



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ÁREA DE INGENIERÍA EN COMPUTADORES

LABORATORIO DE ELEMENTOS ACTIVOS

Informe Final: Sistema de detección y alerta de fugas de gas

Estudiantes:

Arturo CHINCHILLA S.
Gustavo SEGURA U.

Profesor:

Ing. José Alberto DÍAZ G

8 de marzo de 2019

Índice

1. Comprensión del Problema	3
2. Investigación	3
2.1. Sensores de gas	3
2.1.1. Tipos disponibles	3
2.1.2. Aplicación estándar	4
2.2. Tipos de gas de consumo casero	5
2.2.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)	5
2.2.2. Gas Natural Licuado (GNL)	6
2.3. Concentración peligrosa	6
2.3.1. Inflamabilidad	6
2.3.2. Otros peligros	7
2.4. Instalación de sensores	7
3. Estimación de la solución	7
3.1. Modulo de detección	8
3.1.1. Detección de concentración de gas	8
3.1.2. Sistema de alerta	8
3.1.3. Manejo de consumo energético	8
3.1.4. Envío de datos	8
3.1.5. Carcasa	8
3.2. Modulo de alerta	8
3.2.1. Recepción de datos	8
3.2.2. Nivel de concentración	8
3.2.3. Alerta	8
3.3. Sistema externo de calibración	8
4. Objetivos de la solución	9
4.1. Objetivo General	9
4.2. Objetivos Específicos	9
5. Cálculo y dimensionamiento de componentes	9
5.1. Comparadores de tensión	9
5.1.1. Comparador de nivel alto	10
5.1.2. Comparador de nivel medio	10
5.1.3. Comparador de nivel bajo	10
5.1.4. Implementación en el circuito	11
5.2. LED's Indicadores	11
5.2.1. LED rojo	12
5.2.2. LED amarillo	12
5.2.3. LED verde	12
5.3. Detector de batería baja	12
5.3.1. Datos y ecuaciones conocidas del transistor	13
5.3.2. Cálculo de las resistencias	13
6. Conclusiones	14

Índice de figuras

1. Características de sensibilidad del MQ-4	4
2. Características de sensibilidad del MQ-6	4
3. Circuito de medición de recomendado por el fabricante	5
4. Valores promedio de especificaciones del año 2017	5
5. Triangulo de inflamabilidad	6
6. Límite de inflamabilidad del GLP	6
7. Comparador con referencia mediante un divisor de voltaje	9

8.	Implementación de los comparadores	11
9.	Circuito detector de batería baja	12

Índice de cuadros

1. Comprensión del Problema

En Costa Rica, al menos 655.000 hogares y comercios utilizan el Gas Licuado de Petróleo (GLP), esto según datos de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (Aresep). Este GLP es transportado habitualmente mediante tanques o cilindros sellados, que utilizan una válvula de acople para la regulación de la salida del gas para su consumo.

Autoridades del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica y La Defensoría de los Habitantes hacen referencia a graves omisiones en el Reglamento Técnico para la Regulación del Servicio Público del Gas Licuado de Petróleo (GLP) en lo referido al envasado, almacenamiento, transporte, distribución, venta al detalle. Se señala principalmente que se carece de especificaciones técnicas, no establece el uso de nuevas válvulas más seguras (válvulas de rosca), ya que las actuales (de acople) están obsoletas y presentan continuamente un mal funcionamiento (se les atribuye 90 % de las emergencias relacionadas con gas), o el retiro de envases (tanques/cilindros) viejos que presentan desgaste, abolladuras, u otros daños y ya cumplieron su vida útil.

“Existe la preocupación de que el reglamento no es estricto en cuanto a la prohibición de la válvula de acople rápido. Desde el principio, esa fue la lucha que se dio”, explicó el director general de Bomberos, Héctor Chaves.[1]

Emergencias por cilindros y válvulas de gas en Costa Rica:

- En 2017 fueron 4.300
- En 2016 fueron 4.113
- En 2015 fueron 4.769
- En 2014 fueron 5.363
- En 2013 fueron 6.837

Fuente: Cuerpo de Bomberos de Costa Rica

2. Investigación

2.1. Sensores de gas

Los sensores de la familia MQ son dispositivos dedicados a la detección de diferentes tipos de gases. Compuestos internamente por un material sensible al gas correspondiente, el cual varía su conductividad según la concentración de este en el ambiente, variable que puede ser convertida a una señal de voltaje interpretable por un microcontrolador o circuito discreto.

2.1.1. Tipos disponibles

MQ-4 Posee una alta sensibilidad al gas Metano, pero su medición puede ser distorsionada por la presencia de alcohol, humo de cigarrillos y vapores generados en las cocinas.

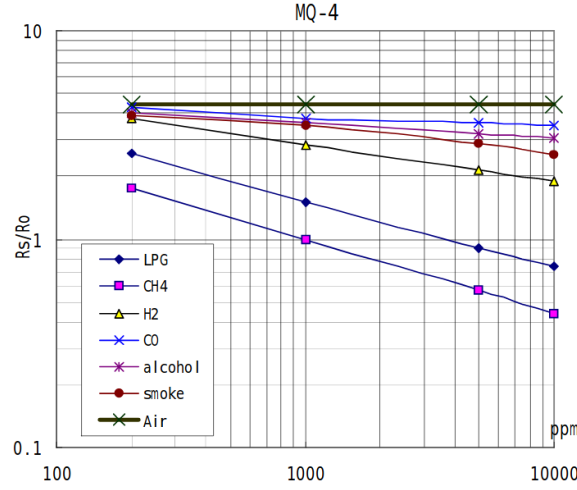


Figura 1: Gráfica de características de sensibilidad del MQ-4 ante la presencia de gases

R_0 : Resistencia del sensor antes la presencia de 1000ppm de Metano en aire limpio. R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

MQ-6 Enfocado a la detección de LPG, Propano y Metilpropano, posee una baja sensibilidad ante el alcohol y el humo.

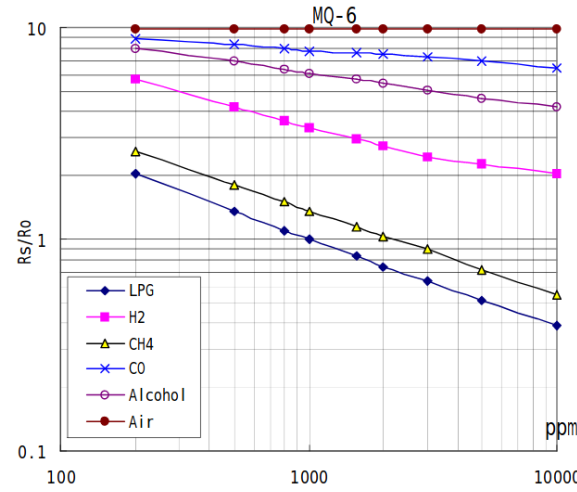


Figura 2: Gráfica de características de sensibilidad del MQ-6 ante la presencia de gases.

R_0 : Resistencia del sensor antes la presencia de 1000ppm de GLP en aire limpio. R_s : Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

2.1.2. Aplicación estándar

El fabricante proporciona un circuito de medición recomendado para sus sensores, en que se da como señal de salida un voltaje analógico proporcional a la concentración de gas en el ambiente.

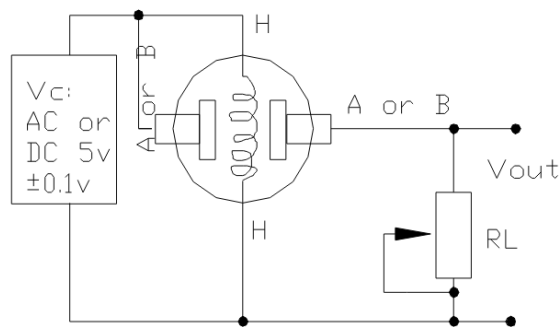


Figura 3: Circuito de medición de recomendado por el fabricante

Circuito

Ajuste de sensibilidad Debido a que ambos sensores son sensibles a diferentes tipos de gas, es altamente recomendado realizar una calibración para poder obtener el valor de voltaje correspondiente a una concentración significativa de gas. Los puntos de calibración recomendados son:

- MQ-4: a 5000ppm de Metano con $R_L = 20K\Omega$
- MQ-6: a 1000ppm de GLP con $R_L = 20K\Omega$

2.2. Tipos de gas de consumo casero

2.2.1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es la mezcla de gases condensables provenientes del proceso de refinación del petróleo, también se origina de la producción y procesamiento del gas natural, este último energético se está convirtiendo en la principal fuente del GLP en los países productores de hidrocarburos. El mismo es inodoro e incoloro, pero se le adiciona un odorizante (un metil mercaptano) que le otorga un olor pestilente para posibilitar su identificación en caso de fugas. Los tipos de GLP dependen de los componentes, puede ser solo propano, solo butano o una mezcla de ambos y en menor proporción también están presentes etileno, propileno, butileno y pentano.[3]

Propiedad	Mínimo	Promedio	Máximo	Límite de Especificación	Método
Densidad a 15 °C, kg/m³	521,0	536,3	558,0	Reportar	ASTM D-1657
Mercaptanos (como etil-Mercaptano), mg/L	14,0	17,0	24,0	12 a 24	ASTM D-5305
<i>Composición, %:</i>					
Fracción volumen de Metano	0,0	0,03	4,3	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Etano	0,0	1,46	8,99	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Etileno	0,0	0,0	0,0	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Propano	61,4	74,5	80,1	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Propileno	0,0	0,03	0,25	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Acetileno	0,0	0,0	0,05	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Propano + livianos	61,5	76,1	82,6	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Butanos	12,2	23,7	37,7	Máximo 40	ASTM D2163
Fracción volumen de Butenos	0,0	0,4	14,4	Reportar	ASTM D2163
Fracción volumen de Pentano + pesados	0,0	0,07	0,9	Máximo 2,0	ASTM D2163
Presión de Vapor manométrica 37,8 °C, kPa	847,0	939,6	1000,0	Máximo 1434	ASTM D-1267
Volatilidad (Temperatura de la fracción del 95 % evaporado), °C	-9,0	-0,2	2,2	Máximo 2,2	ASTM D-1837
Relación Vapor/Líquido	243,0	253,5	262,0	No aplica	
Coefficiente Expansión Térmica del Gas (10⁻⁶/ °C)	700,0	1023,3	1200,0	No aplica	

Figura 4: Valores promedio de especificaciones del año 2017. Fuente: Departamentos Control de Calidad Central Pacífica y Caribe

2.2.2. Gas Natural Licuado (GNL)

El GNL es gas natural que ha sido sometido a un proceso de licuefacción, que consiste en llevarlo a una temperatura aproximada de $-1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ con lo que se consigue reducir su volumen en 600 veces. Esto permite transportar una cantidad importante de gas en buques llamados metaneros. El GNL se halla en estado líquido mientras que el gas seco (que viaja por gasoducto) se encuentra en estado gaseoso.[4]

2.3. Concentración peligrosa

2.3.1. Inflamabilidad

Propiedad que muestra la facilidad de un material para hacer combustión. También se puede definir como un conjunto de condiciones (presión, temperatura, mezcla de gases) en la que un material o sustancia inflamable producirá suficientes vapores que mezclados con el aire harán combustión aplicando una fuente de calor o ignición.

Cuando se estudian gases como material inflamable, se tiene que para que exista combustión deben estar presentes tres elementos básicos:

- Combustible (El gas inflamable).
- Oxígeno del Aire.
- Fuente de calor/ignición (chispa, llama, calor, etc).

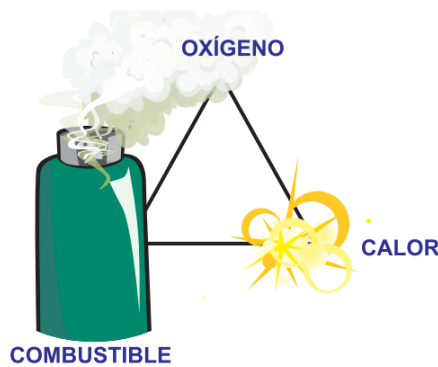


Figura 5: Triangulo de inflamabilidad

Cuando estos tres elementos se mezclan en las proporciones adecuadas, se produce la combustión, es decir, la mezcla gas-aire(oxígeno) sólo será explosiva si la concentración de gas se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad, y además el aire cuenta con suficiente oxígeno.

■ GLP

En el caso del GLP los límites de inflamabilidad están dados por:

- Inferior: 2.1 % vol.
- Superior: 9.6 % vol.

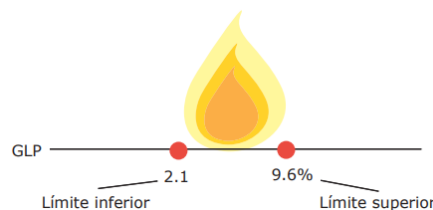


Figura 6: Límite de inflamabilidad del GLP

Esto quiere decir que una mezcla de GLP-Aire sólo presentará combustión cuando el gas alcance una concentración entre 2.1 y 9.6 % (97.1 y 90.4 % de aire respectivamente). Entonces, una concentración de gas que se encuentre por debajo o por encima de estos límites será rica en aire o rica en gas, por consiguiente no habrá combustión al contacto con una fuente de ignición.

- GNL

En el caso del Gas Natural Licuado, los límites de inflamabilidad están dados por:

- Inferior: 4.4 % vol.
- Superior: 17 % vol.

Al igual que en el caso del GLP, concentraciones de gas inferiores o superiores de éstos límites no ocasionarán combustión al contacto con una fuente de ignición.

2.3.2. Otros peligros

- Inhalación(Asfixiante simple): Una alta concentración de gas en ausencia de ventilación puede desplazar el oxígeno del aire respirable a niveles inferiores al 18 % en el aire inhalado, ocasionando anoxia (falta o disminución de oxígeno en las células, los órganos o la sangre), además de síntomas tales como respiración agitada, mente embotada, incoordinación, pérdida del juicio y puede resultar en pérdida de conciencia. Si la concentración de oxígeno es reducida al 6- 8 % o menos la pérdida de conciencia puede generar la muerte.
- Contacto con los ojos: Exposición a los vapores puede causar irritación de los ojos y quemaduras por congelamiento.
- Contacto con la piel: Contacto con el gas licuado puede producir congelamiento y severas quemaduras de piel que podría resultar en serios daños.

2.4. Instalación de sensores

Según la empresa Crowcon algunos de los factores a valorar durante la instalación de un sistema de detección de gas son:

Mantenimiento

- Los dispositivos instalados deben ser accesibles para su futura revisión y mantenimiento.
- Los cables y conectores deben estar protegidos contra daño mecánico.
- Los sensores utilizados no deben ser afectados por otras sustancias presentes en el ambiente.
- Los detectores deben ser seleccionados para tener una larga durabilidad y resistencia al entorno en el que serán instalados (humedad, temperatura, polvo, etc).

Área de cobertura Se recomienda que haya aproximadamente un dispositivo por cada $100m^2$, dando prioridad a la ubicaciones donde podría ocurrir una fuga.

Altura del sensor Una vez que se han decidido las ubicaciones de los sensores, la altura de estos va a depender del gas que se desea detectar. Para gases más livianos que el aire deben instalarse por sobre el punto donde pueden ocurrir las fugas, mientras que para sustancias más densas son colocados a nivel del suelo o en ductos de ventilación por donde pueden fluir.

3. Estimación de la solución

Tomando en cuenta los temas investigados y la información brindada por el Cuerpo Benemérito de Bomberos, se plantea el desarrollo de 2 subsistemas que den una solución integral al problema. Abordando tanto la detección de niveles peligrosos de gas, como la notificación a los usuarios en riesgo.

3.1. Modulo de detección

Modulo encargado de la medición de la concentración de los gases. Este debe ser colocado cerca de los posibles puntos de fuga.

3.1.1. Detección de concentración de gas

Mediante el uso de los sensores de la familia MQ es posible obtener una señal correspondiente a la concentración del gas correspondiente en el ambiente, la cual es analizada para detectar los puntos críticos y disparar las siguientes etapas de alerta.

3.1.2. Sistema de alerta

El modulo consta de un LED y un buzzer (parlante) que se activaran exclusivamente al detectar un nivel peligroso. El ruido generado por este debe ser lo suficientemente alto como para ser escuchado con claridad por los usuarios a pesar del posible ruido presente en el área cercana.

3.1.3. Manejo de consumo energético

Debido a la criticidad del funcionamiento ininterrumpido del sistema, no es posible limitarse a una fuente de alimentación como un cargador USB o similares porque implicaría que este se detenga en caso de ocurrir un corte eléctrico. Para superar este reto se plantea el uso de baterías junto con un circuito encargado de detectar el punto de descarga de esta para notificar al usuario y que pueda ser reemplazada.

3.1.4. Envío de datos

El modulo de detección (junto con el cilindro o sistema de abastecimiento) no necesariamente se encontrará cerca de los usuarios. Por esto es requerido enviar la señal a un segundo sistema encarga exclusivamente de esta labor, el cual se instala donde pueda ser visto y escuchado de inmediato y con claridad.

3.1.5. Carcasa

Para proteger al sistema de riesgos externos como polvo y humedad, este debe ser contenido dentro de una carcasa adecuada a estas situaciones. Inicialmente se plantea su fabricación en acrílico mediante corte láser o impresión 3D.

3.2. Modulo de alerta

Sistema encargado de notificar a los usuarios en riesgo.

3.2.1. Recepción de datos

Se encarga de recibir los datos de uno o varios módulos de detección, activando el sistema de alerta inmediatamente a al ser notificado de un nivel critico.

3.2.2. Nivel de concentración

Conjunto de LEDs que le permiten al usuario identificar visualmente el nivel de gas en el ambiente.

3.2.3. Alerta

Sistema sonoro que notifica al usuario al activarse el sistema de detección.

3.3. Sistema externo de calibración

Para la etapa de pruebas, así como durante la instalación del sistema es necesario contar con un medidor de gas comercial que nos permita determinar lo niveles verdaderos de concentración de los gases y a su vez validando el correcto funcionamiento de los dispositivos diseñados.

4. Objetivos de la solución

4.1. Objetivo General

- La correcta detección de concentraciones riesgosas de gas de uso doméstico y comercial

4.2. Objetivos Específicos

1. Notificar de manera clara e inmediata al usuario durante una fuga de gas.
2. Funcionamiento autónomo, independiente del sistema eléctrico del edificio.
3. Capacidad de ajustarse ante el comportamiento normal del ambiente en el que será instalado.
4. Proporcionar a la sociedad una solución electrónica para la correcta detección de fugas de gas.
5. Disminuir la cantidad de emergencias atendidas por los cuerpos de emergencias referentes a fugas de gas.

5. Cálculo y dimensionamiento de componentes

5.1. Comparadores de tensión

Una configuración práctica para un comparador de tensión es el que utiliza un divisor de tensión para establecer una referencia (V_{REF}) de la forma:

$$V_{REF} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(+V) \quad (1)$$

Donde $+V$ representa la tensión de corriente directa que alimenta el Amplificador Operacional. En la figura 7 se muestra un ejemplo del circuito.

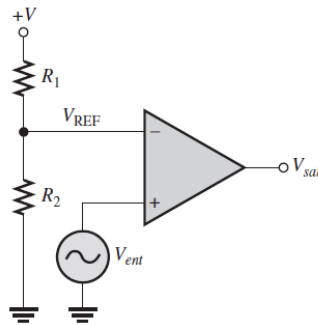


Figura 7: Comparador con referencia mediante un divisor de voltaje

Para el caso particular de este proyecto, se tienen tres niveles de comparación: bajo, medio y alto, para los cuales se establecen voltajes específicos donde el comparador se activará:

- Bajo: $0,25V$
- Medio: $0,5V$
- Alto: $0,75V$

NOTA: Estos valores pueden verse modificados por el potenciómetro de ajuste, que es el encargado de proporcionar la tensión de alimentación del AO y que por razones prácticas de facilidad para hacer los cálculos será de $1V$.

Teniendo la ecuación 1 y los valores de referencia, podemos calcular las resistencias R_1 y R_2 para cada nivel:

5.1.1. Comparador de nivel alto

$$\begin{aligned}\frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{V_{REF}}{(+V)} \\ \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{0,75V}{1V} \\ R_2 &= 0,75(R_1 + R_2) \\ R_2 &= 0,75R_1 + 0,75R_2 \\ R_2 - 0,75R_2 &= 0,75R_1 \\ 0,25R_2 &= 0,75R_1 \\ R_2 &= \frac{0,75R_1}{0,25} \\ R_2 &= 3R_1 \\ \Rightarrow R_1 &= 1k\Omega \\ \Rightarrow R_3 &= 3k\Omega\end{aligned}$$

5.1.2. Comparador de nivel medio

$$\begin{aligned}\frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{V_{REF}}{(+V)} \\ \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{0,5V}{1V} \\ R_2 &= 0,5(R_1 + R_2) \\ R_2 &= 0,5R_1 + 0,5R_2 \\ R_2 - 0,5R_2 &= 0,5R_1 \\ 0,5R_2 &= 0,5R_1 \\ R_2 &= R_1 \\ \Rightarrow R_1 &= 2k\Omega \\ \Rightarrow R_3 &= 2k\Omega\end{aligned}$$

5.1.3. Comparador de nivel bajo

$$\begin{aligned}\frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{V_{REF}}{(+V)} \\ \frac{R_2}{R_1 + R_2} &= \frac{0,25V}{1V} \\ R_2 &= 0,25(R_1 + R_2) \\ R_2 &= 0,25R_1 + 0,25R_2 \\ R_2 - 0,25R_2 &= 0,25R_1 \\ 0,75R_2 &= 0,25R_1 \\ R_1 &= \frac{0,75R_2}{0,25} \\ R_1 &= 3R_2 \\ \Rightarrow R_1 &= 3k\Omega \\ \Rightarrow R_3 &= 1k\Omega\end{aligned}$$

5.1.4. Implementación en el circuito

Ahora, los comparadores anteriores se pueden implementar, de manera que las resistencias de cada comparador sean compartidas entre ellos de la forma mostrada en la figura 8, donde las resistencias R_1 y R_2 para cada comparador es la suma algebraica de las resistencias R_1 y R_2 de los otros dos comparadores.

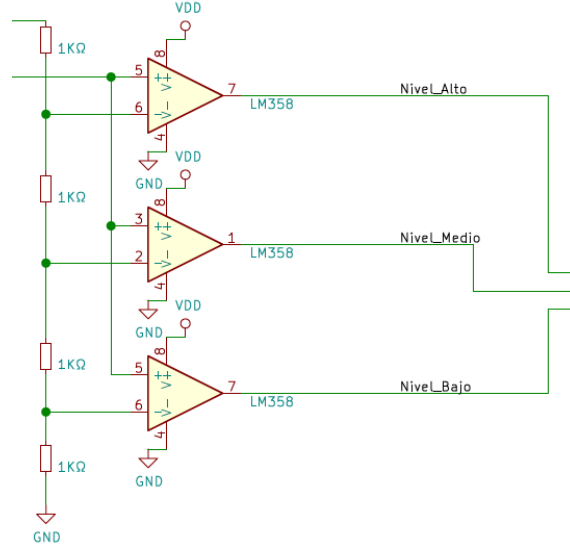


Figura 8: Implementación de los comparadores

Por ejemplo para el comparador en Nivel Alto:

$$R_1 = 1k\Omega$$

$$R_2 = 1k\Omega + 1k\Omega + 1k\Omega = 3k\Omega$$

5.2. LED's Indicadores

Un LED convencional puede soportar el paso de hasta 20mA de intensidad de corriente, entonces, se necesita utilizar una resistencia para regular la corriente y así evitar que los LED's se dañen.

Tampoco es recomendable utilizar el rango máximo de corriente soportado por el LED, sino más bien disminuirlo para evitar daños. Un rango aceptable está en los 17mA, donde el LED aún brilla con suficiente intensidad.

Para calcular estas resistencias no hace falta nada más que aplicar la Ley de Ohm que relaciona la tensión como el producto de la resistencia y el flujo de corriente:

$$V = I \times R \quad (2)$$

Y utilizando la ecuación 3 se puede despejar el valor de la resistencia para la corriente que circulará por el LED como:

$$R = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Entonces, utilizando la ecuación 2 para el caso particular de un LED, la resistencia se calcula como

$$R = \frac{V_{Fuente} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (4)$$

Donde:

V_{Fuente} : Tensión de alimentación.

V_{LED} : Tensión de caída típica en el LED.

I_{LED} : Corriente que atravesará el LED.

Tensiones de caída típicas:

- LED rojo: 1,7V
- LED amarillo: 2V
- LED verde: 2,1V

5.2.1. LED rojo

$$R_{LED\text{Rojo}} = \frac{5V - 1,7V}{17mA}$$

$$R_{LED\text{Rojo}} = 194,118\Omega$$

5.2.2. LED amarillo

$$R_{LED\text{Amarillo}} = \frac{5V - 2,1V}{17mA}$$

$$R_{LED\text{Amarillo}} = 170,588\Omega$$

5.2.3. LED verde

$$R_{LED\text{Verde}} = \frac{5V - 2V}{17mA}$$

$$R_{LED\text{Verde}} = 176,47\Omega$$

5.3. Detector de batería baja

En esta sección del circuito se hace uso de transistores de unión bipolar NPN, que según la hoja de datos del fabricante tiene una tensión Base-Emisor (V_{BE}) promedio de activación de 0,7V.

En estos transistores, el paso de la corriente entre las patillas correspondientes al Colector y el Emisor (I_{CE}) puede ser controlado manipulando la tensión V_{BE} , de manera que si este voltaje llega al voltaje de activación se comporta como corto circuito, dejando pasar corriente, mientras que si se mantiene por debajo del voltaje de activación se comporta como un circuito abierto, impidiendo el paso de la misma. También la cantidad de corriente I_C se puede controlar usando la relación de la ecuación 5 que relaciona la corriente de base, con la corriente de colector y β

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (5)$$

En la figura 9 se muestra el circuito para la detección de niveles bajos en la carga de la batería.

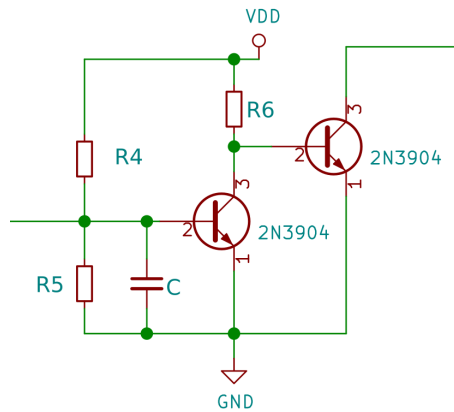


Figura 9: Circuito detector de batería baja

En este circuito se puede ver que mientras el transistor Q_1 esté funcionando, Q_2 se encuentra apagado, impidiendo el paso de la corriente que viene desde el LED.

5.3.1. Datos y ecuaciones conocidas del transistor

- $V_{Bateria} = 9V$
- $V_{BE} = 0,7V$
- $\beta = 70$
- $I_B = \frac{I_C}{\beta}$

5.3.2. Cálculo de las resistencias

- Resistencia R_4 y R_5

En este caso se utiliza un divisor de tensión, donde, se busca que la tensión en la resistencia R_5 sea igual al voltaje de activación del transistor.

$$V_{R_5} = \frac{R_5}{R_4 + R_5} V_{Bat}$$

$$\frac{R_5}{R_4 + R_5} = \frac{V_{R_5}}{V_{Bat}}$$

$$\frac{R_5}{R_4 + R_5} = \frac{0,7V}{9V}$$

$$\frac{R_5}{R_4 + R_5} = \frac{0,7}{9}$$

$$R_5 = \frac{0,7}{9}(R_4 + R_5)$$

$$R_5 = \frac{0,7}{9}R_4 + \frac{0,7}{9}R_5$$

$$R_5 - \frac{0,7}{9}R_5 = \frac{0,7}{9}R_4$$

$$\frac{83}{90}R_5 = \frac{0,7}{9}R_4$$

$$R_4 = \frac{\frac{83}{90}}{\frac{0,7}{9}}R_5$$

$$R_4 = \frac{83}{7}R_5 \approx 11,857R_5$$

$$\Rightarrow R_4 \approx 10R_5$$

$$\Rightarrow R_4 = 100k\Omega$$

$$\Rightarrow R_5 = 10k\Omega$$

Entonces:

$$V_{R_5} = \frac{10k\Omega}{100k\Omega + 10k\Omega} 9V$$

$$V_{R_5} = \frac{9}{11}V \approx 0,818V$$

Con lo que el transistor estaría activo mientras la batería esté cargada. En caso contrario, la corriente I_C de Q_1 pasaría a ser la corriente I_B de Q_2 debido al que el transistor Q_1 impediría su paso.

■ Resistencia R_6

Como se mencionó en la sección del Cálculo de la resistencia de los LEDS, se requiere que la corriente que atraviesa el LED de batería baja sea de $17mA$, entonces, se debe calcular la corriente de base I_B que controlará el valor de la corriente I_C :

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_B = \frac{17mA}{70}$$

$$\Rightarrow I_B = 242,857\mu A$$

Ya que se tiene la corriente I_B se puede dimensionar la resistencia R_6 utilizando la ley de Ohm (Ec: 2):

$$R_6 = \frac{V_{R_6}}{I_B}$$

$$R_6 = \frac{V_{Bat} - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_6 = \frac{9V - 0,7V}{242,857\mu A}$$

$$\Rightarrow R_6 = 34,176k\Omega$$

6. Conclusiones

El sensor de gas MQ-5, resultó ser lo suficientemente preciso en la detección de gas de tipo GLP, gas natural, gas de carbón en el ambiente, ya que evita el ruido proveniente de humos de cocina, alcohol y humo de cigarrillo, además de que su sensibilidad puede ser ajustada con la ayuda de un potenciómetro. Claramente, este sensor ayudará a que el dispositivo detecte tenga un mayor rango en los tipos de gas que detectará.

El material sensible del sensor de gas MQ-5 es SnO_2 (Óxido de estaño), que presenta menor conductividad en aire limpio, pero cuando está en presencia del gas combustible objetivo, la conductividad del sensor se hace más alta al aumentar también la concentración de gas.

Al tener tres niveles de detección (representados mediante tres LEDS) en la cantidad de gas presente en el ambiente, se le presenta la posibilidad al usuario de tomar la decisión acerca de la normalidad de este porcentaje, sin embargo, se debe realizar una calibración del dispositivo, para que, cuando el nivel de gas sea crítico, el dispositivo active un buzzer de alarma ubicado en el módulo de alerta que indicará el peligro. Además, el módulo de detección cuenta con 3 LEDS indicadores, para que en caso de que el módulo de alerta se esté alejado, las personas que se encuentren cerca del Módulo de detección puedan estar alerta de los que sucede.

La implementación de un módulo de alarma hace posible que personas que no estén ubicadas en el lugar donde se ubique el detector estén al tanto y sean alertadas del peligro.

El uso de baterías como sistema de alimentación a cada módulo, hace posible que en caso de un fallo en el sistema de fluido eléctrico el dispositivo siga funcionando con normalidad.

La comunicación inalámbrica entre los módulos se realiza mediante un transmisor a una frecuencia de 433MHz unido en el módulo de detección y un receptor también a una frecuencia de 433MHz, los cuales por su tamaño caber fácilmente en una placa de prueba y funcionar bien con microcontroladores para crear un enlace de datos de una manera muy simple. Ya que son solo un transmisor y un receptor, la comunicación solo será en un sentido.

Referencias

- [1] J. Lara, "*Bomberos y Defensoría alertan de 'graves' omisiones en reglamento sobre manejo de cilindros de gas*", La Nación, 2018
- [2] La Nación, "*Bomberos insiste en eliminar válvulas de acople en cilindros*", 2014.
- [3] "*Gas Licuado de Petróleo (GLP) - RECOPE*", RECOPE, 2018. [Online]. Available: <https://www.recope.go.cr/productos/calidad-y-seguridad-de-productos/gas-licuado-de-petroleo-glp/>. [Accessed: 24- Apr- 2018].
- [4] Instituto Argentino de la Energía, "*GAS NATURAL LICUADO - TECNOLOGÍA Y MERCADO*", 2016.
- [5] *TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR*. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
- [6] *TECHNICAL DATA MQ-4 GAS SENSOR*. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
- [7] *TECHNICAL DATA MQ-6 GAS SENSOR*. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-6.pdf>
- [8] "*Fixed Systems Installation*", Crowcon.com, 2018. [Online]. Available: <https://www.crowcon.com/service-and-support/fixed-systems-installation.html>. [Accessed: 24- Apr- 2018].
- [9] "*2N3904 datasheet*". Available: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11470/ONSEMI/2N3904.html>