciómetro del PICDEM

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

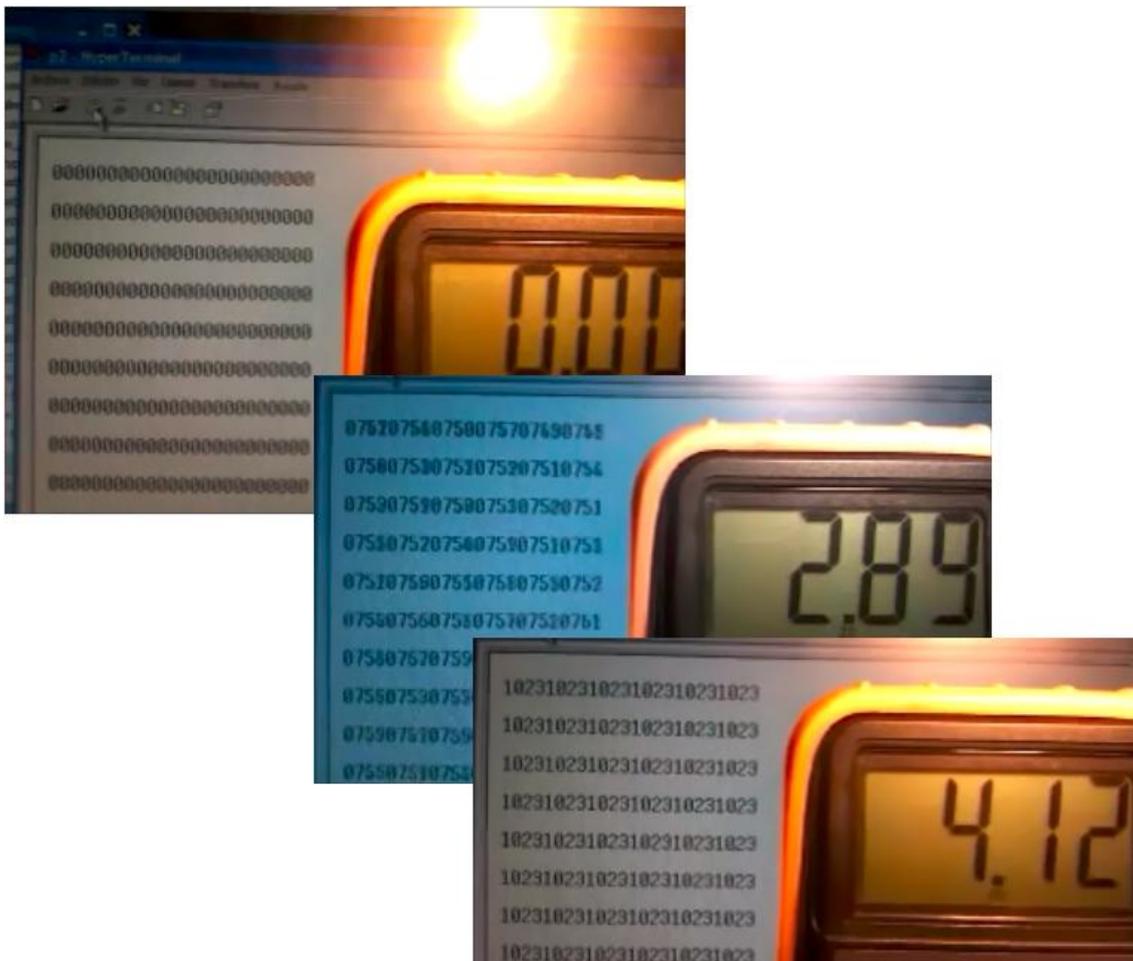


Figura 117.- Test Primero. Fondo de escala para entradas analógicas conectadas al potenciómetro del PICDEM.

Test Segundo (figura 118). Se conectan las dos primeras entradas a un nivel de tensión 1, las dos siguientes a un nivel de tensión 2 menor que el tensión 1, la quinta a un nivel de tensión 3 menor que tensión 2 y la sexta y última a masa. Con esta prueba se pretende verificar como varían las distintas entradas ante varios niveles de tensión distintos una vez se ha comprobado con el anterior test que el ADC llega al fondo de escala.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Para generar los distintos niveles de tensión se ha utilizado una fuente de tensión de continua a cuya salida se ha colocado un potenciómetro seguido de dos divisores de tensión consecutivos. Este circuito sólo se ha montado para realizar los test y no forma parte del diseño definitivo.

Como puede apreciarse en las imágenes anteriores, en los dos primeros test se ha comentado la parte del código que convierte el valor devuelto por el ADC en partes por millón (como se comenta en capítulos anteriores un resultado igual devuelto por el ADC no implica una misma concentración en distintos sensores). El motivo ha sido para comprobar que el ADC alcanza el fondo de escala para el que se ha diseñado el circuito.

Test Tercero. Se conecta cada entrada analógica con su salida correspondiente del circuito de cada sensor y se prueba la reacción de todo el conjunto a la exposición del humo del tabaco. Para ilustrar el resultado de esta prueba se adjunta con este documento un video.

En él se puede observar como cuando se expone la PCB al humo del tabaco las salidas de los sensores que son sensibles al mismo varían, marcando la concentración de gas nocivo a cada instante, alcanzado el fondo de escala en ppm y disminuyendo progresivamente según se va limpiando el ambiente de humo.

Respecto a este último test hay que realizar varias observaciones. En primer lugar remarcar cómo solo los sensores que tienen inferencia con los gases del humo del tabaco muestran variaciones. En este caso son tres: el TGS825 (sensor de H₂S), que ocupa los primeros cuatro dígitos de la salida en el hiperterminal; el TGS2620 (sensor de Etanol), que aparece al tener una traza de inferencia con el CO (ver en su datasheet) y que ocupa la posición del 9 al 12 en la salida del hiperterminal; y TGS5042 (sensor de CO), que ocupa los últimos cuatro dígitos en la comunicación. En segundo lugar hay que destacar que las pequeñas concentraciones que parecen marcar los sensores al comienzo de los videos se deben a que los test se

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

han realizado en un habitáculo no muy bien ventilado por lo que siempre quedan restos de gas de pruebas anteriores. Y por último señalar que aunque tanto el sensor de CO como el sensor de H₂S devuelvan el valor en partes por millón de la concentración máxima que pueden detectar, como es lógico, esta concentración nunca se alcanzó en el lugar de los test. La explicación es que para poder ilustrar de una forma más real el funcionamiento del dispositivo, sobre todo el descenso de concentración cuando se deja de exponer el conjunto al humo; se ha ampliado la ganancia a la salida de los sensores para realizar este último test. Esto se ha realizado variando el valor de los potenciómetros que se utilizan como resistencias en las etapas de amplificación posteriores a las salidas de los sensores. Una vez finalizado este test se ha devuelto a los potenciómetros a los valores en los que deben estar según los datasheet de los sensores (recordar también, como ya se ha descrito en capítulos anteriores, que cada sensor en particular tiene una resistencia interna distinta comprendida entre unos valores que facilita el fabricante por lo que hay calibrarla en un entorno adecuado y con las medidas de seguridad oportunas).

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

6. CONCLUSIÓN

6.1. Análisis

De todos los objetivos iniciales programados en el punto 1.3 del presente documento, se ha conseguido cumplir la gran mayoría de ellos.

- Se ha conseguido localizar y adquirir todos y cada uno de los sensores necesarios para el sensado de los gases que pueden aparecer en los trabajos de perforación bajo tierra.
- Se ha logrado diseñar el hardware necesario para la medición y el control de los gases nocivos de las excavaciones. Para realizar los test que verifiquen su correcto funcionamiento se ha construido una placa de puntos donde se ha soldado el diseño y una PCB desarrollada con el Layout de OrCAD.
- Se ha implementado un software para programar el PIC que controla todo el funcionamiento del dispositivo. Se ha conseguido que la PCB recoja los datos procedentes de los sensores y los trate de la forma adecuada para transmitirlos por vía USB en alta velocidad (full-speed).
- No se ha conseguido realizar la integración del módulo en el sistema global que contiene el guiado y control de la tuneladora debido a que en el momento de la finalización del proyecto todavía no se ha desarrollado el sistema maestro donde integrarlos.
- No se ha ejecutado la puesta en marcha del dispositivo en la tuneladora por el motivo explicado anteriormente.

6.2. Análisis Crítico.

El mayor problema encontrado durante la ejecución de este proyecto ha sido la localización y posterior adquisición de los sensores debido a que existe un reducidísimo número de ellos en el mercado. Al haber tan pocos

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

disponibles ha sido bastante complicado encontrar los que se adecuasen a las especificaciones exigidas y que además fuesen económicamente viables debido a su precio de adquisición (los portes en el caso de alguno excedía a su propio valor, ya que el fabricante se encuentra en otro continente y no tiene filial en Europa). Por todo ello conseguir este tipo de sensores para usuarios o empresas que no sean OEMs es bastante complicado.

Este proyecto fue elegido por su autor porque le resultó bastante atractivo ya que toca gran parte de las materias en las que se ha ido formando durante los distintos años de carrera (Instrumentación, Potencia, Electrónica Analógica, Programación, DEAO,...).

Por lo demás, ha sido un trabajo bastante arduo ya que a la labor de búsqueda e investigación para conseguir los sensores hay que añadirle que se ha tenido que recordar y mejorar el manejo que se tenía del OrCAD y aprender a manejar dos nuevos entornos de trabajo como han sido el MPLAB IDE y el MPLAB ICD2; a parte, de las horas de laboratorio que conlleva el desarrollo y la puesta en marcha de una PCB de este tipo.

Debido a todo lo anterior, el resultado ha sido muy gratificante ya que se ha podido corroborar que todo el conjunto funciona correctamente y que ha quedado preparado para una fácil integración tanto físicamente en el conjunto global que va integrado en el interior de la diana, como funcionalmente en el sistema maestro que controlará la totalidad de estos dispositivos.

6.3. Trabajos Futuros

Como trabajos futuros se recomienda realizar los siguientes:

- ❖ Inclusión de un sensor de temperatura y otro de humedad en la PCB para controlar estos parámetros que influyen directamente en el comportamiento de los sensores.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

- ❖ Calibración de las resistencias internas de los sensores exponiendo el dispositivo a concentraciones variables de los gases de forma controlada. De esta forma se podría llegar a sustituir los potenciómetros de los amplificadores operacionales por resistencias ya que la resistencia interna de cada sensor quedaría perfectamente definida.
- ❖ Puesta en marcha del conjunto en una tuneladora. Con ello se podría verificar que el dispositivo tiene la rigidez mecánica suficiente para soportar las vibraciones producidas en este tipo de trabajos.
- ❖ Como la vida útil de los sensores es de aproximadamente dos años, cuando haya transcurrido este tiempo habrá que repetir el estudio de tecnologías existentes para decidir si es más eficaz volver a montar este dispositivo o si ya ha emergido una nueva tecnología o solución más eficiente y merece la pena implementarla.
- ❖ Con el paso del tiempo los sensores pierden eficacia y sufren una desviación al recoger la concentración de gases del entorno. Debido a esto, sería interesante realizar un estudio para introducir factores de corrección en las medidas dependiendo del periodo de la vida útil donde se encuentre el sensor.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7. ANEXOS

7.1 Anexo I: Datasheet

7.1.1.-TGS 5042 FIGARO



TGS 5042 - for the detection of Carbon Monoxide

Features:

- * Battery operable
- * High repeatability/selectivity to carbon monoxide (CO)
- * Linear relationship between CO gas concentration and sensor output
- * Low sensitivity to ethanol
- * Reduced influence by various interference gases
- * Long life

Applications:

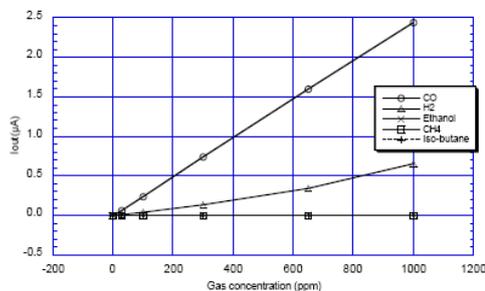
- * Residential and commercial CO detectors
- * CO monitors for industrial applications
- * Ventilation control for indoor parking garages

Figaro's **TGS5042** is a new electrochemical CO sensor possessing improved characteristics. By using very low concentration alkaline electrolyte, integration of an extremely small amount of noble metal catalyst into the catalyst layer, and application of a separator, TGS5042 has the advantage of being more environmentally friendly than traditional electrochemical sensors. Using a dry battery structure, TGS5042 poses no risk of electrolyte leakage and offers characteristics superior to those of traditional electrochemical CO sensors.



The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis shows the output current of the sensor ($I_{out}/\mu A$) in each gas. Output current is linear to CO concentration, with a deviation of less than $\pm 5\%$ in the range of 0~500ppm.

Sensitivity Characteristics:

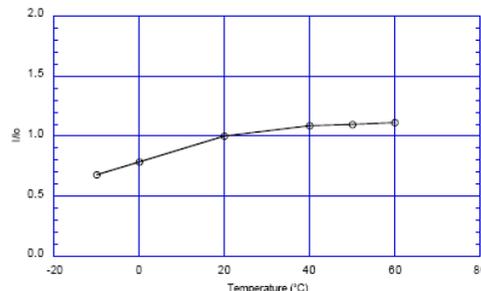


The figure below represents typical temperature dependency characteristics. The Y-axis shows the sensor output ratio (I/I_0) as defined below. The linear relationship between I/I_0 and CO concentration is constant regardless of the CO concentration range.

I = Sensor output current in 400ppm of CO at various temperatures

I_0 = Sensor output current in 400ppm at 20°C/50%RH

Temperature Dependency:



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



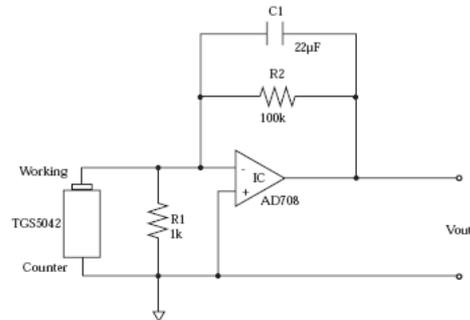
Basic Measuring Circuit:

The diagram at the right shows the basic measuring circuit of TGS5042. The sensor generates a minute electric current which is converted into sensor output voltage (Vout) by an op-amp/resistor (R2) combination. An additional resistor (R1) is required to prevent polarization of the sensor when circuit voltage is off.

Figaro recommends the following electrical parts:

- R1 : 1k Ω
- R2 : 100k Ω
- C1 : 22 μ F
- IC : AD708

NOTE: When voltage is applied to the sensor output terminal, the sensor may be damaged. Voltage applied to the sensor should be strictly limited to less than ± 10 mV.



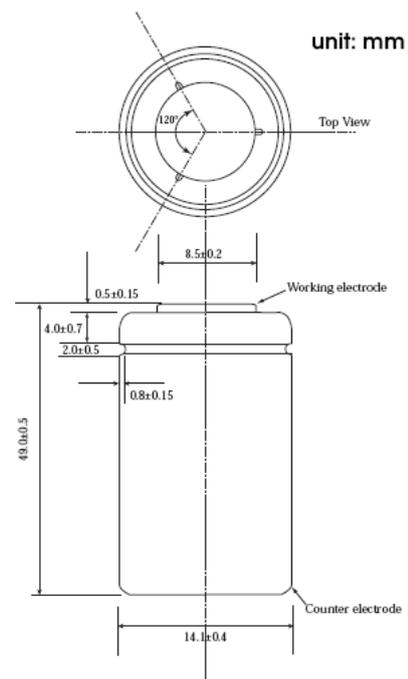
Basic measuring circuit of TGS5042

Specifications:

Item	Tentative Specification
Model number	TGS 5042
Target gases	Carbon monoxide
Typical detection range	0 ~ 1000 ppm
Output current in CO	1.00~3.75nA/ppm
Baseline offset	< ± 15 ppm equivalent
Operating temperature	-10 ~ +60°C
Operating humidity	5 ~ 99%RH (no condensation)
Response time (T90)	within 60 seconds
Expected accuracy (*)	$\pm 20\%$ at 0-100ppm of CO $\pm 15\%$ at 100-500ppm of CO (at 20 $\pm 5^\circ$ C/50 $\pm 20\%$ RH)
Storage conditions	-40 ~ +70°C
Weight	approx. 12g
Standard test conditions	20 $\pm 2^\circ$ C, 40 $\pm 10\%$ RH

(*) assumes calibration points of 0 and 500ppm of CO, exposure time of 4 minutes, one day of aging in detector.

Structure and Dimensions:



FIGARO ENGINEERING INC.
1-5-11 Senba-nishi
Mino, Osaka 562-8505 JAPAN
Phone: (81)-72-728-2561
Fax: (81)-72-728-0467
email: figaro@figaro.co.jp

REV: 04/05

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.2.- TGS 6810 FIGARO



TGS 6810 - for the detection of Methane and LP Gas

Features:

- * Linear output
- * Compact size
- * Small sensitivity to alcohol
- * Sensitive to both methane and LP gas
- * Meets RoHS requirements

Applications:

- * Residential LNG and LPG alarms
- * Detectors for LNG and LPG

The TGS6810 catalytic type gas sensor, which can detect both methane and LP gas, has been developed for residential gas detection. Combining Figaro's 35+ years of experience in catalyst materials technology with its advanced micro fabrication technology, Figaro can produce the most advanced compact catalytic sensors whose durability, stability, quick response, and linear output make them ideal for detecting many combustible gases.

As the sensor possesses an adsorbent inside its sensor cap, its cross sensitivity to alcohol is much smaller than traditional catalytic type sensors. In addition, TGS6810 is more durable against silicone compounds than traditional catalytic type sensors.



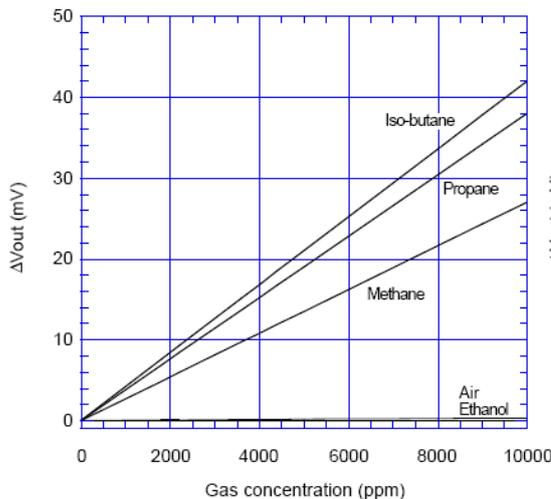
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor output sensitivity--ΔVout (mV)*:

$$\Delta V_{out} = V_{out \text{ in gas}} - V_{out \text{ in air}}$$

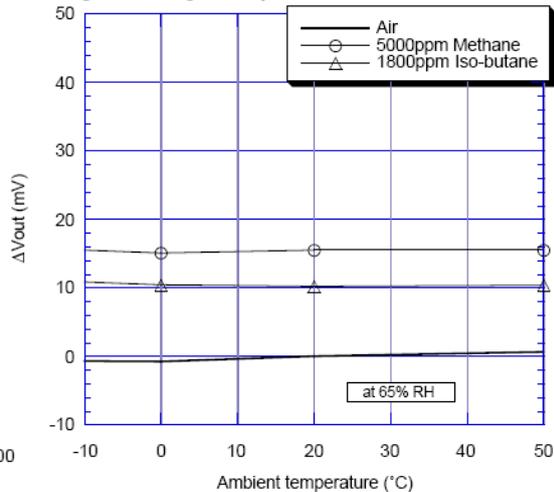
The figure below represents typical temperature dependency characteristics at 65%RH. Again, the Y-axis is indicated as *sensor output sensitivity-- Vout (mV)*:

$$\Delta V_{out} = V_{out \text{ in gas}} - V_{out \text{ in air}}$$

Sensitivity Characteristics:



Temperature Dependency:



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



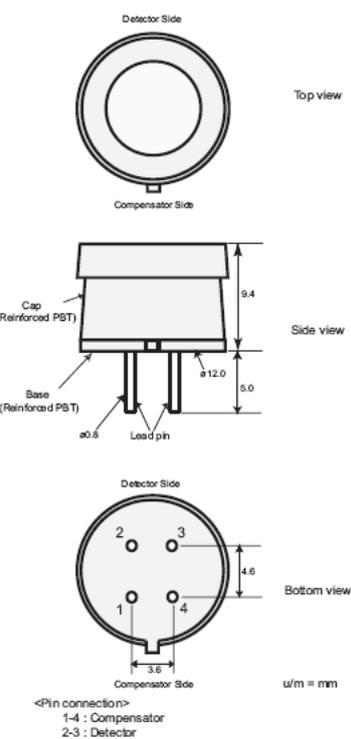
Basic Measuring Circuit:

The TGS6810 is comprised of two elements: 1) element (D) which is sensitive to combustible gases and 2) a reference element (C) which is not sensitive to combustible gases. These elements are installed into a "Wheatstone Bridge". A variable resistor should be adjusted so that the bridge will produce a stable baseline signal when in an environment free of combustible gases. When combustible gases are present, they will be combusted on the detecting element, causing its temperature to rise. Accordingly the resistance of this element will increase. This results in an "out-of-balance" signal across the bridge and a corresponding change in output voltage which can be measured.

Specifications

Model number		TGS 6810	
Sensing element type		Catalytic	
Target gases		Hydrogen, methane, iso-butane	
Typical detection range		0~100%LEL of each gas	
Standard circuit conditions	Operating Voltage	3.0±0.1V AC/DC	
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater current	175mA (typical)	
	Heater power consumption	525mW (typical)	
	Zero offset	±35mV	
	Output sensitivity (ΔVout)	methane	12~18mV in 5000ppm
	iso-butane	7~11mV in 1800ppm	
	Response time (90%)	≤15 sec.	
Standard test conditions	Test gas conditions	Hydrogen/methane/iso-butane in air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	3.0±0.05V AC/DC	
	Conditioning period before test	≤30 sec.	
Operating conditions		-10~+50°C, ≤99%RH (w/o dew condensation)	
Storage conditions		-10~+60°C, ≤99%RH (w/o dew condensation)	

Structure and Dimensions:



FIGARO ENGINEERING INC.
 1-5-11 Senba-nishi
 Mino, Osaka 562 JAPAN
 Phone: (81)-72-728-2561
 Fax: (81)-72-728-0467
 www.figaro.co.jp
 email: figaro@figaro.co.jp

REV: 09/06

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

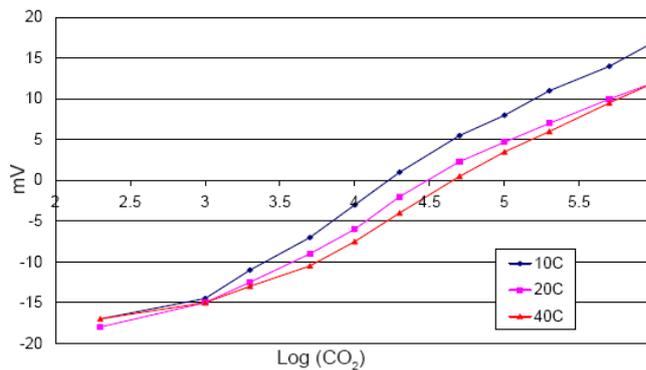
Julián García Pimentel

7.1.3.- CO2-D1-ALPHASENSE



CO2-D1 Performance Data

Figure 2 Mastercurve



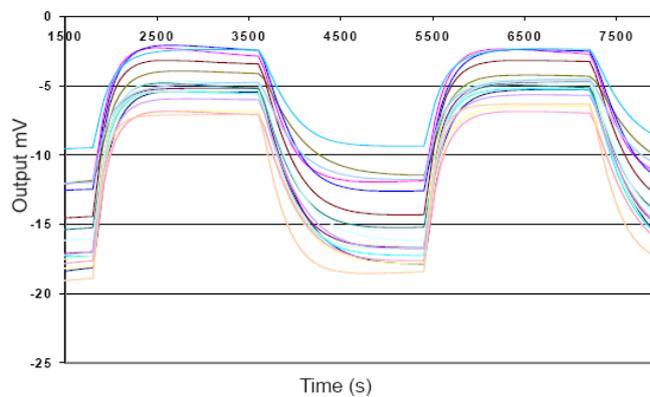
The CO2-D1 is a potentiometric sensor and responds over four decades of CO₂ concentration.

Sensitivity (mV/decade concentration) is not constant, it changes with concentration: sensitivity increases at higher concentrations.

Sensitivity remains stable with time, but the offset voltage (E_0) will shift, so regular zeroing is advised.

Temperature affects E_0 but not the sensitivity from 10° to 40°C.

Figure 3 Hysteresis



Sensors were exposed first to 5000 ppm CO₂ then 5% CO₂ for 30 minutes.

Sensors return to the initial voltage with a fast initial response, followed by a slower stabilisation to the final voltage.

CO2-D1 Sensor Conditioning PCB

The CO2-D1 is a potentiometric electrochemical gas sensor which responds to carbon dioxide as a gas ion selective electrode. The potential that is generated must not be measured using low impedance circuitry. Alphasense has developed a simple buffering circuit that conditions the potential to protect the CO2-D1 from damage.

This conditioning board allows customers during validation and single users (research groups) to use a simple datalogger or DVM to monitor the sensor without causing damage to the sensor.



Power: CR2032 Li coin cell (3V) (20mm dia, 3.2mm ht. 165mA) located under the board

Power consumption: Approx. 30uA giving between 6 and 12 months continuous use

Output socket: 2-way screw terminal
Marked + and -. Suitable for feeding directly into a datalogger or DVM

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (©ALPHASENSE LTD) Doc. Ref. CO2D1/FEB09

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.4.-GUARDIAN SP-EDINBURGH

Infrared Gas Monitors
Guardian Range

GUARDIAN SP

FOR CO₂, CO OR N₂O



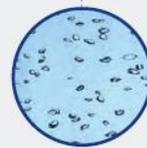
The Guardian range of infrared gas monitors offers near-analyser quality continuous sampling, measurement and display of target gas concentrations at an attractive price.

The 'Guardian SP' range of instruments provides high accuracy detection and measurement of CO₂, where detection levels between 0-1000ppm and 0-5000ppm by volume are required, measurement of CO, where detection levels of between 0-1% and 0-100%** are required and measurement of N₂O, in the range 0-1000ppm.

Suitable for a wide variety of applications these wall-mounted monitors can detect gases from sampling points up to 30 metres away, using the integral sampling system.

The proven reputation of these instruments for reliability, accuracy and long-term stability with low maintenance requirements can be attributed to our proprietary dual-wavelength infrared sensor technology and over thirty years of sensor design and manufacturing experience.

Our Guardian instruments feature both a four-digit LCD and alarm set-point controls and are housed in a tough plastic enclosure that has an IP54 rating against the ingress of particulates and water.



GAS SENSORS



ANALYTICAL INSTRUMENTS



LASERS AND ELECTRO-OPTICS



QUANTUM DIVISION



EDINBURGH INSTRUMENTS

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

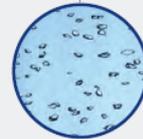
Julián García Pimentel

TECHNICAL SPECIFICATIONS

GUARDIAN SP



MODEL	Gas	Accuracy*	Stability	Repeatability @ zero	Repeatability @ span
Guardian SP (0-1000ppm)	CO ₂	+/- 5.5% of range	+/- 180ppm over twelve months	+/- 0.9%	+/- 4.5%
Guardian SP (0-5000ppm)	CO ₂	+/- 2.5% of range	+/- 2% of range	+/- 0.3%	+/- 1.5%
Guardian SP (0-3%)***	CO	+/- 2.5% of range	+/- 2% of range	+/- 0.3%	+/- 1.5%
Guardian SP (0-5%)***	CO	+/- 2.5% of range	+/- 2% of range	+/- 0.3%	+/- 1.5%
Guardian SP (0-10%)***	CO	+/- 2.5% of range	+/- 2% of range	+/- 0.3%	+/- 1.5%
Guardian SP (0-30%)***	CO	+/- 2.5% of range	+/- 2% of range	+/- 0.3%	+/- 1.5%
Guardian SP (0-100%)***	CO	+/- 2.5% of range	+/- 2% of range	+/- 0.3%	+/- 1.5%
Guardian SP (0-1000ppm)	N ₂ O	+/- 2% of range	+/- 360ppm	+/- 20ppm	+/- 90ppm
Response Time:	T ₉₀ = 30 seconds				
Operating Temperature:	0-40°C				
Warm-up Time:	3 minutes (initial), 40 minutes (full specification)				
Humidity:	Measurements are unaffected by 0-99% relative humidity, non-condensing				
Controls Fitted:	Zero and span adjustment potentiometers Setpoint 1 and setpoint 2 adjustment View setpoint 1 button, view setpoint 2 button Indicator LED and display test button				
Bitswitch Parameters:	Analogue (current) output: 0 - 20mA or 4 - 20mA Linear or non-linear output Alarm settings: alarm 1 high/low, alarm 2 high/low, alarm 1 normal/latch, alarm 2 normal/latch buzzer sounds on both alarms or only on alarm 2 Low flow warning (flashing lamp) or low flow alarm (audible alarm, LCD displays 'ERR', flashing lamp, etc)				
Visual Display:	Four-digit LCD Alarm 1 LED, alarm 2 LED Fault LED Low flow/flow fail LED				
Relay Contacts:	Volt-free changeover contacts Resistive load @ 24V DC = 8A Resistive load @ 250V AC = 8A				
Pump Characteristics:	Typical flow rate = 1 litre/minute Maximum sampling distance = 30 metres				
Power Requirements:	88V - 138V AC or 172V - 276V AC (switch selectable)				
Power Consumption:	13 W (typical)				
Weight:	2.5Kg				
Dimensions:	267 x 258 x 148mm				
Enclosure:	IP54 rated				
Electrical Conformity:	CE marked (*stated accuracy excludes calibration gas tolerance of +/- 1%)				



www.edinst.com
sales@edinst.com
Tel: 01506 425300

OTHER GUARDIAN MODELS AVAILABLE:	
Guardian Plus:	Measurement of CO ₂ , CH ₄ (ranges from 0-1% to 0-100% by volume)
Guardian FR:	Measurement of refrigerants (HCFC/HFC/Freons) at ppm level

**Guardian SP instruments are not certifiable for use where risk of fire or explosion exists. Guardian SP instruments are specified for use in air or air-like but non-explosive atmospheres.

***Carbon Monoxide has toxic effects, even at low concentrations. Additional precautions should be taken to avoid the toxic effects on this gas.

Edinburgh Instruments Ltd
2 Bain Square,
Kirkton Campus,
Livingston EH54 7DQ



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

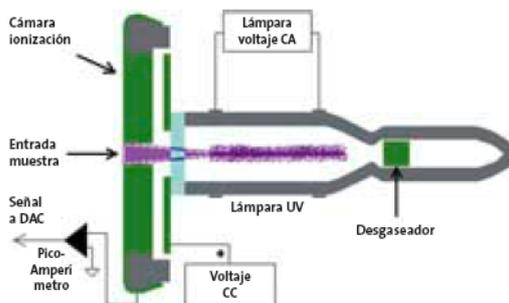
Julián García Pimentel

7.1.5.-SIRIUS-PID & 4-GASES

[Especificaciones]

Gas	Rango	Resolución	Alarma [Preajustada]
VOC	0–200 ppm	0.1 ppm	50 y 100 ppm
	200–2000 ppm	1 ppm	STEL 25; TWA 10 ppm
	0–9900 ppb [opcional]	100 ppb	
LEL [Combustible]	0–100% LEL	1% LEL o 0.05% CH ₄	10 y 20% LEL
Oxígeno	0–25% Vol	0.1% Vol	19.5 y 23.0% Vol
CO	0–500 ppm	1 ppm	35 y 100 ppm STEL 400; TWA 35 ppm
H ₂ S	0–200 ppm	1 ppm	10 y 15 ppm STEL 15; TWA 10 ppm
Peso	500 g [incluyendo bloque pilas alcalinas]		
Dimensiones	165 x 92 x 66 mm [L x H x A]		
Alarma	Acústica – min 90 dB a 30 cm Óptica – LEDs visibles en ángulo de 320°		
Pantalla	LCD retro iluminado con caracteres grandes de fácil lectura. Todos los gases se muestran simultáneamente		
Tipo Batería	Bloque baterías Ión Litio recargable o pilas alcalinas		
Duración	Ión-Li	>11 h [a 23 °C]	
Batería	Alcalina	> 6 h [a 23 °C]	
Carga	< 6 h con cargador rápido MSA [100–250 V ca]		
Campo operativo	0 a 40 °C [funcionamiento normal] –20 a 50 °C [extensión funcionamiento]		
Humedad	0–95% HR [no condensable] durante 8 horas		
Grado protección	IP 54 mínimo		
Garantía	2 años todos los componentes excepto sensor PID y cámara ión: 1 año [en condiciones normales uso]		
Certificación	EN 50014/EN 50018/EN 50019/EN 50020 Ⓜ II 2G EExib d IIC T3/T4 –20 °C a +50 °C Ión-Li T4 Alcalina Duracell T4 Alcalina Varta T3		

[Funcionamiento PID]



[Información pedidos]

10064026	SIRIUS, EX/OX, H ₂ S, PID, Ión-Li*
10064025	SIRIUS, EX/OX, CO, PID, Ión-Li*
10064024	SIRIUS, EX/OX, CO, H ₂ S, PID, Ión-Li*
10064033	SIRIUS, EX/OX, H ₂ S, PID, Ión-Li, con registro de datos*
10064032	SIRIUS, EX/OX, CO, PID, Ión-Li, con registro de datos*
10064031	SIRIUS, EX/OX, CO, H ₂ S, PID, Ión-Li, con registro de datos*

*Incluyendo funda goma, arnés de hombro y cargador

Accesorios

10049410	Cargador vehículo [12 Vcc]
10051980	Bloque pilas alcalinas
10052296	Bloque baterías Ión-Li
D6203723	Sonda muestreo, flexible 30 cm
10040665	Línea muestreo, 3 m
10040664	Línea muestreo, 7,5 m
10053022	Botella gas calibración 58 l [mezcla 4 gases]
D0715896	Botella gas calibración 34 l [isobutano]
D0715890	Reductor presión 0,5 l/min
10045650	Conector T para calibración



Su contacto directo

Formulario de contacto con campos para nombre, dirección, teléfono y correo electrónico.

MSA Española, S.A.U.
Narcís Monturiol, 7
Pol. Ind. del Sudoeste
E-08900 Sant-Just Desvern
[Barcelona]
Tel: +34 [93] 372 51 62
Fax: +34 [93] 372 66 57
E-mail: info@msa.es
Web: www.msa.es

Sujeto a cambio sin aviso previo
ID o8-t8o.2 ES/1/N/03.05/HH

Delegaciones
Centro: [91] 413 31 43/44
Norte: [94] 462 25 08
639 35 0333
Sur: [95] 412 65 84
639 35 0332
Levante: [96] 375 25 39
620 24 16 55



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.6.-TGS 3870 FIGARO

FIGARO

PRODUCT INFORMATION

TGS 3870 - for the detection of both Methane and Carbon Monoxide

Features:

- * Miniature size and low power consumption
- * High sensitivity and selectivity to both methane and carbon monoxide (CO)
- * Low sensitivity to alcohol vapor
- * Long life and low cost

Applications:

- * Combination methane and carbon monoxide detectors

TGS 3870 is Figaro's new metal oxide semiconductor gas sensor for the detection of both methane and carbon monoxide. Using a micro-bead gas sensing structure, both methane and carbon monoxide can be detected with a single sensor element by periodic application of two different heater voltages (high and low). Miniaturization of the gas sensing bead results in a heater power consumption of only 38mW (average).

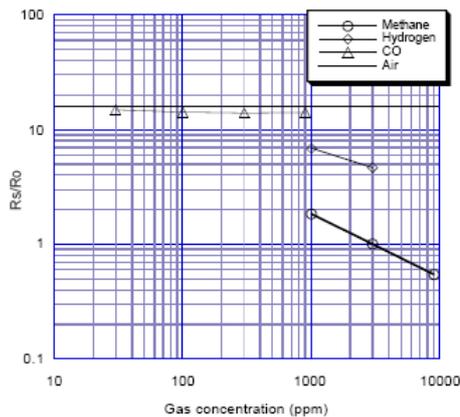
TGS 3870 has low sensitivity to alcohol vapors (a typical interference gas in the residential environment) and has high durability, making the sensor ideal for consumer market gas alarms.



The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* (Rs/Ro) which is defined as follows:

Rs = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
 Ro = Sensor resistance in 3000ppm of methane

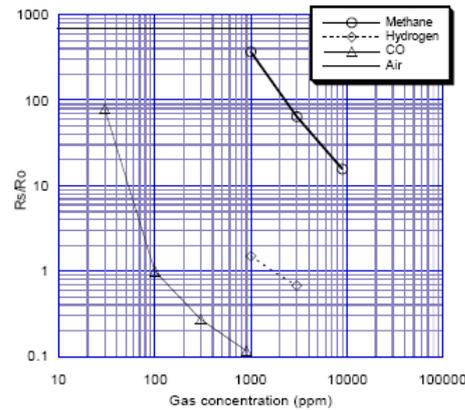
Sensitivity Characteristics (methane):



The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* (Rs/Ro) which is defined as follows:

Rs = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
 Ro = Sensor resistance in 100ppm of CO

Sensitivity Characteristics (CO):



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

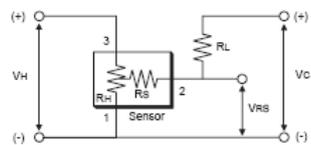
Julián García Pimentel

Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The sensor has three pins: Pin #3--heater (+), Pin #2--sensor electrode (+), and Pin #1--common (-). To maintain the sensing element at specific temperatures which are optimal for sensing two different gases, heater voltages of 0.9V and 0.2V are alternately applied between pins #1 and #3 during a 20 second heating cycle.

Circuit voltage (V_C) is applied between both ends of the sensor (R_S) and a load resistor (R_L), which are connected in series, to allow measurement of voltage (V_{RS}). Circuit voltage (V_C) should be applied only at the moment when the signal is taken from the sensor.

Please refer to the document "Technical Information for TGS3870" for details regarding the timing and application of V_C and V_H.



Basic measuring circuit

Caution: Do not apply a constant circuit voltage (5.0V) or the sensor would not exhibit its specified characteristics.

Specifications:

Model number		TGS 3870	
Sensing element type		Micro-bead	
Standard package		Plastic base and metal can	
Target gases		Methane and Carbon Monoxide	
Typical detection range		Methane - 500~12500 ppm Carbon monoxide - 50~1000ppm	
Standard circuit conditions	Heater Voltage	V _H	V _H H = 0.9V±3%, 5 sec. V _H L = 0.2V±3%, 15 sec.
	Circuit voltage	V _C	5.0±0.2V DC pulse (refer to Technical Information for TGS3870)
	Load resistance	R _L	Variable (>0.75kΩ)
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R _H	3±0.3Ω at room temp.
	Heater power consumption	P _H	120mW V _H H = 0.9V DC
			11mW V _H L = 0.2V DC
			38mW average
	Sensor resistance	R _S	0.35~3.5kΩ in 3000ppm methane 3~40kΩ in 100ppm CO
Sensitivity (Change ratio of R _S)	β	0.50~0.65	$\frac{R_S CH_4 3000ppm}{R_S CH_4 1000ppm}$
		0.06~0.36	$\frac{R_S CO 300ppm}{R_S CO 100ppm}$
Standard test conditions	Test gas conditions	Target gas in air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	V _H H = 0.9V±2%, 5 sec. V _H L = 0.2V±2%, 15 sec. V _C = 5.0±0.2V DC pulse (refer to Technical Information for TGS3870)	
	Conditioning period before test	≈5 days	

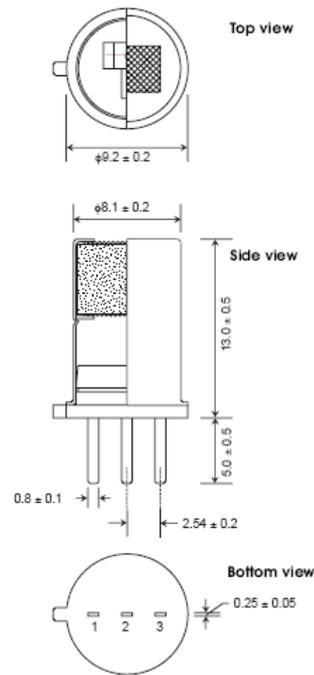
The value of power dissipation (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_{RS})^2}{R_S}$$

Sensor resistance (R_S) is calculated with a measured value of V_{RS} by using the following formula:

$$R_S = \frac{(V_{RS} - 0.5V_H)}{(V_C - V_{RS})} \times R_L$$

Structure and Dimensions:



Pin connection:
1: Common(-)
2: Sensor electrode(+)
3: Heater(+)

FIGARO ENGINEERING INC.
1-5-11 Senba-nishi
Mino, Osaka 562-8505 JAPAN
Phone: (81)-72-728-2561
Fax: (81)-72-728-0467
email: figaro@figaro.co.jp

REV: 02/04

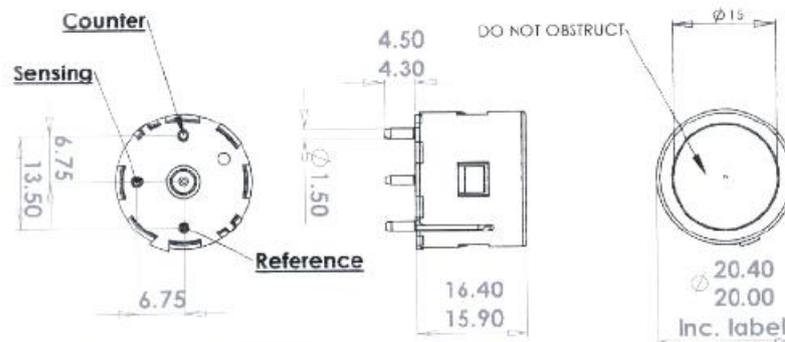
DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.7.-S+4CO SENSORS DIRECT



OUTLINE DIMENSIONS

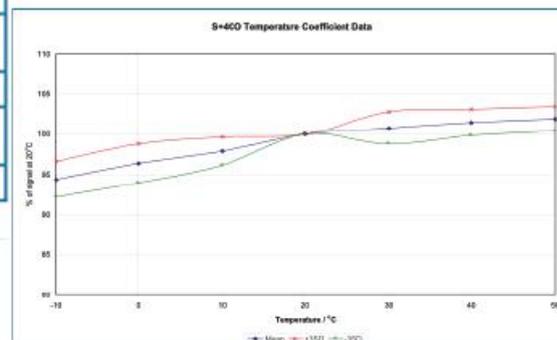


All dimensions in mm

Tol +/- .15mm unless otherwise stated

PERFORMANCE CHARACTERISTICS	
OUTPUT SIGNAL	70 ± 15 nA/ppm
TYPICAL BASELINE RANGE (pure air)	-2 to +3.5 ppm equivalent
T90 RESPONSE TIME	<30 seconds
NOMINAL RANGE	0-500 ppm
MAXIMUM OVERLOAD	1500 ppm
EXPECTED OPERATING LIFE	24 months in air
RESOLUTION	1 ppm
TEMPERATURE RANGE	-20°C to + 50°C
PRESSURE RANGE	Atmospheric ± 10%
LONG TERM OUTPUT DRIFT	<5% signal loss/year
REPEATABILITY	<3% of signal
RECOMMENDED LOAD RESISTOR	10Ω
OUTPUT LINEARITY	Linear

CROSS-SENSITIVITY DATA		
GAS	CONC.	S+4CO
Hydrogen sulphide	15ppm	<0.5ppm
Sulphur dioxide	5ppm	0ppm
Hydrogen	100ppm	<40ppm
Nitric oxide	35ppm	<3ppm
Ethanol	200ppm	0ppm



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.9.-CO-AE ALPHASENSE



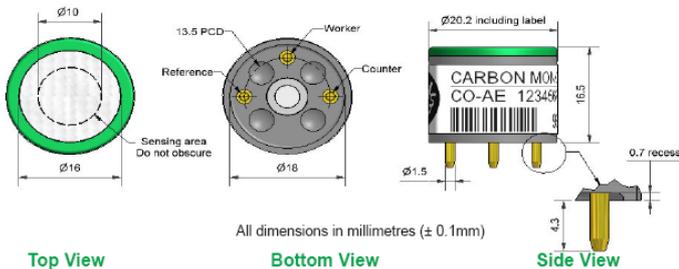
CO-AE Carbon Monoxide Sensor High Concentration



PATENTED

Technical Specification

Figure 1 CO-AE Schematic Diagram



All dimensions in millimetres (± 0.1mm)

PERFORMANCE	Sensitivity	nA/ppm in 2,000ppm CO	12 to 20	
	Response time	t ₉₀ (s) from zero to 2,000ppm CO	< 75	
	Zero current	ppm equivalent in zero air	< ± 20	
	Resolution	RMS noise (ppm equivalent)	< 5	
	Range	ppm CO limit of performance warranty	10,000	
	Linearity	ppm error at full scale, linear at zero and 2000ppm CO	<0 to 500	
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	100,000	
	LIFETIME	Zero drift	ppm equivalent change/year in lab air	<2
		Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	<1
		Operating life	months until 80% original signal (24 month warranted)	> 24
ENVIRONMENTAL	Sensitivity @ -20°C	% (output @ -20°C/output @ 20°C) @ 400ppm CO	77 to 93	
	Sensitivity @ 50°C	% (output @ 50°C/output @ 20°C) @ 400ppm CO	97 to 110	
	Zero @ -20°C	ppm equivalent change from 20°C	±2	
	Zero @ 50°C	ppm equivalent change from 20°C	-2 to +5	
CROSS SENSITIVITY	Filter capacity	ppm-hours	H ₂ S 3,000,000	
	Filter capacity	ppm-hours	NO ₂ 8,000,000	
	Filter capacity	ppm-hours	NO 200,000	
	Filter capacity	ppm-hours	SO ₂ 4,000,000	
	H ₂ S sensitivity	% measured gas @ 20ppm	H ₂ S <0.1	
	NO ₂ sensitivity	% measured gas @ 10ppm	NO ₂ <0.1	
	Cl ₂ sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl ₂ <0.2	
	NO sensitivity	% measured gas @ 50ppm	NO <0.1	
	SO ₂ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	SO ₂ <0.1	
	H ₂ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	H ₂ at 20°C < 75	
	C ₂ H ₄ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	C ₂ H ₄ < 60	
	NH ₃ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NH ₃ <0.1	
KEY SPECIFICATIONS	Temperature range	°C	-30 to 50	
	Pressure range	kPa	80 to 120	
	Humidity range	% rh continuous	15 to 90	
	Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6	
	Load resistor	Ω (recommended)	10 to 47	
	Weight	g	< 6	
	 <p>At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.</p>			
<p><small>NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 10 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.</small></p>				
<p><small>Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com</small></p>				

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



CO-AE Performance Data

Technical Specification

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

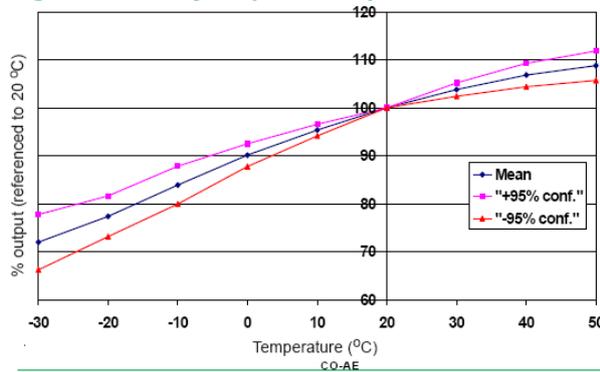
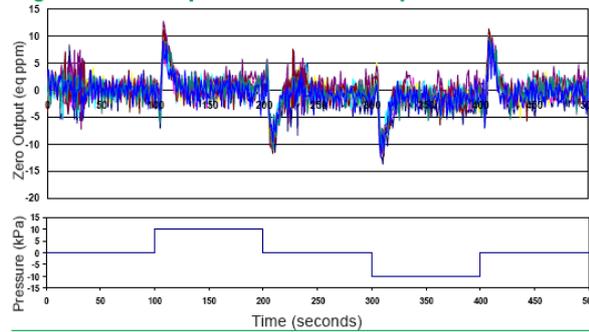


Figure 2 shows the variation in sensitivity caused by changes in temperature.

This data is taken from a typical batch of sensors. The mean and $\pm 95\%$ confidence intervals are shown.

Figure 3 Zero Response to Pressure Steps



From ambient pressure, sensors were subjected to both positive and negative 10kPa pressure steps. The small transient rapidly decays as the sensor returns to its zero baseline.

Figure 4 Linear Response to Exposure to 1% Volume CO

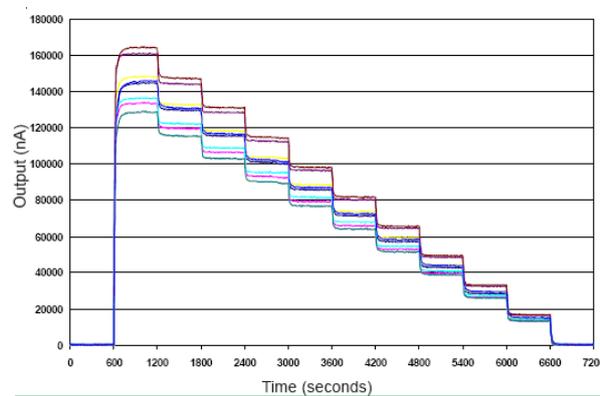


Figure 4 shows the response to step changes in CO concentrations from 1% CO to 0% CO in ten steps.

This data is taken from a typical batch of sensors.

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (©ALPHASENSE LTD.) Doc. Ref. COAEFEB03

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

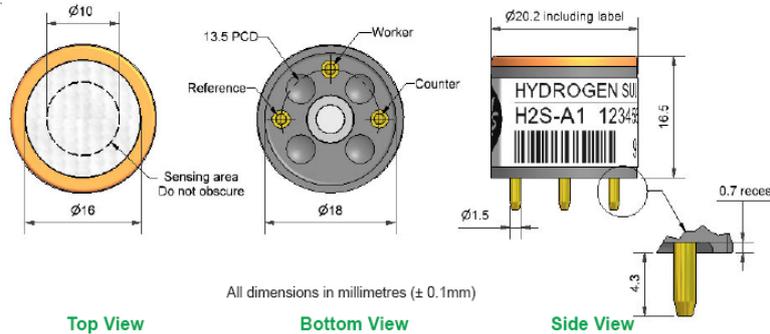
7.1.10.-H₂S-A1 ALPHASENSE



H₂S-A1 Hydrogen Sulfide Sensor



Figure 1 H₂S-A1 Schematic Diagram



Technical Specification

PERFORMANCE	Sensitivity	nA/ppm in 20ppm H ₂ S	550 to 875
	Response time	t ₉₀ (s) from zero to 20ppm H ₂ S	<25
	Zero current	ppm equivalent in zero air	< ± 0.3
	Resolution	RMS noise (ppm equivalent)	<0.05
	Range	ppm H ₂ S limit of performance warranty	100
	Linearity	ppm error at full scale, linear at zero and 20ppm H ₂ S	0 to -4
	Overgas limit	maximum ppm for stable response to gas pulse	500
LIFETIME	Zero drift	ppm equivalent change/year in lab air	<0.1
	Sensitivity drift	% change/year in lab air, monthly test	<3
	Operating life	months until 80% original signal (24 month warranted)	>24
ENVIRONMENTAL	Sensitivity @ -20°C	% (output @ -20°C/output @ 20°C) @ 20ppm	78 to 93
	Sensitivity @ 50°C	% (output @ 50°C/output @ 20°C) @ 20ppm	100 to 110
	Zero @ -20°C	ppm equivalent change from 20°C	< ± 0.2
	Zero @ 50°C	ppm equivalent change from 20°C	< ± 0.2
CROSS SENSITIVITY	NO ₂ sensitivity	% measured gas @ 10ppm	NO ₂ <-20
	Cl ₂ sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl ₂ <-25
	NO sensitivity	% measured gas @ 50ppm	NO <4
	SO ₂ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	SO ₂ <10
	CO sensitivity	% measured gas @ 400ppm	CO <1.5
	H ₂ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	H ₂ <0.2
	C ₂ H ₄ sensitivity	% measured gas @ 400ppm	C ₂ H ₄ <0.5
NH ₃ sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NH ₃ <0.1	
KEY SPECIFICATIONS	Temperature range	°C	-30 to 50
	Pressure range	kPa	80 to 120
	Humidity range	% rh continuous	15 to 90
	Storage period	months @ 3 to 20°C (stored in sealed pot)	6
	Load resistor	Ω (recommended)	10 to 47
	Weight	g	<6



At the end of the product's life, do not dispose of any electronic sensor, component or instrument in the domestic waste, but contact the instrument manufacturer, Alphasense or its distributor for disposal instructions.

NOTE: all sensors are tested at ambient environmental conditions, with 10 ohm load resistor, unless otherwise stated. As applications of use are outside our control, the information provided is given without legal responsibility. Customers should test under their own conditions, to ensure that the sensors are suitable for their own requirements.

Alphasense Ltd, Sensor Technology House, 300 Avenue West, Skyline 120, Great Notley, CM77 7AA, UK
 Telephone: +44 (0) 1376 556 700 Fax: +44 (0) 1376 335 899 E-mail: sensors@alphasense.com Website: www.alphasense.com

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



H2S-A1 Performance Data

Technical Specification

Figure 2 Sensitivity Temperature Dependence

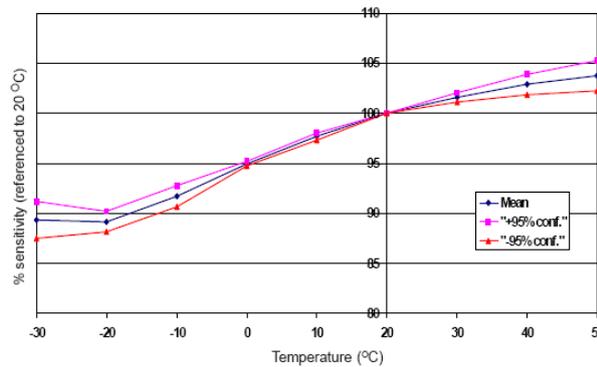


Figure 2 shows the variation in sensitivity caused by changes in temperature.

This data is taken from a typical batch of sensors. The mean and $\pm 95\%$ confidence intervals are shown.

Figure 3 Zero Temperature Dependence

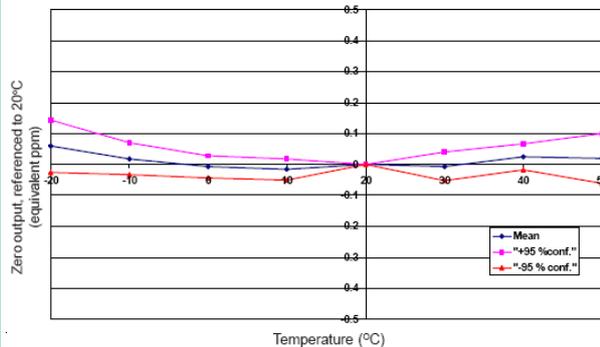


Figure 3 shows the variation in zero output caused by changes in temperature, expressed as ppm gas equivalent.

This data is taken from a typical batch of sensors. The mean and $\pm 95\%$ confidence intervals are shown.

Figure 4 Sensitivity Long Term Stability

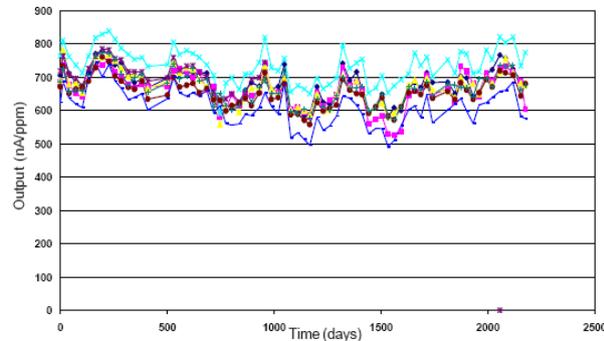


Figure 4 shows the excellent long term stability of the H2S-A1, which results from the combination of a patented design, superior electrochemistry and good process control.

For further information on the performance of this sensor, on other sensors in the range or any other subject, please contact Alphasense Ltd. For Application Notes visit "www.alphasense.com".

In the interest of continued product improvement, we reserve the right to change design features and specifications without prior notification. The data contained in this document is for guidance only. Alphasense Ltd accepts no liability for any consequential losses, injury or damage resulting from the use of this document or the information contained within. (©ALPHASENSE LTD.) Doc. Ref. H2SA1/FEB09

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.11.-H₂S-P/N714 SYNKERA



Hydrogen Sulfide (H₂S) Data Sheet
(P/N 714)

Synkera Technologies, Inc.
2021 Miller Dr., Suite B
Longmont, CO 80501

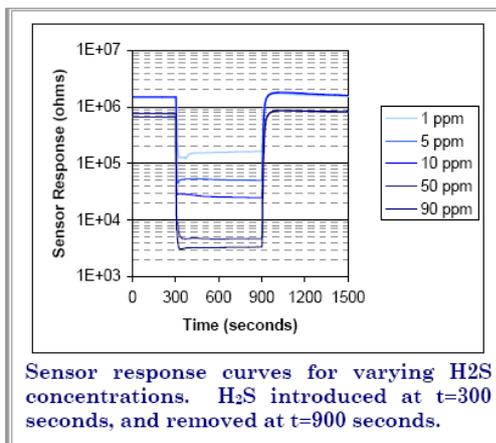
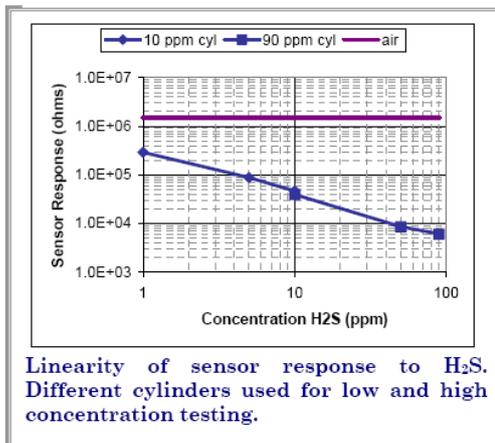
SENSOR FEATURES:

- Sensor designed to reliably detect H₂S at concentrations from 1-100 ppm.
- Rugged sensor undamaged by exposure to temperature and humidity extremes.
- Fast response and complete recovery after H₂S exposure.
- Large, stable, easy to measure resistance change on exposure to H₂S.
- Preliminary studies indicate sensor response is stable (does not go to sleep).



Sensor Response Characteristics

The figures below show typical response data for sensors operated in clean, dry gas.



Electrical Characteristics

The electrical properties below are typical for the H₂S Sensors. If the actual values differ, the customer will be notified with the shipment. Circuits are available that will be preset to the correct values.

Property	Symbol	Value	Remarks
Heater Power Consumption	P _{HL}	~ 900 mW	At V _H = 7.0
Heater Voltage	V _{HL}	7.0 VDC	T _{sensor} ~350°C
Heater Resistance	R _H	32Ω ± 2 Ω	At room temperature
Sensing Voltage	V _C	5.0 VDC	Recommended

720-494-8401

e-mail: info@synkera.com

www.synkera.com

720-494-8402 (fax)

- For information on warranty, please refer to Synkera Technologies, Inc. Standard Terms and Conditions.
- Information on this data sheet represents typical values from a number of Synkera sensors. Actual values from sensor to sensor can vary slightly.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Operation of Synkera MOS Sensors

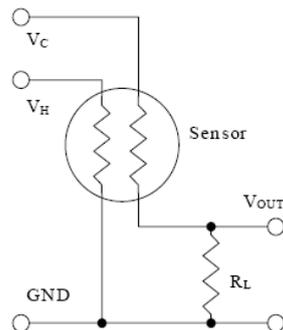
Synkera Technologies, Inc.
2021 Miller Dr., Suite B
Longmont, CO 80501

Circuitry

A transducer is available from Synkera to operate the sensor. This circuit, packaged on a 2" x 1.5" printed circuit board, is powered with 9 – 24 VDC. The transducer provides a 0 – 5 VDC output which can be adjusted for sensor offset and gain. The heater voltage is also adjustable. The circuit is set to the recommended values at the factory.

Basic Measuring Circuit

The sensor can be operated using a simple voltage divider. This requires two voltage supplies: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). V_H is applied to the heater in order to maintain a constant, elevated temperature, for optimum sensing. V_C is applied to allow a measurement of the output voltage (V_{out}) across a load resistor (R_L).

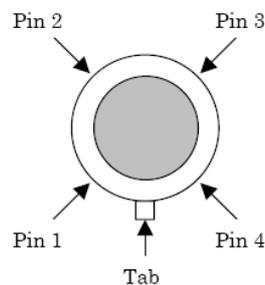


Pins 1 and 3 on the TO-39 header are attached to the heater. Apply V_H across these pins.

Pins 2 and 4 on the TO-39 header are attached to the resistive sensor element. Connect these pins in the measuring circuit.

Sensor Pin Out

Top view of sensor



Synkera Technologies strives to be customer oriented. If you have a special application you would like to discuss, or questions you would like answered please contact us at sensors@synkera.com.

Sensor Resistance Calculation

Sensor Resistance (R_s) is calculated using the following formula:

$$R_s = \frac{V_C - V_{out}}{V_{out}} * R_L$$

720-494-8401

e-mail: info@synkera.com

www.synkera.com

720-494-8402 (fax)

- For information on warranty, please refer to Synkera Technologies, Inc. Standard Terms and Conditions.
- Information on this data sheet represents typical values from a number of Synkera sensors. Actual values from sensor to sensor can vary slightly.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.12.-H₂S T50 Y T90 SYNKERA

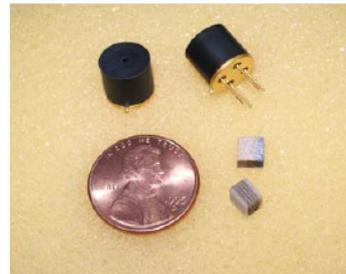


Amperometric Hydrogen Sulfide (H₂S) Sensor

Data Sheet

Sensor Features

- High Performance electrochemical (fuel cell) technology
- Polymer based solid electrolyte
- Room temperature operation for low power consumption
- Tolerates a wide range of temperature, pressure and humidity level
- No liquids, therefore no chance for electrolyte leakage
- Small, lightweight package
- Unique microelectrode design
- Low cost



Performance Characteristics

Nominal Range	0-50 ppm
Maximum Overload	TBD
Expected Operating Life	TBD, >2 years in air expected
Output Signal	0.04µA/ppm
Resolution	0.1 ppm
Temperature Range	TBD, -10°C to +50°C minimum
Pressure Range	TBD, large range expected due to solid electrolyte
Pressure Coefficient	TBD
T50 Response Time	< 10 seconds
T90 Response Time	TBD, depends on packaging
Relative Humidity Range	TBD, 0 to 95% non-condensing expected
Typical Baseline Range (pure air)	-0.5 to +0.5 ppm equivalent
Maximum Zero shift (+20°C to +40°C)	TBD; < 10 ppm expected
Long Term Output Drift	< 5% signal loss/ 5 months (testing in progress)
Recommended Load Resistor	TBD
Bias Voltage	0 mV
Repeatability	TBD
Output Linearity	Linear

All performance data is based on conditions at approximately 22°C, 0% RH and 0.83atm, unless otherwise noted.

SYNKERA TECHNOLOGIES, INC.

2021 Miller Dr., Ste B, Longmont, CO 80501 www.synkera.com info@synkera.com tel 720-494-8401 fax 720-494-8402

March 2005

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Amperometric Hydrogen Sulfide (H₂S) Sensor

Data Sheet

Physical Characteristics

Weight	0.8 g (unpackaged)
Packaging	TO-39 standard; Other packaging available
Position Sensitivity	None
Storage Life	TBD, > 6 months expected
Recommended Storage Temperature	0-20°C
Warranty Period	TBD

Cross-Sensitivity Data

Synkera's Amperometric Hydrogen Sulfide sensors have been tested for their response to a number of commonly interfering gases and the results are presented in the table below.

Gas	Concentration	Synkera Amperometric H ₂ S
Carbon Monoxide	35 ppm	0
Ethanol	400 ppm	0
Hydrogen	10,000 ppm	Approx. - 0.3
Nitrogen Dioxide	5 ppm	Approx. - 0.7
Nitric Oxide	35 ppm	Approx. - 4.2
Sulfur Dioxide	35 ppm	Approx. - 0.5
Toluene	100 ppm	0

This is a preliminary data sheet. The characteristics reported are based upon limited testing of prototype sensors.

SYNKERA TECHNOLOGIES, INC.

2021 Miller Dr., Ste B, Longmont, CO 80501 www.synkera.com info@synkera.com tel 720-494-8401 fax 720-494-8402

March 2005

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7. 1.13.-SCM 130 A

Detector de alcohol - Etanol

SCM130A



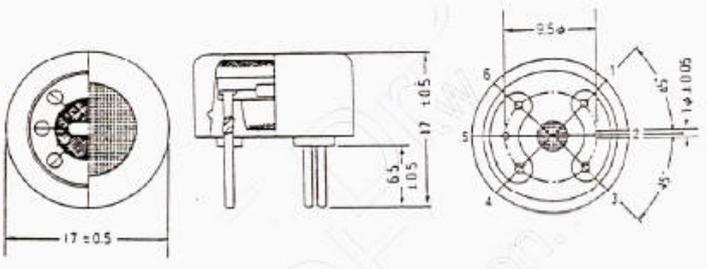
Características

- Respuesta rápida
- Alta sensibilidad
- Vida de uso prolongada
- Circuitos de control de bajo costo

Aplicaciones

En equipo de detección de fugas

Dimensiones



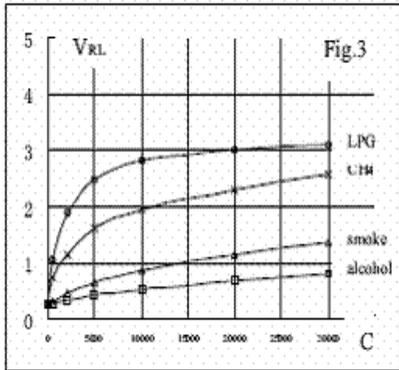


Figura 3.- Curva de V_{RL} Vs. la concentración de gas, a Temperatura de 20 °C, humedad relativa de 56%, concentración de O_2 de 21% y resistencia de carga de 5K?

Condiciones de operación.

Símbolo	Descripción	Condición técnica	Comentario
V_C	Voltaje de alimentación	5 V	Indistintamente corriente alterna o directa.
V	Voltaje de calefacción	5 V	Indistintamente corriente alterna o directa.
R_L	Resistencia de carga	100 K Ω Ajustable	
R_H	Resistencia del calefactor	33 Ω \pm 5%	A temperatura ambiente
P_H	Consumo de potencia	Menos que 800 Mw.	

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Condiciones de ambientales de operación

Símbolo	Descripción	Condición técnica	Comentario
T_{ao}	Temperatura de operación	De -20 °C a +50 °C	Rangos de uso recomendados
T_{as}	Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a +70 °C	
R_H	Humedad Relativa	Menor a 95% Rh	
O_2	Concentración de Oxígeno	21% (a condiciones estándar) La concentración de oxígeno puede afectar la sensibilidad	El valor mínimo esta por arriba del 2%

Características de sensibilidad.

Símbolo	Descripción	Parámetro	Comentario	Comentario
R_s	Resistencia del sensor	100 K Ω - 500 K Ω (1000 ppm Alcohol)		Rangos de detección:
Condiciones estándar de detección	Temp. 20 °C \pm 2 °C, Vc. 5V \pm 0.1 Humedad 65% \pm 5% Vh. 5V \pm 0.1			50 – 1000 ppm
Tiempo de precalentamiento	Mayor a 24 Horas			

$$R_s / R_L = (R_s - V_{RL}) / (V_{RL})$$

Curvas características para el sensor SCM130.

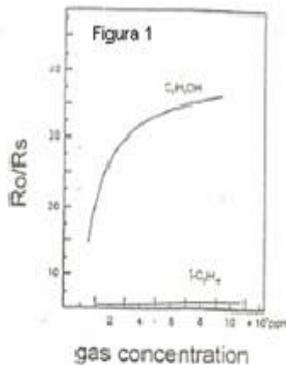


Figura 1: Gráfica de la relación de R_0/R_s con respecto de la concentración.

Las condiciones de la prueba fueron:

20 °C de temperatura, 65% de Humedad Relativa, 21% de concentración de O_2 , $R_L = 100 K\Omega$, R_0 es la resistencia medida con aire limpio

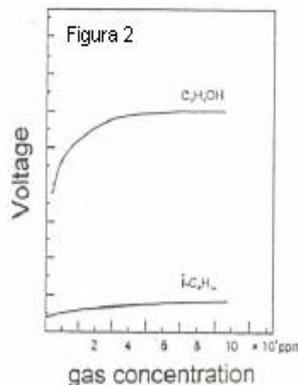


Figura 2: Gráfica de la relación entre el voltaje y la concentración.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

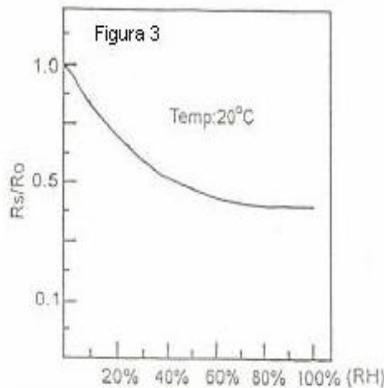


Figura 3: Gráfica de la Resistencia superficial vs. La humedad ambiental. Comentario: R_s es la resistencia a 20 °C y 0% de Humedad Relativa.

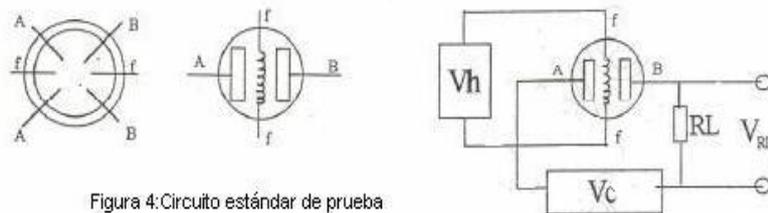


Figura 4: Circuito estándar de prueba del SCM130. En preciso hacer notar que la temperatura y la humedad en el ambiente afectarán al sensor, por lo que se deben tomar en cuenta estos factores cuando se hagan mediciones con el.

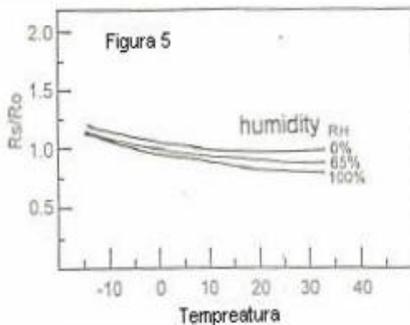


Figura 5: Gráfica de R_s/R_o vs. Temperatura a diferentes valores de Humead Relativa.

Ajuste de la sensibilidad.

Sugerimos que se use alcohol en concentraciones de 100 a 300 ppm.

Pasos para el ajuste:

1. Haga circular el gas por el medidor
2. Si el sensor ha estado almacenado por un periodo largo, precaliente el sensor por lo menos 24 horas, esto con el fin de garantizar que el sensor este completamente estabilizado.
3. Al estar detectando la concentración del gas de prueba, ajuste la resistencia hasta obtener una salida apropiada.

Código: SCM130A

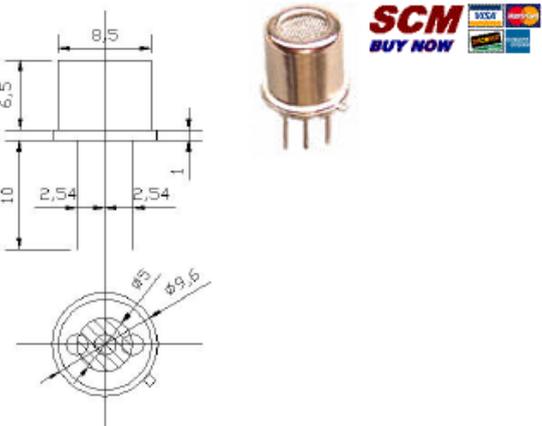
DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.14.-SCM 130 MD55

SCM130MD55 - Detector de alcohol - Etanol

SCM130MD55

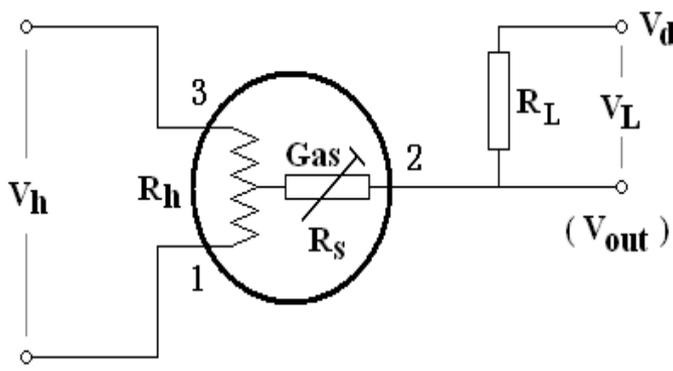


SCM130MD is a tin dioxide semiconductor gas sensor which is designed for breath alcohol detection. It gives high sensitivity to alcohol vapors with quickly response rate at high relative humidity. SCM130MD is more suitable for breath detection and automobile ignition locking systems.

Structure
The sensitive material of SCM130MD is carried on Pt heater coil and an electrode was embedded in it. The sensor element is embedded in TO metal house with stainless steel mesh (100 mesh) window.

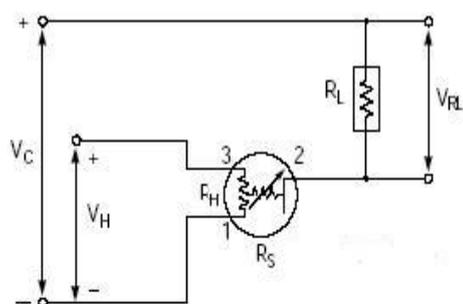
Operating Conditions

The following schematics are two typical driving circuit of SCM130MD. The change of the sensor resistance (R_S) is obtained as the change of the output voltage across the fixed or variable resistor (R_L). In order to obtain the best performance and specified characteristics, the values of the heater voltage (V_H) detect voltage (V_D) and load resistance (R_L) must be within the range of values given in the standard operating conditions shown in the table 1.



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



VC: Circuit voltage
 VH: Heater voltage
 RL: Load resistance
 RH: Heater resistance
 VRL: Voltage across load resistance
 RS: Sensor resistance
 1 polarity 2 signal, 3 polarity

Condiciones de operación.

Símbolo	Descripción	Condición técnica	Comentario
V_C	Voltaje de alimentación	$\approx 5\text{ V}$	Indistintamente corriente alterna o directa.
V_H	Voltaje del calefactor	$0.9\text{V} \pm 0.05\text{V}$	Indistintamente corriente alterna o directa.
R_L	Resistencia de carga	$\geq 200\Omega$ ajustable	
R_H	Resistencia del calefactor	$2.7\Omega \pm 0.2\Omega$	A temperatura ambiente
I_H	Corriente del calefactor	145mA	$I_H = V_H / R_H$
P_H	Consumo del calefactor	130 mW.	$P_H = V_H^2 / R_H$ (valor típico)
P_S	Potencia de disipación del sensor	$\approx 10\text{ mW}$	$P_S = (V_C - V_{RL})^2 / R_S$

Condiciones de ambientales de operación

Símbolo	Descripción	Condición técnica	Comentario
T_{ao}	Temperatura de operación	De $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $+50\text{ }^\circ\text{C}$	Rangos de uso recomendados
T_{as}	Temperatura de almacenamiento	De $-20\text{ }^\circ\text{C}$ a $+70\text{ }^\circ\text{C}$	
R_H	Humedad Relativa	Menor a 95% Rh	
O_2	Concentración de Oxígeno	$21\% \pm 1\%$ (a condiciones estándar) La concentración de oxígeno puede afectar la sensibilidad	

Características de sensibilidad.

Símbolo	Descripción	Valor	Condiciones
R_s	Resistencia del sensor	1K Ω a 11K Ω	a etanol 130ppm
β	Sensibilidad	0.50 ± 0.15	$R_S(\text{a etanol } 300\text{ppm}) / R_S(\text{a etanol } 50\text{ppm})$
Condiciones estándar de detección		Temp. $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ Humedad $65\% \pm 5\%$ 48hrs de precalentamiento	Vc: $5\text{V} \pm 1\%$ RL : $3.6\text{k}\Omega \pm 5\%$ VH: $0.9\text{V} \pm 1\%$ Aire limpio.

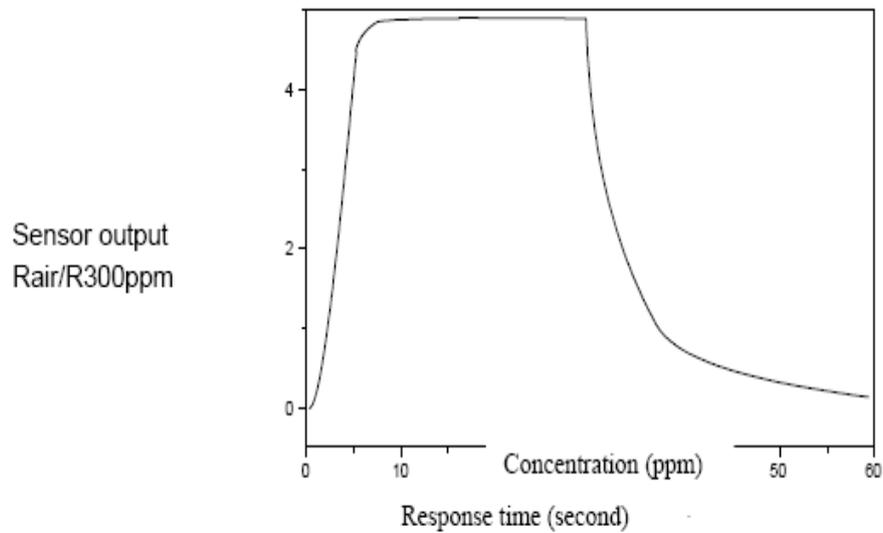
DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Características de mecánicas

Condición	Valores	Comentarios
Vibración	Frecuencia de 100 cpm de amplitud vertical: 4mm. Duración: 1 hora.	Deberá satisfacer las características dadas de sensibilidad
Choque	Aceleración máxima de 100 G. Numero de impactos: 3	

Curva de respuesta



Código: SCM130MD55



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

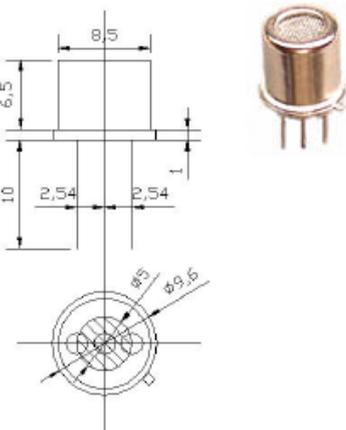
Julián García Pimentel

7.1.15.-SCM 130 MD65

SCM130MD65 - Detector de alcohol - Etanol

SCM130MD65

SCM
BUY NOW



The image shows a technical drawing of the SCM130MD65 gas sensor. The drawing includes a side view and a top view. The side view shows a cylindrical component with a diameter of 8.5 mm and a height of 6.5 mm. The top view shows a circular component with an outer diameter of 8.5 mm and an inner diameter of 6.5 mm. The sensor is shown with three pins. The physical appearance of the sensor is also shown, which is a small, cylindrical component with three pins.

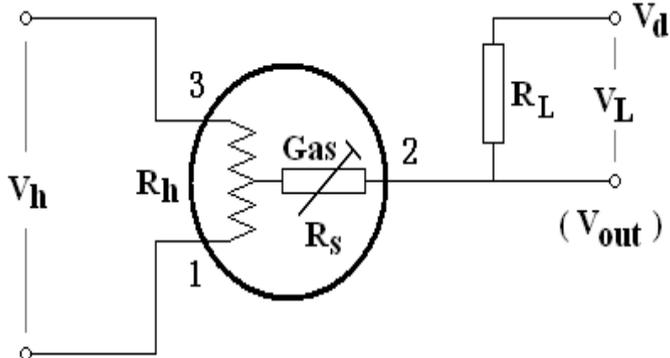
SCM130MD is a tin dioxide semiconductor gas sensor which is designed for breath alcohol detection. It gives high sensitivity to alcohol vapors with quickly response rate at high relative humidity. SCM130MD is more suitable for breath detection and automobile ignition locking systems.

Structure

The sensitive material of SCM130MD is carried on Pt heater coil and an electrode was embedded in it. The sensor element is embedded in TO metal house with stainless steel mesh (100 mesh) window.

Operating Conditions

The following schematics are two typical driving circuit of SCM130MD. The change of the sensor resistance (R_S) is obtained as the change of the output voltage across the fixed or variable resistor (R_L). In order to obtain the best performance and specified characteristics, the values of the heater voltage (V_H) detect voltage (V_D) and load resistance (R_L) must be within the range of values given in the standard operating conditions shown in the table 1.



The diagram shows a circuit for the SCM130MD65 sensor. The sensor is represented as a circle containing a heater resistor R_h and a gas sensor resistor R_s . The heater resistor R_h is connected to a voltage source V_h between pins 1 and 3. The gas sensor resistor R_s is connected to a load resistor R_L between pins 2 and 3. The output voltage V_{out} is measured across the load resistor R_L between pins 2 and 3. The detect voltage V_d is also indicated across the load resistor R_L .

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Condiciones de ambientales de operación

Símbolo	Descripción	Condición técnica	Comentario
T_{ao}	Temperatura de operación	De -20 °C a +50 °C	Rangos de uso recomendados
T_{as}	Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a +70 °C	
R_H	Humedad Relativa	Menor a 95% Rh	
O_2	Concentración de Oxígeno	21% ±1% (a condiciones estándar) La concentración de oxígeno puede afectar la sensibilidad	

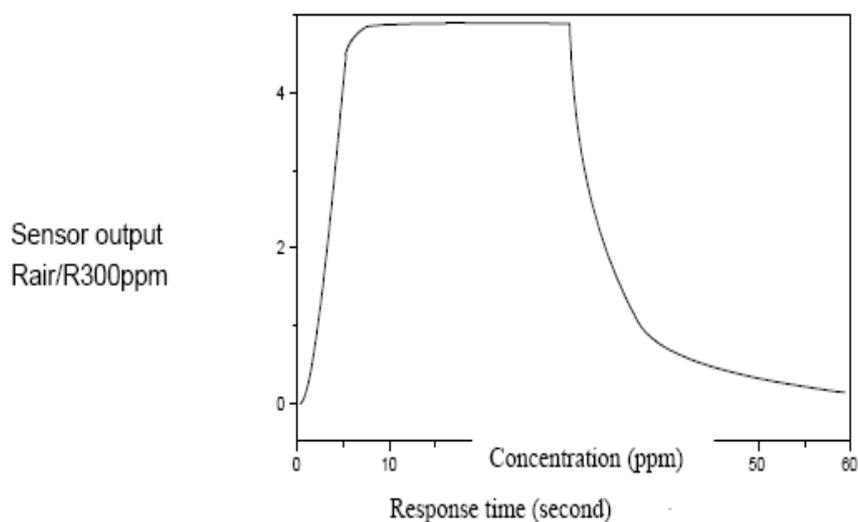
Características de sensibilidad.

Símbolo	Descripción	Valor	Condiciones
R_s	Resistencia del sensor	1KΩ a 11KΩ	a etanol 130ppm
β	Sensibilidad	0.50 ± 0.15	RS(a etanol 300ppm)/RS(a etanol 50ppm)
Condiciones estándar de detección	Temp. 20 °C ± 2 °C Humedad 65% ± 5%	Vc. 5V ±1% V _H . 0-9V ±1%	RL : 3.6kΩ ±5% Aire limpio. 48hrs de precalentamiento

Características de mecánicas

Condición	Valores	Comentarios
Vibración	Frecuencia de 100 cpm de amplitud vertical: <input type="text" value="A"/> frecuencia: (no se han obtenido resultados)	Satisfacer las características dadas de sensibilidad
Choque	Aceleración máxima de 100 G. Número de impactos: 3	

Curva de respuesta



Código: SCM130MD65



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.16.-TGS 2611 FIGARO



TGS 2611 - for the detection of Methane

Features:

- * Low power consumption
- * High sensitivity to methane
- * Long life and low cost
- * Uses simple electrical circuit

Applications:

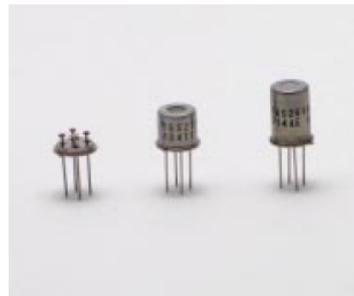
- * Domestic gas alarms
- * Portable gas detectors
- * Gas leak detector for gas appliances

TGS2611 is a semiconductor type gas sensor which combines very high sensitivity to methane gas with low power consumption and long life. Due to miniaturization of its sensing chip, TGS2611 requires a heater current of only 56mA and the device is housed in a standard TO-5 package.

The TGS2611 is available in two different models which have different external housings but identical sensitivity to methane gas. Both models are able to satisfy the requirements of performance standards such as UL1484 and EN50194.

TGS2611-C00 possesses small size and quick gas response, making it suitable for gas leakage checkers.

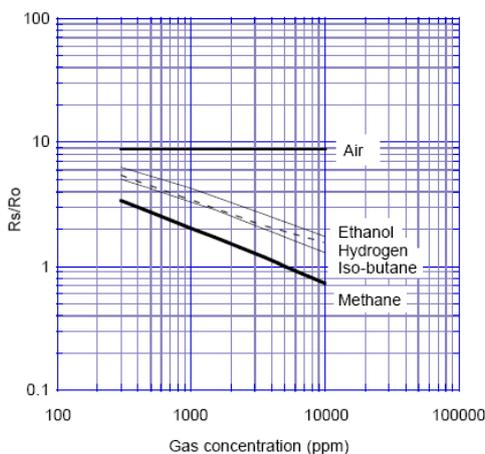
TGS2611-E00 uses filter material in its housing which eliminates the influence of interference gases such as alcohol, resulting in highly selective response to methane gas. This feature makes the sensor ideal for residential gas leakage detectors which require durability and resistance against interference gas.



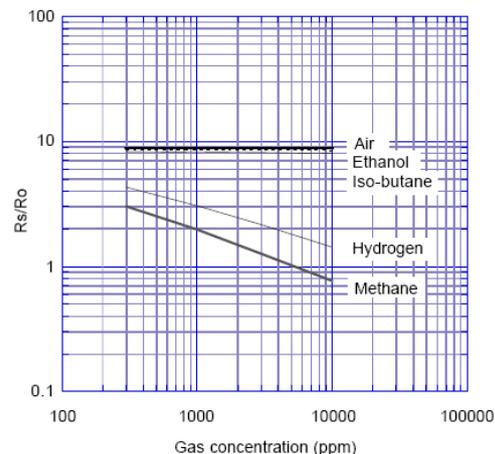
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio* (R_s/R_o) which is defined as follows:

R_s = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
 R_o = Sensor resistance in 5000ppm of methane

TGS2611-C00 Sensitivity Characteristics:



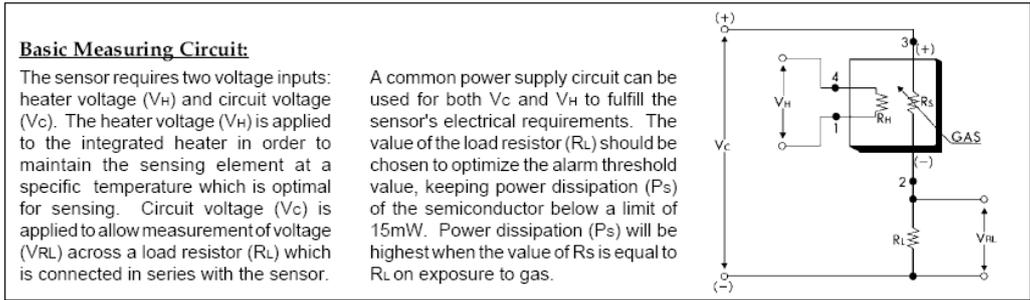
TGS2611-E00 Sensitivity Characteristics:



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

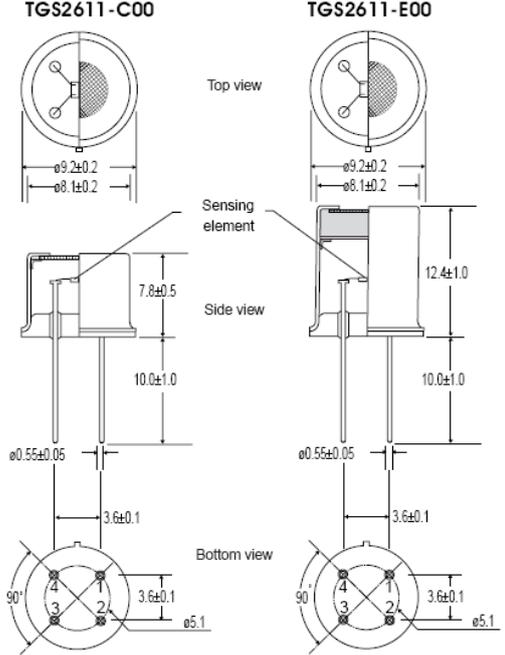
Julián García Pimentel



Specifications:

Model number		TGS 2611	
Sensing element type		D1	
Standard package		TO-5 metal can	
Target gases		Methane, Natural Gas	
Typical detection range		500 ~ 10,000 ppm	
Standard circuit conditions	Heater Voltage V_H	5.0±0.2V DC/AC	
	Circuit voltage V_C	5.0±0.2V DC	$P_S \leq 15mW$
	Load resistance R_L	Variable	0.45kΩ min.
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance R_H	59Ω at room temp. (typical)	
	Heater current I_H	56 ± 5mA	
	Heater power consumption P_H	280±25mW	
	Sensor resistance R_S	0.68~6.8 kΩ in 5000ppm methane	
	Sensitivity (change ratio of R_S)	0.60 ± 0.06	$\frac{R_S(9000ppm)}{R_S(3000ppm)}$
Standard test conditions	Test gas conditions	Methane in air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	$V_C = 5.0\pm 0.01V$ DC $V_H = 5.0\pm 0.05V$ DC	
	Conditioning period before test	7 days	

Structure and Dimensions:



- Pin connection:**
- 1: Heater
 - 2: Sensor electrode (-)
 - 3: Sensor electrode (+)
 - 4: Heater

The value of power dissipation (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_C - V_{RL})^2}{R_S}$$

Sensor resistance (R_S) is calculated with a measured value of V_{RL} by using the following formula:

$$R_S = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \times R_L$$

All sensor characteristics shown in this brochure represent typical characteristics. Actual characteristics vary from sensor to sensor. The only characteristics warranted are those in the Specification table above.

FIGARO ENGINEERING INC.
 1-5-11 Senba-nishi
 Mino, Osaka 562-8505 JAPAN
 Phone: (81)-72-728-2561
 Fax: (81)-72-728-0467
 email: figaro@figaro.co.jp

REV: 02/05

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.17.-AD620



Low Cost, Low Power Instrumentation Amplifier

AD620

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor

(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage

0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

1.0 nA max, Input Bias Current

100 dB min Common-Mode Rejection Ratio (G = 10)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth (G = 100)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

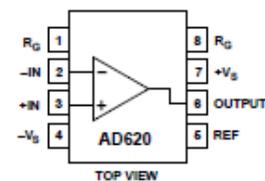
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q) and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of Super β processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

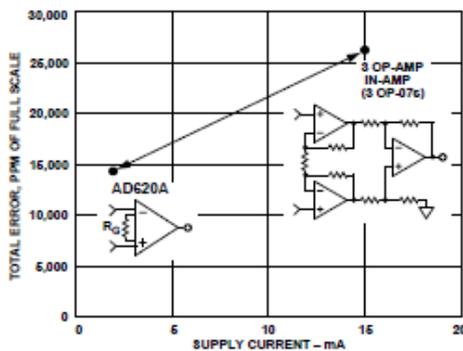


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

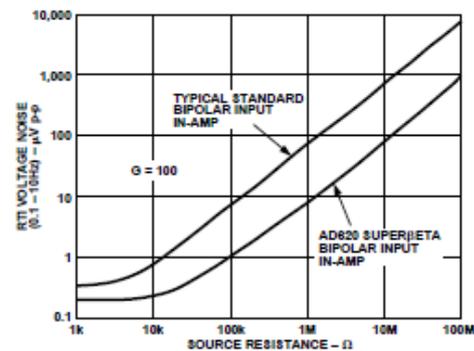


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

AD620—SPECIFICATIONS (Typical @ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN											
Gain Range	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$	1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity, G = 1–1000	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V, $R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–100	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature	G = 1 Gain > 1 ²			10 -50			10 -50			10 -50	ppm/°C ppm/°C
VOLTAGE OFFSET											
(Total RTI Error = $V_{OS1} + V_{OS0}/G$)											
Input Offset, V_{OS1}	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{OS0}	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Over Temperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Over Temperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			10 2			10 2			10 2		G Ω pF
Common-Mode			10 2			10 2			10 2		G Ω pF
Input Voltage Range ³	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	V
Over Temperature		$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	V
Over Temperature		$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.4$	V
Common-Mode Rejection Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = 0$ V to ± 10 V		73	90		80	90		73	90	dB
G = 1			93	110		100	110		93	110	dB
G = 100			110	130		120	130		110	130	dB
G = 1000			110	130		120	130		110	130	dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10$ k Ω , $V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.3$	V
Over Temperature		$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	V
Over Temperature		$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.5$	V
Short Current Circuit			± 18			± 18			± 18		mA

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

AD620

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
DYNAMIC RESPONSE											
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step										
G = 1		1000			1000			1000			kHz
G = 10		800			800			800			kHz
G = 100		120			120			120			kHz
G = 1000		12			12			12			kHz
Slew Rate		0.75 1.2			0.75 1.2			0.75 1.2			V/μs
Settling Time to 0.01%											
G = 1-100		15			15			15			μs
G = 1000		150			150			150			μs
NOISE											
Voltage Noise, 1 kHz	Total RTI Noise = $\sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$										
Input, Voltage Noise, e_{ni}		9 13			9 13			9 13			nV/√Hz
Output, Voltage Noise, e_{no}	72 100			72 100			72 100			nV/√Hz	
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz	f = 1 kHz										
G = 1		3.0			3.0 6.0			3.0 6.0			μV p-p
G = 10		0.55			0.55 0.8			0.55 0.8			μV p-p
G = 100-1000		0.28			0.28 0.4			0.28 0.4			μV p-p
Current Noise		100			100			100			fA/√Hz
0.1 Hz to 10 Hz		10			10			10			pA p-p
REFERENCE INPUT											
R_{DS}	$V_{DS+}, V_{DS-} = 0$	20			20			20			kΩ
I_{DS}		+50 +60			+50 +60			+50 +60			μA
Voltage Range		$-V_S + 1.6$ $+V_S - 1.6$			$-V_S + 1.6$ $+V_S - 1.6$			$-V_S + 1.6$ $+V_S - 1.6$			V
Gain to Output		1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			
POWER SUPPLY											
Operating Range ⁴	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V	±2.3 ±18			±2.3 ±18			±2.3 ±18			V
Quiescent Current		0.9 1.3			0.9 1.3			0.9 1.3			mA
Over Temperature		1.1 1.6			1.1 1.6			1.1 1.6			mA
TEMPERATURE RANGE											
For Specified Performance		-40 to +85			-40 to +85			-55 to +125			°C

NOTES

¹See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.

²Does not include effects of external resistor R_{EQ} .

³One input grounded. G = 1.

⁴This is defined as the same supply range which is used to specify PSR.

Specifications subject to change without notice.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.18.-AD708



Ultralow Offset Voltage Dual Op Amp

AD708

FEATURES

Very high dc precision

- 30 μV maximum offset voltage
- 0.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ maximum offset voltage drift
- 0.35 μV p-p maximum voltage noise (0.1 Hz to 10 Hz)
- 5 million V/V minimum open-loop gain
- 130 dB minimum CMRR
- 120 dB minimum PSRR

Matching characteristics

- 30 μV maximum offset voltage match
- 0.3 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ maximum offset voltage drift match
- 130 dB minimum CMRR match

Available in 8-lead narrow body, PDIP, and hermetic CERDIP and CERDIP/883B packages

GENERAL DESCRIPTION

The AD708 is a high precision, dual monolithic operational amplifier. Each amplifier individually offers excellent dc precision with maximum offset voltage and offset voltage drift of any dual bipolar op amp.

The matching specifications are among the best available in any dual op amp. In addition, the AD708 provides 5 V/ μV minimum open-loop gain and guaranteed maximum input voltage noise of 350 nV p-p (0.1 Hz to 10 Hz). All dc specifications show excellent stability over temperature, with offset voltage drift typically 0.1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ and input bias current drift of 25 pA/ $^\circ\text{C}$ maximum.

The AD708 is available in four performance grades. The AD708J is rated over the commercial temperature range of 0 $^\circ\text{C}$ to 70 $^\circ\text{C}$ and is available in a narrow body, PDIP. The AD708A and AD708B are rated over the industrial temperature range of -40 $^\circ\text{C}$ to +85 $^\circ\text{C}$ and are available in a CERDIP.

PIN CONFIGURATION

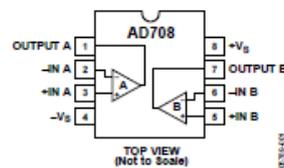


Figure 1. PDIP (N) and CERDIP (Q) Packages

The AD708S is rated over the military temperature range of -55 $^\circ\text{C}$ to +125 $^\circ\text{C}$ and is available in a CERDIP military version processed to MIL-STD-883B.

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The combination of outstanding matching and individual specifications make the AD708 ideal for constructing high gain, precision instrumentation amplifiers.
2. The low offset voltage drift and low noise of the AD708 allow the designer to amplify very small signals without sacrificing overall system performance.
3. The AD708 10 V/ μV typical open-loop gain and 140 dB common-mode rejection make it ideal for precision applications.

REV. C
Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2006 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

AD708

SPECIFICATIONS

@ 25°C and ±15 V dc, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Conditions	AD708J/AD708A			AD708B			AD708S			Unit
		Min ¹	Typ	Max ¹	Min ¹	Typ	Max ¹	Min ¹	Typ	Max ¹	
INPUT OFFSET VOLTAGE ²			30	100		5	50		5	30	μV
Drift	T _{MIN} to T _{MAX}		50	150		15	65		15	50	μV
Long Term Stability			0.3	1.0		0.1	0.4		0.1	0.3	μV/°C
			0.3			0.3			0.3		μV/month
INPUT BIAS CURRENT			1.0	2.5		0.5	1.0		0.5	1	nA
Average Drift	T _{MIN} to T _{MAX}		2.0	4.0		1.0	2.0		1.0	4	nA
			15	40		10	25		10	30	pA/°C
OFFSET CURRENT	V _{CM} = 0 V		0.5	2.0		0.1	1.0		0.1	1	nA
Average Drift	T _{MIN} to T _{MAX}		2.0	4.0		0.2	1.5		0.2	1.5	nA
			2	60		1	25		1	25	pA/°C
MATCHING CHARACTERISTICS ³											
Offset Voltage				80		50			30		μV
Offset Voltage Drift	T _{MIN} to T _{MAX}			150		75			50		μV
Input Bias Current				1.0		0.4			0.3		μV/°C
Common-Mode Rejection	T _{MIN} to T _{MAX}			4.0		1.0			1.0		nA
Power Supply Rejection				5.0		2.0			2.0		nA
Channel Separation	T _{MIN} to T _{MAX}	120	140		130	140		130	140		dB
		110			130			130			dB
		110			120			120			dB
		110			120			120			dB
		135			140			140			dB
INPUT VOLTAGE NOISE	0.1 Hz to 10 Hz		0.23	0.6		0.23	0.6		0.23	0.35	μV p-p
	f = 10 Hz		10.3	18		10.3	12		10.3	12	nV/√Hz
	f = 100 Hz		10.0	13.0		10.0	11.0		10.0	11	nV/√Hz
	f = 1 kHz		9.6	11.0		9.6	11.0		9.6	11	nV/√Hz
INPUT CURRENT NOISE	0.1 Hz to 10 Hz		14	35		14	35		14	35	pA p-p
	f = 10 Hz		0.32	0.9		0.32	0.8		0.32	0.8	pA/√Hz
	f = 100 Hz		0.14	0.27		0.14	0.23		0.14	0.23	pA/√Hz
	f = 1 kHz		0.12	0.18		0.12	0.17		0.12	0.17	pA/√Hz
COMMON-MODE REJECTION RATIO	V _{CM} = ±13 V	120	140		130	140		130	140		dB
	T _{MIN} to T _{MAX}	120	140		130	140		130	140		dB
OPEN-LOOP GAIN	V _O = ±10 V	3	10		5	10		4	10		V/μV
	R _{LOAD} ≥ 2 kΩ	3	10		5	10		4	10		V/μV
	T _{MIN} to T _{MAX}	3	10		5	10		4	7		
POWER SUPPLY REJECTION RATIO	V _S = ±3 V to ±18 V	110	130		120	130		120	130		dB
	T _{MIN} to T _{MAX}	110	130		120	130		120	130		dB
FREQUENCY RESPONSE											
Closed-Loop Bandwidth			0.5	0.9		0.5	0.9		0.5	0.9	MHz
Slew Rate			0.15	0.3		0.15	0.3		0.15	0.3	V/μs
INPUT RESISTANCE											
Differential			60			200			200		MΩ
Common Mode			200			400			400		GΩ

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

AD708											
Parameter	Conditions	AD708J/AD708A			AD708B			AD708S			Unit
		Min ¹	Typ	Max ¹	Min ¹	Typ	Max ¹	Min ¹	Typ	Max ¹	
OUTPUT VOLTAGE	$R_{LOAD} \geq 10 \text{ k}\Omega$	13.5	14		13.5	14.0		13.5	14		$\pm V$
	$R_{LOAD} \geq 2 \text{ k}\Omega$	12.5	13.0		12.5	13.0		12.5	13		$\pm V$
	$R_{LOAD} \geq 1 \text{ k}\Omega$	12.0	12.5		12.0	12.5		12.0	12.5		$\pm V$
	T_{MIN} to T_{MAX}	12.0	13.0		12.0	13.0		12.0	13		$\pm V$
OPEN-LOOP OUTPUT RESISTANCE		60			60			60			Ω
POWER SUPPLY											
Quiescent Current			4.5	5.5		4.5	5.5		4.5	5.5	mA
Power Consumption	$V_S = \pm 15 \text{ V}$		135	165		135	165		135	165	mW
	$V_S = \pm 3 \text{ V}$		12	18		12	18		12	18	mW
Operating Range		± 3		± 18	± 3		± 18	± 3		± 18	V

¹ All min and max specifications are guaranteed. Specifications in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels.

² Input offset voltage specifications are guaranteed after five minutes of operation at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

³ Matching is defined as the difference between parameters of the two amplifiers.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.19.-TGS 2442



TGS 2442 - for the detection of Carbon Monoxide

Features:

- * Low power consumption
- * High sensitivity/selectivity to carbon monoxide (CO)
- * Miniature size
- * Low sensitivity to alcohol vapor
- * Long life and low cost
- * Low humidity dependency

Applications:

- * CO detectors
- * Air quality controllers
- * Indoor parking lot ventilation

TGS 2442 utilizes a multilayer sensor structure. A glass layer for thermal insulation is printed between a ruthenium oxide (RuO₂) heater and an alumina substrate. A pair of Au electrodes for the heater are formed on a thermal insulator. The gas sensing layer, which is formed of tin dioxide (SnO₂), is printed on an electrical insulation layer which covers the heater. A pair of Au electrodes for measuring sensor resistance are formed on the electrical insulator. Activated charcoal is filled between the internal cover and the outer cover for the purpose of reducing the influence of noise gases.



TGS 2442 displays good selectivity to carbon monoxide, making it ideal for CO monitors. In the presence of CO, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple pulsed electrical circuit operating on a one second circuit voltage cycle can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to gas concentration.

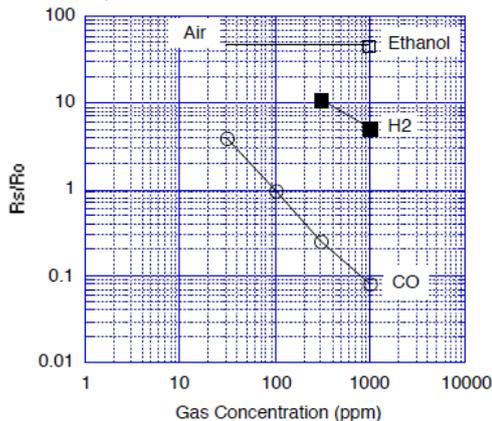
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (Rs/Ro) which is defined as follows:

- Rs = Sensor resistance of displayed gases at various concentrations
- Ro = Sensor resistance in 100ppm CO

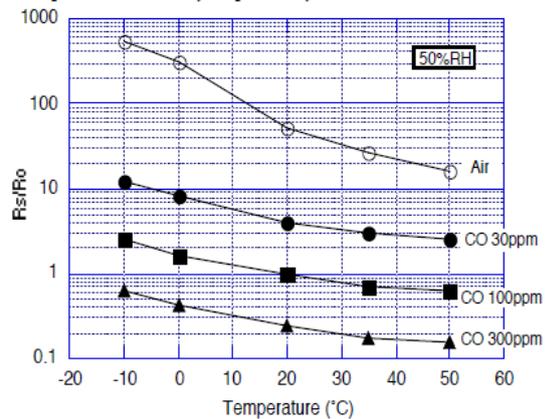
The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (Rs/Ro), defined as follows:

- Rs = Sensor resistance at 30ppm, 100ppm and 300ppm of CO at various temperatures and 50%R.H.
- Ro = Sensor resistance at 300ppm of CO at 25°C and 50% R.H.

Sensitivity Characteristics:



Temperature/Humidity Dependency:



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

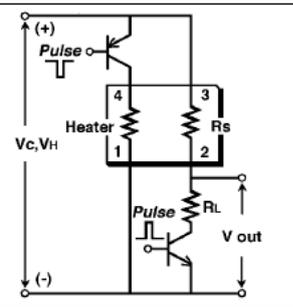
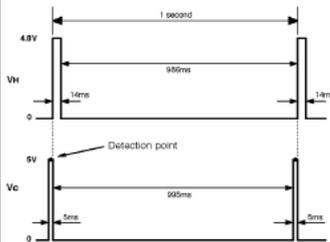
Basic Measuring Circuit:

Circuit voltage (V_c) is applied across the sensing element which has a resistance (R_s) between the sensor's two electrodes (pins No. 2 and No. 3) and a load resistor (R_L) connected in series. The sensing element is heated by the heater which is connected to pins No. 1 and No. 4.

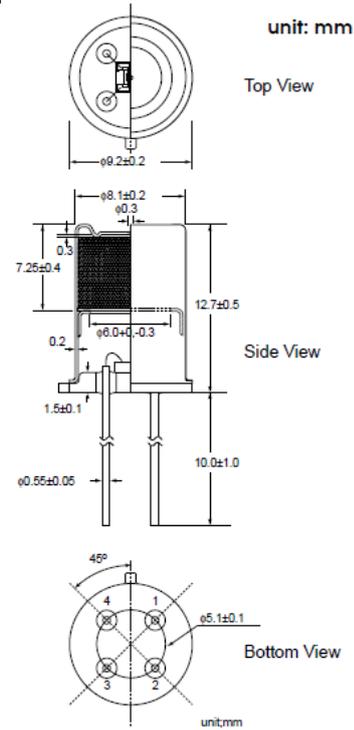
Heating cycle--The sensor requires application of a 1 second heating cycle which is used in connection with a circuit

voltage cycle of 1 second. Each V_H cycle is comprised by 4.8V being applied to the heater for the first 14ms, followed by 0V pulse for the remaining 986ms. The V_c cycle consists of 0V applied for 995ms, followed by 5.0V for 5ms. For achieving optimal sensing characteristics, the sensor's signal should be measured after the midpoint of the 5ms V_c pulse of 5.0V (for reference, see timing chart below).

NOTE: Application of a V_c pulse condition is required to prevent possible migration of heater materials into the sensing element material. Under extreme conditions of high humidity and temperature, a constant V_c condition could result in such migration and cause long term drift of R_s to higher values. A 5ms V_c pulse results in significantly less driving force for migration than a constant V_c condition, rendering the possibility of migration negligibly small.



Structure and Dimensions:



Specifications:

Model number		TGS 2442
Sensing element type		M1
Standard package		TO-5 metal can
Target gases		Carbon monoxide
Typical detection range		30 ~ 1000 ppm
Standard circuit conditions	Heater voltage cycle	V_H $V_{H+}=4.8V \pm 0.2V$ DC, 14ms $V_{H-}=0.0$, 986ms
	Circuit voltage cycle	$V_C=0V$ for 995ms, $V_C=5.0V \pm 0.2V$ DC for 5ms
	Load resistance	R_L variable ($\geq 10k\Omega$)
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H $17 \pm 2.5\Omega$ at room temp.
	Heater current	I_H approx. 203mA (in case of V_{H+})
	Heater power consumption	P_H approx. 14mW (ave.)
	Sensor resistance	R_s 13.3k Ω ~ 133k Ω in 100ppm of carbon monoxide
	Sensitivity (change ratio of R_s)	β 0.13 ~ 0.31
Standard test conditions	Test gas conditions	Carbon monoxide in air at $20 \pm 2^\circ C$, $65 \pm 5\% RH$
	Circuit conditions	Same as Std. Circuit Condition (above)
	Conditioning period before test	2 days or more

Sensor resistance (R_s) is calculated with a measured value of V_{out} as follows:

$$R_s = \frac{V_{ox} R_L}{V_{out}} - R_L$$

The value of sensitivity (β) is calculated with two measured values of R_s as follows:

$$\beta = \frac{R_s(CO, 300ppm)}{R_s(CO, 100ppm)}$$

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc.

REV: 07/07

FIGARO USA INC.
121 S. Wilke Rd. Suite 300
Arlington Heights, IL 60005
Tel: 847-832-1701
Fax: 847-832-1705
email: figarousa@figarosensor.com

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.20.-VCO Sensor P/N 707

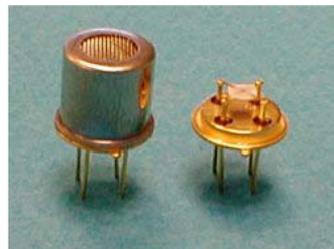


VOC Sensor
(P/N 707)

Synkera Technologies, Inc.
2021 Miller Dr., Suite B
Longmont, CO 80501

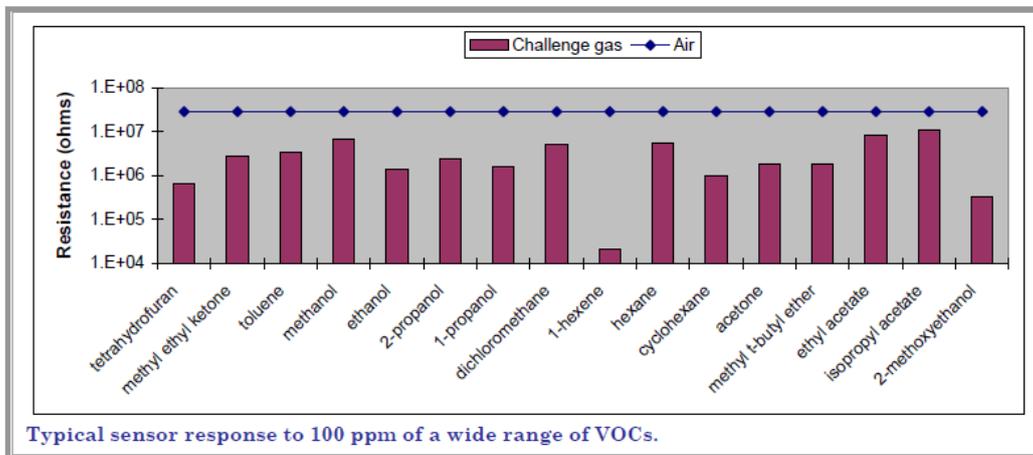
SENSOR FEATURES:

- High sensitivity to a wide range of VOCs.
- Non-specific: responds to many different organic vapors.
- Typical response time <1 minute to 90% full scale.
- Environmental temperature range of -20 to 50°C.
- Environmental humidity range of 0 to 90% RH, non-condensing.



Sensor Response Characteristics

The figure below shows typical response and selectivity data for sensors operated under laboratory conditions. Humidity level is ~21% RH.



Typical sensor response to 100 ppm of a wide range of VOCs.

Electrical Characteristics

The electrical properties below are typical for VOC Sensors. If the actual values differ the customer will be notified with the shipment. Circuits are available that will be preset to the correct values.

Property	Symbol	Value	Remarks
Heater Power Consumption	P_H	~ 400 mW	At $V_H = 3.5$
Heater Voltage	V_H	3.5 VDC	$T_{sensor} \sim 150^\circ C$
Heater Resistance	R_H	$32 \Omega \pm 2 \Omega$	At room temperature
Sensing Voltage	V_C	5.0 VDC	Recommended

720-494-8401 e-mail: info@synkera.com www.synkera.com 720-494-8402 (fax)

- For information on warranty, please refer to Synkera Technologies, Inc. Standard Terms and Conditions.
- Information on this data sheet represents typical values from a number of Synkera sensors. Actual values from sensor to sensor can vary slightly.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Operation of Synkera MOS Sensors

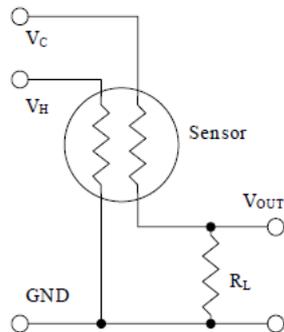
Synkera Technologies, Inc.
2021 Miller Dr., Suite B
Longmont, CO 80501

Circuitry

A transducer is available from Synkera to operate the sensor. This circuit, packaged on a 2" x 1.5" printed circuit board, is powered with 9 – 24 VDC. The transducer provides a 0 – 5 VDC output which can be adjusted for sensor offset and gain. The heater voltage is also adjustable. The circuit is set to the recommended values at the factory.

Basic Measuring Circuit

The sensor can be operated using a simple voltage divider. This requires two voltage supplies: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). V_H is applied to the heater in order to maintain a constant, elevated temperature, for optimum sensing. V_C is applied to allow a measurement of the output voltage (V_{out}) across a load resistor (R_L).

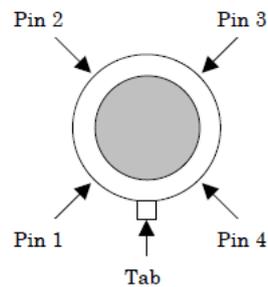


Pins 1 and 3 on the TO-39 header are attached to the heater. Apply V_H across these pins.

Pins 2 and 4 on the TO-39 header are attached to the resistive sensor element. Connect these pins in the measuring circuit.

Sensor Pin Out

Top view of sensor



Synkera Technologies strives to be customer oriented. If you have a special application you would like to discuss, or questions you would like answered please contact us at sensors@synkera.com.

Sensor Resistance Calculation

Sensor Resistance (R_s) is calculated using the following formula:

$$R_s = \frac{V_C - V_{out}}{V_{out}} * R_L$$

720-494-8401

e-mail: info@synkera.com

www.synkera.com

720-494-8402 (fax)

- For information on warranty, please refer to Synkera Technologies, Inc. Standard Terms and Conditions.
- Information on this data sheet represents typical values from a number of Synkera sensors. Actual values from sensor to sensor can vary slightly.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.21.-TGS 825



TGS 825 - Special Sensor for Hydrogen Sulfide

Features:

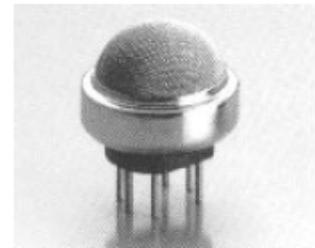
- * High sensitivity to low concentration of hydrogen sulfide
- * Good repeatability in measurement
- * Uses simple electrical circuit
- * Ceramic base resistant to severe environment

Applications:

- * Hydrogen sulfide detectors/alarms

The sensing element of Figaro gas sensors is a tin dioxide (SnO₂) semiconductor which has low conductivity in clean air. In the presence of a detectable gas, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

The TGS 825 has high sensitivity to hydrogen sulfide. The sensor can detect concentrations of hydrogen sulfide as low as 5ppm, making it ideal for application in gas leak detection.



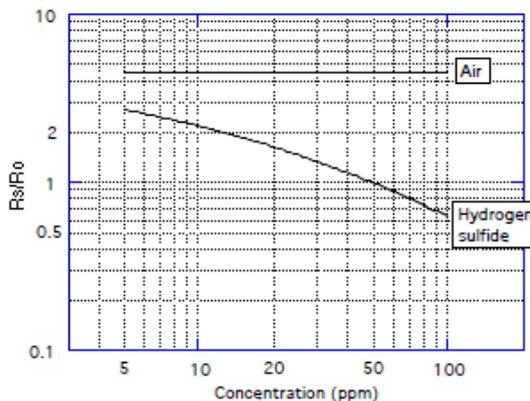
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (Rs/Ro) which is defined as follows:

- Rs = Sensor resistance of displayed gases at various concentrations
- Ro = Sensor resistance at 50ppm of hydrogen sulfide at 20°C and 65% R.H.

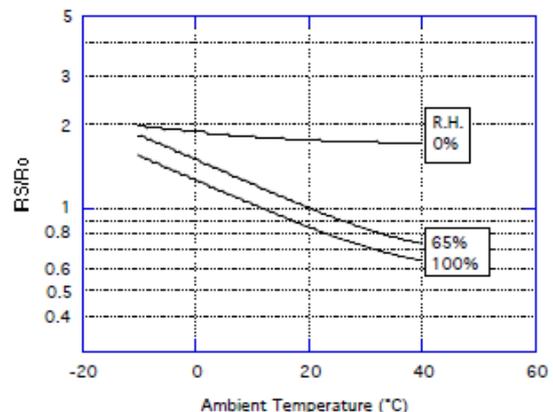
The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (Rs/Ro), defined as follows:

- Rs = Sensor resistance at 50ppm of hydrogen sulfide at various temp./humidities
- Ro = Sensor resistance at 50ppm of hydrogen sulfide at 20°C and 65% R.H.

Sensitivity Characteristics:



Temperature/Humidity Dependency:

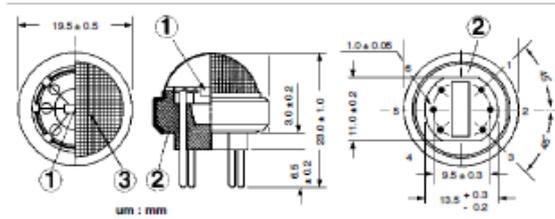


IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

Structure and Dimensions:

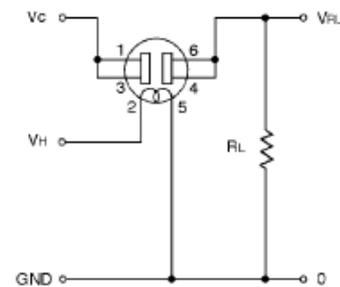


- ① Sensing Element:
SnO₂ is sintered to form a thick film on the surface of an alumina ceramic tube which contains an internal heater.
- ② Sensor Base:
Alumina ceramic
- ③ Flame Arrestor:
100 mesh SUS 316 double gauze

Pin Connection and Basic Measuring Circuit:

The numbers shown around the sensor symbol in the circuit diagram at the right correspond with the pin numbers shown in the sensor's structure drawing (above). When the sensor is connected as shown in the basic circuit, output across the Load Resistor (V_{RL}) increases as the sensor's resistance (R_s) decreases, depending on gas concentration.

Basic Measuring Circuit:



Standard Circuit Conditions:

Item	Symbol	Rated Values	Remarks
Heater Voltage	V _H	5.0±0.2V	AC or DC
Circuit Voltage	V _C	Max. 24V	DC only P_{as}15mW
Load Resistance	R _L	Variable	0.45kΩ min.

Electrical Characteristics:

Item	Symbol	Condition	Specification
Sensor Resistance	R _s	Hydrogen sulfide at 50ppm/air	3kΩ ~ 30kΩ
Change Ratio of Sensor Resistance	R _s /R ₀	$\frac{R_s(\text{H}_2\text{S at 50ppm/air})}{R_s(\text{H}_2\text{S at 10ppm/air})}$	0.45 ± 0.15
Heater Resistance	R _H	Room temperature	38.0 ± 3.0Ω
Heater Power Consumption	P _H	V _H =5.0V	680mW (typical)

Standard Test Conditions:

TGS 825 complies with the above electrical characteristics when the sensor is tested in standard conditions as specified below:

Test Gas Conditions: 20°±2°C, 65±5%R.H.
 Circuit Conditions: V_C = 10.0±0.1V (AC or DC),
 V_H = 5.0±0.05V (AC or DC),
 R_L = 10.0kΩ±1%

Preheating period before testing: More than 7 days

Sensor Resistance (R_s) is calculated by the following formula:

$$R_s = \left(\frac{V_C}{V_{RL}} - 1 \right) \times R_L$$

Power dissipation across sensor electrodes (P_s) is calculated by the following formula:

$$P_s = \frac{V_C^2 \times R_s}{(R_s + R_L)^2}$$

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc.

FIGARO USA, INC.
 121 S. Wilke Rd. Suite 300
 Arlington Heights, IL 60005
 Phone: (847)-832-1701
 Fax: (847)-832-1705
 email: figarousa@figarosensor.com

REV: 11/04

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.22.-TGS 2620



TGS 2620 - for the detection of Solvent Vapors

Features:

- * Low power consumption
- * High sensitivity to alcohol and organic solvent vapors
- * Long life and low cost
- * Uses simple electrical circuit

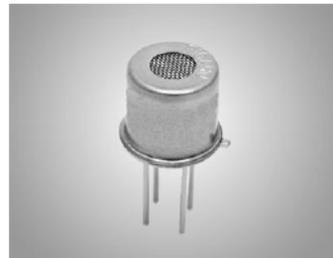
The sensing element is comprised of a metal oxide semiconductor layer formed on an alumina substrate of a sensing chip together with an integrated heater. In the presence of a detectable gas, the sensor's conductivity increases depending on the gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

The TGS 2620 has high sensitivity to the vapors of organic solvents as well as other volatile vapors. It also has sensitivity to a variety of combustible gases such as carbon monoxide, making it a good general purpose sensor.

Due to miniaturization of the sensing chip, TGS 2620 requires a heater current of only 42mA and the device is housed in a standard TO-5 package.

Applications:

- * Alcohol testers
- * Organic vapor detectors/alarms
- * Solvent detectors for factories, dry cleaners, and semiconductor industries



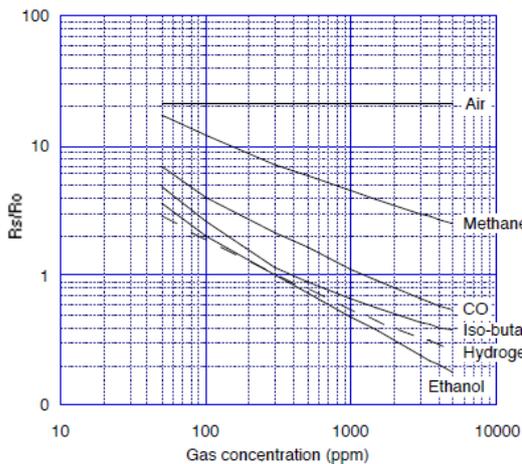
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (Rs/Ro) which is defined as follows:

- Rs = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
- Ro = Sensor resistance in 300ppm of ethanol

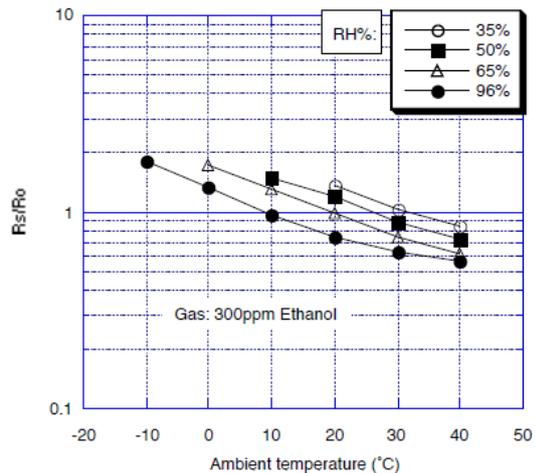
The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as sensor resistance ratio (Rs/Ro), defined as follows:

- Rs = Sensor resistance in 300ppm of ethanol at various temperatures/humidities
- Ro = Sensor resistance in 300ppm of ethanol at 20°C and 65% R.H.

Sensitivity Characteristics:



Temperature/Humidity Dependency:



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The heater voltage (V_H) is applied to the integrated heater in order to maintain the sensing element at a specific temperature which is optimal for sensing. Circuit voltage (V_C) is applied to allow measurement of voltage (V_{RL}) across a load resistor (R_L) which is connected in series with the sensor.

A common power supply circuit can be used for both V_C and V_H to fulfill the sensor's electrical requirements. The value of the load resistor (R_L) should be chosen to optimize the alarm threshold value, keeping power consumption (P_S) of the semiconductor below a limit of 15mW. Power consumption (P_S) will be highest when the value of R_S is equal to R_L on exposure to gas.

Specifications:

Model number		TGS 2620-C00	
Sensing element type		D1	
Standard package		TO-5 metal can	
Target gases		Alcohol, Solvent vapors	
Typical detection range		50 ~ 5,000 ppm	
Standard circuit conditions	Heater Voltage	V_H	5.0±0.2V DC/AC
	Circuit voltage	V_C	5.0±0.2V DC/AC $P_S \leq 15mW$
	Load resistance	R_L	Variable 0.45kΩ min.
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	83Ω at room temp. (typical)
	Heater current	I_H	42 ± 4mA
	Heater power consumption	P_H	approx. 210mW
	Sensor resistance	R_S	1 ~ 5 kΩ in 300ppm ethanol
	Sensitivity (change ratio of R_S)		0.3 ~ 0.5 $\frac{R_S(300ppm)}{R_S(50ppm)}$
Standard test conditions	Test gas conditions	Ethanol vapor in air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	$V_C = 5.0\pm0.01V$ DC $V_H = 5.0\pm0.05V$ DC	
	Conditioning period before test	7 days	

The value of power dissipation (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_C - V_{RL})^2}{R_S}$$

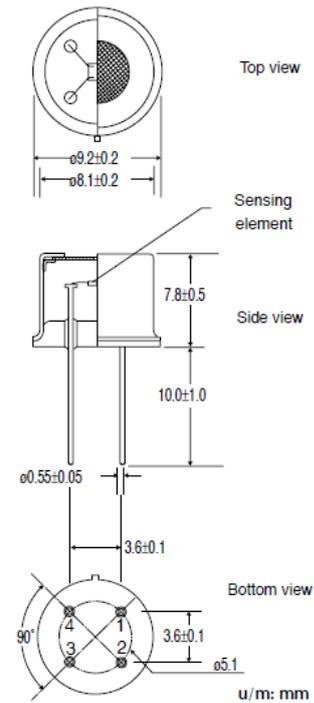
Sensor resistance (R_S) is calculated with a measured value of V_{RL} by using the following formula:

$$R_S = \frac{V_C - V_{RL}}{V_{RL}} \times R_L$$

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc.

REV: 01/05

Structure and Dimensions:



Pin connection:
 1: Heater
 2: Sensor electrode (-)
 3: Sensor electrode (+)
 4: Heater

FIGARO USA, INC.
 121 S. Wilke Rd. Suite 300
 Arlington Heights, Illinois 60005
 Phone: (847)-832-1701
 Fax: (847)-832-1705
 email: figarousa@figarosensor.com

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.23.-TGS 2602



TGS 2602 - for the detection of Air Contaminants

Features:

- * High sensitivity to VOCs and odorous gases
- * Low power consumption
- * High sensitivity to gaseous air contaminants
- * Long life
- * Uses simple electrical circuit
- * Small size

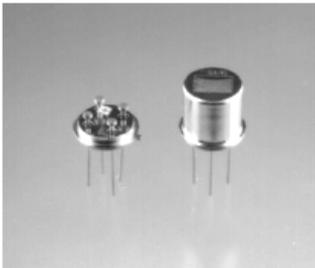
Applications:

- * Air cleaners
- * Ventilation control
- * Air quality monitors
- * VOC monitors
- * Odor monitors

The sensing element is comprised of a metal oxide semiconductor layer formed on the alumina substrate of a sensing chip together with an integrated heater. In the presence of detectable gas, sensor conductivity increases depending on gas concentration in the air. A simple electrical circuit can convert the change in conductivity to an output signal which corresponds to the gas concentration.

The TGS 2602 has high sensitivity to low concentrations of odorous gases such as ammonia and H₂S generated from waste materials in office and home environments. The sensor also has high sensitivity to low concentrations of VOCs such as toluene emitted from wood finishing and construction products. Figaro also offers a microprocessor (FIGARO 93619A) which contains special software for handling the sensor's signal for appliance control applications.

Due to miniaturization of the sensing chip, TGS 2600 requires a heater current of only 42mA and the device is housed in a standard TO-5 package.



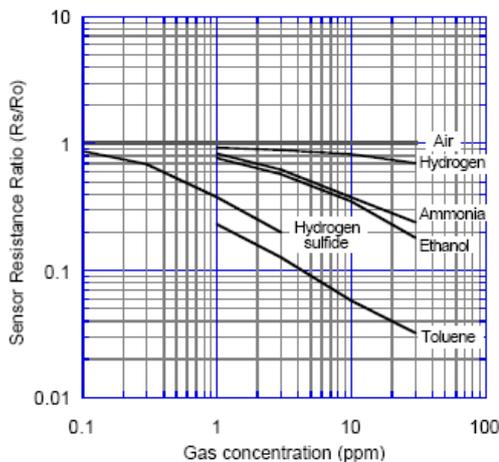
The figure below represents typical sensitivity characteristics, all data having been gathered at standard test conditions (see reverse side of this sheet). The Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio (Rs/Ro)* which is defined as follows:

- Rs = Sensor resistance in displayed gases at various concentrations
- Ro = Sensor resistance in fresh air

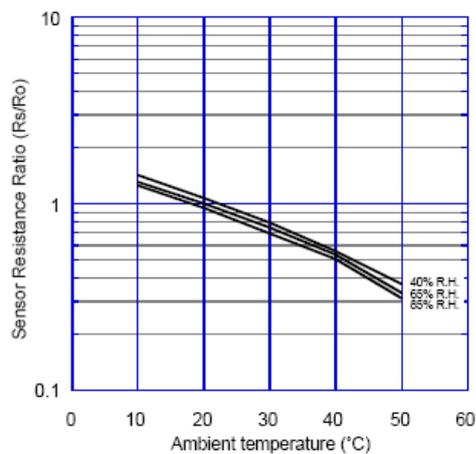
The figure below represents typical temperature and humidity dependency characteristics. Again, the Y-axis is indicated as *sensor resistance ratio (Rs/Ro)*, defined as follows:

- Rs = Sensor resistance in fresh air at various temperatures/humidities
- Ro = Sensor resistance in fresh air at 20°C and 65% R.H.

Sensitivity Characteristics:



Temperature/Humidity Dependency:



IMPORTANT NOTE: OPERATING CONDITIONS IN WHICH FIGARO SENSORS ARE USED WILL VARY WITH EACH CUSTOMER'S SPECIFIC APPLICATIONS. FIGARO STRONGLY RECOMMENDS CONSULTING OUR TECHNICAL STAFF BEFORE DEPLOYING FIGARO SENSORS IN YOUR APPLICATION AND, IN PARTICULAR, WHEN CUSTOMER'S TARGET GASES ARE NOT LISTED HEREIN. FIGARO CANNOT ASSUME ANY RESPONSIBILITY FOR ANY USE OF ITS SENSORS IN A PRODUCT OR APPLICATION FOR WHICH SENSOR HAS NOT BEEN SPECIFICALLY TESTED BY FIGARO.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

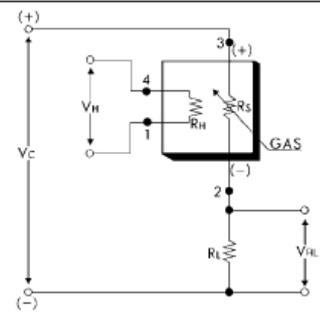
Julián García Pimentel



Basic Measuring Circuit:

The sensor requires two voltage inputs: heater voltage (V_H) and circuit voltage (V_C). The heater voltage (V_H) is applied to the integrated heater in order to maintain the sensing element at a specific temperature which is optimal for sensing. Circuit voltage (V_C) is applied to allow measurement of voltage (V_{out}) across a load resistor (R_L) which is connected in series with the sensor. DC voltage is required for the circuit

voltage since the sensor has a polarity. A common power supply circuit can be used for both V_C and V_H to fulfill the sensor's electrical requirements. The value of the load resistor (R_L) should be chosen to optimize the alarm threshold value, keeping power consumption (P_S) of the semiconductor below a limit of 15mW. Power consumption (P_S) will be highest when the value of R_S is equal to R_L on exposure to gas.



Specifications:

Model number		TGS 2602	
Sensing element type		D1	
Standard package		TO-5 metal can	
Target gases		Air contaminants	
Typical detection range		1 ~ 10 ppm of H ₂	
Standard circuit conditions	Heater voltage	V_H	5.0±0.2V DC/AC
	Circuit voltage	V_C	5.0±0.2V DC $P_S \leq 15mW$
	Load resistance	R_L	Variable $P_S \leq 15mW$
Electrical characteristics under standard test conditions	Heater resistance	R_H	approx. 59Ω at room temp.
	Heater current	I_H	56 ± 5mA
	Heater power consumption	P_H	280mW (typical)
	Sensor resistance	R_S	10 ~ 100 kΩ in air
	Sensitivity (change ratio of R_S)	0.15 ~ 0.5	$\frac{R_S(10ppm \text{ of EtOH})}{R_S(\text{air})}$
Standard test conditions	Test gas conditions	normal air at 20±2°C, 65±5%RH	
	Circuit conditions	$V_C = 5.0\pm0.01V$ DC $V_H = 5.0\pm0.05V$ DC	
	Conditioning period before test	7 days	

The value of power consumption (P_S) can be calculated by utilizing the following formula:

$$P_S = \frac{(V_C - V_{out})^2}{R_S}$$

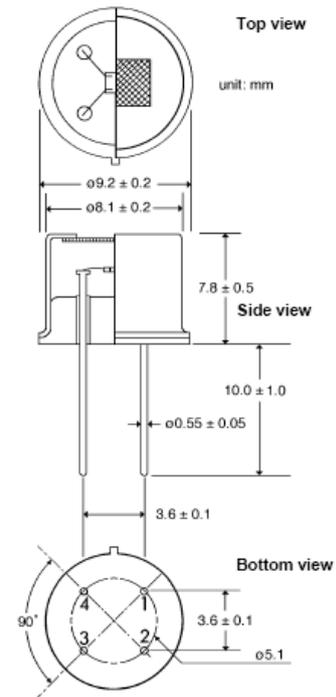
Sensor resistance (R_S) is calculated with a measured value of V_{out} by using the following formula:

$$R_S = \frac{V_C \times R_L}{V_{out}} - R_L$$

For information on warranty, please refer to Standard Terms and Conditions of Sale of Figaro USA Inc.

REV: 03/00

Structure and Dimensions:



Pin connection:

- 1 : Heater
- 2 : Sensor electrode (-)
- 3 : Sensor electrode (+)
- 4 : Heater

FIGARO USA, INC.
3703 West Lake Ave. Suite 203
Glenview, Illinois 60025
Phone: (847)-832-1701
Fax: (847)-832-1705
e-mail: figarousa@figarosensor.com

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.24.-JTK1524D05

DC-DC

15 Watts

xppower.com 

JTK Series



- High Power Density
- Wide 4:1 Input Range
- Operating Temperature -40 °C to +100 °C
- Single & Dual Outputs
- 1600 VDC Isolation
- High Efficiency - up to 89%
- 3 Year Warranty

Specification

Input

- | | |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Input Voltage Range | <ul style="list-style-type: none"> • 24 V (9-36 VDC) • 48 V (18-75 VDC) |
| Input Current | <ul style="list-style-type: none"> • See table |
| Input Filter | <ul style="list-style-type: none"> • Pi network |
| Input Reflected Ripple Current | <ul style="list-style-type: none"> • 20 mA pk-pk through 12 µH inductor and 47 µF capacitor, 5 Hz to 20 MHz |
| Input Surge | <ul style="list-style-type: none"> • 24 V models: 50 VDC for 100 ms • 48 V models: 100 VDC for 100 ms |

Output

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Output Voltage | <ul style="list-style-type: none"> • See table |
| Output Trim | <ul style="list-style-type: none"> • ±10% max on single output |
| Minimum Load | <ul style="list-style-type: none"> • No minimum load required |
| Initial Set Accuracy | <ul style="list-style-type: none"> • ±1% max |
| Start Up Delay | <ul style="list-style-type: none"> • 20 ms typical |
| Line Regulation | <ul style="list-style-type: none"> • ±0.2% max |
| Load Regulation | <ul style="list-style-type: none"> • ±0.5% max single, ±1.0% max dual |
| Cross Regulation | <ul style="list-style-type: none"> • ±5% on dual output models, see note 2 |
| Transient Response | <ul style="list-style-type: none"> • <3% max deviation, recovery to within 1% in 250 µs for a 25% load change |
| Ripple & Noise | <ul style="list-style-type: none"> • 100 mV pk-pk, 20 MHz bandwidth, see note 3 |
| Overload Protection | <ul style="list-style-type: none"> • 170% of full load typical |
| Overvoltage Protection | <ul style="list-style-type: none"> • 3.3 V models: 3.9 V typical • 5 V models: 6.2 V typical • 12 V models: 15 V typical • 15 V models: 18 V typical • ±5 V models: ±6.2 V typical • ±12 V models: ±15 V typical • ±15 V models: ±18 V typical |
| Short Circuit Protection | <ul style="list-style-type: none"> • Trip & restart (hiccup) with auto recovery |
| Maximum Capacitive Load | <ul style="list-style-type: none"> • See table |
| Temperature Coefficient | <ul style="list-style-type: none"> • ±0.02%/°C max |
| Remote On/Off | <ul style="list-style-type: none"> • On >3.0 VDC or open circuit • Off <1.2 VDC or short circuit pins 2 & 3 |

General

- | | |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Efficiency | <ul style="list-style-type: none"> • See table |
| Isolation | <ul style="list-style-type: none"> • 1600 VDC Input to Output • 1600 VDC Input to Case • 1600 VDC Output to Case |
| Isolation Capacitance | <ul style="list-style-type: none"> • 1200 pF max |
| Switching Frequency | <ul style="list-style-type: none"> • 375 kHz typical |
| MTBF | <ul style="list-style-type: none"> • >560 Khrs to MIL-STD-217F at 25 °C, GB |

Environmental

- | | |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operating Temperature | <ul style="list-style-type: none"> • -40 °C to +100 °C, derate from 100% load at +65 °C to no load at +100 °C |
| Case Temperature | <ul style="list-style-type: none"> • +105 °C max |
| Storage Temperature | <ul style="list-style-type: none"> • -40 °C to +125 °C |
| Humidity | <ul style="list-style-type: none"> • Up to 90%, non-condensing |
| Cooling | <ul style="list-style-type: none"> • Natural convection |

EMC

- | | |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Emissions | <ul style="list-style-type: none"> • EN55022, Level A conducted & radiated with external components - see applications note |
| ESD Immunity | <ul style="list-style-type: none"> • EN61000-4-2, Level 2 Perf Criteria B |
| Radiated Immunity | <ul style="list-style-type: none"> • EN61000-4-3, 3 V/m Perf Criteria A |
| EFT/Burst | <ul style="list-style-type: none"> • EN61000-4-4, Level 3 Perf Criteria A* |
| Surge | <ul style="list-style-type: none"> • EN61000-4-5, Level 3 Perf Criteria A* |
| Conducted Immunity | <ul style="list-style-type: none"> • EN61000-4-6, 3 V rms Perf Criteria A |
| Magnetic Fields | <ul style="list-style-type: none"> • EN61000-4-8, 1 A/m Perf Criteria A |

*External input capacitor required 470 µF / 100 V.



T H E X P E R T S I N P O W E R

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

DC-DC

Models and Ratings

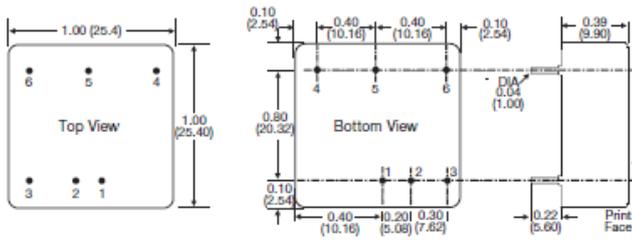
JTK Series **XP**

Input Voltage	Output Voltage	Output Current	Input Current ¹⁾		Maximum Capacitive Load	Efficiency	Model Number
			No Load	Full Load			
9-36 V	3.3 V	4.000 A	15 mA	647 mA	1000 μ F	96%	JTK1524S3V3
	5.0 V	3.000 A	15 mA	727 mA	1000 μ F	97%	JTK1524S05
	12.0 V	1.300 A	15 mA	747 mA	330 μ F	88%	JTK1524S12
	15.0 V	1.000 A	15 mA	710 mA	220 μ F	89%	JTK1524S15
	± 5.0 V	± 1.500 A	15 mA	744 mA	± 470 μ F	85%	JTK1524D05
	± 12.0 V	± 0.625 A	15 mA	720 mA	± 220 μ F	88%	JTK1524D12
	± 15.0 V	± 0.500 A	15 mA	710 mA	± 100 μ F	89%	JTK1524D15
18-75 V	3.3 V	4.000 A	10 mA	331 mA	1000 μ F	94%	JTK1548S3V3
	5.0 V	3.000 A	10 mA	369 mA	1000 μ F	96%	JTK1548S05
	12.0 V	1.300 A	10 mA	378 mA	330 μ F	87%	JTK1548S12
	15.0 V	1.000 A	10 mA	360 mA	220 μ F	88%	JTK1548S15
	± 5.0 V	± 1.500 A	10 mA	377 mA	± 470 μ F	84%	JTK1548D05
	± 12.0 V	± 0.625 A	10 mA	363 mA	± 220 μ F	87%	JTK1548D12
	± 15.0 V	± 0.500 A	10 mA	360 mA	± 100 μ F	88%	JTK1548D15

Notes

1. Input current measured at nominal 24 V and 48 V input.
2. When one output is set to 100% load, and the other vates between 25% and 100% load.
3. Measured with 1 μ F ceramic capacitor and 10 μ F tantalum capacitor across output rails.

Mechanical Details



Pin	Pin Connections	
	Single	Dual
1	+Vin	+Vin
2	-Vin	-Vin
3	Remote On/Off	Remote On/Off
4	+Vout	+Vout
5	Trim	Com
6	-Vout	-Vout

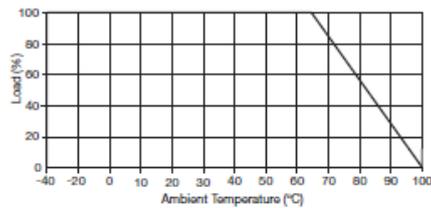
Notes

1. Pin diameter: 0.04 \pm 0.002 (1.0 \pm 0.05)
2. Pin pitch tolerance: \pm 0.014 (\pm 0.35)
3. Case tolerance: \pm 0.02 (\pm 0.5)

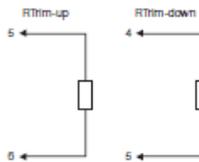
All dimensions are in inches (mm)
Weight: 0.04 lbs (20 g) approx.

Application Notes

Derating Curve



Output Trim



Model Number	Trim Resistor Values	
	Trim up 10%	Trim down 10%
JTK15XXS3V3	10 k Ω	15 k Ω
JTK15XXS05	10 k Ω	5 k Ω
JTK15XXS12	22 k Ω	5 k Ω
JTK15XXS15	20 k Ω	6 k Ω

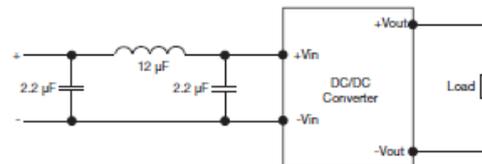
Approximate values.

Output can be externally trimmed by using the method as per above. (Single output models only). For variable trimming, use 100 k Ω potentiometer

Remote On/Off

Output On >3.0 VDC or open circuit
Output Off <1.2 VDC or short circuit pins 2 & 3

Input Filter



T H E X P E R T S I N P O W E R

17-March-10

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.25.- BC547B

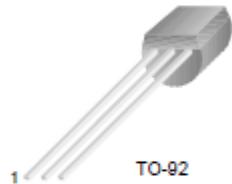


BC546/547/548/549/550

BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=85V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



TO-92
1. Collector 2. Base 3. Emitter

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_J=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : BC546	85	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^{\circ}C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics $T_J=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_{ib}	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548 : BC549/550	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	2	10	dB
			$f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549 : BC550	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
			$R_G=2K\Omega, f=30\sim 15000MHz$	1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation
Rev. A2, August 2002

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

BC546/547/548/549/550

Typical Characteristics

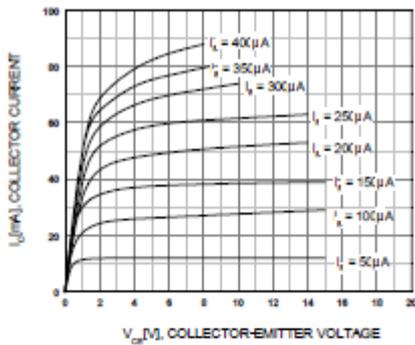


Figure 1. Static Characteristic

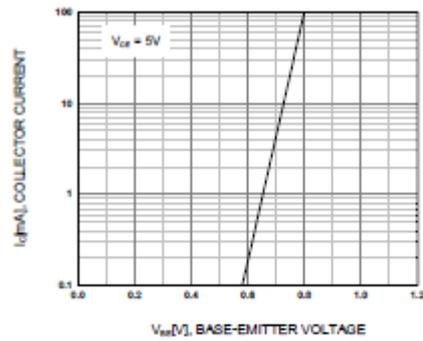


Figure 2. Transfer Characteristic

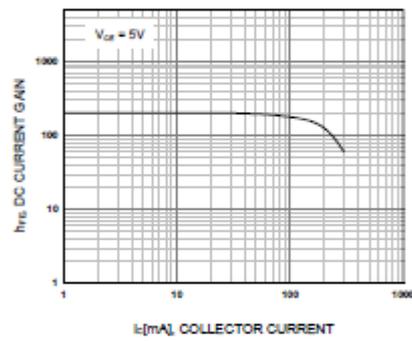


Figure 3. DC current Gain

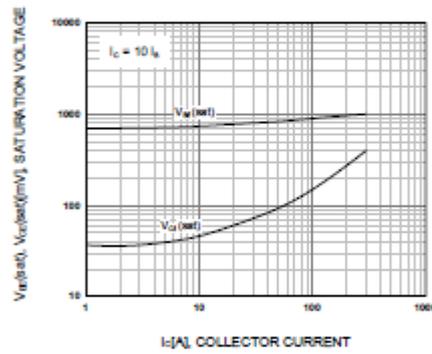


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

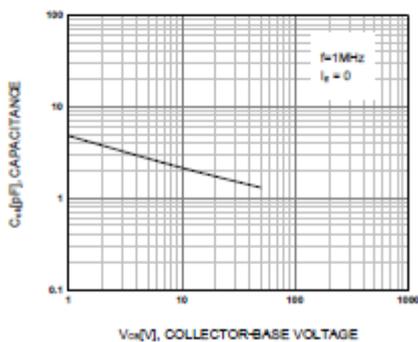


Figure 5. Output Capacitance

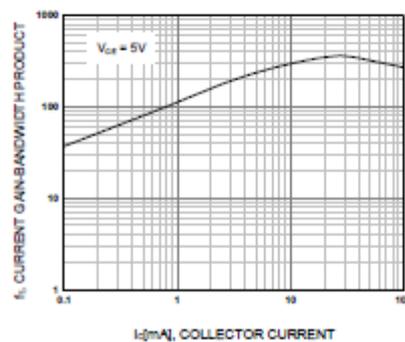
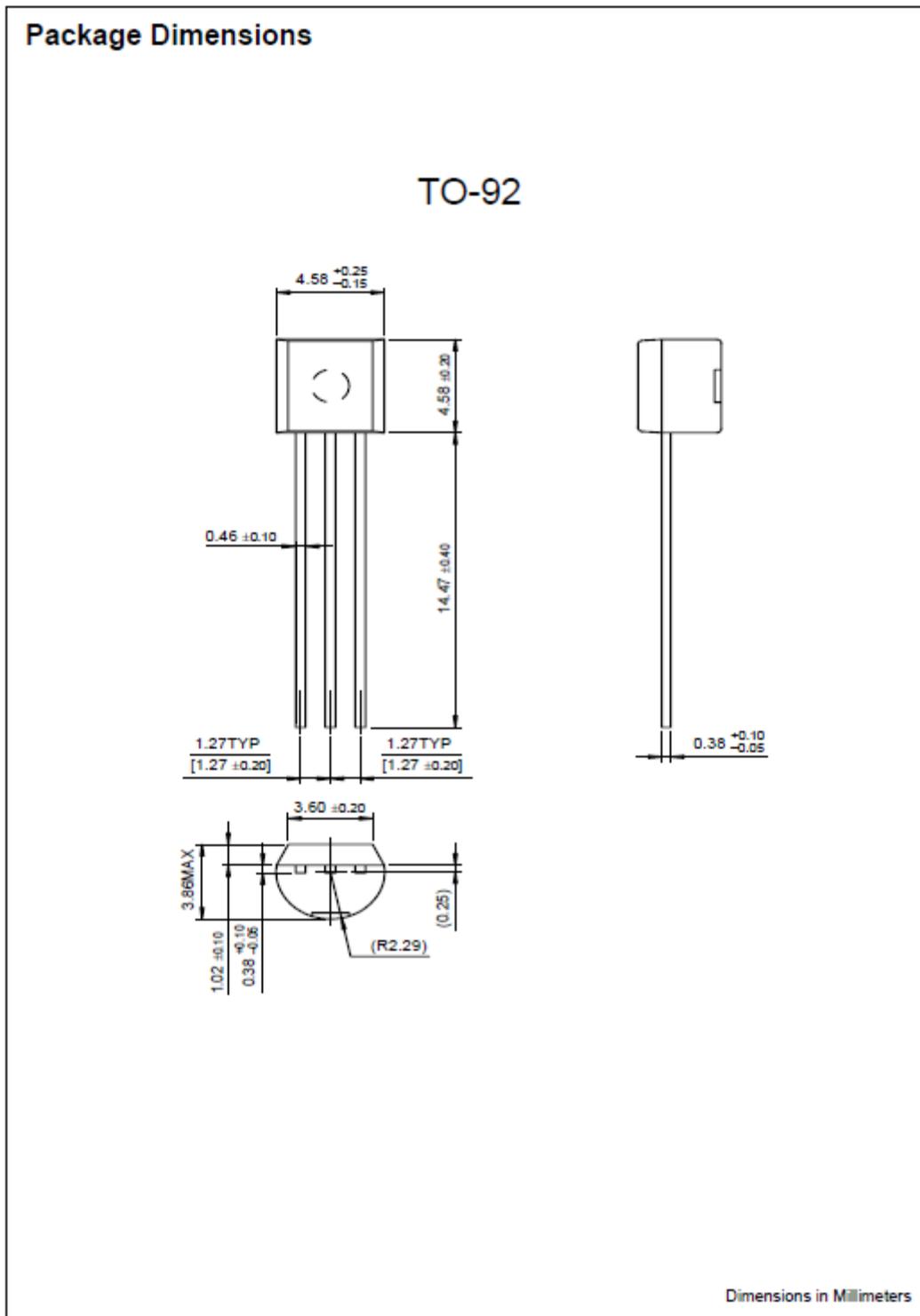


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel



BC546/547/548/549/550

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.26.- IRF1324

International
IRF Rectifier

PD - 96199A

IRF1324PbF

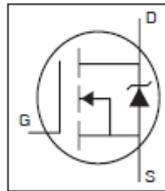
HEXFET® Power MOSFET

Applications

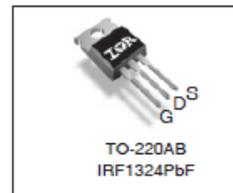
- High Efficiency Synchronous Rectification in SMPS
- Uninterruptible Power Supply
- High Speed Power Switching
- Hard Switched and High Frequency Circuits

Benefits

- Improved Gate, Avalanche and Dynamic dV/dt Ruggedness
- Fully Characterized Capacitance and Avalanche SOA
- Enhanced body diode dV/dt and dI/dt Capability
- Lead-Free



V_{DSS}		24V
$R_{DS(on)}$	typ.	1.2m Ω
	max.	1.5m Ω
I_D (Silicon Limited)		353A ①
I_D (Package Limited)		195A



G	D	S
Gate	Drain	Source

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Silicon Limited)	353 ①	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Silicon Limited)	249 ①	
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Wire Bond Limited)	195	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ②	1412	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Maximum Power Dissipation	300	W
	Linear Derating Factor	2.0	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
dV/dt	Peak Diode Recovery ③	0.46	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds (1.6mm from case)	300	

Avalanche Characteristics

E_{AS} (Thermally limited)	Single Pulse Avalanche Energy ④	270	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ⑤	See Fig. 14, 15, 22a, 22b	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ⑥		mJ

Thermal Resistance

Symbol	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case ⑦	—	0.50	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient ⑧	—	62	

www.irf.com

1
09/24/09

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

IRF1324PbF

International
IOR Rectifier

Static @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{\text{BR(DSS)}}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	24	—	—	V	$V_{\text{GS}} = 0\text{V}$, $I_D = 250\mu\text{A}$
$\Delta V_{\text{BR(DSS)}/\Delta T_J}$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	22	—	mV/°C	Reference to 25°C , $I_D = 5.0\text{mA}$ ②
$R_{\text{DS(on)}}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	1.2	1.5	mΩ	$V_{\text{GS}} = 10\text{V}$, $I_D = 195\text{A}$ ③
$V_{\text{GS(th)}}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{\text{DS}} = V_{\text{GS}}$, $I_D = 250\mu\text{A}$
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	20	μA	$V_{\text{DS}} = 24\text{V}$, $V_{\text{GS}} = 0\text{V}$
		—	—	250	μA	$V_{\text{DS}} = 24\text{V}$, $V_{\text{GS}} = 0\text{V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	200	nA	$V_{\text{GS}} = 20\text{V}$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-200	nA	$V_{\text{GS}} = -20\text{V}$
R_{g}	Internal Gate Resistance	—	2.3	—	Ω	

Dynamic @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
g_{fs}	Forward Transconductance	180	—	—	S	$V_{\text{DS}} = 10\text{V}$, $I_D = 195\text{A}$
Q_g	Total Gate Charge	—	160	240	nC	$I_D = 195\text{A}$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	84	—	nC	$V_{\text{DS}} = 12\text{V}$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	49	—	nC	$V_{\text{GS}} = 10\text{V}$ ④
Q_{sync}	Total Gate Charge Sync. ($Q_g - Q_{\text{gd}}$)	—	76	—	nC	$I_D = 195\text{A}$, $V_{\text{DS}} = 0\text{V}$, $V_{\text{GS}} = 10\text{V}$
$t_{\text{d(on)}}$	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	$V_{\text{DD}} = 16\text{V}$
t_r	Rise Time	—	190	—	ns	$I_D = 195\text{A}$
$t_{\text{d(off)}}$	Turn-Off Delay Time	—	83	—	ns	$R_{\text{g}} = 2.7\Omega$
t_f	Fall Time	—	120	—	ns	$V_{\text{GS}} = 10\text{V}$ ④
C_{iss}	Input Capacitance	—	7590	—	pF	$V_{\text{GS}} = 0\text{V}$
C_{oss}	Output Capacitance	—	3440	—	pF	$V_{\text{DS}} = 24\text{V}$
C_{rds}	Reverse Transfer Capacitance	—	1960	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
$C_{\text{oss eff. (ER)}}$	Effective Output Capacitance (Energy Related)	—	4700	—	pF	$V_{\text{GS}} = 0\text{V}$, $V_{\text{DS}} = 0\text{V}$ to 19V ⑤, See Fig. 11
$C_{\text{oss eff. (TR)}}$	Effective Output Capacitance (Time Related)	—	4490	—	pF	$V_{\text{GS}} = 0\text{V}$, $V_{\text{DS}} = 0\text{V}$ to 19V ⑥

Diode Characteristics

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	353 ⑦	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ⑧	—	—	1412	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_S = 195\text{A}$, $V_{\text{GS}} = 0\text{V}$ ⑨
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	46	—	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $V_R = 20\text{V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$, $I_F = 195\text{A}$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	160	—	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$, $di/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ ⑩
I_{RRM}	Reverse Recovery Current	—	7.7	—	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by LS+LD)				

Notes:

- ① Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Bond wire current limit is 195A. Note that current limitation arising from heating of the device leads may occur with some lead mounting arrangements.
- ② Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature.
- ③ Limited by T_{Jmax} , starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 0.014\text{mH}$
 $R_{\text{g}} = 25\Omega$, $I_{\text{AS}} = 195\text{A}$, $V_{\text{GS}} = 10\text{V}$. Part not recommended for use above this value.
- ④ $I_{\text{SD}} \leq 195\text{A}$, $di/dt \leq 450\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{\text{DD}} \leq V_{\text{BR(DSS)}}$, $T_J \leq 175^\circ\text{C}$.

⑤ Pulse width $\leq 400\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.

⑥ $C_{\text{oss eff. (TR)}}$ is a fixed capacitance that gives the same charging time as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .

⑦ $C_{\text{oss eff. (ER)}}$ is a fixed capacitance that gives the same energy as C_{oss} while V_{DS} is rising from 0 to 80% V_{DSS} .

⑧ R_{g} is measured at T_J approximately 90°C

www.irf.com

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.27.- VARISTOR

TransGuard®



AVX Multilayer Ceramic Transient Voltage Suppressors

GENERAL DESCRIPTION

The AVX TransGuard® Transient Voltage Suppressors (TVS) with unique high-energy multilayer construction represents state-of-the-art overvoltage circuit protection. Monolithic multilayer construction provides protection from voltage transients caused by ESD, lightning, NEMP, inductive switching, etc. True surface mount product is provided in EIA industry standard packages. Thru-hole components are supplied as conformally coated axial devices.

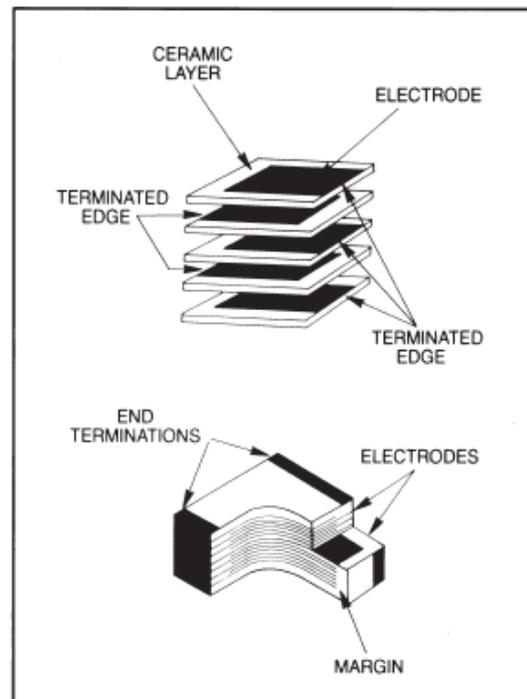
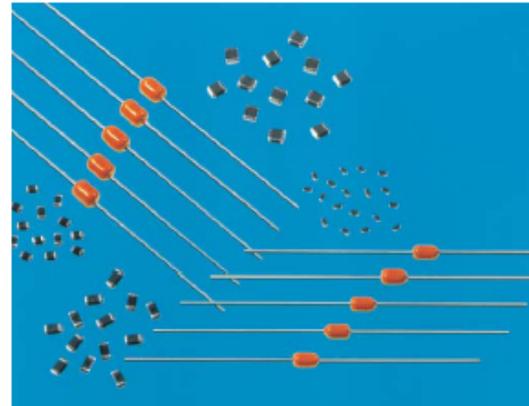
TRANSGUARD® DESCRIPTION

TransGuard® products are zinc oxide (ZnO) based ceramic semiconductor devices with non-linear voltage-current characteristics (bi-directional) similar to back-to-back zener diodes. They have the added advantage of greater current and energy handling capabilities as well as EMI/RFI attenuation. Devices are fabricated by a ceramic sintering process that yields a structure of conductive ZnO grains surrounded by electrically insulating barriers, creating varistor-like behavior.

The number of grain-boundary interfaces between conducting electrodes determines "Breakdown Voltage" of the device. High voltage applications such as AC line protection require many grains between electrodes while low voltage requires few grains to establish the appropriate breakdown voltage. Single layer ceramic disc processing proved to be a viable production method for thick cross section devices with many grains, but attempts to address low voltage suppression needs by processing single layer ceramic disc formulations with huge grain sites has had limited success.

AVX, the world leader in the manufacture of multilayer ceramic capacitors, now offers the low voltage transient protection marketplace a true multilayer, monolithic surface mount varistor. Technology leadership in processing thin dielectric materials and patented processes for precise ceramic grain growth have yielded superior energy dissipation in the smallest size. Now a varistor has voltage characteristics determined by design and not just cell sorting whatever falls out of the process.

Multilayer ceramic varistors are manufactured by mixing ceramic powder in an organic binder (slurry) and casting it into thin layers of precision thickness. Metal electrodes are deposited onto the green ceramic layers which are then stacked to form a laminated structure. The metal electrodes are arranged so that their terminations alternate from one end of the varistor to the other. The device becomes a monolithic block during the sintering (firing) cycle providing uniform energy dissipation in a small volume.



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

TransGuard®



AVX Multilayer Ceramic Transient Voltage Suppressors

PART NUMBER IDENTIFICATION

Surface Mount Devices

Important: For part number identification only, not for construction of part numbers.

The information below only defines the numerical value of part number digits, and cannot be used to construct a desired set of electrical limits. Please refer to the TransGuard® part number data for the correct electrical ratings.

VC 1206 05 D 150 R P

TERMINATION FINISH:

P = Ni/Sn Alloy (Plated)
M = Ni/Sn Pb (Plated)

PACKAGING (Pcs/Reel):

STYLE	"D"	"R"	"T"	"W"
VC0402	N/A	N/A	N/A	10,000
VC0603	1,000	4,000	10,000	N/A
VC0805	1,000	4,000	10,000	N/A
VC1206	1,000	4,000	10,000	N/A
VC1210	1,000	2,000	10,000	N/A

CLAMPING VOLTAGE:

Where:	100 = 12V	500 = 50V
	150 = 18V	560 = 60V
	200 = 22V	580 = 60V
	250 = 27V	620 = 67V
	300 = 32V	650 = 67V
	390 = 42V	101 = 100V
	400 = 42V	121 = 120V

ENERGY:

Where:	A = 0.1J	J = 1.5J	S = 1.9-2.0J
	B = 0.2J <td>K = 0.6J <td>T = 0.01J </td></td>	K = 0.6J <td>T = 0.01J </td>	T = 0.01J
	C = 0.3J <td>L = 0.8J <td>U = 4.0-5.0J </td></td>	L = 0.8J <td>U = 4.0-5.0J </td>	U = 4.0-5.0J
	D = 0.4J <td>M = 1.0J <td>V = 0.02J </td></td>	M = 1.0J <td>V = 0.02J </td>	V = 0.02J
	E = 0.5J <td>N = 1.1J <td>W = 6.0J </td></td>	N = 1.1J <td>W = 6.0J </td>	W = 6.0J
	F = 0.7J <td>P = 3.0J <td>X = 0.05J </td></td>	P = 3.0J <td>X = 0.05J </td>	X = 0.05J
	G = 0.9J <td>Q = 1.3J <td>Y = 12.0J </td></td>	Q = 1.3J <td>Y = 12.0J </td>	Y = 12.0J
	H = 1.2J <td>R = 1.7J <td>Z = 25.0J </td></td>	R = 1.7J <td>Z = 25.0J </td>	Z = 25.0J

WORKING VOLTAGE:

Where:	03 = 3.3 VDC	18 = 18.0 VDC
	05 = 5.6 VDC <td>26 = 26.0 VDC </td>	26 = 26.0 VDC
	09 = 9.0 VDC <td>30 = 30.0 VDC </td>	30 = 30.0 VDC
	12 = 12.0 VDC <td>48 = 48.0 VDC </td>	48 = 48.0 VDC
	14 = 14.0 VDC <td>60 = 60.0 VDC </td>	60 = 60.0 VDC

CASE SIZE DESIGNATOR:

SIZE	LENGTH	WIDTH
0402	1.00±0.10mm (0.040"±0.004")	0.5±0.10mm (0.020"±0.004")
0603	1.60±0.15mm (0.063"±0.006")	0.8±0.15mm (0.032"±0.006")
0805	2.01±0.2mm (0.079"±0.008")	1.25±0.2mm (0.049"±0.008")
1206	3.20±0.2mm (0.126"±0.008")	1.60±0.2mm (0.063"±0.008")
1210	3.20±0.2mm (0.126"±0.008")	2.49±0.2mm (0.098"±0.008")

CASE STYLE:

C = Chip

PRODUCT DESIGNATOR:

V = Varistor

MARKING:

All standard surface mount TransGuard® chips will **not** be marked.

Axial Leaded Devices

Important: For part number identification only, not for construction of part numbers.

The information below only defines the numerical value of part number digits, and cannot be used to construct a desired set of electrical limits. Please refer to the TransGuard® part number data for the correct electrical ratings.

V A 1000 05 D 150 R L

LEAD FINISH:

Copper clad steel, solder coated

PACKAGING (Pcs/Reel):

STYLE	"D"	"R"	"T"
VA1000	1,000	3,000	7,500
VA2000	1,000	2,500	5,000

CLAMPING VOLTAGE:

Where:	100 = 12V	580 = 60V
	150 = 18V <td>650 = 67V </td>	650 = 67V
	300 = 32V <td>101 = 100V </td>	101 = 100V
	400 = 42V <td>121 = 120V </td>	121 = 120V

ENERGY:

Where:	A = 0.1J
	D = 0.4J
	K = 2.0J

WORKING VOLTAGE:

Where:	03 = 3.3 VDC	26 = 26.0 VDC
	05 = 5.6 VDC <td>30 = 30.0 VDC </td>	30 = 30.0 VDC
	14 = 14.0 VDC <td>48 = 48.0 VDC </td>	48 = 48.0 VDC
	18 = 18.0 VDC <td>60 = 60.0 VDC </td>	60 = 60.0 VDC

CASE SIZE DESIGNATOR:

SIZE	LENGTH	DIAMETER
1000	4.32mm (0.170")	2.54mm (0.100")
2000	4.83mm (0.190")	3.56mm (0.140")

CASE STYLE:

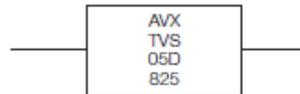
A = Axial

PRODUCT DESIGNATOR:

V = Varistor

MARKING:

All axial TransGuards® are marked with vendor identification, product identification, voltage/energy rating code and date code (see example below):



Where: AVX = Always AVX (Vendor Identification)
TVS = Always TVS (Product Identification - Transient Voltage Suppressor)
05D = Working VDC and Energy Rating (Joules)
Where: 05 = 5.6 VDC, D = 0.4J
725 = Three Digit Date Code
Where: 8 = Last digit of year (2008)
25 = Week of year



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.28.-PIC 2455



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1 Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Idle mode Currents Down to 5.8 μ A Typical
- Sleep mode Currents Down to 0.1 μ A Typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A Typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, Up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator Options allow Microcontroller and USB module to Run at Different Clock Speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns (TCY/16)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (TCY)
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-Bit, Up to 13-Channel Analog-to-Digital Converter (A/D) module with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with Optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory Typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory Typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 Years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
- Optional Dedicated ICD/ICSP Port (44-pin, TQFP package only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		USART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

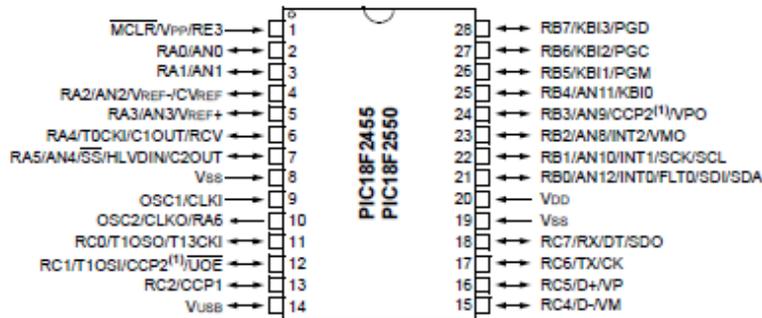
DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

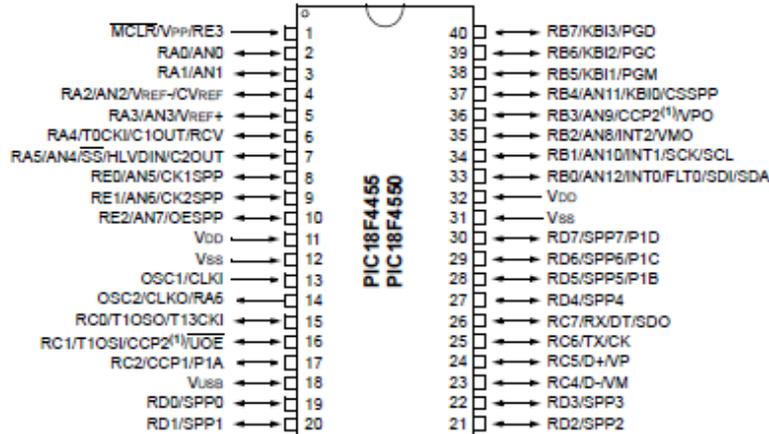
PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams

28-Pin PDIP, SOIC



40-Pin PDIP

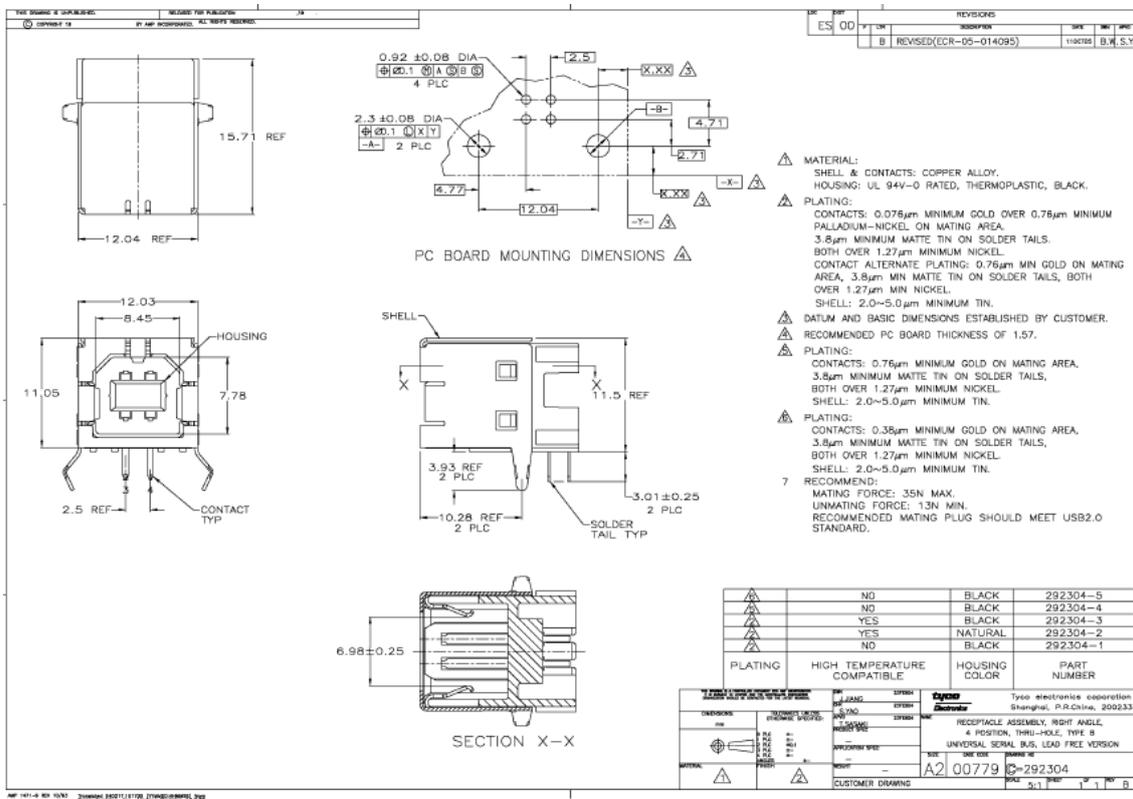


Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.1.29.- CONECTOR USB



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.2 Anexo II: Tabla Comparativa

SENSOR	RANGO DE DETECCIÓN	VOUT/OUTPUT CURRENT	VCC	CONSUMO	CONDICIONES AMBIENTALES	TIEMPO DE RESPUESTA	PRECISIÓN	PRECIO	VIDA	FABRICA NTE
CO-TGS2442	30~1000 ppm	NF	5.0±0.2V DC	14 mW	NF	NF	NF	8.50 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIGARO
CO-TGS 5042	0~1000 ppm	1.0-3.75nA/ppm		ACTIVO	-10 ~ +60°C 5 ~ 99% RH	60 s	±20% 0-100ppm ±15% 100-500ppm	12.00 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIGARO
CO y Metano-TGS 3870	Metano 500~12500ppm CO 50~1000ppm	NF	5.0±0.2V DC pulse	38 mW	NF	VHH 5 s VHL 15 s Aplicados alternativa	Metano 0.5~0.65 1000- 3000ppm CO 0.06~100-300ppm	12.00 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIGARO
METAN O-TGS 2611	500~1,000 ppm	56 ± 5mA	5.0±0.2V AC/DC	280±25mW	NF	NF	0.60 ± 0.06 3000 9000 ppm	8.50 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIRARO
METAN O-TGS 6810	0 ~ 100% LEL	175 mA	3.0±0.1V AC/DC	525 mW	-10~50°C < 99% RH	< 15 s	12~18 mV en 5000ppm	10.00 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIGARO

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

SENSOR	RANGO DE DETECCIÓN	VOUT/OUTPUT CURRENT	VCC	CONSUMO	CONDICIONES AMBIENTALES	TIEMPO DE RESPUESTA	PRECISIÓN	PRECIO	VIDA	FABRICA NTE
AIR CONTA MINANT S-TGS 2602	1 ~ 30 ppm	56 ± 5mA	5.0± 0.2V DC	280 mW	NF	NF	NF	~ 10 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIGARO
SOLVE NT VAPOR S-TGS 2620	50 ~ 5000 ppm	42 ± mA	5.0± 0.2V AC/ DC	210 mW	NF	NF	NF	8.50 €	7 Años en 20°C y 40% RH	FIGARO
S+4CO	0 ~ 500 ppm	70 ± 15nA/ppm		ACTIVO	-20~50°C ±10% Presión	<30 s	1 ppm	\$ 36.00	24 Meses	SENSORS DIRECT
S+7CO	0 ~ 1000 ppm	100±20nA/ppm		ACTIVO	-20~50°C ±10% Presión	<30 s	0.5 ppm	\$ 38.00	24 Meses	SENSORS DIRECT
H2S-T50	0 ~ 50 ppm	0.04 µA/ppm		ACTIVO	-10~50°C TBD Presión TBD, 0 ~ 95% RH	< 10 s	0.1 ppm	TBD	> 24 Meses	SYNKERA
H2S-T90	0 ~ 50 ppm	0.04 µA/ppm		ACTIVO	-10~50°C TBD Presión TBD, 0 ~ 95% RH	< 30 s	0.1 ppm	TBD	> 24 Meses	SYNKERA
H2S- P/N714	1~100 ppm	5 VDC	9 - 24 VDC	~ 900 mW	NF	NF	NF	\$ 54	NF	SYNKERA
VCOs- P/N 707	10s to 1000s of ppm	5 VDC	9 - 24 VDC	~ 400 mW	-20~50°C 0-90% RH	< 1 min	NF	\$48	NF	SYNKERA
P/N 711	10~10000 ppm	5 VDC	9 - 24 VDC	~ 900 mW	-20~50°C 0-95% RH	< 1 min	NF	\$48	NF	SYNKERA

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

SENSOR	RANGO DE DETECCION	VOUT/OUTPUT CURRENT	VCC	CONSUMO	CONDICIONES AMBIENTALES	TIEMPO DE RESPUESTA	PRECISIÓN	PRECIO	VIDA	FABRICA NTE
CO-BX	0 ~ 2000 ppm	70 to 120 nA/ppm		ACTIVO	-30~50°C 80 to 120 kPa 15 to 90 rh	< 40 s	NF	44 €	> 24 Meses	ALPHASE NSE
H2S-A1	1~100 ppm	550 to 875 nA/ppm		ACTIVO	-30~50°C 80 to 120 kPa 15 to 90 RH	< 25 s	NF	44 €	> 24 Meses	ALPHASE NSE
FLAMMABLE GAS SENSOR CH-A3	0 – 100 % LEL	15 to 21 mV/% metano			-40~55°C 0 to 75 kPa	<15 (Typically <7)	NF	42€	> 24 Meses	ALPHASE NSE

TABLA COMPARATIVA DE SENSORES

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.3 Anexo III: Facturas Proforma

7.3.1- Proforma Alphasense

PROFORMA ACKNOWLEDGEMENT

GB Vat No: 688301122



Alphasense Ltd

Sensor Technology House
300 Avenue West
Skyline 120, Great Notley
Essex. CM77 7AA UK

Tel: +44 (0) 1376 556 700
Fax: +44 (0) 1376 335 899

Terms of Payment: PROFORMA

Customer No: 2518
Order Date: 30-Nov-09
Cust PO: 100058745
Order No: 20197

PROFORMA

INVOICE ADDRESS

Universidad Carlos III de Madrid
Adva de la Universidad No 30
Leganes

DELIVERY ADDRESS

* 1

Delivery as Invoice Address

28911

Spain

LINE NO	ITEM NUMBER AND DESCRIPTION	QTY	UNIT PRICE	LINE TOTAL	DELIVERY
1	000-00CO-BX Carbon Monoxide Sensor CO-BX	2	64.00	128.00	After receipt
2	000-0H2S-A1 Hydrogen Sulfide Sensor H2S-A1	2	44.00	88.00	After receipt
3	000-CHA3-00 Pellistor CH-A3	2	42.00	84.00	After receipt
4	H & S Handling and Shipping Costs	1	50.00	50.00	

UPS c&p

VAT: Q-2818029G

FAO: Alberto Jardon Huete Tel: +34 91 624 6242

SAMPLE PRICING - SMALL ORDER HANDLING CHARGE WAIVED.
GOODS SHIPPED 3-5 WORKING DAYS AFTER RECEIPT OF €350
INTO OUR EURO BANK ACCOUNT.

Lloyds TSB Bank PLC, Bank Street Braintree Branch,
2 Bank Street, Braintree, Essex. CM7 1UN
Euro Account Code: 86279744
IBAN: GB79 LOYD 3091 1486 2797 44
BIC/SWIFT: LOYDGB21266

If not paid within 30 days, this Proforma offer becomes Null and Void

The above is subject to Carriage and Processing Charges

All prices are quoted F.O.B. London unless otherwise stated

[Please Pay by Electronic Bank Transfer to Alphasense Ltd at Lloyds TSB PLC](#)

Currency Code: EUR

Total Order Value: 350.00

If you have any questions concerning this Order, call Jean Hill
on +44 (0) 1376 556 700



This Order is subject to Alphasense Terms and Conditions of Sale

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.3.2- Proforma Synkera

Synkera Technologies Inc.
2021 Miller Drive - Suite B
Longmont, CO 80501

Invoice

Date	Invoice #
11/27/2009	1370

Bill To
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ADVA DE LA UNIVERSIDAD Nº 30, 28911- LEGANES SPAIN Attn: Dr. Ing. Alberto Jardón Huete

P.O. No.	Terms	Project
	Credit Card	

Quantity	Description	Rate	Amount
	PRO FORMA INVOICE		
3	VOC sensor	48.00	144.00
	Shipping	100.00	100.00
	Payment by credit card is required for international orders <US\$1000. Bank transfers can be negotiated for international order of >US\$1000, however a \$100 transaction fee applies to all bank transfers. International shipping will be via UPS, no exceptions. All customs, duties, import taxes (as applicable) are the responsibility of the buyer.	0.00	0.00
		Total	\$244.00

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.3.3- Proforma Monolitic



Factura Proforma

Pág. 1

MONOLITIC, S.A.

Avda. Vallcarca, 78-80

08023 BARCELONA

SPAIN

UNIVERSIDAD CARLOS III MADRID
AVDA. DE LA UNIVERSIDAD Nº 30
28911 LEGANÉS
MADRID
España

Nº teléfono 34 93285 92 92

Nº fax 34 93284 11 93

CIF/NIF A08747206

10. Diciembre 2009

Factura-a Nº cliente 101834

Fecha envío 10/12/09

CIF/NIF Q2818029G

Nº pedido cliente ALBERTO JARDON

Vendedor BCL ZONA CENTRO

Nº pedido PV40814

Su Código	Referencia	Descripción	Cantidad	Precio venta	Importe
	TGS2602	GAS SENSOR CONTROL CALIDAD AIRE V	3	9,00	27,00
	TGS2620	GAS SENSOR SOLVENT VAPOUR	3	8,50	25,50
		PORTES	1	12,00	12,00
Total EUR IVA+RE excl.					64,50
Importe IVA					10,32
Total EUR IVA+RE incl.					74,82

Especificar importe IVA

Identific IVA	% IVA	% RE	Importe línea	Base descuento fa	Dto. factura y P.P.	Base IVA+RE	Importe IVA	Importe RE
IVA16	16	0,00	64,50	64,50	0,00	64,50	10,32	0,00

Términos pago TRANSFERENCIA 2100-0763-99-0200049104
Código IBAN: ES04 2100 0763 9902 0004 9104
Forma pago PAGO AVANZADO
Condiciones envío PORTES DEBIDOS



DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

7.4 Anexo IV: Presupuesto

COMPONENTES ACTIVOS				
<i>REFERENCIA</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD(UN)</i>	<i>PRECIO UNITARIO(€)</i>	<i>IMPORTE(€)</i>
IRF1324	Mosfet de potencia	6	3.24	19.44
BJT547B	Transistor bipolar NPN	1	0.116	0.116
ULN2802A	Array de transistores NPN	1	0.534	0.534
JTK1524D05	Convertidor DC/DC	1	48.51	48.51
PIC18F4550	Microcontrolador	1	5.61	5.61
AD708	Amplificador Operacional	6	6.87	41.22
828548-2	Conector cable → placa	1	0.318	0.318
2411 03	Conector hembra USB tipo B	1	0.59	0.59
SUBTOTAL				116.338 €

COMPONENTES PASIVOS				
<i>REFERENCIA</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD(UN)</i>	<i>PRECIO UNITARIO(€)</i>	<i>IMPORTE(€)</i>
SFR25	Resistencias	13	0.033	0.396
4606X-101-473LF	Array de resistencias	2	0.352	0.704
VC080509A200DP	Varistor 9Vdc	1	0.454	0.454
PV36W203C01B00	Resist. Variable Multivuelta	11	1.21	13.31
3SURC	LED	2	0.28	0.56
ELC10D120E	Inductor	1	1.062	1.062
NPX105K275VX2MF	Condensador cerámico	4	0.318	1.272
489D106X0035F6VE3	Condensador Tántalo	1	1.942	1.942
UPW1C220MDD	Condensador de aluminio	3	0.154	0.462
SUBTOTAL				20.702 €

PCB				
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD(UN)</i>	<i>PRECIO UNITARIO(€)</i>	<i>IMPORTE(€)</i>	
Set up para el diseño de PCB	1	200	200	
Fabricación de PCB	1	100	100	
SUBTOTAL				300€

SENSORES				
<i>REFERENCIA</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD(UN)</i>	<i>PRECIO UNITARIO(€)</i>	<i>IMPORTE(€)</i>
TGS 5042	Sensor de CO	1	12	12
TGS 825	Sensor de H ₂ S	1	10	10
P/N 707	Sensor de Tolueno	1	16	16
TGS 2620	Sensor de Etanol	1	8.50	8.50
TGS 2602	Sensor de Tolueno y Etanol para bajas concentraciones	1	9	9
TGS 6810	Sensor de Metano	1	10	10
SUBTOTAL				65.5 €

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

RECURSOS HUMANOS			
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD(H)</i>	<i>PRECIO UNITARIO(€)</i>	<i>IMPORTE(€)</i>
<i>Búsqueda, gestión y aprovisionamiento de materiales, muy especialmente los sensores.</i>	250	30.63	7657.5
<i>Creación de placa de prueba y test</i>	40	30.63	1225.2
<i>Diseño de PCB de gases</i>	40	30.63	1225.2
<i>Programación del microcontrolador</i>	16	30.63	490.08
<i>Puesta en marcha</i>	8	30.63	245.04
<i>Pruebas funcionales</i>	8	30.63	245.04
<i>Documentación</i>	40	30.63	1225.2
		SUBTOTAL	12313.26 €
		TOTAL	12815.85€

DESARROLLO PLACA SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DE GASES TÓXICOS EN TUNELADORA EN ESCUDO ABIERTO

Julián García Pimentel

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PALLÁS-ARENY, Ramón. *Sensores y acondicionadores de señal*. 4ª Edición. MARCOMBO, S.A., 2005. 494p. ISBN: 84-267-1344-0
- [2] BOLTON, William. *Mediciones y pruebas eléctricas y electrónicas*. 10ª Edición. MARCOMBO, S.A., 1995. 332 p. ISBN: 84-267-1032-8
- [3] MARTÍ, MARC. Documento interno EUROHINCA. Departamento técnico. 2009
- [4] CHOY, Jack. *Hazardous Gas Monitors: A Practical Guide to Selection, Operation and Applications*. SciTech Publishing. 2000. 260 p. ISBN 10: 00-713-5876-5. ISBN 13: 9780071358767.
- [5] ESPINOSA PIRAGUA, Edwin H. “Desarrollo y fabricación de sensores basado en nanotubos de carbono para la detección de gases tóxicos”. Directores: Dr. Eduard Llobet Valero, Dr Radu Ionescu. Universitat Rovira I Virgili, Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática. 2008.
- [6] PÉREZ GARCÍA, M. A; et al. *Instrumentación Electrónica*. Paraninfo, S.A. 2003. 862 p. ISBN: 84-9732-166-9
- [7] ESPÍ LÓPEZ, J; CAMPS-VALLS, G; MAGDALENA BENEDITO, R. *SINTESIS DE REDES: IMPEDANCIAS Y FILTROS*. 1ª Edición. Delta Publicaciones. 244 p. ISBN: 978-84-92453-01-6.
- [8] Wikipedia, <http://www.wikipedia.org/>
- [9] “MPLAB® C18 C Compiler User’s Guide”, Microchip Technology Inc., 2005 y Nota de Aplicación AN956. <http://www.microchip.com/>
- [10] Eurohinca, <http://eurohinca.com/>
- [11] Conducciones y vías, <http://www.conyvias.com/Hinca.html>
- [12] Microtunel, <http://www.microtunel.com/>
- [13] Hincatubo perforación horizontal, <http://www.hincatubo.com/>
- [14] Prefabricados Alberdi, http://www.prefabricadosalberdi.com/tuberia_hinca.htm
- [15] Roboticlub, <http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/>
- [16] SÁENZ DE SANTA MARÍA GATÓN, Ignacio. Documento “ESTIMACION DE COSTE Y PLAZO DE EJECUCION EN PROYECTOS DE TUNELES MECANIZADOS”
<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/4777/6/06.pdf>