

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE GASES Y
HUMO EN AMBIENTE DE COCINA – SISTEMA SUPERIOR***

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

Sosa Espinoza, Willy Martin

ASESOR: Carrera Soria, Willy Eduardo

Lima, Diciembre del 2019

RESUMEN

La problemática que envuelve el uso de combustibles como el gas licuado de petróleo para la cocción de alimentos radica en el tipo de controles que se emplean en el Perú para evitar fugas que susciten accidentes. Un ejemplo es el sucedido en la picantería “La Norteña” ubicada en el distrito de La Victoria que generó 12 heridos y 1 muerto debido a la fuga de gas y que no pudo ser percibido a tiempo debido a los olores de la cocción de los alimentos.

Ante esta problemática se decide diseñar e implementar un sistema que permita detectar en una etapa temprana la fuga de gas y presencia de humo en un ambiente de cocina, este sistema adicionalmente deberá ejecutar cierta acción sobre el entorno a fin de minimizar el riesgo existente. Para lo cual se planteó usar dos subsistemas, uno dedicado a la detección de fuga de gas y que permita el cierre del balón de gas y otro dedicado a la detección de humo y emisión de alarmas sonoras y luminosas, adicionalmente estos dispositivos deberán de mantener comunicación constante para emitir las alertas necesarias. Debido a motivos de sustentación, el presente trabajo desarrolla sólo el sistema encargado de detectar la presencia de humo y emisión de alarmas sonoras y luminosas.

Para comprobar el funcionamiento de este sistema se plantea la comprobación a través de varios ensayos en los cuales, como primer paso, se verifiquen cada una de las partes independientemente, para luego integrar las mismas y realizar pruebas en conjunto. Como resultado de dichos ensayos se pudo comprobar que los dispositivos seleccionados para el diseño del sistema de detección de humo y emisión de alarma reaccionaba dentro de los 50 primeros segundos y que se pudo establecer la comunicación entre ambos sistemas (el encargado de detección de fuga de gas y el presente), con un costo de desarrollo del producto menor a muchos dispositivos que se encuentran en el mercado y que no cuentan con todas las prestaciones que el presente dispositivo cuenta.



Dedicado a mis padres, hermana, asesor y a las personas que me rodean que día a día me enseñan cosas nuevas, gracias a los cuales mantengo vivas las ansias de aprender y la curiosidad por descubrir nuevas cosas.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO 1	
Problemática actual del consumo de gas domiciliario en el Perú.....	2
1.1 Consumo y producción de gas licuado de petróleo a nivel mundial y nacional	2
1.1.1. Consumo de GLP a nivel mundial.....	2
1.1.2. Consumo y producción de GLP en el Perú.....	3
1.2 Combustibles domiciliarios en el Perú.....	4
1.3 Tendencia de consumo de gas en domicilios	5
1.4 Problemática actual	7
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo Principal	9
1.5.2 Objetivos específicos	9
 CAPÍTULO 2	
Tecnologías utilizadas en el monitoreo de gases y humo en el ambiente.....	10
2.1 Sistemas de detección de humo.....	10
2.2 Productos existentes en el mercado.....	10
2.3 Elementos de un sistema de detección de humo	12

2.3.1 Sensores de detectores de humo	12
2.3.2 Unidad de control.....	13
2.3.3 Actuadores	14
2.4 Tecnologías de comunicación inalámbricas.....	15
2.4.1 Bluetooth.....	15
2.4.2 Zigbee	16
2.4.3 WIFI.....	18
CAPÍTULO 3	
Diseño e implementación del sistema de seguridad	22
3.1 Alcance.....	22
3.2 Diagrama de bloques.....	23
3.2.1. Planta.....	24
3.2.2. Selección de componentes.....	25
3.3 Software	40
3.4 Diseño de circuitos	42
3.5 Costos.....	45
CAPÍTULO 4	
Pruebas y resultados.....	46
4.1 Ensayos.....	46
4.1.1. Ensayos de los componentes del sistema superior.....	47

4.1.2. Ensayos de integración del detector de humo y arduino Pro Mini	56
4.2 Integración del sistema superior.....	57
Conclusiones y recomendaciones	59
Bibliografía	60
Anexos	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de gas a nivel mundial.....	2
Figura 2. Consumo de gas a nivel mundial.....	3
Figura 3. Porcentaje de hogares segmentados en base a las fuentes energéticas usadas para la cocción de alimentos a nivel nacional	5
Figura 4. Porcentaje de hogares segmentados en base a las fuentes energéticas usadas para la cocción de alimentos en las zonas urbanas.....	6
Figura 5. Porcentaje de hogares segmentados en base a las fuentes energéticas usadas para la cocción de alimentos en las zonas rurales.....	7
Figura 6. Emergencias atendidas a nivel nacional por el Cuerpo General de Bomberos del Perú. 8	
Figura 7. Detector de luz por dispersión [13].	12
Figura 8. Detector por oscurecimiento [13].....	13
Figura 9. Piconet [17]	16
Figura 10. Ampliación del alcance [17].....	16
Figura 11. Topologías usadas por el ZigBee[18].....	18
Figura 12. Cuadro Comparativo de ZigBee, WiFi y Bluetooth [18]	19

Figura 13. Diagrama de bloque del sistema. [Elaboración propia].....	23
Figura 14. Balón de Gas.....	24
Figura 15. Excitador de indicador sonoro (anexo 3 [26]).....	29
Figura 16. Diseño de excitador de led RGB [Elaboración propia].	30
Figura 17. Detector de humo basado en MC145010. (anexo 5)	35
Figura 18. Conexiones del arduino ProMini [Elaboración propia].....	36
Figura 19. Circuito de acople entre el arduino Pro Mini y MC145010 [Elaboración propia].	37
Figura 20. Lógica de control de módulo inferior.....	40
Figura 21. Recepción de trama	41
Figura 22. Detección de humo	41
Figura 23. Diagrama esquemático del sistema superior.....	43
Figura 24. Máscara de cobre del sistema superior [Elaboración propia].....	44
Figura 25. Máscara de componentes del sistema superior [Elaboración propia].	44
Figura 26. Diagrama de conexiones del sistema superior.....	45
Figura 27. Disposición del sistema en el ambiente de cocina.....	46
Figura 28. Tarjeta de detección de humo y accionamiento de la alarma [Elaboración propia]....	47
Figura 29. Prueba de detección de humo a 1.20mt sobre la fuente de humo.....	48
Figura 30. Conversor de señales 6 en 1 CP2102	51
Figura 31. Configuración del módulo bluetooth con software CoolTerm.....	52
Figura 32. Pruebas de recepción de tramas.....	54
Figura 33. Pruebas de transmisión del arduino ProMini al aplicativo móvil.....	54
Figura 34. Prueba de alcance de transmisión.....	56
Figura 35. Tarjeta de sensado de GLP (sensor 1) [Elaboración propia].	57
Figura 36. Tarjetas desarrolladas del Sistema Superior [Elaboración propia].....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de energía primaria	3
Tabla 2. Oferta Interna Bruta de energía Primaria.....	4
Tabla 3. Número de emergencias atendidas en el 2019, hasta octubre.....	9
Tabla 4. Dispositivos de detección de gas comerciales	11
Tabla 5. Diferenciación de zona según IEC, NEC 505 y CENELEC.....	20
Tabla 6. División de áreas Peligrosas[7].....	20
Tabla 7. Tipos de protección para equipos eléctricos [7]	21
Tabla 8. Alternativas de selección de detector de humo [Elaboración propia].	25
Tabla 9. Tabla comparativa de indicadores sonoros [Elaboración propia].....	27
Tabla 10. Alternativas de indicadores luminosos. [Elaboración propia]	28
Tabla 11. Consumo de corriente del led RGB	30
Tabla 12. Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas. [Elaboración propia]	31
Tabla 13. Distribución de pines. [Elaboración propia]	32
Tabla 14. Números de pines del microcontrolador [Elaboración propia].....	33
Tabla 15. Circuitos integrados de aplicación de detección de humo.	33
Tabla 16. Tabla comparativa de microcontroladores. [Elaboración propia]	34
Tabla 17. Corriente de componente de sistema superior controlado por arduino ProMini [Elaboración propia]	39
Tabla 18. Tabla comparativa de fuentes de alimentación. [Elaboración propia].....	39
Tabla 19. Cuadro de costo de proyecto.....	45
Tabla 20. Tiempo de respuesta del detector de humo.....	48
Tabla 21. Tensiones de Pin I/O del MC145010.....	49
Tabla 22. Lista de comandos AT de módulo HC-05	50

Tabla 23. Listado de códigos de comunicación entre sistema superior e inferior 53

Tabla 24. Listado de pruebas de alcance realizadas 55

Tabla 25. Tensiones del circuito de acople del arduino Pro Mini y MC145010. 57



INTRODUCCIÓN

El presente tema de tesis busca diseñar e implementar un sistema de detección de fuga de gas y presencia de humo en ambientes de cocina. La principal característica de dispositivos similares en el mercado es alertar a las personas del peligro existente. Sin embargo, el sistema que se presenta busca generar una acción sobre el ambiente a fin de reducir el riesgo potencial.

El interés en esta problemática se basa en que el gas licuado de petróleo, GLP por sus siglas, es uno de los combustibles más utilizados a nivel mundial para la cocción de alimentos y el Perú no es la excepción, tanto en las zonas rurales como en las urbanas el consumo de este combustible por parte de las familias es muy elevado. Debido a falta de normas para el uso de dispositivos de detección, existen casos como el sucedido en octubre del año 2019, en el cual hubo una explosión en una picantería del distrito de La Victoria que produjo 12 heridos y 1 muerte. Este incidente manifiesta una problemática muy grave, ya que según el Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú este tipo de incidentes representa el 5% de todas las emergencias atendidas hasta octubre del 2019, ocupando así el 5to puesto en las emergencias con más índice de atención.

Debido a la complejidad del proyecto, esta investigación fue planteada para ser realizada por dos personas, pero por motivos de sustentación se optó por dividir la misma en dos partes: sistema inferior, encargado de la detección de fuga gas y corte del mismo, y un sistema superior, encargado de la detección de humo y activación de alarma sonora y visual. En este caso la investigación realizada se basa en el sistema superior y se busca:

-) La selección de un sensor adecuado para la detección de humo.
-) El diseño y desarrollo del hardware necesario para el dispositivo.
-) La implementación del software para el funcionamiento del dispositivo.
-) Ensayos de las diferentes partes que integran al sistema y la integración de los mismos.

Lo anterior establece las siguientes fases de la investigación:

1. Problemática actual del consumo de gas domiciliario en el Perú
2. Tecnologías utilizadas en el monitoreo de gases y humo en el ambiente
3. Diseño e implementación del sistema de seguridad
4. Pruebas y ensayos

CAPÍTULO 1

Problemática actual del consumo de gas domiciliario en el Perú

1.1 Consumo y producción de gas licuado de petróleo a nivel mundial y nacional

A nivel mundial la producción del gas licuado de petróleo, GLP por sus siglas en español, ha fluctuado entre el aumento y la disminución. La British Petroleum (BP), una de las mayores compañías a nivel mundial de producción de Petróleo y Gas Natural según la revista Forbes [1], muestra en la figura 1.1 la producción mundial de gas a lo largo de los años desde el año 1990 hasta el año 2018[2].

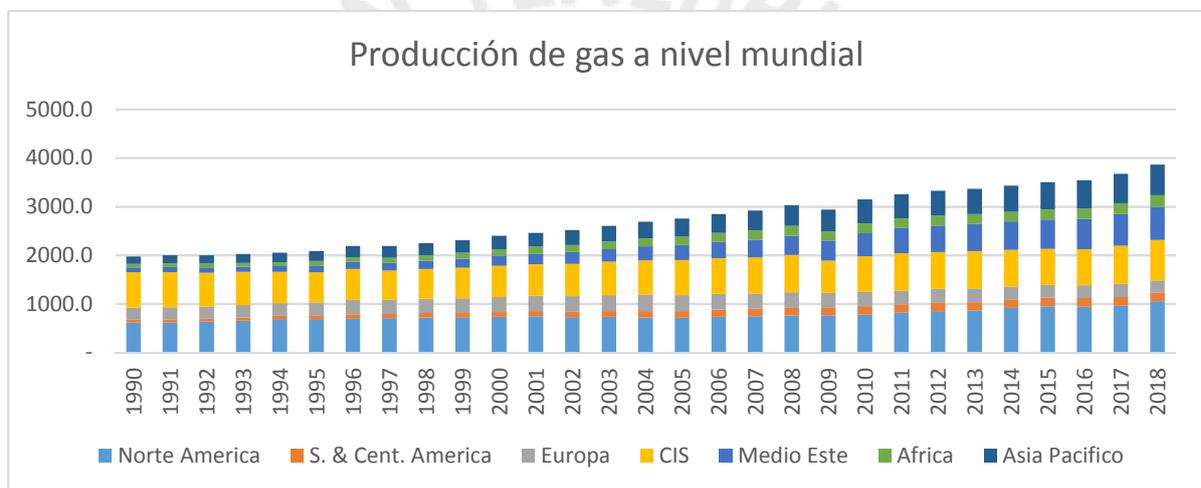


Figura 1. Producción de gas a nivel mundial

Tomado de “BP Statistical Review of World Energy June 2019”, por British Petroleum, 2019

En dicha imagen, se aprecia la tendencia al aumento del consumo energético a lo largo de los años con excepción de años particulares como el año 2009, en el cual la producción energética se vio reducida en comparación al año anterior. Basados en la misma imagen se percibe que el mayor productor de GLP a nivel de regiones es Norteamérica.

1.1.1. Consumo de GLP a nivel mundial

La British Petroleum también presenta información acerca del consumo de gas a nivel mundial [2], en la figura 1.2 se muestra dicho consumo dividido por regiones.

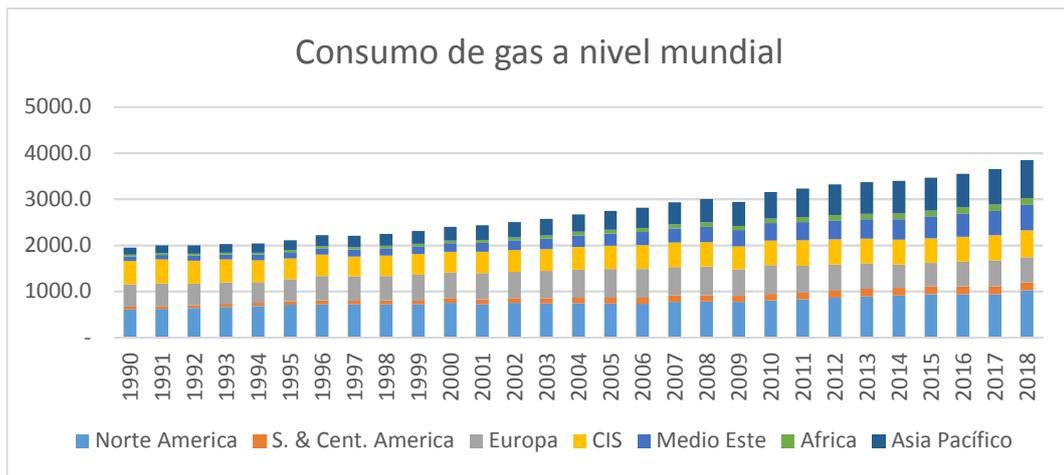


Figura 2. Consumo de gas a nivel mundial

Tomado de “BP Statistical Review of World Energy June 2019”, por British Petroleum, 2019

Este gráfico muestra también que la región con mayor consumo de dicho recurso energético es la región norteamericana.

1.1.2. Consumo y producción de GLP en el Perú

En el Perú, el ministerio de energía y minas en sus balances anuales presenta el consumo y la producción de los diferentes recursos naturales extraídos en el territorio peruano. Es así que en el año 2016 presenta una tabla de la producción de energía, mostrado en la tabla 1 [3].

Tabla 1. Producción de energía primaria

Energía Comercial	2015	2016	Variación (%)
Gas Natural +LGN	690109	735341	7
Petróleo Crudo	122604	85545	-30
Hydroenergía	106700	108719	1.9
Carbón Mineral	7117	7343	3
Sub total	926531	936949	1

Energía Comercial	No	2015	2016	Variación (%)
Leña		80178	78792	-2
Bagazo		20790	18248	-12
Bosta & Yareta		7419	7174	-3
Energía Solar		1901	2258	19
Subtotal		110288	106471	-3

TOTAL		1036819	1043420	1
--------------	--	----------------	----------------	----------

Nota. Tomado de “Balance Nacional 2016”, por Ministerio de Energía y Minas, 2016.

De los datos mostrados, el consumo de Gas Natural + LGN representa el 70.5 % de la producción de la energía total a nivel nacional y el 78.5% de la producción para fuentes de energías comerciales, lo que muestra la importancia que tiene para el mercado local.

En el mismo documento se detalla la oferta interna bruta, que considera la producción total, variación de inventarios y las importaciones descontando la energía no aprovechada y las exportaciones, esta información es mostrada a través de un cuadro en el balance 2016, tabla 2 [3].

Tabla 2. Oferta Interna Bruta de energía Primaria

Energía Comercial	2015	2016	Variación (%)
Gas Natural +LGN	690109	735341	7
Petróleo Crudo	300100	304122	1
Hidroenergía	106700	108719	2
Carbón Mineral	32754	33693	3
Sub total	1129663	1181876	5

Energía Comercial	No	2015	2016	Variación (%)
Leña		80178	78792	-2
Bagazo		20790	18248	-12
Bosta & Yareta		7419	7174	-3
Energía Solar		1901	2258	19
Subtotal		110288	106471	-3

TOTAL	1239951	1288347	1
--------------	----------------	----------------	----------

Nota. Tomado de “Balance Nacional 2016”, por Ministerio de Energía y Minas, 2016.

En base a este último cuadro, la única fuente energética que se ve afectada por la energía no aprovechadas y las exportaciones es el petróleo crudo.

1.2 Combustibles domiciliarios en el Perú

El INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática, es el ente encargado por el estado para la recopilación de información acerca de la calidad de vida de la población, entre otros análisis adicionales. Es por ello y basados en los censos nacionales y encuestas que el INEI posee una serie nacional de datos, los cuales incluyen información acerca de las fuentes

energéticas que las familias peruanas usan para la cocción de sus alimentos [4], ésta información ha sido plasmada en la figura 3.

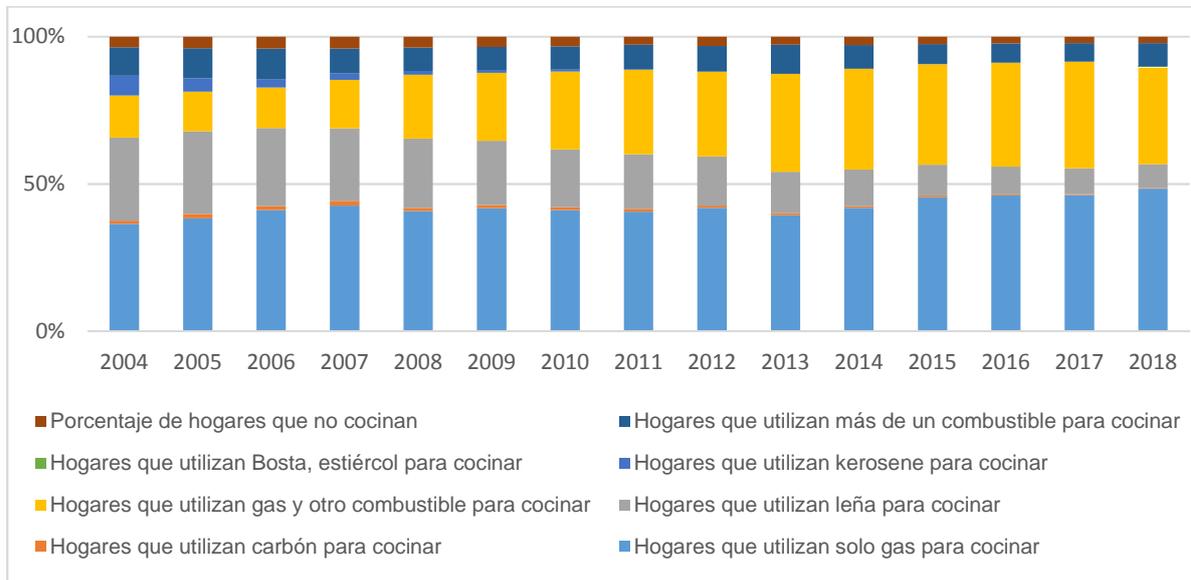


Figura 3. Porcentaje de hogares segmentados en base a las fuentes energéticas usadas para la cocción de alimentos a nivel nacional

Tomado de INEI (2019) Serie Nacional de datos.

De este gráfico se puede apreciar que la mayoría de familias emplean el gas como principal fuente energética para la cocción de sus alimentos. Así mismo, se aprecia la desaparición del empleo doméstico de algunas fuentes energéticas como es el caso del kerosene y el carbón, en el caso del primero debido a la legislación de una ley promulgada el año 2009, en el Decreto Supremo N°045 [22], que buscaba reducir el consumo doméstico de este combustible ya que también era empleado por organizaciones delictivas para la fabricación de estupefacientes.

1.3 Tendencia de consumo de gas en domicilios

En el Perú existen dos grandes zonas bien delimitadas, las zonas urbanas y las rurales. Cada una de estas zonas pobladas tiene un desarrollo diferente en comparación al otro, por lo cual analizar a ambos grupos bajo un mismo enfoque no reflejaría las cualidades de cada uno.

Empezando con las zonas urbanas, el INEI nos brinda información acerca de las fuentes energéticas que son empleadas para la cocción de alimentos. Estos datos fueron plasmados en la figura 4 [4].

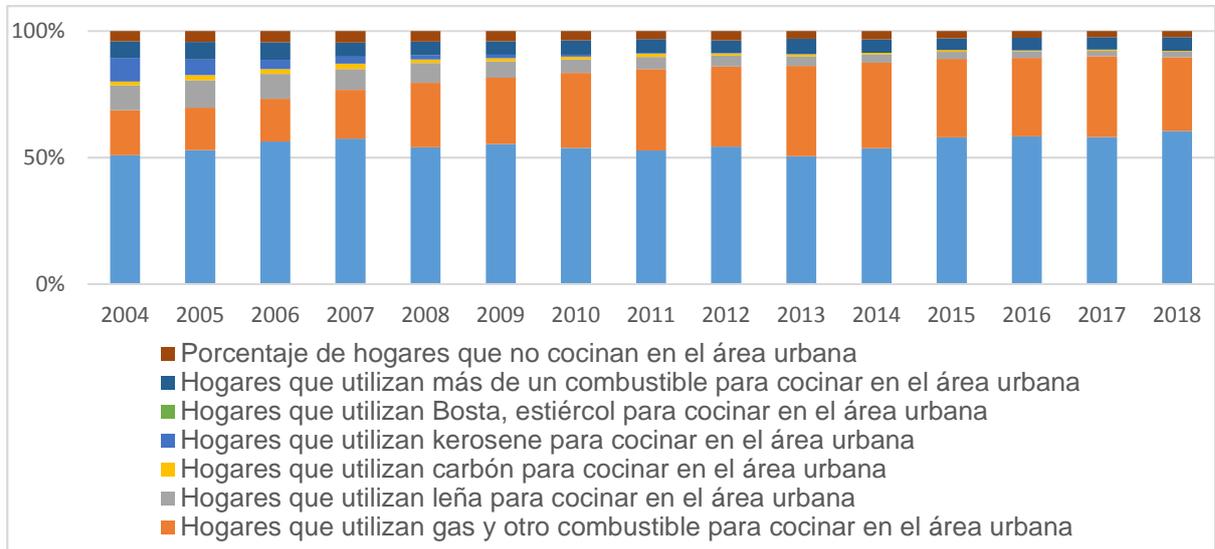


Figura 4. Porcentaje de hogares segmentados en base a las fuentes energéticas usadas para la cocción de alimentos en las zonas urbanas

Tomado de INEI (2019) Serie Nacional de datos.

Al igual que en el consumo nacional, las regiones urbanas tienden a consumir en mayor cantidad el gas como principal fuente energética para la cocción de alimentos, aunque también existe un gran número de familias que emplean tanto el gas como otro combustible para la cocción de sus alimentos.

Las zonas rurales en el Perú tienen una política de consumo totalmente distinta a las zonas urbanas, debido a la precariedad en algunos casos de su economía o simplemente por la inexistencia de algunos recursos debido a la lejanía de sus viviendas respecto a zonas más pobladas o debido a lo agreste de la geografía, se elaboró el siguiente gráfico para mostrar dicha tendencia [4].

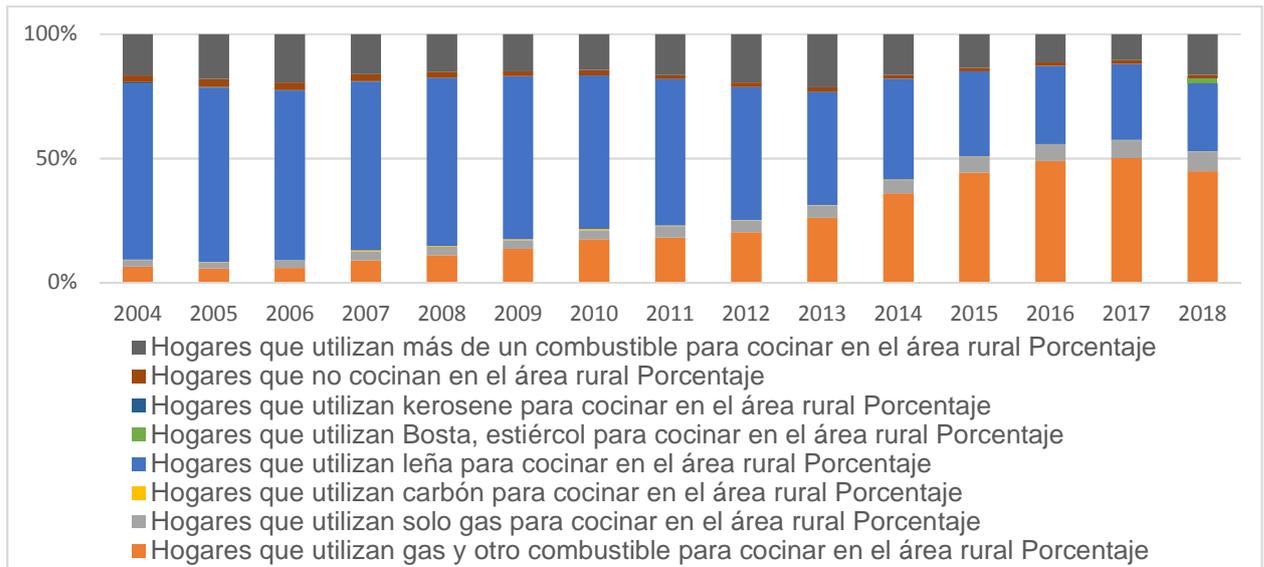


Figura 5. Porcentaje de hogares segmentados en base a las fuentes energéticas usadas para la cocción de alimentos en las zonas rurales

Tomado de INEI (2019) Serie Nacional de datos.

De la figura 5, se comprueba que a diferencia de la zona urbana el combustible de mayor uso hasta el año 2013 era la leña. Sin embargo, este panorama ha cambiado y se ve que las familias cada vez emplean más el gas en conjunto con otro tipo de combustible para la misma función.

1.4 Problemática actual

En el mes de octubre del año 2019 se registró una explosión dentro de la picantería “La Norteña”, ubicada en el distrito de La Victoria, causada por la fuga de gas dentro de las instalaciones. Este hecho produjo la muerte de un bebé y 12 personas afectadas con quemaduras y heridas. De acuerdo a la entrevista brindada a RPP [5], el gas no fue percibido debido a los aromas provenientes de la cocción de alimentos. Este suceso retrata una problemática que carece de una regulación a nivel nacional, la identificación de fuga de gas en ambientes de cocina.

En el mencionado evento, las unidades del Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú fueron los encargados de acudir en ayuda de los heridos. En la página web del Cuerpo General

de Bomberos Voluntarios del Perú se presentan estadísticas de las emergencias a las cuales ellos acuden [6]. A continuación, se presenta la figura 6 con esta información.

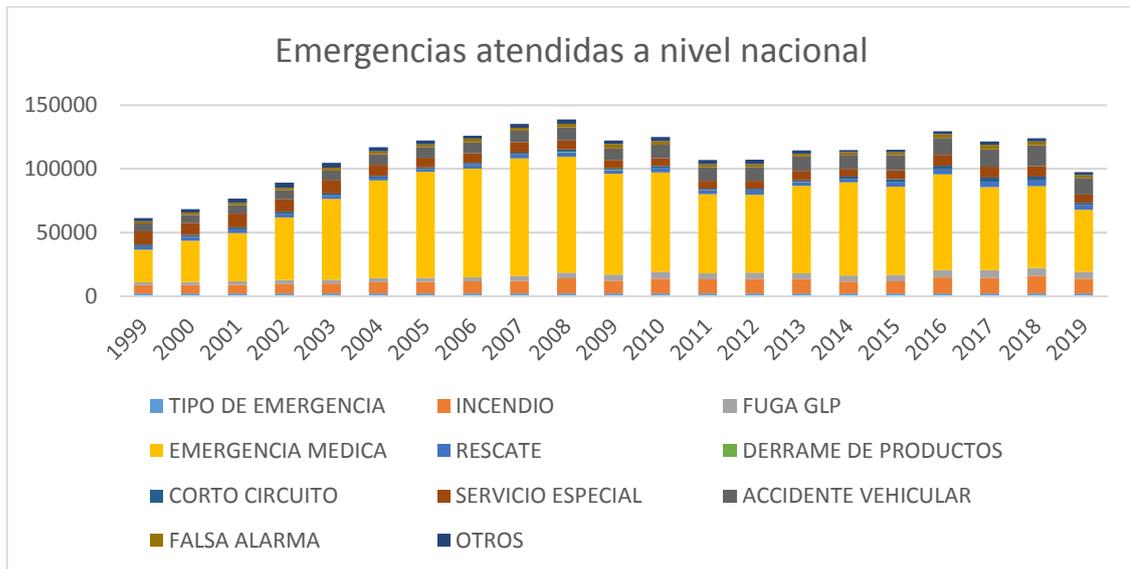


Figura 6. Emergencias atendidas a nivel nacional por el Cuerpo General de Bomberos del Perú

Tomado de Cuerpo General de Bomberos del Perú (2019) Estadísticas de Emergencias a Nivel Nacional del CGBVP.

En la figura 6 las emergencias relacionadas con la fuga de gas están identificadas con el color plomo, si bien este tipo de emergencias no representa la emergencia con el mayor número de atenciones por parte de los bomberos aún representa un 5% del total de atenciones, en el 2019, como lo detalla el siguiente cuadro [6].

Tabla 3. Número de emergencias atendidas en el 2019, hasta octubre

TIPO DE EMERGENCIA	NUMERO TOTAL	% TOTAL
Incendios	11607	12.19
Fuga de gas licuado	5437	5.71
Emergencias médicas	48674	51.11
Rescates	3661	3.84
Derrame de productos	111	0.12
Corto circuito	1650	1.73
Servicios especiales	6573	6.90
Accidentes vehiculares	13038	13.69
Falsa alarma	2237	2.35
Otros	2251	2.36
TOTAL	95239	100

Nota. Tomado de Estadísticas de Emergencias a Nivel Nacional del CGBVP, 2019.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Principal

Diseñar e implementar un sistema detector de humo con sistema de alarma y accionamiento para ambientes de cocina.

1.5.2 Objetivos específicos

-) Selección de un sensor adecuado para la detección de humo.
-) Diseñar e implementar el hardware del sistema de detección de humo en un ambiente doméstico.
-) Desarrollar el software que garantice la detección de humo.
-) Validar la eficacia del sistema mediante la realización de ensayos.

CAPÍTULO 2

Tecnologías utilizadas en el monitoreo de gases y humo en el ambiente

2.1 Sistemas de detección de humo

Los sistemas de detección de humo están dedicados a detectar concentraciones peligrosas del gas con el fin de activar alarmas y, hasta donde sea posible, activar contramedidas antes de que se genere una situación peligrosa para empleados, instalaciones y medioambiente [7]. Los equipos de detección pueden ser portátiles o sistemas fijos. En ambientes exteriores, susceptibles a emisión de gases, es suficiente el empleo de forma periódica de sistemas de medición manual o portátil. Por el contrario, los sensores fijos incluyendo su electrónica están en funcionamiento continuo, las veinticuatro horas del día. [8].

2.2 Productos existentes en el mercado

En la actualidad, se cuenta con dispositivos electrónicos que brindan seguridad en domicilios, muchos de los cuales presentan funciones básicas hasta las más complejas. A continuación, se describe algunos sistemas presentes en el mercado:

Tabla 4. Dispositivos de detección de gas comerciales

Nombre	Características	Precio
 <p>Kepler [9]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detector de GLP, CH4 (gas natural), CO. - Pantalla LCD. - Portable. - Autonomía con AC y batería. - Alarma auditiva y visual. - Alerta a dispositivo móvil. - Configurable por el usuario. 	\$94
 <p>Nest Protect [10]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detector de humo y CO - Autonomía con AC y batería. - Envío de mensaje a dispositivo móvil. - Alarma auditiva. 	\$99
 <p>The Kidde [11]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detector de humo, fuego y CO. - Autonomía con AC y batería. - Sensores fotoeléctricos. - Alarma sonora. 	\$129
 <p>Intelligent Gas [12]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Detector de gas metano (gas natural) y CO. - sensores semiconductores. - Pantalla LCD. - Alarma sonora. - Autonomía con AC y batería. - Configurable por el usuario. 	\$153

2.3 Elementos de un sistema de detección de humo

Los dispositivos mencionados anteriormente responden en general a un sistema constituido por sensores, unidad de control y dispositivos actuadores (válvulas, ventiladores, sirenas, lámparas, etc) [8].

2.3.1 Sensores de detectores de humo

Son detectores que se usan en sistemas de alarmas contra incendio. Estos se clasifican en 2 grupos:

- *Sensores fotoeléctricos.*

Consta de un emisor de luz y un receptor de célula fotoeléctrica. El humo detectado oscurece el haz de rayos luminosos proyectado por el emisor de forma que disminuye la luz recibida en la célula fotoeléctrica. Existen dos tipos:

Detector por dispersión de luz.

Consta de un emisor de luz y un fotosensor. El emisor de luz genera un haz que no puede ser detectado por el fotosensor. Cuando hay presencia de humo en la trayectoria del haz, la luz se refleja sobre el fotosensor, la cual generará una señal en la salida del sensor. Ver figura 7.

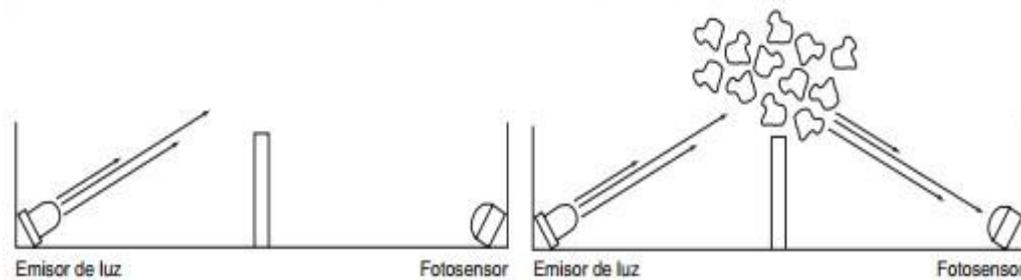


Figura 7. Detector de luz por dispersión [13].

Tomado de Detectores de humo para sistemas de System Sensor.

Detector por oscurecimiento.

También consta de un emisor de luz y un fotosensor, el cual inicialmente detecta el haz. Cuando las partículas de humo bloquean el haz de luz al fotosensor se reduce la intensidad luminosa, lo cual genera un cambio de la señal eléctrica. Ver figura 8.

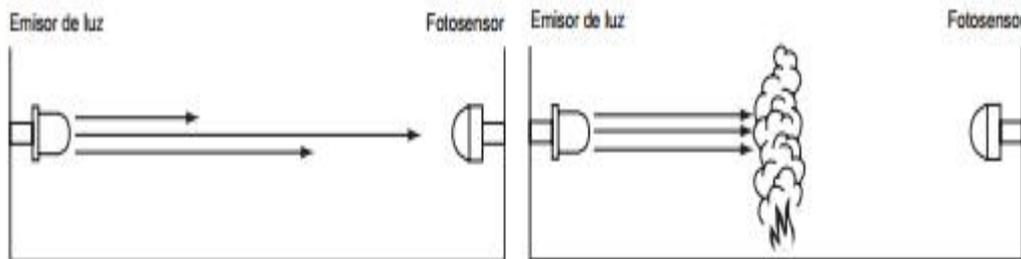


Figura 8. Detector por oscurecimiento [13].

Tomado de Detectores de humo para sistemas de System Sensor.

Sensores Iónicos.

Consta de dos placas cargadas eléctricamente y un material radiactivo cuya función es generar una pequeña corriente concentrada en las placas. La detección de humo se da por la disminución de corriente entre las placas al detectar partículas visibles generadas por la combustión [13].

2.3.2 Unidad de control

La unidad de control define la duración y secuencia de las operaciones a realizar en una planta con ayuda de los actuadores. Por lo general, dispositivos como el microcontrolador o microprocesador es considerado como la unidad de control. Estos dispositivos producen las señales de reloj utilizadas para traer de la memoria una instrucción del programa y ejecutarla. Los criterios de selección de estos microprocesadores se realizan en base a la capacidad de la unidad de memoria, números de periféricos de entrada y salida, protocolos de comunicación, arquitectura, frecuencia de reloj, entre los más importantes [14].

A continuación, se describe algunas de las familias de microcontroladores más usados:

AVR: Familia de microcontroladores con arquitectura RISC fabricados por ATMEL, comprado el 2016 por la empresa Microchip. La familia AVR está clasificada en 4 grupos con diferentes propiedades: Mega, Tiny, Special purpose and Classic, siendo la familia Mega el más ampliamente usado. Mega AVR posee más de 120 instrucciones, 32 registros de propósito general de 8 bits (excepto para AVR32, el cual es un microcontrolador de 32 bits), entre 28 y 100 pines, ROM (8-128Kbytes), RAM (1-8Kbytes), EEPROM (0.5- 4Kbytes), USART, ADC, TIMERS. Uno de los problemas con los microcontroladores AVR es que no son totalmente compatibles; es decir, no se podría compilar un programa en un Tiny escrito en un microcontrolador Mega [15].

PIC: Son microcontroladores tipo RISC de propósito general. La serie PIC16 presenta algunas limitaciones como memoria e interfaces periférica. Por otro lado, la serie PIC18 permite aplicaciones más complejas y soluciones eficientes. Algunas de las características básicas de PIC18F son las siguientes: proporcionan memoria flash hasta 128Kbytes, memoria de datos de 4Kbytes, interrupciones, módulos PWM, periférico para comunicaciones I2C, SPI, protocolos de comunicación TCP/IP, USB o ZigBee, interfaz de control de motores, entre otros [16].

2.3.3 Actuadores

Los actuadores son elementos que transforman la salida de un sistema de control en una señal que activa una máquina, dispositivo o planta con el fin de modificar el estado de ciertos equipos encendido o apagado, apertura o cierre. Entre los más comunes encontramos los contactores o relés, que en esencia permiten el paso de corriente eléctrica hacia el dispositivo al que están conectados; las electroválvulas de corte de suministro para luz, agua y gas; sirenas que permitan el aviso de alarmas en curso; motores de corriente continua y alterna; servomotores, motores paso a paso, entre otros [14].

2.4 Tecnologías de comunicación inalámbricas

En la actualidad muchos de los sistemas de seguridad son soluciones complejas debido a la cantidad de conexiones entre los diferentes periféricos que los componen. Esto produce que las instalaciones de los módulos que lo conforman sean también complejas ya que la mayoría de las partes se comunican a través de cables. Sin embargo, las nuevas tecnologías abren el campo para las conexiones inalámbricas que actualmente se encuentran en un período de auge, estos presentan ventajas respecto a los sistemas tradicionales basados en cables tales como la flexibilidad, interoperabilidad, bajo costo, creación de entornos más sencillos, entre otros. Las tecnologías de comunicación inalámbrica más adecuadas para el presente asunto de estudio son las siguientes:

2.4.1 Bluetooth

La tecnología bluetooth tiene como objetivo permitir la comunicación inalámbrica a corta distancia entre muchos dispositivos. Este se encuentra estandarizado por la IEEE bajo la referencia IEEE 802.15.1. La tecnología Bluetooth opera en el rango de frecuencia de 2.402 GHz a 2480 GHz la cual es dividida en 79 canales de 1MHz cada uno. Se puede transmitir datos por medio de ondas de baja potencia, siendo la telefonía móvil una de los principales usos. La comunicación se basa en el principio de maestro-esclavo. La arquitectura del bluetooth comprende de un maestro y 7 esclavos conectados como máximo. A esto se le llama red piconet como se muestra en la figura 9. Además, un esclavo puede ser parte de muchos piconets, esto gracias a que dos piconets pueden conectarse entre sí con el fin de formar una red más amplia (ver figura 10). Además, dos dispositivos esclavos no pueden comunicarse directamente entre sí, debido a que la comunicación solo se da entre maestro y esclavo [17].

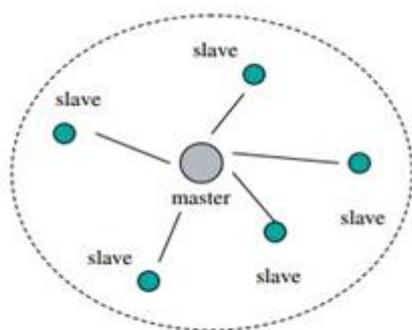


Figura 9. Piconet [17]

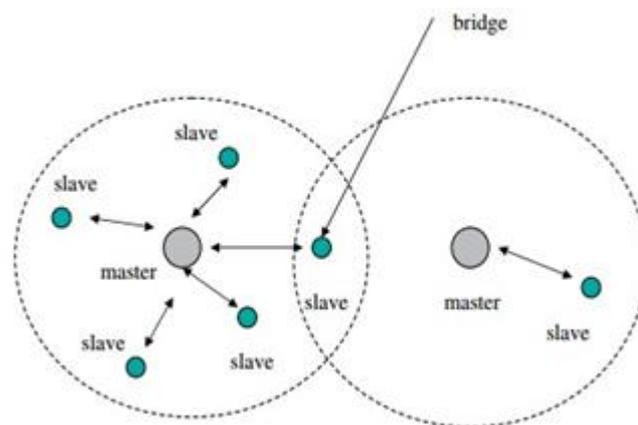


Figura 10. Ampliación del alcance [17].

Tomado de “Wi-fi, Bluetooth, Zigbee and Wimax”. H. LABIOD, H. AFIFI, C. DE SANTIS

El bluetooth tiene un alcance variable, el cual depende de la clase del equipo. Son tres las clases y por lo tanto tres tipos de potencias de transmisión, los cuales se definen como equipos de potencia bajos, moderados y medio.

2.4.2 Zigbee

Zigbee es un protocolo de comunicación inalámbrica para radiofrecuencia. Está basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas cuya velocidad de transmisión varía entre 20 a 250 Kb/s, el cual es una tasa de transmisión baja a diferencia del Bluetooth que presenta una tasa de transferencia media. El estándar utiliza la banda ISM (industrial, scientific research and medical applications), siendo la más usada la banda de 2.4Ghz por ser libre en todo el mundo. Su principal uso es en aplicaciones de redes de sensores y en domótica, mientras que sus principales características son su bajo consumo, poca electrónica, bajo costo y fácil implementación [18].

Los dispositivos de red se clasifican en tres tipos:

- **Coordinador:** El coordinador es el que encargado de la creación de la red y maneja las direcciones que deben tomar los dispositivos para conectarse entre ellos.

- Router: El router es el encargado de seleccionar una red existente para unirse y extender una red zigbee mediante la adopción de nuevos dispositivos que estén fuera de alcance de comunicación del coordinador. Además, puede actuar como coordinado.
- Dispositivo final: Estos dispositivos se sitúan al extremo de la red para implementar tareas de detección.

La tecnología Zigbee opera con 3 topologías:

- Estrella: En este tipo de red el router y el dispositivo final están conectados directamente con el coordinador; es decir, los dispositivos no pueden comunicarse directamente. La mayor dificultad en esta topología es que el fallo del nodo central afectara a toda la red.
- Árbol: Su distribución no se centra en el coordinador. La red se puede ampliar mediante el uso de routers. El dispositivo final se enlaza con el router, luego un router se comunica con otro router. El coordinador también puede ser usado como router. Sin embargo, el router si puede adoptar un dispositivo final. La dificultad que se presenta en esta topología es que la red puede fallar si algún router falla.
- Malla: Es la topología con mayor flexibilidad. Tiene la misma estructura que la topología árbol. Todos los routers pueden comunicarse entre sí de manera que no exista un único camino en el envío de la información [18].

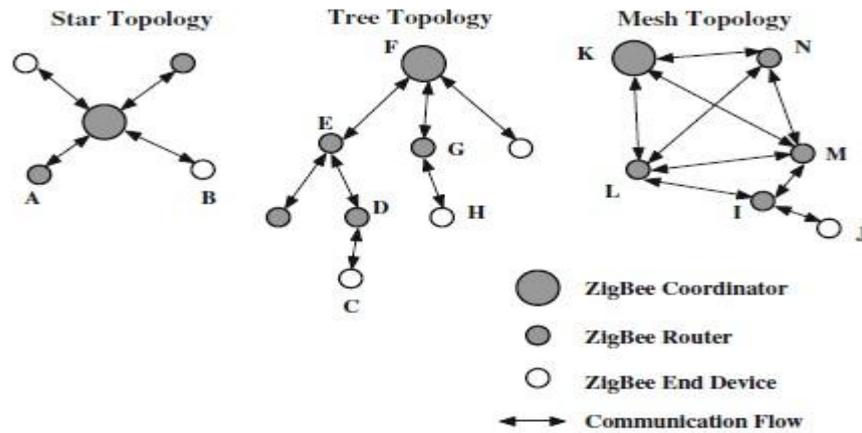


Figura 11. Topologías usadas por el ZigBee[18].

Tomado de “Wireless sensor networks. Principles, Design and Applications”. Shuang-Hua Yang.

2.4.3 WIFI

Es una tecnología de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Esta se caracteriza por ofrecer una conexión inalámbrica segura, fiable y rápida. Se encuentra basada en el estándar IEEE 802.11. Es útil para la creación de una red inalámbrica de área local (WLAN), la cual es una red de transmisión de datos diseñado para asegurar una conexión que no dependa de la ubicación de los periféricos usando enlaces inalámbricos en lugar de un cableado.

Las redes Wi-Fi operan en las bandas libres de 2.4 GHz y 5 GHz. El principal inconveniente que presenta el Wi-Fi es que se puede producir interferencias, pues el rango de frecuencias de 2.4 GHz también es utilizado por teléfonos inalámbricos y otros dispositivos con tecnología bluetooth [17].

Table 2.5 Comparison of ZigBee, WiFi, and bluetooth (Elahi and Gschwender 2009)

	WiFi (IEEE 802.11)	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
Application	Wireless LAN	Cable replacement	Control & monitoring
Frequency bands	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, 868 and 915 MHz
Battery life (days)	0.1–5	1–7	100–700
Node per network	30	7	65,000
Bandwidth	2–100 Mbps	1 Mbps	20–250 kbps
Range (m)	1–100	1–10	1–75
Topology	Tree	Tree	Star, tree, cluster tree, mesh
Standby current (Amps)	20×10^{-3}	200×10^{-6}	3×10^{-6}
Memory (KB)	100	100	32–60

Figura 12. Cuadro Comparativo de ZigBee, WiFi y Bluetooth [18]

Tomado de Tomado de “Wireless sensor networks. Principles, Design and Applications”.

Shuang-Hua Yang.

2.5 Normas y regulaciones

Los equipos de seguridad deben garantizar una alta resistencia contra explosiones y una correcta funcionabilidad cuando estos se encuentran sometidos en atmosferas peligrosas a fin de que estos sean sistemas de protección fiables. En el presente asunto de estudio, el sistema de seguridad se encuentra involucrado en presencia de una atmósfera explosiva peligrosa, por lo que debe de estar protegido contra explosiones.

La protección contra explosión se encuentra regulada mundialmente, siendo la base de los estándares muy similares según las siguientes organizaciones:

-) International Electrotechnical Commission (IEC)
-) National Electrical Code (NEC)
-) Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC)

Los estándares de protección contra explosiones están basados en el concepto de 3 zonas:

Tabla 5. Diferenciación de zona según IEC, NEC 505 y CENELEC

Zona	Atmosfera peligrosa explosiva
Zona 0	Presente continuamente o presente durante largo periodos
Zona 1	Ocasional con posibilidad de ocurrir
Zona 2	Poco frecuente y durante breve periodo solamente

Nota. Tomado de “Introducción a los sistemas de detección de gases”. Draeger.

De acuerdo al código eléctrico americano (NEC) artículo 500 las áreas peligrosas también se definen bajo el concepto de dos divisiones:

Tabla 6. División de áreas Peligrosas[7]

División	
División 1	Gases presentes normalmente en cantidades explosivas
División 2	Gases no presentes normalmente en cantidades explosivas

Nota. Tomado de “Introducción a los sistemas de detección de gases”. Draeger.

Tipos de protección

En los ambientes que no puedan evitarse la generación de mezclas explosivas de material inflamable y aire, se deben tomar medidas para impedir las fuentes de ignición. Por ello, es necesaria la fabricación de aparatos con protección contra explosiones. Según IEC, NEC 505 y CENELEC existe 7 tipos estandarizados de protección para equipos eléctricos:

Tabla 7. Tipos de protección para equipos eléctricos [7]

Tipo de protección	Definición
Seguridad intrínseca	Equipos con consumo de energía relativamente bajo tal que no produzcan chispas con suficiente energía para encender una mezcla de gas inflamable.
Seguridad incrementada	Tipo de protección que se aplica para evitar la posibilidad que se registre temperaturas altas y que se produzcan chispas en el interior del aparato eléctrico.
Carcasa a prueba de llamas	Se deja que la explosión se efectúe. La carcasa debe de resistir la presión de la explosión interna.
Equipo presurizado	Tipo de protección en el que se evita el ingreso de una atmósfera circundante en la caja del aparato eléctrico.
Relleno de polvo	No se aplica a la detección de gases.
Inmersión en aceite	El aparato eléctrico es sumergido en aceite de modo tal que en una atmosfera explosiva, la caja reductora no pueda encenderse

Nota. Tomado de “Introducción a los sistemas de detección de gases”. Draeger.



CAPÍTULO 3

Diseño e implementación del sistema de seguridad

3.1 Alcance

El presente trabajo de tesis forma parte de un sistema que se encarga de la detección temprana de gas licuado de petróleo y humo en ambientes domésticos. Este sistema fue planteado para ser desarrollado por dos personas ya que sus componentes requieren de una calibración precisa para sus diferentes partes. Sin embargo, debido a motivos de sustentación el tema del presente estudio se limitará al diseño e implementación del sistema de humo en ambientes domésticos.

El sistema completo se divide a su vez en dos partes, un sistema inferior compuesto de dos módulos y un sistema superior. El sistema inferior es el encargado de medir la presencia de gas licuado de petróleo en el ambiente, realizar una acción correctiva sobre la fuga y establecer la comunicación con el sistema superior con el fin de emitir las señales de alarma que sean requeridas. El primer módulo del sistema inferior se encontrará ubicado sobre el regulador del balón de gas y el otro a una altura cercana al suelo debido a las propiedades físicas del gas licuado de petróleo que tiende a descender [19].

El sistema superior, por su parte, es un dispositivo encargado de la detección de humo y de emitir las alarmas sonoras y luminosas necesarias para que las personas que se encuentran dentro del ambiente contaminado sean alertadas. Este dispositivo se encontrará en el techo.

Todos los dispositivos del sistema completo son energizados mediante la red eléctrica, para poder establecer la comunicación entre el sistema superior e inferior se realizará a través de una interfaz inalámbrica. Adicionalmente se requiere que los dispositivos a desarrollar sean lo suficientemente pequeño, tal que su instalación sea sencilla y de bajo costo. Además, es necesario realizar ensayos que garanticen la detección de humo en niveles no peligrosos y emita las alarmas sonoras y luminosas requeridas.

3.2 Diagrama de bloques

Este capítulo se centrará en la estructura del sistema y el análisis de los componentes a emplear. La figura 13 muestra el esquema de diseño en el que se basará el sistema, centrándonos en el sistema superior.

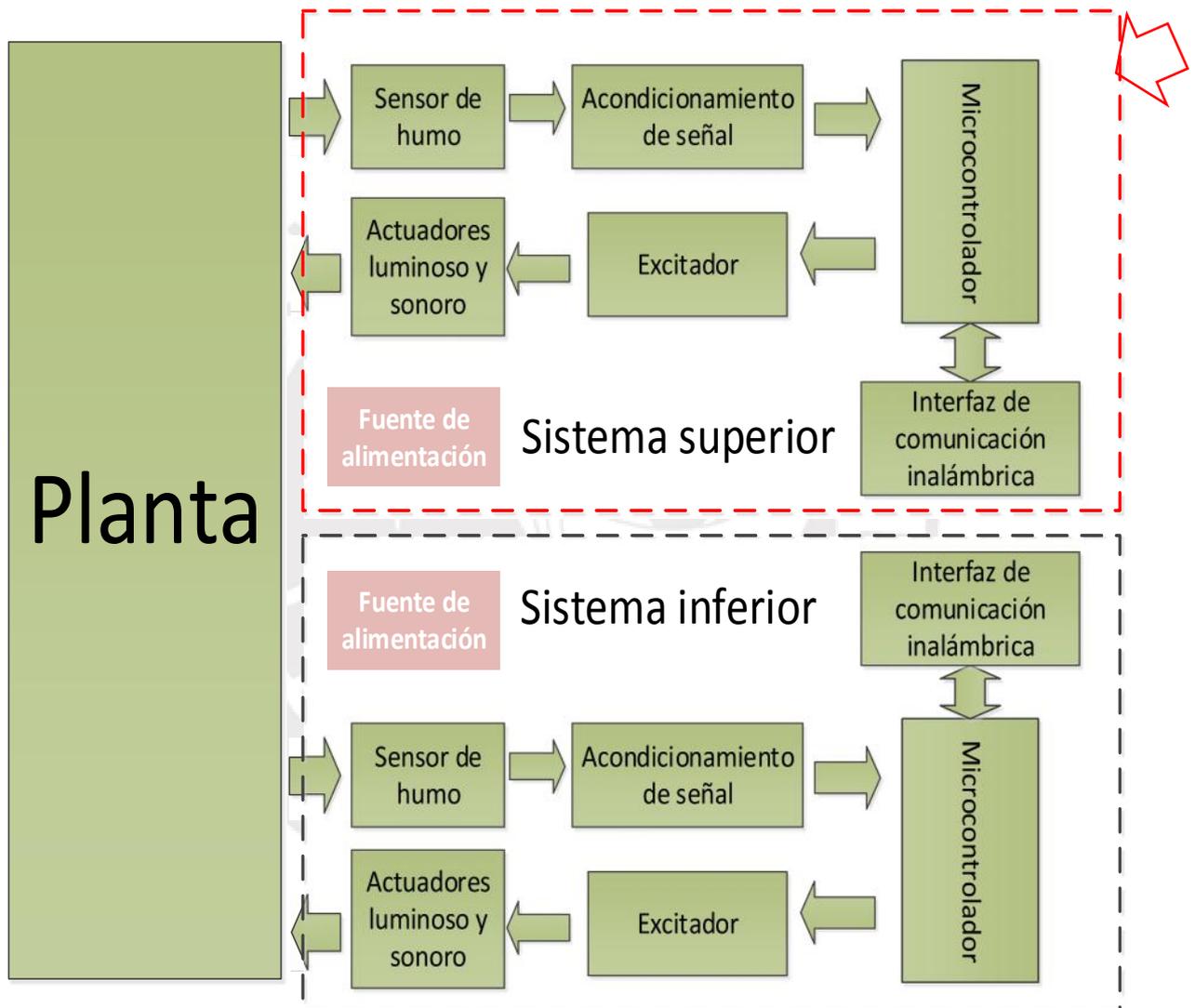


Figura 13. Diagrama de bloque del sistema. [Elaboración propia]

3.2.1. Planta

Estufa o cocina

De acuerdo a la Real Academia de la lengua española (RAE), es un aparato que hace las veces de fogón, con hornillos o fuegos y a veces horno.

Puede calentar con carbón, gas, electricidad, etc.

Balón de gas

El balón de gas es un envase portátil especial de acero cuya función es poder contener a un gas, en este caso GLP, para este fin el balón debe poder contener al gas con una presión menor a la máxima admisible que según la Norma Técnica Peruana NTP 321.100 es de 208 psig [20]. Para el caso particular de esta tesis el balón a utilizar será uno de 10kg debido a su alto porcentaje de uso en los domicilios en el Perú, el cual representará a la planta en el diagrama presentado.

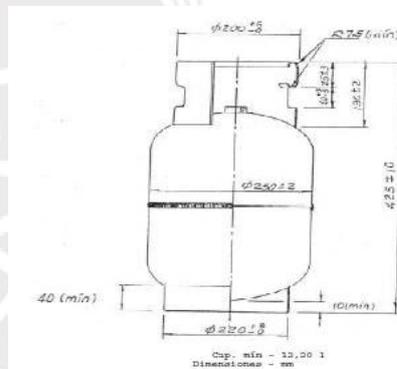


Figura 14. Balón de Gas.

Tomado de “GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP). Determinación de la presión de vapor manométrica. Método GLP” (1999). INACAL

3.2.2. Selección de componentes

Sensor de humo

Requerimientos:

Se requiere de un dispositivo que detecte la presencia de humo, de dimensiones reducidas y que ante condiciones ambientales extremas no se vea afectado su funcionamiento.

Alternativas:

Tabla 8. Alternativas de selección de detector de humo [Elaboración propia].

	MQ2	HIS-07	Módulo Fotoeléctrico
			
Método de detección	Dieléctrico	Cámara ionizante	Cámara fotoeléctrica
Dimensiones	23 x 20 mm Ø	22 x 42 mm Ø	50 x 20 x 70 mm
Rango de temperatura	< 65% HR	<95% HR	<95% HR
Rango de humedad	< 65% HR	<95% HR	<95% HR
Voltaje de funcionamiento	5V	24V	9V
Costo	\$ 13.37	\$ 2.91	\$11.88

Criterio de Selección:

El dispositivo seleccionado es el módulo fotoeléctrico, debido a que su método de detección no atenta contra la salud de las personas como si lo realiza el HIS-07, el cual emite radiación y puede resultar dañino para las personas ante una exposición prolongada según anexo 1 [24]. Así mismo, la elección del módulo fotoeléctrico frente al sensor MQ2 se debe a

dos motivos, el primer motivo es que el MQ2 puede responder a otras sustancias como son el alcohol (ver anexo 2 [25]), mas no así el detector fotoeléctrico. El segundo motivo es el mayor rango de temperatura de trabajo que tiene el sensor fotoeléctrico. Además, el costo del módulo fotoeléctrico resulta ser más bajo. Cabe señalar que las dimensiones del módulo fotoeléctrico no son las más pequeñas pero este dispositivo no sólo cuenta con el sensor si no también presenta el circuito de acondicionamiento de la señal.

Acondicionamiento de señal

Como ya se mencionó en el apartado anterior, el dispositivo seleccionado cuenta con un circuito de acondicionamiento de la señal, el cual facilita la conexión con otros dispositivos ya que cuenta con pines de entrada para el accionamiento del led infrarrojo ubicado dentro de la cámara fotoeléctrica y un pin de salida digital.

Actuadores

) Indicador sonoro

Requerimientos:

De acuerdo con lo estipulado en el capítulo 18 sección 4 de la norma NFPA 72 del año 2010 [23], las señales audibles para sistemas de alarmas deben ser claramente percibidas por las personas y éstas deben de tener como mínimo un nivel sonoro de 10db por encima del ruido ambiental (60 db en ambientes domésticos) [21], con una duración no menor a los 60 segundos. Otro factor a tomar en cuenta es el costo del dispositivo.

Alternativas:

Tabla 9. Tabla comparativa de indicadores sonoros [Elaboración propia]

	Zumbador	Parlante	Piezoeléctrico
			
Nivel sonoro	85 db a 10 cm	80 db	88 db a 30 cm
Dimensiones	12mm Ø x 5.5 mm	50 mm Ø x 9mm	30 mm Ø x 9 mm
Circuito de control necesario	No	No	Si
Voltaje de funcionamiento	9V	1V	9V
Costo	S/. 10.16	S/. 9.81	S/. 8.51

Criterio de selección:

De los tres indicadores seleccionados como alternativas, se eligió el piezoeléctrico debido a que cuenta con el mayor nivel sonoro, lo que facilitaría cumplir con los parámetros indicados en la norma NFPA 72 y adicionalmente el costo del mismo facilita su elección.

) **Indicador luminoso**

El indicador luminoso tendrá como función el poder alertar al usuario la presencia de humo y la ubicación aproximada de la fuente de fuga de GLP.

Requerimientos:

El dispositivo a seleccionar debe de tener un bajo costo y bajo consumo de corriente, además no debe exceder los 1000 cd de intensidad efectiva, siguiendo las normas establecidas por el plan de emergencias [23].

Alternativas:

Tabla 10. Alternativas de indicadores luminosos. [Elaboración propia]

	LED	LED RGB	Piezoeléctrico
Intensidad luminosa	10000 mcd	Rojo - 550 mcd Verde - 250mcd Azul - 700mcd	Intensidad luminosa
Dimensiones	5 mm	5. 9mm	5 mm
Voltaje de funcionamiento	3.4V	Rojo - 2.1 V Verde - 3.2 V Azul - 3.1 V	3.2V
Costo	S/. 0.20	S/. 1.20	S/. 3.39

Criterio de selección:

Debido al espacio limitado que deberá contar el sistema superior y para poder realizar una adecuada señalización se requeriría de 3 indicadores, el componente seleccionado es el LED RGB ya que se pueden formar diferentes tonalidades de colores a partir de los colores primarios. Además, presenta un costo bajo.

Circuitos excitadores

) Excitador del indicador sonoro

Conforme a los datos brindados en la hoja de datos de la bocina seleccionada, se requiere:

Frecuencia de Resonancia: 3500 ± 500 Hz

Consumo de Corriente: 10 mA

Diseño:

Para obtener la frecuencia de resonancia de 3500 Hz se empleará el circuito de acondicionamiento recomendado por el fabricante en la figura 15.

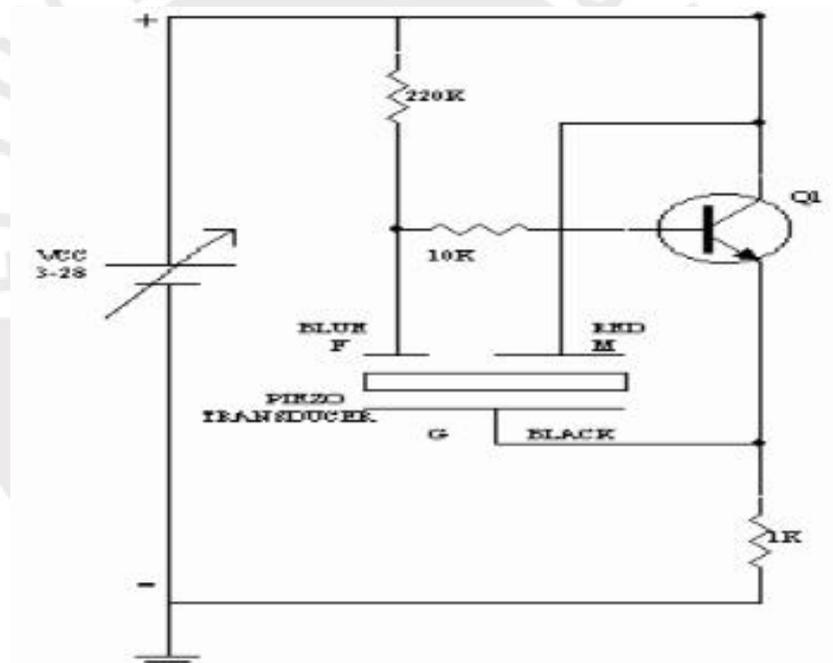


Figura 15. Excitador de indicador sonoro (anexo 3 [26]).

Para mayor información acerca del funcionamiento de este actuador revisar el anexo 4 [27].

) Excitador de los indicadores luminosos

El consumo de corriente de cada uno de los LEDs es el descrito en la tabla .

Tabla 11. Consumo de corriente del led RGB

	Rojo	Azul	Verde
Corriente DC (mA)	20	20	20

Diseño:

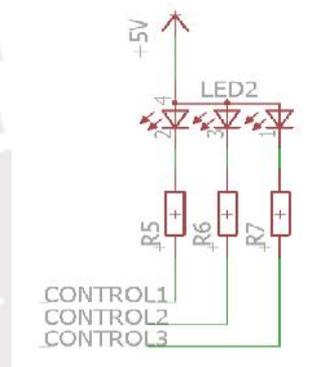


Figura 16. Diseño de excitador de led RGB [Elaboración propia].

El diseño seleccionado requiere para su funcionamiento voltajes de alimentación de 3.2, 3.1 y 2.1V trabajando a 20mA cada uno de los diodos, siendo la tensión del dispositivo de control 5V. Los cálculos realizados son los siguientes:

$$L. R : R5 = \frac{5 - 2.1 V}{20m} = 145 \Omega$$

$$L. A : R6 = \frac{5 - 3.1 V}{20m} = 95 \approx 100 \Omega (v \quad cc \quad)$$

$$L. R : R7 = \frac{5 - 3.2 V}{20m} = 90 \approx 100 \Omega (v \quad cc \quad)$$

Interfaz de comunicación

Requerimientos:

El presente trabajo requiere una única conexión inalámbrica entre los sistemas inferior y superior, por lo cual los requerimientos son los siguientes:

-) Tecnología de comunicación inalámbrica que presente como mínimo un alcance de 2m.
-) Hardware con dimensiones pequeñas.
-) Bajo consumo de corriente.

Alternativas:

Tabla 12. Tabla comparativa de tecnologías inalámbricas. [Elaboración propia]

	HC-05	XBEE	ESP8266
Frecuencia	2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
Alcance	10 m	75m	100m
Consumo de potencia	Transmitiendo: 40mA	Transmitiendo: 33mA	Transmitiendo: 170mA
	Reposo: --	Reposo: <1uA	Reposo: 10uA
Costo	S/. 15.00	S/. 100.00	S/. 18.00*
Tasa de transmisión	1Mbps	250Kbps	4.5Mbps*

Criterio de selección:

El dispositivo seleccionado es el HC-05, debido a que entre las opciones presentadas es el de menor costo y trabaja con una tasa de transmisión adecuada para el desarrollo del presente proyecto.

Para establecer la comunicación entre los dos módulos (módulo superior e inferior), se requerirá de 2 módulos bluetooth, que se muestra en la figura 3.6. Uno de ellos establecerá la

comunicación inicial a lo cual se le denomina dispositivo maestro, mientras que el otro realizará las funciones de un oyente de la comunicación, llamándolo esclavo.

La distribución de pines del módulo bluetooth se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Distribución de pines. [Elaboración propia]

Pin	Función
VCC	Alimentación (5V)
GND	Tierra
Rx	Recepción de la data
Tx	Transmisión de la data

Los pines Rx y Tx serán conectados a los pines Tx y Rx del microcontrolador respectivamente, de manera tal que se envíe la información deseada desde el microcontrolador al módulo superior y viceversa.

Bloque de control

Requerimientos:

El dispositivo de control requerirá de un bajo consumo energético, de un tamaño reducido y bajo costo. Además, el sistema requiere que el controlador sea capaz de trabajar con protocolos de comunicación inalámbricas y que cuente como mínimo de 10 pines de conexión para los dispositivos que se describen en la tabla 14 .

Tabla 14. Números de pines del microcontrolador [Elaboración propia]

Número de pines	
Bocina	3
Bluetooth	2
Cámara fotoeléctrica	2
LED RGB	3
Total de pines	10

Alternativas:

Durante la investigación realizada se encontraron circuitos integrados de uso específico para la detección de humo. En la tabla 15 se presentan los circuitos mencionados.

Tabla 15. Circuitos integrados de aplicación de detección de humo.

	MC145010	RE46C165
Voltaje de Operación	6-12 VDC	6-12 VDC
Corriente de Alimentación Máxima	12uA	14uA
Entrada de Sistemas Externos	Si -3.2 VDC por el pin 7	Si - 3,2 VDC por el pin 7
Dimensión	19.55mm x 10.55mm	19.68mm x 8.25 mm
Costo (CIF)	\$1.00	\$1.02

Estos circuitos garantizan la detección de humo en el ambiente, sin embargo, ambos circuitos no cuentan con pines disponibles para establecer la comunicación inalámbrica requerida. Por lo cual, es necesario el uso de un microcontrolador adicional que permita solucionar dicho inconveniente.

En la tabla 3.5 se muestra los microcontroladores existentes, los cuales cumplen con los requerimientos.

Tabla 16. Tabla comparativa de microcontroladores. [Elaboración propia]

	Atmega 8	PIC 16F876A	Arduino Pro Mini
Número de Pines	23, 8 canales de conexión Análogo-Digital	28, 5 canales de conexión Análogo-Digital	14, 8 canales de conexión Análogo-Digital
Dimensiones	9.25mm x 9.25mm x 1.20mm	34.67mm x 7.87 mm x 7.11 mm	18mm x 33mm x 0.8 mm
Puertos de comunicación Serial	1 puerto USART	1 UART 1 USART 1 SPI/I2C	1 puerto UART
Voltaje de Operación	2.7 -5.5 VDC	2 -5.5 VDC	5-12 VDC
Costo	S/. 8.00	S/. 15.00	S/. 13.00

Criterio de selección:

En el caso del dispositivo de uso específico, se seleccionó el MC145010 debido a los siguientes motivos:

-) Bajo consumo energético.
-) Cuenta con un pin dedicado a la conexión con otros dispositivos.
-) La facilidad de adquisición en el mercado local.

Para el microcontrolador adicional, se escogió el Arduino Pro Mini ya que este circuito posee los componentes electrónicos ya ensamblados lo que ayuda a reducir los tiempos de desarrollo, lo que a su vez se traduce en un aumento de la relación costo/beneficio.

Adicionalmente, el Arduino Pro Mini permite una fácil conexión con el módulo bluetooth seleccionado.

Diseño:

El circuito de uso específico (MC145010) se encuentra dentro de circuitos comerciales que cuentan con una fuente AC/DC (ver anexo 5 [28]), el diseño está basado en la hoja de datos brindados por el fabricante del uso del controlador MC145010, mostrado en la figura 17 :

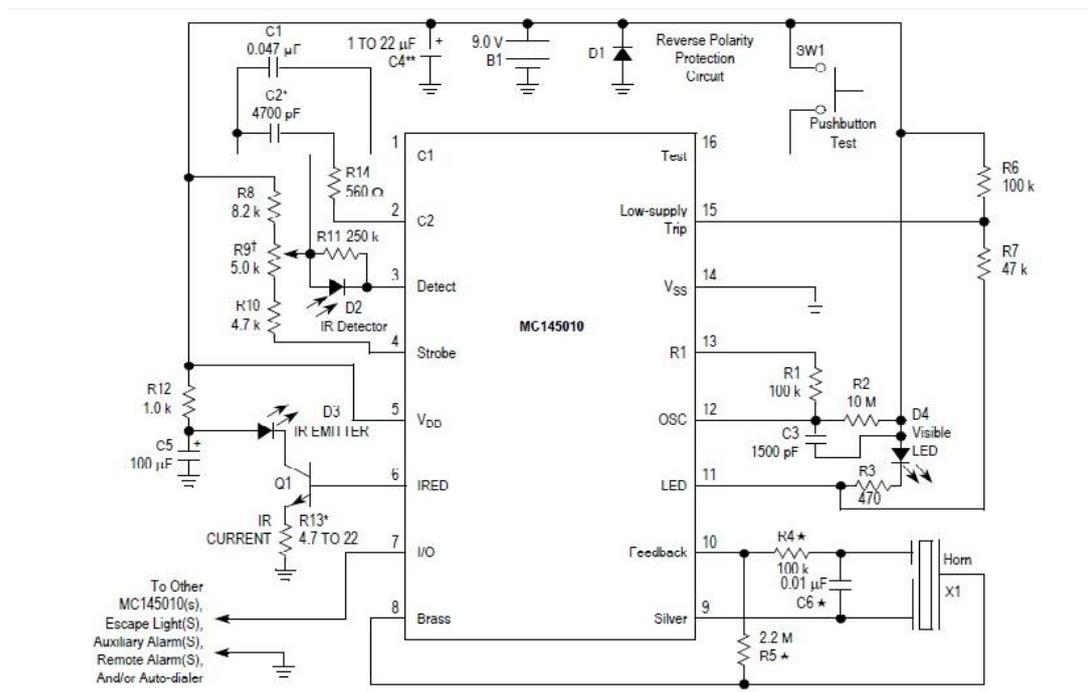


Figura 17. Detector de humo basado en MC145010. (anexo 5 [28])

Según el esquemático, este cuenta con las siguientes partes:

D3: Led emisor de luz infrarroja

D2: Led receptor de luz infrarroja

SW1: botón de prueba

X1: bocina

Pin 7: pin de entrada/ salida

En la figura 18 se muestran el diseño de las conexiones para el arduino Pro Mini, las cuales integran los indicadores luminosos, los pines de comunicación con el módulo bluetooth y la conexión al detector de humo.

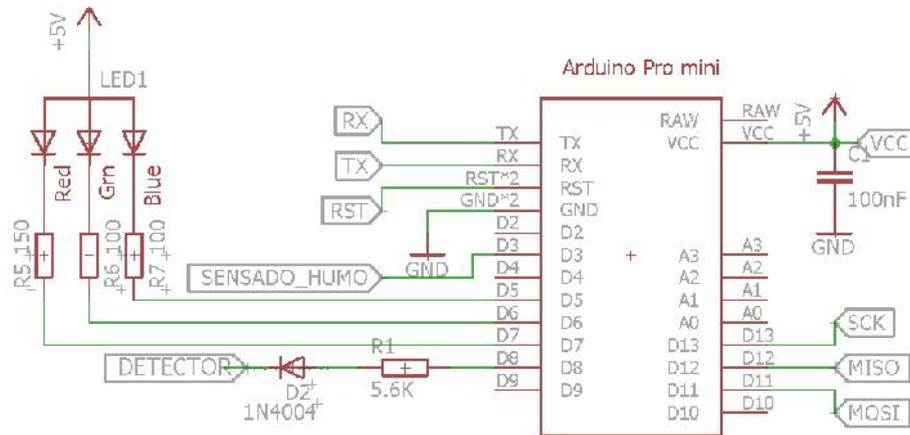


Figura 18. Conexiones del arduino ProMini [Elaboración propia].

Conexiones del Arduino Pro Mini:

-) Tx, Rx: Pines de conexión con el módulo bluetooth
-) SCK, MISO, MOSI, RST: Pines de programación.
-) D5, D6 y D7: Pines dedicados al encendido del led RGB. La activación de los pines determinará el color del led RGB.
-) D8: Pin de salida del arduino ProMini, el cual se activa (5V) cuando el módulo superior recibe la data enviada por el módulo inferior (fuga de gas). La etiqueta "DETECTOR" es conectada al pin 7 del MC145010 para activar la alarma cuando se encuentre en presencia de fuga de gas.

Como se mencionó anteriormente, El pin 7 del integrado MC145010 funciona como pin de entrada y salida, el cual se empleará como pin de comunicación con el arduino Pro Mini. Para lo cual en la figura 19 se muestra el esquema circuito de acople entre ambos circuitos.

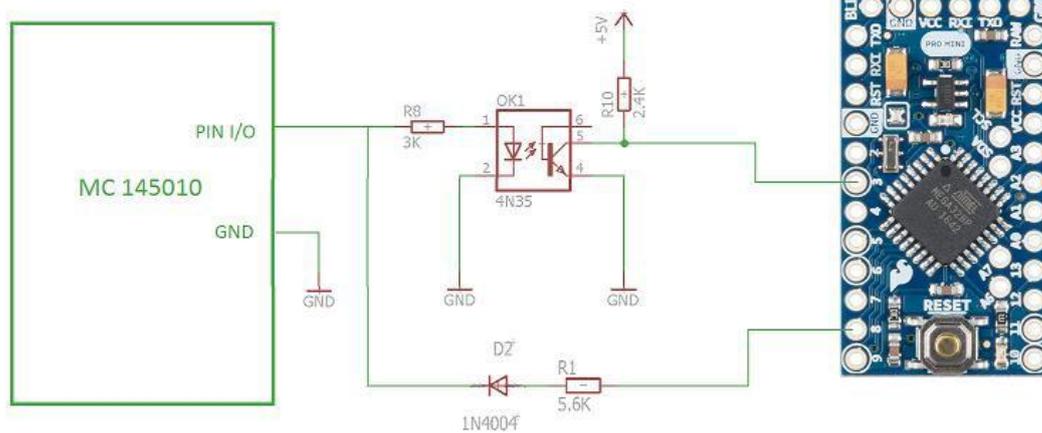


Figura 19. Circuito de acople entre el arduino Pro Mini y MC145010 [Elaboración propia].

El diseño del circuito de acople funciona como un circuito de activación ON/OFF, en donde el fotoreceptor del optotransistor se activará ante la presencia de un nivel lógico alto por parte del pin 7 del MC145010 (Pin I/O), mas no deberá activarse ante un nivel lógico alto enviado por el Arduino Pro Mini (pin D8), con el fin de que no se generen errores en la lógica de control.

Cálculos:

IC = corriente de colector

VF = voltaje en el fotodiodo

IC = corriente del diodo

VD2 = voltaje en diodo 2

VCE = voltaje colector – emisor

Según la hoja de datos del fabricante (Fairchild), se define IC = 2mA que bajo la curva de IF = 2.5mA, el valor de VCE debe ser de 0.2V. De acuerdo a la tabla VF vs. IF del fabricante, para el valor seleccionado de IF = 2.5 mA, VF debe ser 1V. Bajo estos parámetros se definen los valores de R8 y R10.

Se sabe que cuando el detector de humo se activa, el voltaje de PIN I/O es de 9V, entonces:

$$R8 = \frac{(V_{I/O} - V)}{I_I} = 3.2K \approx 3K\Omega \quad (v \quad cc \quad)$$

$$R10 = \frac{5 - V}{I_I} = 2.4K\Omega \quad (v \quad cc \quad)$$

Por otro lado, cuando se detecte gas en el sistema inferior, la comunicación inalámbrica del sistema superior recibirá los comandos enviados por el sistema inferior, lo que generará que el arduino Pro Mini active un nivel lógico alto en el pin digital 8 que a su vez será recibido por el pin 7 del MC145010 que requiere un voltaje de 2.2V (de acuerdo a las pruebas realizadas) para activar la alarma del detector de humo.

Para obtener el valor de R1, se requirió conocer la resistencia interna del Pin7 del MC145010, el cual resultó ser 95K producto de la medición de la corriente entrante en el Pin7 (23 μ A) para una tensión de 2.2V. Para este caso, la corriente IF resultó ser:

$$I = \frac{2.2 - 1.09}{3K} = 0.37A$$

Con estos datos el valor de R1 será el siguiente:

Datos: VD8 = 5V, VD2 = 0.7V, IF = 0.37mA

$$R1 = \frac{V_8 - V_2 - (3K \times I)}{I} = 5.81K \approx 5.6K\Omega \text{ (valor comercial)}$$

Fuente de alimentación

Requerimientos:

En la tabla Se muestra el consumo total del Arduino Pro Mini y los componentes conectados a él.

Tabla 17. Corriente de componente de sistema superior controlado por arduino ProMini [Elaboración propia]

Componentes	Tensión (V)	Cantidad	Consumo (mA)
Módulo Bluetooth HC-05	5	1	70
Arduino ProMini	5	1	20
MQ5	5	2	146
Servomotor	5	1	400
CONSUMO TOTAL			782mA

Por otro lado, el diseño del detector de humo basado en el controlador MC145010 presenta un consumo de 10 mA. Para mayor información revisar Anexo 5 [28], en el cual se detalla la información de este integrado, debe ser adicionalmente ligero y no requiere un grado de protección elevado ya que se encontrará dentro de una cubierta.

Alternativas:

Tabla 18. Tabla comparativa de fuentes de alimentación. [Elaboración propia]

	Fuente genérica de celular	Módulo Fuente AC/DC
		
Voltaje y corriente a la salida	5 VDC @ 1A	5VDC @ 600mA
Dimensiones	18 mm x 2 mm x 10 mm	40 mm x 15 mm x 18mm
Voltaje de alimentación	100 -240VAC	85 – 265 VAC
Costo	S/. 5.00	S/. 15

Criterio de selección:

Debido al costo y a las dimensiones de ambos dispositivos, se opta por elegir a la fuente genérica. Así mismo, la corriente que suministra esta fuente genérica cumple con el requerimiento mínimo de 110mA.

3.3 Software

El arduino Pro Mini tendrá como objetivo el poder controlar las interacciones entre diversos componentes como son:

-) Dispositivos de comunicación entre los sistemas inferior y superior
-) Comunicación con el controlador MC145010
-) Activación de indicadores luminosos (LED)

Para lo cual la lógica de control será el siguiente:

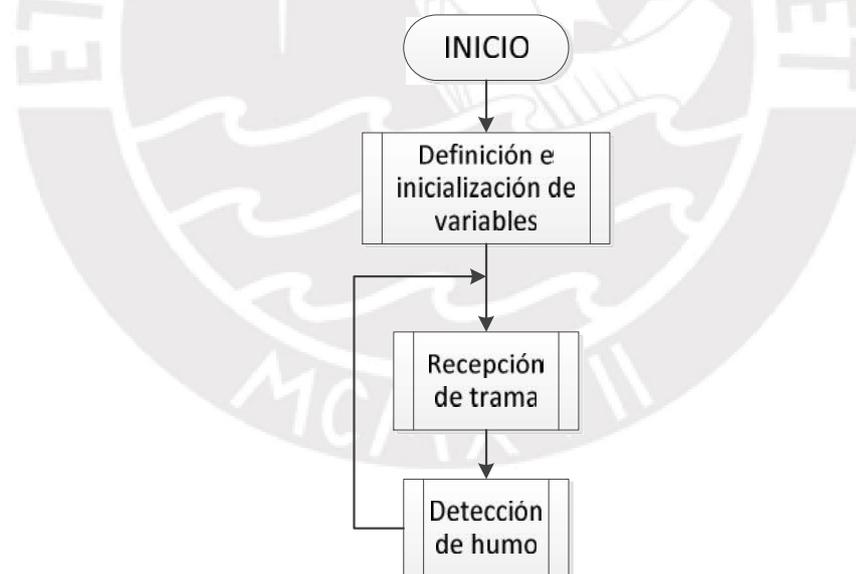


Figura 20. Lógica de control de módulo inferior.

En el bloque de recepción de trama (figura 21) el sistema validará entre los dos únicos datos válidos que serán enviados por el sistema inferior, según el cual el indicador luminoso presentará un color diferente para cada tipo de fuga que se pueda presenciar en conjunto con la activación de la alarma sonora representada por la bocina.

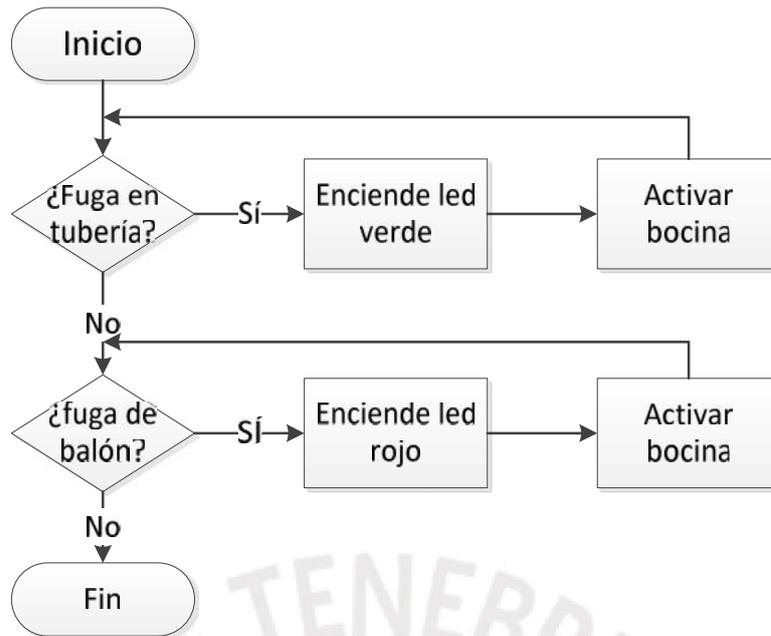


Figura 21. Recepción de trama

En la figura 21, se puede apreciar la existencia del bloque Activar Bocina, el cual se encargará de establecer un nivel lógico alto en el pin7 del MC145010 para que pueda activar la alarma sonora.

Por otro lado, el bloque de detección de humo se encargará de verificar la alerta proveniente del controlador MC145010 para luego realizar el envío de un mensaje serial al módulo inferior con el código 'H' (detección de humo), como se aprecia en el diagrama de flujo 8.

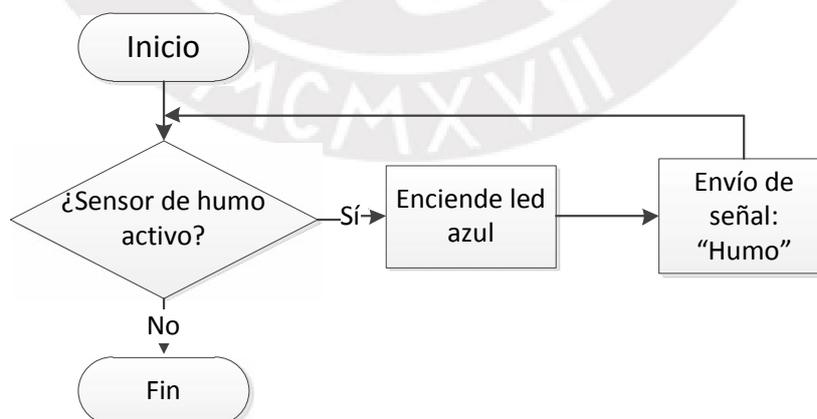


Figura 22. Detección de humo

La programación realizada en base a los diagramas de bloques mostrados se muestran en el anexo 11.

3.4 Diseño de circuitos

A continuación se muestran los circuitos elaborados con los dispositivos seleccionados anteriormente.

En la figura 23 se muestra el diagrama esquemático del sistema superior en donde se aprecian los pines de programación del arduino Pro Mini y el circuito de acople entre el arduino Pro Mini y el integrado MC145010.



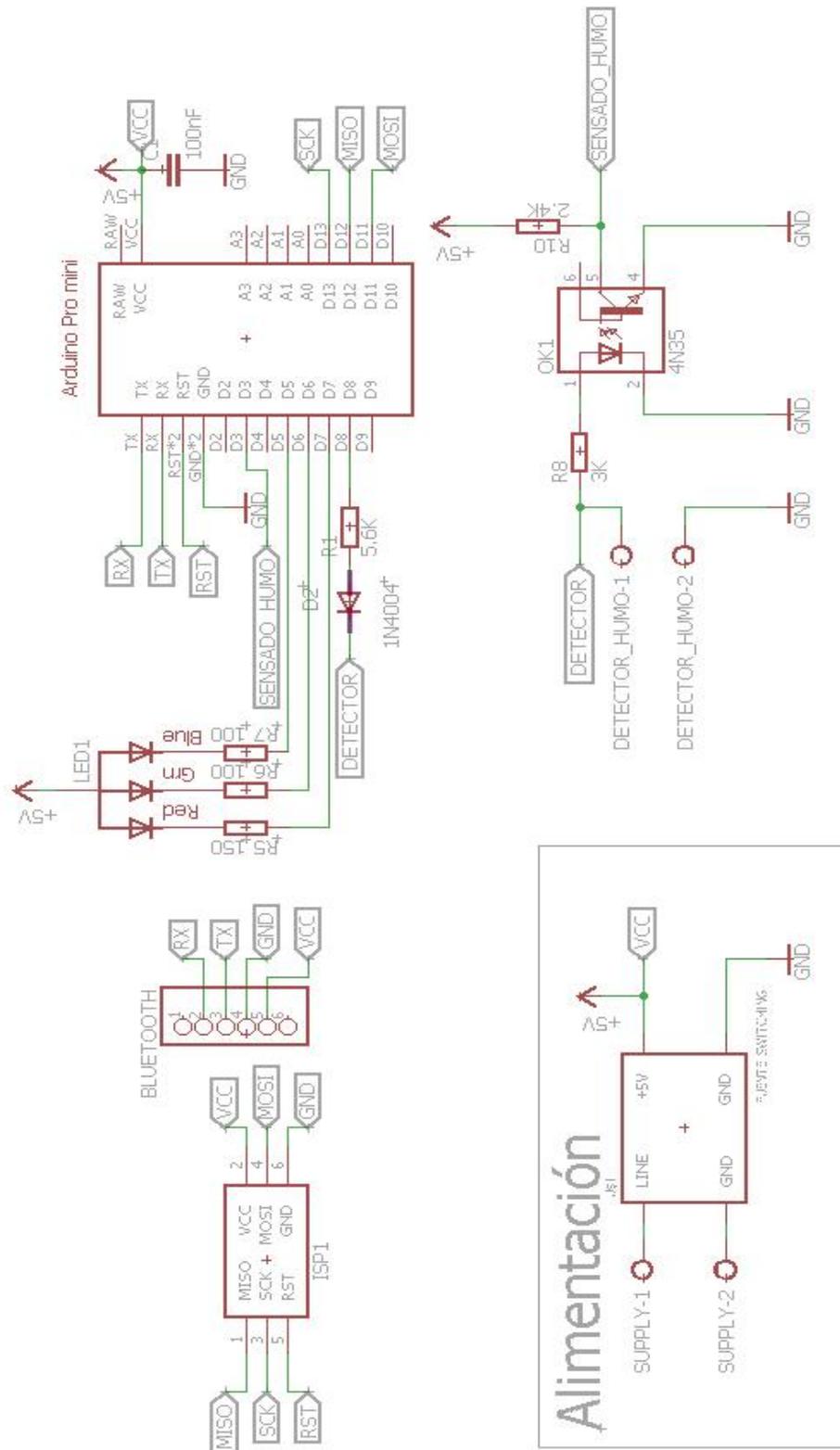


Figura 23. Diagrama esquemático del sistema superior.

En la figura 24 muestra la máscara de cobre del dispositivo que se encontrará en el techo junto con el integrado MC145010.

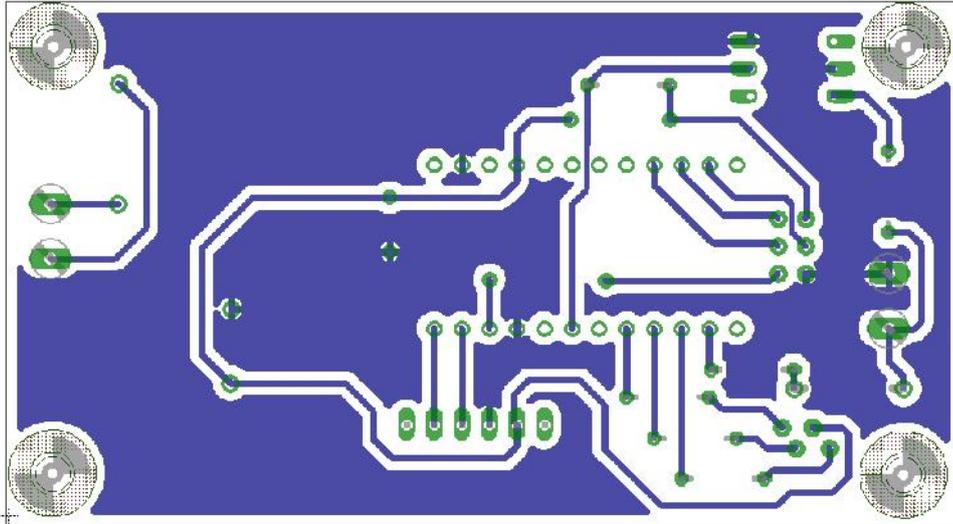


Figura 24. Máscara de cobre del sistema superior [Elaboración propia].

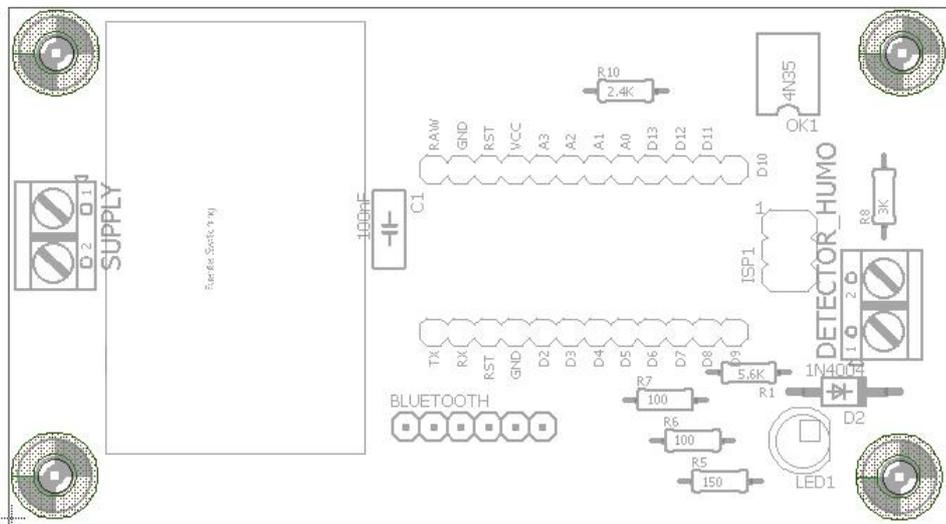


Figura 25. Máscara de componentes del sistema superior [Elaboración propia].

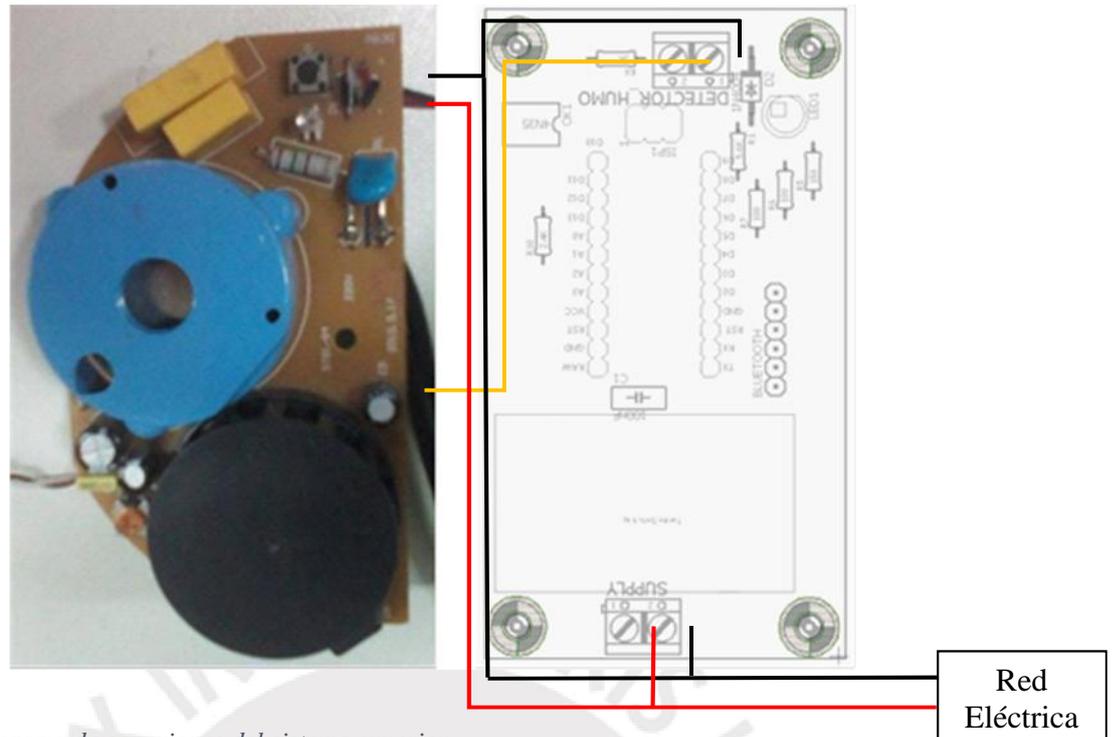


Figura 26. Diagrama de conexiones del sistema superior

3.5 Costos

En esta sección se detalla el costo de la elaboración del presente trabajo de estudio.

Tabla 19. Cuadro de costo de proyecto

Costo de materiales			
Componentes	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Total (S/.)
Arduino Pro Mini	1	13.00	13.00
HC-05	1	15.00	15.00
Circuito Detector de Humo	1	20.00	20.00
Cargador de 5V – 2A	1	15.00	15.00
Otros Componentes		5.00	5.00
Subtotal			68.00
Costo de Software			
Componentes		Precio Unitario (S/.)	Total (S/.)
Elaboración de software		2500.00	2500.00
Subtotal			2500.00
Implementación			
Componentes	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Total (S/.)
Tarjeta sistema superior	1	13.00	13.00
Subtotal			41.00
Costo Total del proyecto			2622.00

CAPÍTULO 4

Pruebas y resultados

Este capítulo se enfocará en las pruebas del sistema superior. Estos ensayos permitirán determinar el cumplimiento de los objetivos propuestos y el grado de eficiencia del dispositivo para la detección de humo en ambientes domiciliarios. Así mismo, se desea que el dispositivo desarrollado pueda ser empleado dentro de una vivienda sin generar ningún inconveniente adicional debido al proceso de instalación o mantenimiento. El diseño final debería ser similar al de la siguiente figura.



Figura 27. Disposición del sistema en el ambiente de cocina

4.1 Ensayos

Los ensayos a realizar seguirán el siguiente orden:

-) Ensayos de los componentes del sistema superior
-) Integración del sistema superior

4.1.1. Ensayos de los componentes del sistema superior

En esta sección se realizarán los ensayos de cada parte del sistema superior por separado. Estos ensayos incluirán la respuesta a la detección de humo y verificación del funcionamiento del módulo Bluetooth. Incluyendo algunas pruebas de conexión y transmisión entre el módulo bluetooth y el arduino Pro Mini.

Pruebas del detector de humo

Lo primero a verificar es el funcionamiento del circuito integrado MC145010, en donde no sólo se probará el rango de detección del sensor, si no también se analizarán las señales digitales que son recibidas y emitidas ante la presencia de humo. En la figura 28 se muestra la tarjeta comercial a emplear, cuyo circuito esquemático corresponde al diseño del detector de humo descrito en el capítulo 3.



Figura 28. Tarjeta de detección de humo y accionamiento de la alarma [Elaboración propia].

El primer ensayo a realizar es la verificación de la distancia de detección de humo en el circuito. En esta prueba se analizó también el tiempo de respuesta a cada distancia planteada para el ensayo respecto a la fuente de humo.

Para replicar las condiciones de uso, las pruebas fueron realizadas en un ambiente cerrado, lo que se puede apreciar en la figura 29.



Figura 29. Prueba de detección de humo a 1.20mt sobre la fuente de humo

Los resultados de la prueba son mostrados en la tabla 20, en el cual se observan los tiempos de respuesta para intervalos de distancias determinados.

Tabla 20. Tiempo de respuesta del detector de humo.

Distancia (cm)	Tiempo de respuesta (s)
100	10
120	12
150	14
180	20
200	50

De los resultados obtenidos, se aprecia que el tiempo de respuesta del circuito tiene una relación directa a la distancia del foco del humo, en otras palabras, a mayor distancia mayor tiempo de respuesta.

El ambiente en el cual el sensor de humo se encontrará presenta otras sustancias en el ambiente a los cuales se enfrentará y que podrían accionar el sistema. Uno de esos agentes es el vapor de agua, debido a que las partículas de agua tienen la propiedad de refracción de la luz. Por ello, se probó la sensibilidad del sensor frente a una fuente de vapor (olla con agua hirviendo), a lo cual los resultados no arrojaron ninguna sensibilidad.

Debido a que el circuito detector de humo MC145010 se conectará con el Arduino Pro Mini, es necesario poder identificar los niveles de tensión que éste genera en el pin de entrada y salida (7) ante la presencia o ausencia de humo para evitar dañar el pin de entrada del Arduino Pro Mini por una elevada tensión. En la tabla 21 se muestra las tensiones encontradas.

Tabla 21. Tensiones de Pin I/O del MC145010

	Tensión en el pin Entrada/Salida (V)
Sin Detección de Humo	0
Con Detección de Humo	9

Así mismo, el pin 7 del microcontrolador MC145010 al funcionar también como receptor de alarma requiere recibir un nivel de tensión, el cual de acuerdo a pruebas realizadas es de 2.2V para el accionamiento de la alarma, el ensayo puede ser visto en el anexo 6.

Pruebas de comunicación bluetooth

La comunicación inalámbrica entre el módulo bluetooth HC-05 y el arduino Pro Mini es parte fundamental de la creación del dispositivo y esta se establece mediante el puerto de comunicación UART. Para poder realizar esta comunicación se debe de configurar el módulo bluetooth, ya que este puede trabajar tanto como un dispositivo maestro o esclavo. Sin embargo, en este caso requerimos que dicho componente funcione como el dispositivo esclavo. Por lo que se realizará una breve descripción del proceso realizado.

Configuración del módulo bluetooth:

El módulo bluetooth de este dispositivo deberá ser configurado como un dispositivo esclavo debido a que el sistema superior será el encargado de responder al inicio de comunicación establecido por el sistema inferior.

Para poder realizar esta configuración se debe ingresar al modo AT, la cual es especificada en la hoja de datos del fabricante (ver anexo 7 [29]), y configurar los siguientes parámetros:

Tabla 22. Lista de comandos AT de módulo HC-05

Comando	Descripción
AT+NAME	MUESTRA Y PERMITE CONFIGURAR EL NOMBRE DEL DISPOSITIVO. Se configurará con el comando: AT+NAME =Sist_sup
AT+ROLE	DESCRIBE EL TIPO DE COMUNICACIÓN QUE ESTABLECE: 0: ESCLAVO (POR DEFECTO) 1: MAESTRO 2: LOOP –ESCLAVO Se configurará con el comando: AT+ROLE=0
AT+PSWD	DEFINE LA CONTRASEÑA PARA EMPAREJAR DISPOSITIVOS Se configurará con el comando: AT+PSWD=6789
AT+UART	DEFINE LA TASA DE TRANSMISIÓN DE LA COMUNICACIÓN Se configurará con el comando: AT+UART=9600,1,2

Configuraciones de enlace con el Sistema inferior	
AT+CMODE	<p>CONFIGURA EL MODO DE CONEXIÓN:</p> <p>0: CONECTA CON UN DISPOSITIVO ESPECIFICO (POR DEFECTO)</p> <p>1: PUEDE CONECTARSE CON CUALQUIER DISPOSITIVO</p> <p>2: MODO DE PRUEBA</p> <p>Se configurará con el comando: AT+CMODE=0</p>
AT+BIND	<p>CONFIGURA LA DIRECCIÓN BLUETTOTH DE CONEXIÓN</p> <p>Se configurará con el comando:</p> <p>AT+BIND = dirección sist inferior</p>

Para tales configuraciones se empleó un software libre (CoolTerm) que se comunicó con el módulo bluetooth a través de un conversor de señales USB-TTL, el cual se aprecia en la figura 30.



Figura 30. Conversor de señales 6 en 1 CP2102

En la figura 31 se muestra algunas de las configuraciones realizadas en el módulo HC-05, mediante el software comentado en líneas previas.

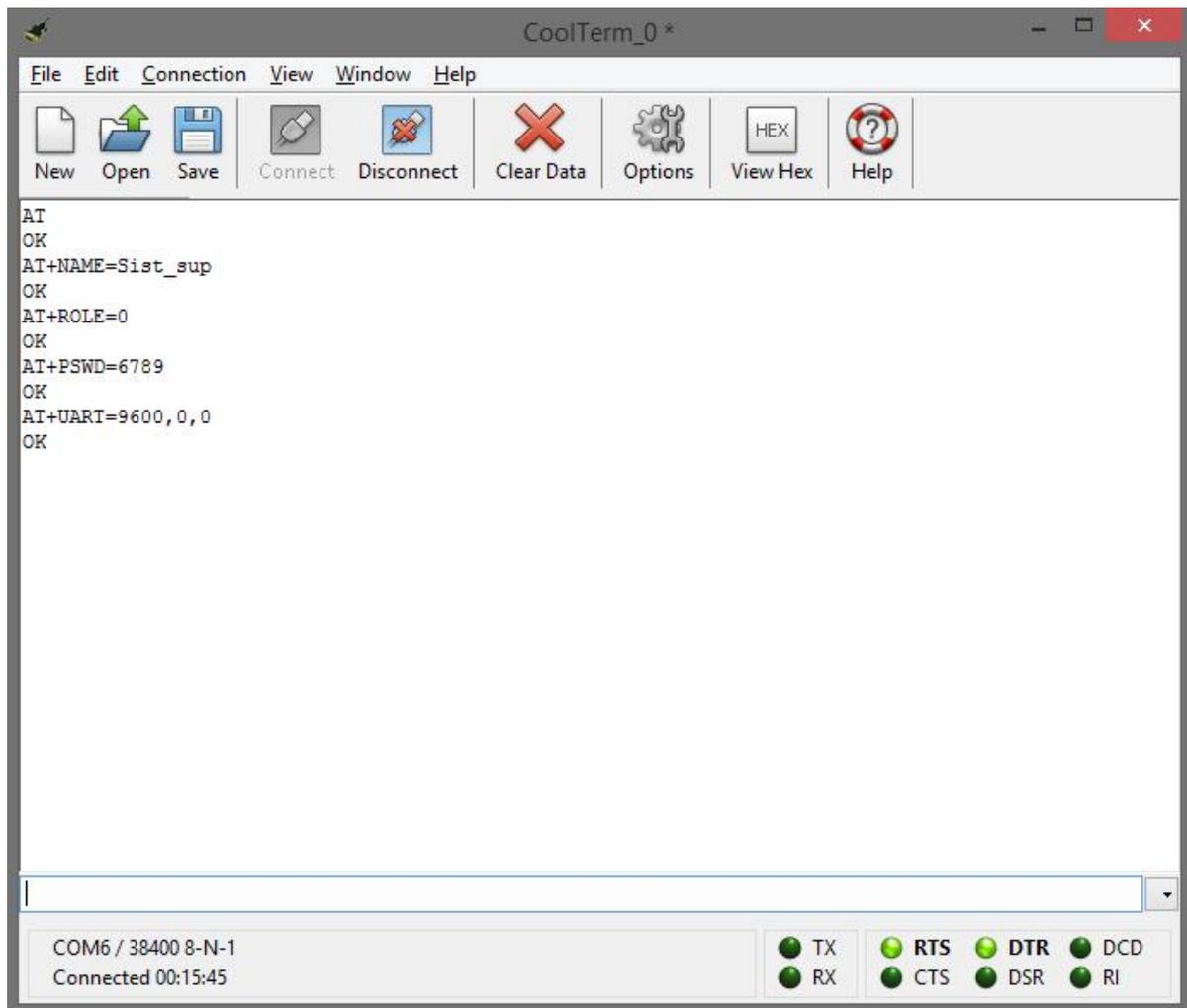


Figura 31. Configuración del módulo bluetooth con software CoolTerm

Conexión del módulo bluetooth con arduino Pro Mini:

La conexión entre el módulo arduino Pro Mini y módulo bluetooth HC-05 se establecerá a través del puerto UART, para lo cual se debe de configurar el arduino a la frecuencia de comunicación establecida en la configuración del módulo bluetooth.

La recepción o transmisión de mensajes será procesador por el arduino Promini y se identificarán los siguientes códigos:

Tabla 23. Listado de códigos de comunicación entre sistema superior e inferior

Códigos recibidos desde el sistema inferior	Descripción
'B'	Detección de fuga de gas en el balón de gas
'C'	Detección de fuga de gas en la cocina

Códigos enviados hacia el sistema inferior	Descripción
'H'	Detección de humo en el ambiente

Pruebas de comunicación:

Las pruebas de comunicación se dividirán en tres:

-) Prueba de recepción de tramas
-) Prueba de envío de tramas
-) Prueba de distancia

Prueba de recepción de tramas:

Por simplicidad, para esta prueba se usará una aplicación móvil (Bluetooth USB Wifi terminal) para establecer la comunicación con el módulo bluetooth y realizar el envío de información hacia el sistema superior.

Debido a que el arduino Promini no posee dos puertos de comunicación UART, para constatar la recepción de los mensajes se colocó unos leds en los pines 5 y 6 del arduino, para apreciar el video del ensayo ver anexo 8.

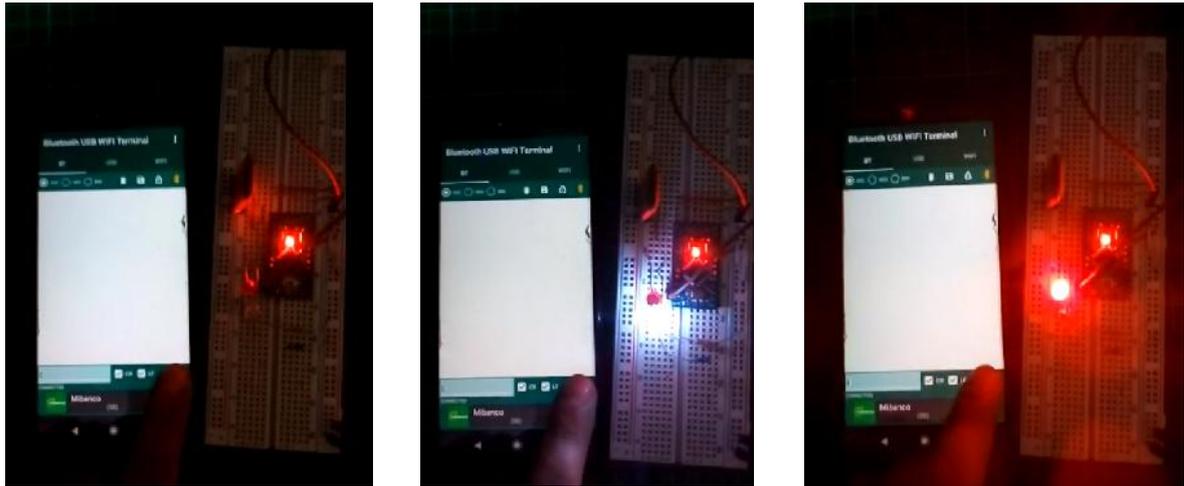


Figura 32. Pruebas de recepción de tramas

La imagen de la izquierda muestra la conexión establecida entre el módulo bluetooth y el aplicativo móvil, la imagen central representa el encendido del led blanco ante el envío de la letra 'B', por último la imagen de la derecha muestra el encendido del led rojo ante la transmisión de la letra 'C'.

Prueba de recepción de tramas:

En esta prueba se simulará el detector de humo con la conexión del pin digital 8 a tierra o al pin de alimentación para generar señales lógicas de 0 y 1, respectivamente.

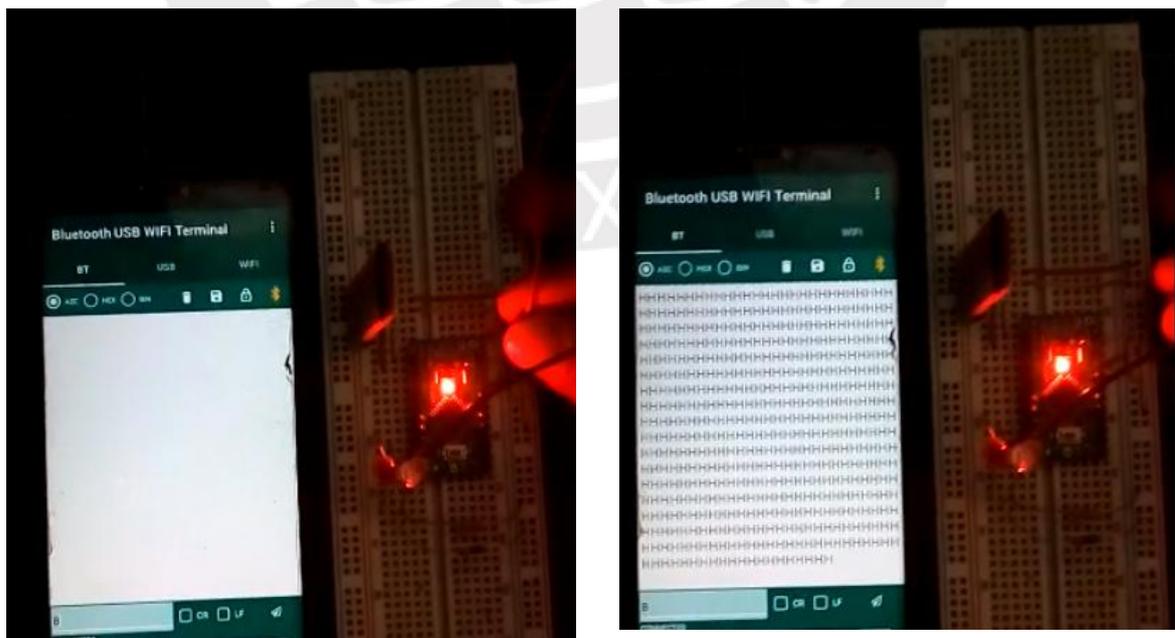


Figura 33. Pruebas de transmisión del arduino ProMini al aplicativo móvil

Cuando el pin 8 del arduino Pro Mini se encuentra en un nivel lógico bajo (0) no realizará el envío de ningún tipo de trama (imagen de la de izquierda), mientras que al estar en presencia de un nivel lógico alto (1) enviará constantemente la trama “H” hasta que dicha señal decaiga a un nivel lógico bajo otra vez.

Prueba de distancia:

Para garantizar la conectividad en el ambiente de cocina en donde se encontrarán ubicados estos dispositivos y para corroborar las características descritas en el capítulo 3 del módulo bluetooth, se probará el alcance de las transmisiones del módulo bluetooth.

Se realizará prueba de transmisión de datos, en donde se variará la distancia en base a medidas realizadas con un flexómetro en vista directa desde el punto de emisión al receptor. Para ello se plantea ensayos basados en las siguientes distancias: 1.5 m, 2.4 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m, 7 m, 8 m, 10 m.

Tabla 24. Listado de pruebas de alcance realizadas

Distancia (cm)	Respuesta de sistema
1.5	Recepción correcta
2.4	Recepción correcta
3	Recepción correcta
4	Recepción correcta
5	Recepción correcta
6	Recepción correcta
7	Recepción correcta
8	Recepción correcta
10	Recepción correcta

En la figura 34 se muestra las pruebas realizadas.

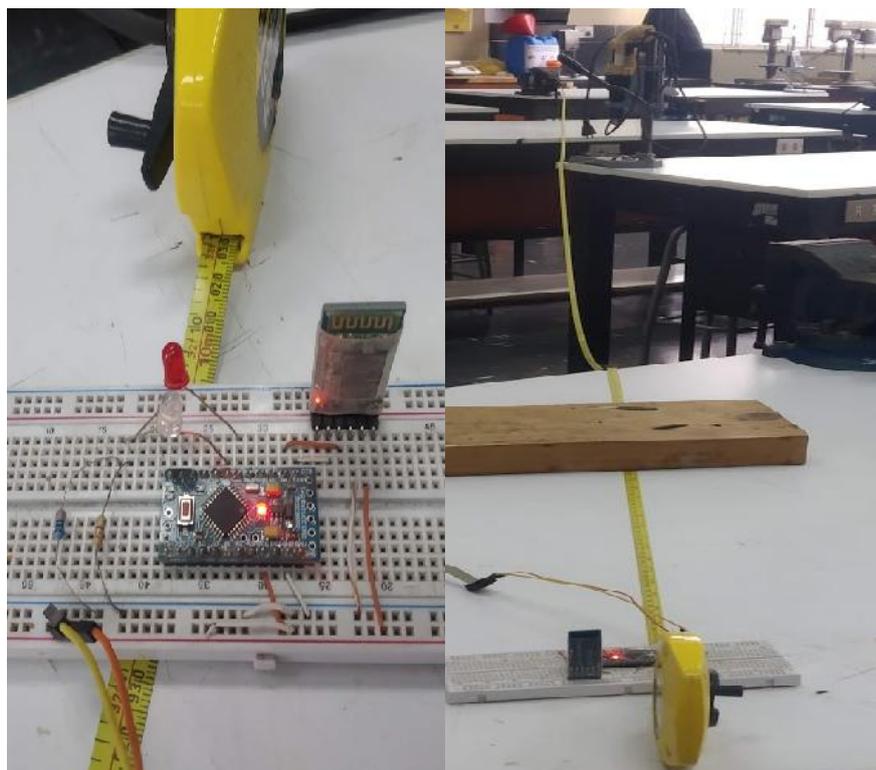


Figura 34. Prueba de alcance de transmisión

Debido a que la distancia normal entre el techo y el suelo de un piso es aproximadamente de 2.4 m, las pruebas realizadas cubrirían dicho requerimiento para el funcionamiento del dispositivo.

4.1.2. Ensayos de integración del detector de humo y arduino Pro Mini

Tomando como referencia el esquema de conexiones del capítulo 3 (figura 19), se realizaron pruebas para determinar si los cálculos realizados en la etapa de diseño se cumplen en la práctica. Para ello, en la tabla 4.8 se muestra las lecturas de las tensiones entre los pines del colector - emisor del optoacoplador, tensión del pin de entrada/salida del MC145010 y el pin digital 8 del arduino Pro Mini, en base a los eventos a detectar.

Tabla 25. Tensiones del circuito de acople del arduino Pro Mini y MCI45010.

Parámetros	Sin detección (V)	Detección de humo (V)	Detección de gas (V)
Colector- Emisor (CE)	4.95	0.2	4.5
Voltaje pin E/S	0	9	2.2
Voltaje pin digital 8	0	0	5

De acuerdo a la tabla 25 se observa que el circuito de acople opera en lógica inversa referido al arduino, es decir cuando no se detecte humo el pin digital 3 recibirá un nivel de tensión lógico alto, mientras que cuando se detecta humo este recibirá un nivel lógico bajo. Por otro lado, cuando el arduino reciba la señal de fuga de gas, enviado por el sistema inferior, el pin de Entrada/Salida recibirá una tensión de 2.2 V, lo cual activará la alarma pero no el sistema de acople.

4.2 Integración del sistema superior

En la figura 35 se muestran los circuitos desarrollados para el sistema inferior.

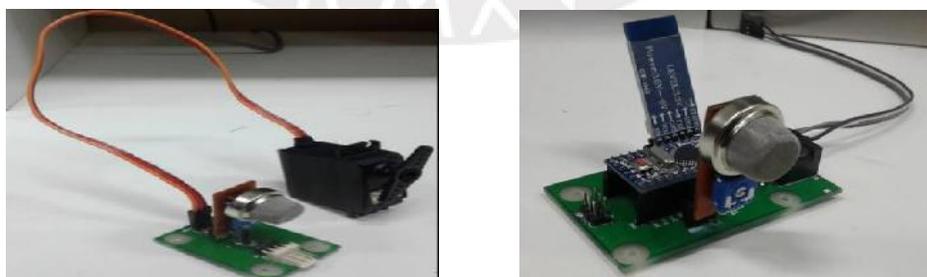


Figura 35. Tarjeta de sensado de GLP (sensor 1) [Elaboración propia].

Mientras que en la figura 36 se muestran las tarjetas desarrolladas para el sistema superior.

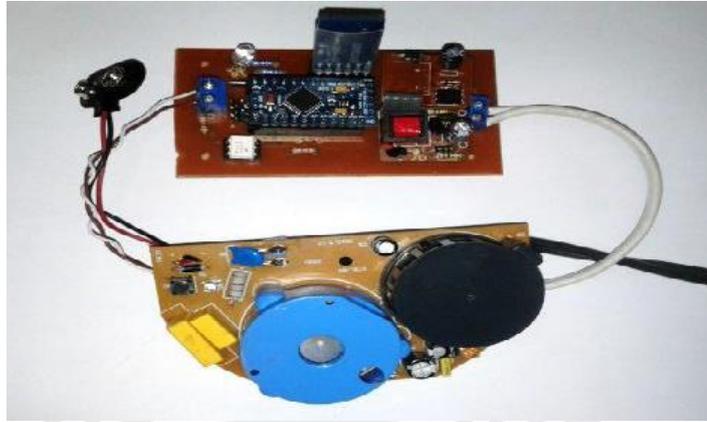
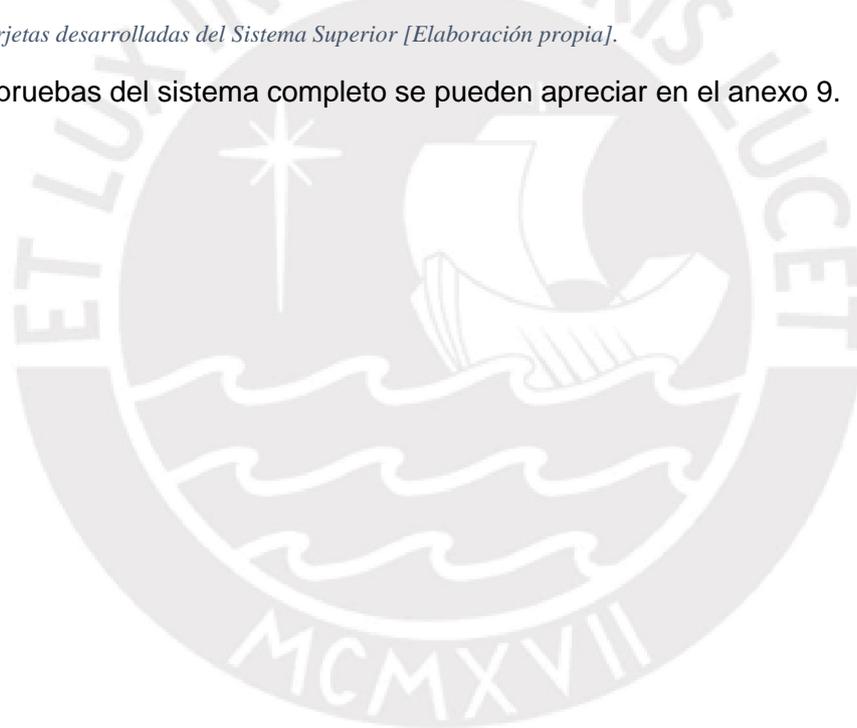


Figura 36. Tarjetas desarrolladas del Sistema Superior [Elaboración propia].

Las pruebas del sistema completo se pueden apreciar en el anexo 9.



Conclusiones y recomendaciones

-) El diseño propuesto logró alcanzar los requerimientos establecidos, los cuales eran la detección temprana de humo en un tiempo de XX segundos.
-) Se comprobó a través de ensayos que el sensor empleado para la detección de humo es inmune a otros agentes existentes en el ambiente de trabajo.
-) Se comprobó mediante la medición con un flexómetro que la capacidad máxima de establecer comunicación inalámbrica a través del protocolo Bluetooth es de máximo 10m. entre nodos.
-) Dadas las dimensiones de una vivienda estándar, donde la distancia promedio entre el techo y el suelo de una edificación es de 2.4 m., el protocolo de comunicación Bluetooth es óptimo para los dispositivos que en la presente investigación estarán interactuando.
-) Se pudo implementar de manera exitosa la comunicación entre el circuito del detector de humo y el arduino Pro Mini, lo que redujo los costos del dispositivo ya que no era requerido otro dispositivo que emitiera las alarmas sonoras.
-) Basado en lo anterior, se logró que el costo de elaboración de este dispositivo sea menor a otros dispositivos con características similares en el mercado y que sin embargo no poseen las mismas funcionalidades planteadas en el presente trabajo de estudio.
-) Se recomienda optimizar el diseño presentado por componentes que aseguren una mejor calidad en el producto final.
-) Se recomienda establecer un protocolo de seguridad para la transmisión de datos inalámbricos, para asegurar la integridad del sistema frente a ataques externos.

Bibliografía

- [1] Forbes. “*BP a Top Ranked SAFE Dividend Stock With 8.1% Yield (BP)*”. [En línea] Disponible en: <http://www.forbes.com/sites/dividendchannel/2016/04/05/bp-a-top-ranked-safe-dividend-stock-with-8-1-yield-bp/#40c755d72f12> [Consultado: 20 de Junio 2016]
- [2] Bristish Petroleum. “Statistical Review of World Energy –all data,1965-2018”. [En línea] Disponible en: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> [Consultado: 06 de Noviembre 2019]
- [3] Ministerio de Energía y Minas. “Balance Nacional de Energía 2016”. [En línea] Disponible en: <http://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/112010-balance-nacional-de-energia-2016> [Consultado: 08 Noviembre 2019]
- [4] SERIES NACIONALES. "Series.inei.gob.pe". [En línea] Disponible en: <http://series.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/> [Consultado: 09 Noviembre 2019]
- [5] RPP. (s.f.) Disponible 08 de Octubre de 2019, de <https://rpp.pe/lima/accidentes/la-victoria-varios-heridos-deja-deflagracion-de-gas-en-restaurante-noticia-1223587> [Consultado: 01 de Noviembre del 2019]
- [6] Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Peru. Recurso en virtual Disponible: http://www.bomberosperu.gob.pe/portal/net_estadistica.aspx (Último acceso: 09 de Noviembre del 2019).
- [7] Draeger «Introducción a los sistemas de detección de gases» [En línea]. Disponible: https://www.draeger.com/library/content/9046703_infoflip_gds_es_13.pdf [Último acceso: 10 Octubre 2016]

[8] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España "NTP 338:Control de fugas en almacenamientos de gases licuados tóxicos" [En línea]. Disponible en: http://www2.uca.es/serv/prevencion/higiene/gases_comprimidos/NTP_338.PDF [Último acceso: 13 Octubre 2016]

[9] KICKSTARTER. «KEPLER». [En línea] Disponible en: <https://www.kickstarter.com/projects/28240313/kepler-your-best-home-gas-detector?lang=es> [Consultado: 22 Abril 2017]

[10] THE HOMEDEPOT «Nest Protect». [En línea]. Disponible en: [http://www.homedepot.com/p/Nest-Protect-Wired-Smoke-and-Carbon Monoxide-Detector-S3003LWES/206136184](http://www.homedepot.com/p/Nest-Protect-Wired-Smoke-and-Carbon-Monoxide-Detector-S3003LWES/206136184) . Consultado 25 Octubre 2016]

[11] THE HOME DEPOT «The kidde». [En línea]. Disponible en: http://www.homedepot.com/p/FireX-Hardwired-120-Volt-InterConnectablePhoto-electric-Combination-Smoke-and-CO-Alarm-with-Voice-Battery-Backup-3-Pack-KN-COPE-I/203270945?MERCH=REC_PIPHorizontal1_rr_202029419_203270945

[12] INTELLIGENTGAS. «Detector dual gas envasado y monóxido de carbono». [en línea]. Disponible en: http://intelligentgas.com.ar/productos/index.php?route=product/product&path=172&product_id=59&sort=p.price&order=ASC&th=172&product_id=59&sort=p.price&order=ASC [Consultado: 22 Abril 2016]

[13] SYSTEM SENSOR «Detectores de humo para sistemas». [en línea]. Disponible en: http://www.eadelectronics.com/sites/System_Sensor/docs/guides/A05-1046.pdf. [Consultado: 26 Abril 2016]

[14] W. BOLTON «Sistemas de control electrónico e ingeniería mecánica y eléctrica». 2da edición. Alfaomega, 2006

[15] S. Naimi, M. Ali «The AVR microcontroller and embedded system» Vol 1. New Jersey: Pearson, 2011. Disponible en: http://teacher.buet.ac.bd/lutfulkabir/ICT6641hh_April2011/AVR%20Microcontroller%20and%20Embedded%20Systems_vol_1.pdf [Consultado: 23 Setiembre 2016]

[16] Microchip. “New/Popular PIC18 MCU Products - Microchip Technology Inc. “ [En línea] Disponible en: <http://www.microchip.com/paramchartsearch/chart.aspx?branchid=1004&mid=10&lang=en&pageid=74> [Consultado: 29 Junio 2017].

[17] H. LABIOD, H. AFIFI, C. DE SANTIS. «Wi-fi, Bluetooth, Zigbee and Wimax» Springer. London: springer, pp. 65-122, 2007

[18] SHUANG –HUA YANG “Wireless sensor networks. Principles, Design and Applications” Springer. London: springer, pp. 32-47, 2014

[19] Osinerg.gob.pe. “(OSINERGMIN - Cuáles son las propiedades del GLP“. [En línea] Disponible en: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1430.htm> [Consultado: 02 Agosto. 2016].

[20] Instituto Nacional de Calidad (INACAL) (1999). GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP). Determinación de la presión de vapor manométrica. Método GLP. 1a. ed.. Lima, Perú: Instituto Nacional de la Calidad. Pp. 2.

[21] El Peruano. “ORDENANZA N° 410-MSI“. [online] p.3. Disponible: <http://busquedas.elperuano.com.pe/normaslegales/establecen-disposiciones-de-regulacion-prevencion-y-control-ordenanza-no-410-msi-1315598-1/> [Consultado 10 Mayo 2017]

[22] Osignermin. “Decreto Supremo N°045-2009-EM”. [online] p.1.

Disponible:

https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaMarcoLegalBusqueda/Prohibicion%20de%20la%20venta%20de%20Kerosene%20y%20Diesel%20N%C2%B0%201.pdf [Consultado 21 Diciembre 2019]

[23] National Fire Alarm and Signaling Code. “NFPA 72 2013 edition”. [online]

p.116. Disponible: <https://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/72/72-13ROPDraft.pdf> [Consultado 21 Diciembre 2019]

[24] “Radiaciones ionizantes y protección radiológica”. Eduardo Gallego Díaz. Disponible:

<https://docplayer.es/3315976-Radiaciones-ionizantes-y-proteccion-radiologica.html>

[25] MQ-2 Semiconductor Sensor for Combustible Gas. [online] Disponible:

<https://www.pololu.com/file/0J309/MQ2.pdf> [Consultado 05 Diciembre 2019]

[26] Mallory Sonalert Products Inc. “PT-2735FPLQ” Disponible:

<https://www.mspindy.com/specifications/PT-2735FPLQ.pdf>

[27] Altavoz Piezoeléctrico. Guillermo Colombero y Guillermo Sosa. Disponible:

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pub/file/FAyE0312E2-Colombrero-Sosa.pdf>

[28] Freescale Semiconductor. “Photoelectric Smoke Detector IC with I/O”. Disponible:

<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MC145010.pdf>

[29] “HC-03/05 Embedded Bluetooth Serial Communication Module AT command set”. Disponible:

http://www.linotux.ch/arduino/HC-0305_serial_module_AT_command_set_201104_revised.pdf

Anexos

Anexo 1 - Radiaciones ionizantes y protección radiológica (pág 12-16)

que ésta pueda inducir un número de éstas superior al espontáneo que se produce en todo ser vivo, provocando una situación cuyas condiciones el organismo no sea capaz de superar.

Estudios de laboratorio, mediante la irradiación celular *in vitro*, permiten afirmar que la cantidad de mutaciones es mayor cuanto mayor es la dosis de radiación aplicada, no existiendo umbral de dosis por debajo del cual no puedan producirse mutaciones, observándose, para una misma dosis, una mayor cantidad de mutaciones cuanto mayor TLE posea la radiación.

3.2 Efectos somáticos agudos.

Si un número suficientemente grande de células de un mismo órgano o tejido mueren o resultan drásticamente modificadas, puede haber una pérdida de la función del órgano, tanto más seria cuanto mayor sea el número de células afectadas, constituyendo un daño somático que se manifestará al poco tiempo de la irradiación. Para que este tipo de daños se manifiesten, en general habrán de superarse unas dosis mínimas o "umbrales" para la manifestación de efectos clínicos. A pesar de que los cambios celulares iniciales son aleatorios, el gran número de células que han de verse afectadas para que se inicie un efecto clínicamente observable, confieren a este tipo de daños un carácter determinista por encima de los umbrales de dosis correspondientes. Una vez superados estos umbrales, la probabilidad de que la radiación produzca el daño en un individuo sano, crece con cierta rapidez hasta la unidad. Por supuesto, si la dosis es suficientemente grande, puede conducir a la muerte de la persona irradiada

No obstante, la reacción después de una irradiación varía mucho entre las distintas partes del organismo, y depende también del tratamiento médico que pueda suministrarse al paciente y de si la dosis se recibe de una sola vez o en varias etapas. En general, los órganos pueden reparar hasta cierto punto los daños provocados por la radiación, de forma que una misma dosis suministrada de forma paulatina es mejor tolerada que si se recibe de forma instantánea.

3.3 Cánceres y daños hereditarios (efectos latentes).

El ser humano sufre muchos millones de ionizaciones en su masa de ADN cada día por causa de las fuentes naturales de radiación. Sin embargo, el cáncer no produce más de una de cada cuatro muertes, y sólo una pequeña fracción de éstas es atribuible a la radiación. Se puede afirmar, por tanto, que el proceso que conduce desde la creación de un par iónico en la molécula del ADN hasta la aparición de un cáncer es altamente improbable.

Por otra parte, alrededor del diez por ciento de los recién nacidos sufre algún tipo de defecto hereditario, desde ligeras afecciones, como el daltonismo, hasta graves incapacidades, como el síndrome de Down. Los efectos genéticos pueden clasificarse en dos categorías: alteraciones en el número y la estructura de los cromosomas, y mutaciones de los genes. Las mutaciones genéticas se clasifican, a su vez, en dominantes (que aparecen en los hijos de quienes las

padecen) y recesivas (que sólo aparecen cuando ambos progenitores poseen el mismo gen mutante).

A pesar de las numerosas investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas, la información relativa al cáncer o a los defectos hereditarios inducidos por la radiación a bajas dosis es todavía escasamente significativa, siendo ésta una cuestión todavía abierta a la discusión científica (véase la Fig. 8). Para realizar estimaciones válidas del riesgo, deben reunirse ciertas condiciones: en primer lugar, debe conocerse con exactitud la dosis de radiación absorbida por todo el cuerpo o en los órganos de interés; la población irradiada ha de ser observada durante décadas a fin de que todos los tipos de daño tengan tiempo de aparecer; y, puesto que también se presentan naturalmente por múltiples causas, se deberá disponer de una población de referencia, pero que no haya sufrido la irradiación, a fin de poder saber casos habrían aparecido en ausencia de ésta. Tales estudios incluyen a los supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, y a diversos grupos que sufrieron irradiaciones con fines médicos.

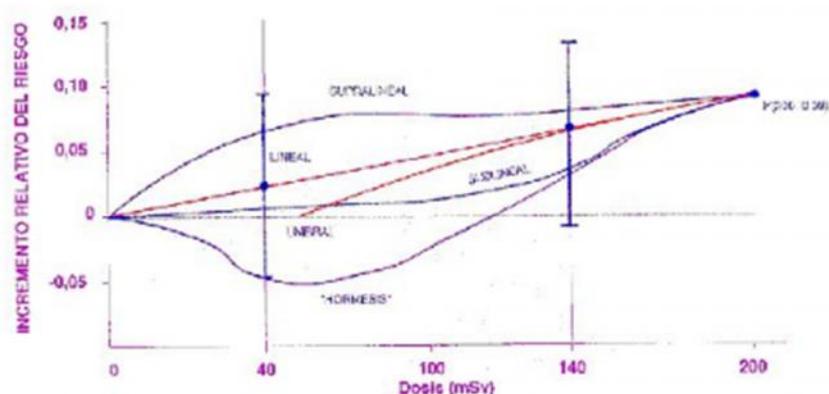


Figura 8.- Relación entre el incremento relativo del riesgo y la dosis. Un problema significativo de la protección radiológica reside en saber con certidumbre suficiente qué relación existe, para dosis bajas, entre el incremento relativo del riesgo, con respecto al natural, de contraer cáncer que experimenta un individuo y la dosis por él recibida. En la gráfica, sin tener valor cuantitativo, se incluyen las cinco hipótesis que han ido surgiendo a lo largo del tiempo y aún se consideran en la actualidad. De entre ellas, la que más se presta y más atención ha recibido desde el lado cuantitativo es la aproximación lineal. En la gráfica, deducida de datos de UNSCEAR94 y basada en análisis de supervivientes japoneses, se da por supuesto que se conoce con suficiente certeza el punto P de la representación - en realidad no es así - en el que se supone que el riesgo natural aumenta en el 9% cuando la dosis recibida es de 200 mSv, lo que corresponde a un incremento relativo del riesgo de 4.5×10^{-4} por mSv. La Comisión Internacional de Protección Radiológica y la mayor parte de las instituciones nacionales consideran que la extrapolación lineal es una hipótesis aceptable, sin que lo avale la observación de la realidad. Las incertidumbres asociadas a los datos disponibles, representados en la figura por una vez la desviación típica, justifican cualquiera de las hipótesis representadas. Nuevos proyectos de investigación actualmente en curso tratarán de aportar datos a tal cuestión. (reproducido de la ref. 13).

El principal problema reside en que los grupos de población de los estudios que han resultado concluyentes recibieron dosis de radiación significativamente superiores a las habituales en el campo profesional, o en la vida cotidiana. Por ello, no queda más alternativa que extrapolar los riesgos conocidos, producidos por dosis altas, al campo de las dosis reducidas. Prudentemente, los organismos internacionales expertos en el tema¹ suponen la inexistencia de umbral para la aparición de cánceres o de efectos hereditarios, y además que existe un incremento lineal constante del riesgo con el aumento de las dosis recibidas.

Para ofrecer estimaciones que puedan ser de aplicación general, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ref. 2) indica unos factores de riesgo promediados, que indican una probabilidad de muerte por cáncer del orden de 5×10^{-2} por cada Sievert (dosis efectiva) en una población de todas las edades, siempre que la exposición recibida sea pequeña. Con respecto a los daños hereditarios graves, en la primera generación después de la población que sufra la irradiación, la probabilidad es del orden de $1,5$ a 4×10^{-3} por cada Gray recibido en las gónadas. Si esta probabilidad se integra para todas las generaciones posteriores a la irradiada, el valor resultante es del 1 por ciento por Gray. El concepto de dosis de radiación y sus unidades se explica seguidamente.

4.- DOSIS DE RADIACIÓN

Puesto que para la determinación de los efectos biológicos producidos por la radiación ha de cuantificarse la cantidad o dosis recibida en el órgano u órganos afectados, se definen las magnitudes apropiadas según se resume en la tabla I.

En ella se observa que la *Dosis Absorbida* sería una medida de la energía depositada por unidad de masa, siendo utilizada generalmente cuando se estudian los efectos sobre un tejido u órgano individual, mientras que la *Dosis Equivalente* considera ya el tipo de radiaciones y su potencial daño biológico, por lo que constituye un mejor índice de la toxicidad de las radiaciones. Las unidades de medida correspondientes, el *Gray* y el *Sievert*, resultan ser muy elevadas para su utilización práctica, por lo que se emplean mucho más sus submúltiplos el *milliGray* y el *milliSievert*, que son la milésima parte de la unidad original.

En la *Dosis Efectiva* se tiene, además, una medida del riesgo de desarrollo de cánceres o daños hereditarios, en la que se asigna un peso diferente a la dosis equivalente recibida por cada órgano, según el riesgo asociado a su irradiación. Con ello, éste resulta ser el índice de toxicidad más completo, especialmente si se realiza el cálculo de la dosis recibida en el organismo desde el momento de la ingestión o inhalación de productos radiactivos hasta su completa eliminación. Esta medida la ofrece la *Dosis Efectiva Comprometida*, que será el índice empleado con carácter más general.

¹ La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), o el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR).

TABLA I
LA DOSIS DE RADIACIÓN Y SUS UNIDADES DE MEDIDA ⁽¹⁾.

MAGNITUD	DEFINICION	UNIDADES
DOSIS ABSORBIDA D	Cociente entre la energía media (dE) cedida por la radiación a la materia en un elemento de volumen, y la masa (dm) del mismo.	Unidad del S.I.: Gray (Gy). 1 Gy = 1 Julio/kg Unidad histórica: rad. 1 rad = 0.01 Gy
DOSIS EQUIVALENTE H	Es una ponderación de la Dosis Absorbida, para tener en cuenta el tipo de radiación, de acuerdo con su potencialidad para producir efectos biológicos. $H = D \cdot w_R$ w_R - Factor de ponderación de la radiación.	Unidad del S.I.: Sievert (Sv). 1 Sv = 1 julio/kg Unidad histórica: rem. 1 rem = 0.01 Sv Valores de w_R: 1 Radiación X, beta, gamma, electrones y positrones. 5 Protones. 5 a 20 Neutrones, según su energía. 20 Radiación alfa, núcleos pesados.
DOSIS EFECTIVA E	Es una suma ponderada de las dosis medias recibidas por los distintos tejidos y órganos del cuerpo humano. $E = \sum_T w_T \cdot H_T$ <i>Los factores w_T son representativos del detrimento, o contribución al riesgo total de daños biológicos, que supone la irradiación de cada órgano individual.</i>	Sievert (Sv). Valores de w_T: 0,01 Sup.Huesos, Piel 0,05 Bazo, Mama, Hígado Esófago, Tiroides RESTO 0,12 Colon, Pulmón, Médula Roja, Estómago 0,20 Gónadas
COMPROMISO DE DOSIS (DOSIS COMPROMETIDA)	Tras una ingestión o inhalación de material radiactivo, dependiendo de su metabolismo, éste puede permanecer en el organismo durante mucho tiempo. Se denomina compromiso de dosis, o <i>dosis comprometida</i> , a la dosis acumulada por dicha causa durante un cierto periodo de tiempo (habitualmente 50 años).	
DOSIS COLECTIVA	Es la suma de las dosis (generalmente se aplica a la dosis efectiva) recibidas por un colectivo de población que esté expuesta a una misma fuente de radiación. Se expresa en Sievert x persona	

⁽¹⁾ Conforme a las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ref. 2) y a la Directiva Europea 96/29 (ref. 7).

Finalmente, un concepto muy utilizado es el de la llamada *Dosis Colectiva*, que será la suma de las dosis (generalmente se aplica a la dosis efectiva) recibidas por un colectivo de población que esté expuesta a una misma fuente de radiación. Con la dosis colectiva se pueden establecer comparaciones útiles con respecto al impacto producido por las distintas fuentes.

Se pueden indicar valores de referencia que ayuden a comprender mejor la trascendencia de un determinado valor de dosis, lo que se presenta en la tabla II. Se observa que, frente a la dosis que podría suponer efectos letales de recibirse de forma rápida, la dosis recibida al año por término medio entre la población de España, sumando todas las contribuciones naturales y artificiales está a una distancia inferior en más de mil veces. El origen de esta exposición continuada a las radiaciones ionizantes se comenta seguidamente.

**TABLA II
DOSIS DE RADIACION. VALORES COMPARATIVOS**

<u>Dosis (mSv)</u>	<u>Efectos sobre la salud o valor típico</u>
10.000	Muerte en días o semanas (100% de los casos)
4.000	Muerte en días o semanas (50% de los casos)
250	No produce efectos observables de tipo inmediato
100	No hay evidencia de efectos sanitarios en seres humanos
3,5	Dosis media anual por persona en España
2,5	Dosis media anual por persona en el mundo
3,0	Una exploración radiográfica de aparato digestivo Un escáner (tomografía axial computerizada, TAC) de la cabeza
0,02	Una radiografía de tórax
0,00	3 horas en avión. Dosis anual media debida a la industria nuclear

La tabla muestra algunos valores característicos medios de la dosis de radiación. Para dosis equivalente a todo el cuerpo del orden de 10.000 milisievert (mSv), las probabilidades de supervivencia son mínimas. Cuando la dosis baja a 4.000 mSv, recibiendo tratamiento médico adecuado la probabilidad de supervivencia aumenta al 50% por término medio. Dosis inferiores a 250 mSv no producirían efectos observables de tipo inmediato en la persona, salvo alguna variación temporal en los recuentos de células sanguíneas (leucocitos). Por debajo de los 100 mSv no existe evidencia concluyente de efectos sanitarios en seres humanos, ya que los colectivos que presentan mejores características para los estudios epidemiológicos recibieron dosis más elevadas. Por debajo de estas cifras resulta muy difícil establecer relaciones causa-efecto entre la dosis recibida y la aparición de cánceres o defectos hereditarios, ya que la radiación no es sino uno más entre muchos factores causantes a los que el ser humano está expuesto. Cifras características de la dosis media anual en España y en el mundo serían 3,5 y 2,5 mSv respectivamente, residiendo la diferencia en el uso médico que de las radiaciones se hace en los países desarrollados frente al promedio mundial. Una exploración radiográfica de aparato digestivo o un escáner de cabeza pueden suponer en media una dosis de 3 mSv, mientras que una simple radiografía de tórax supone 0,02 mSv. Frente a estos valores, la dosis media anual recibida por la población española por causa de la industria nuclear es del orden de 0,001 a 0,002 mSv, que resultan equivalentes, por ejemplo, a la dosis que la radiación cósmica produce cuando se realiza un vuelo de 3 horas en un avión comercial.

Anexo 2 - MQ-2 Semiconductor sensor for combustible gas (pág. 2)

Sensitivity Characteristics

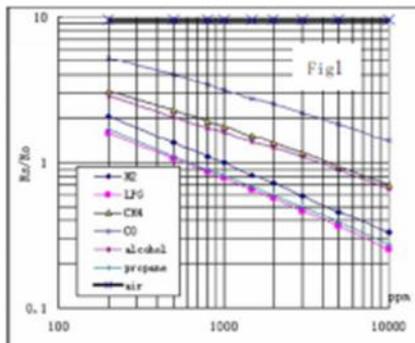


Fig.1 shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-2, ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), abscissa is concentration of gases. R_s means resistance in different gases, R_o means resistance of sensor in 1000ppm Hydrogen. All test are under standard test conditions.

Influence of Temperature/Humidity

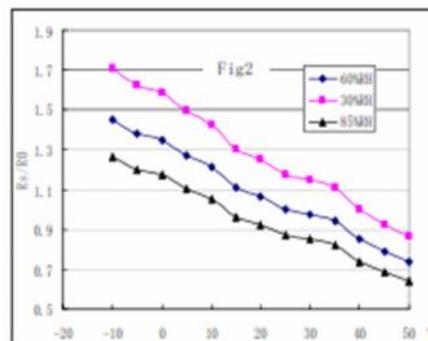
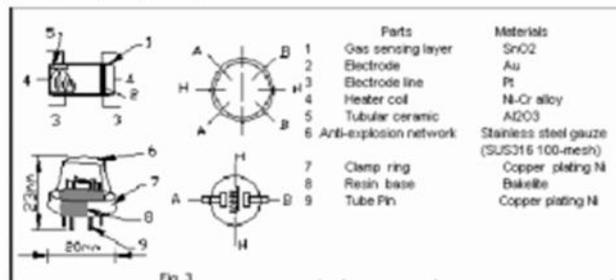


Fig.2 shows the typical temperature and humidity characteristics. Ordinate means resistance ratio of the sensor (R_s/R_o), R_s means resistance of sensor in 1000ppm Butane under different tem. and humidity. R_o means resistance of the sensor in environment of 1000ppm Methane, 20°C/65%RH

Structure and configuration



Structure and configuration of MQ-2 gas sensor is shown as Fig. 3, sensor composed by micro Al₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-2 have 6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

Anexo 3 - Sensor piezoeléctrico - PT-2735FPLQ

MALLORY Mallory Sonalert Products Inc.		Part #	PT-2735FPLQ
Sales Outline Drawing		Revision	A

Specifications:

Resonant Frequency (Hz)	3500 ± 500
Operating Voltage (Vdc/max)	3 ~ 28
Rated Voltage (Vdc)	12
Current Consumption (mA/max)	10 at Rated Voltage
Sound Pressure Level (dB/min)	88 at 30cm at Rated voltage
Operating Temperature (°C)	-20 ~ +90
Storage Temperature (°C)	-30 ~ +100
Housing	ABS 777D UL94HB plastic resin (Color: Black)
Lead Pins	Tin Plated Brass
Weight (Grams)	4.2
Condition by wave soldering (°C)	245 ±5 / 3±0.5 sec
Condition by hand soldering (°C)	350 ±20 / within 5 sec
Options	For other options contact factory

PS: Vp-p = 1/2duty, square wave **RoHS Compliant**

Dimensions: (units: mm)

Recommended Driving Circuit



Figura 2: Tweeter de bocina.

Por otro lado, existen también altavoces piezoeléctricos de cúpula, tal como se muestra en la Figura 1 b. Están constituidos por una película piezoeléctrica metalizada por las dos caras en forma de cúpula. La vibración se traduce en un cambio de curvatura que provoca que se aproxime al modelo de esfera pulsante [1].

Otras configuraciones, como la de cilindros pulsantes en los que la pared del cilindro es un plástico arrollado, llegan a radiar por encima del margen audible y, por lo tanto, son usados como transductores de ultrasonidos [1].

3. FUNCIONAMIENTO

Básicamente, la fuente que origina el sonido de un componente de sonido piezoeléctrico es un diafragma piezoeléctrico. Este consiste en una placa de cerámica piezoeléctrica que tiene electrodos en ambos lados y una placa de metal (latón o acero inoxidable, etc.) que se puede apreciar en la Figura 3.

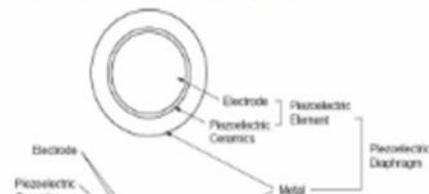


Figura 3: Estructura de la membrana piezoeléctrica.

Aplicando tensión continua entre los electrodos, se produce una distorsión mecánica debido al efecto piezoeléctrico, que se manifiesta como una deformación del diafragma el cual se expande en una dirección radial. La polarización de los electrodos produce una expansión o contracción del elemento piezoeléctrico, efecto que se puede distinguir en la Figura 4. La placa metálica unida al elemento piezoeléctrico no se expande o contrae. Así, cuando un voltaje de corriente alterna se aplica a través de los electrodos, podemos observar en la Figura 4 a y 4 b una flexión. Este mismo efecto lo observamos en la Figura 4 c produciendo ondas de sonido en el aire [2].

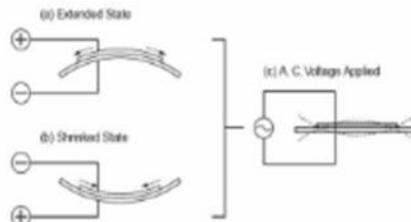


Figura 4: Sistema oscilante de un diafragma piezoeléctrico.

4. PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO

En general, el rango de frecuencia audible del hombre es de 20 Hz a 20 kHz. El rango de frecuencias comprendido entre 2 a 4 kHz es el de mayor sensibilidad. Por esta razón, los componentes de sonido piezoeléctricos se utilizan en esta gama de frecuencias, y la frecuencia de resonancia (f_0) se selecciona generalmente en el mismo rango también. La frecuencia de resonancia involucra en su ecuación al módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal, que es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza [2].

En la Figura 5 se ilustra los métodos utilizados para apoyar el diafragma piezoeléctrico el cual depende de frecuencia resonante.

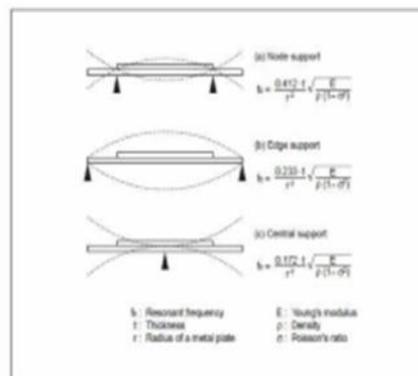


Figura 5: Método de apoyo

En general, el diafragma piezoeléctrico está instalado en una cavidad para producir un sonido de alta presión (Figura 6). La frecuencia de resonancia (f_{CAV}) de la cavidad en la Figura 6 se obtiene de la ecuación (1) (Fórmula Helmholtz). Dado que el diafragma piezoeléctrico y la cavidad tienen adecuadas frecuencias resonantes, (f_0) y (f_{CAV}) respectivamente, la presión de sonido en frecuencias específicas puede ser aumentada y un ancho de banda determinado puede ser proporcionado por el control de ambas posiciones [2].

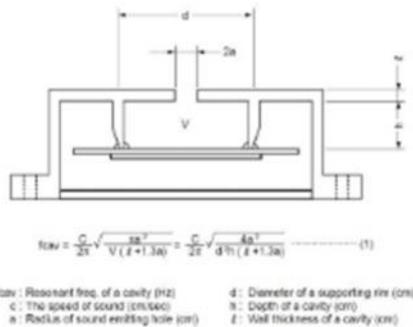


Figura 6: Vista seccional de la cavidad.

4.1. Acondicionamiento

El procedimiento de accionamiento para componentes de sonido piezoeléctricos incluye: a) el método unidad externa y b) método de auto unidad como se muestra en la Figura 7.

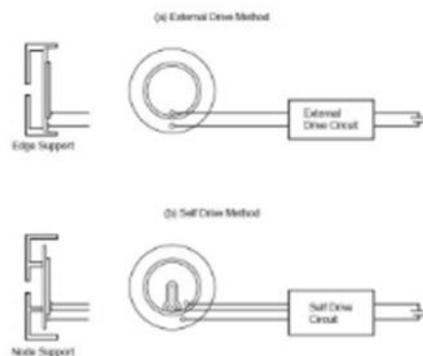


Figura 7: Vista de los acondicionamientos.

4.2. Método de unidad externa

Este método produce sonido por la conducción del diafragma piezoeléctrico con señales eléctricas suministradas a partir de un circuito externo oscilante como un multivibrador. El uso de este método, hace que el zumbador piezoeléctrico funcione como un altavoz. En este método, un mecanismo de oscilación Q_m del diafragma piezoeléctrico se amortigua adecuadamente para proporcionar una banda de frecuencia más amplia. Es aplicado en conmutación de electrodomésticos, aparatos de oficina, alarmas de los relojes digitales y los sonidos múltiples, como los utilizados en los juegos electrónicos. Este método también se emplea en los timbres, transmisores, receptores de aparatos telefónicos, radios y altavoces de televisores. Las Figuras 8 a y b muestran ejemplos del circuito donde se aplica el método de unidad

externa, representando el diafragma piezoeléctrico conectado a teléfonos.

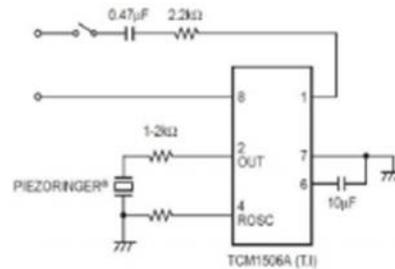


Figura 8 a: Circuitos de excitación externos.

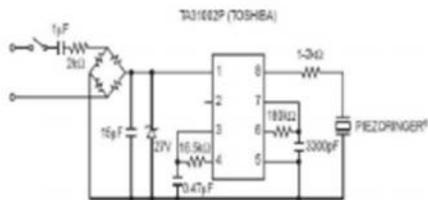


Figura 8 b: Circuitos de excitación externos.

Aplicaciones del método de unidad externa

1) Las cargas eléctricas acumuladas en el diafragma piezoeléctrico debido al choque térmico y mecánico puede causar alto voltaje que puede destruir el circuito integrado tipo LSI (en inglés *Large Scale Integration*). Para evitar este inconveniente se utiliza el método de control en el cual se coloca dos diodos zener como se muestra en la Figura 9.

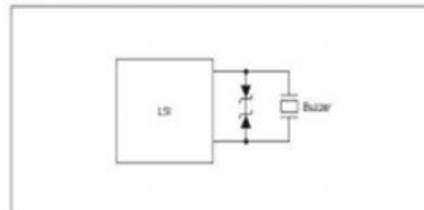


Figura 9: Arreglo de diodos.

2) La aplicación de voltaje de corriente continua (DC) para el diafragma piezoeléctrico en el entorno de alta humedad provoca la migración de Ag. Por lo tanto, es necesario diseñar un circuito que no requiere tensión de corriente continua.

3) Considerar los siguientes puntos en la conexión de un circuito integrado (IC) de timbre piezoeléctrico.

Anexo 5 - MC145010 – Photoelectric smoke detector IC with I/O (pág 3 - 9)

Table 3. AC Electrical Characteristics

Reference Timing Diagram Figure 6 and Figure 7. ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = 9.0\text{ V}$, Component values from Figure 8: $R_1 = 100.0\text{ K}\Omega$, $C_3 = 1500.0\text{ pF}$, $R_2 = 10.0\text{ M}\Omega$.)

No.	Characteristics	Symbol	Clocks	Min	Max	Unit
1	Oscillator Period ⁽¹⁾ Free-Running Sawtooth Measured at Pin 12	$1/f_{OSC}$	1	9.5	11.5	ms
2	LED Pulse Period No Local Smoke, and No Remote Smoke	t_{LED}	4096	38.9	47.1	s
3	Remote Smoke, but No Local Smoke		—	—	—	
4	Local Smoke or Push Button Test		64	0.60	0.74	
5	LED Pulse Width and Strobe Pulse Width	$t_{w(LED)}$ $t_{w(STB)}$	1	9.5	11.5	ms
6	IRED Pulse Period Smoke Test	t_{IRED}	1024	9.67	11.83	s
7	Chamber Sensitivity Test without Local Smoke		4096	38.9	47.1	
8	Push Button Test		32	0.302	0.370	
9	IRED Pulse Width	$t_{w(IRED)}$	T_1^1	94	116	μs
10	IRED Rise Time	t_r	—	—	30	μs
	IRED Fall Time	t_f	—	—	200	
11	Silver and Brass Modulation Period Local or Remote Smoke	t_{MOD}	—	297	363	ms
11	Silver and Brass Duty Cycle Local or Remote Smoke	$t_{ON}^{t_{MOD}}$	—	73	77	%
13	Silver and Brass Chirp Pulse Period Low Supply or Degraded Chamber Sensitivity	t_{CH}	4096	38.9	47.1	s
14	Silver and Brass Chirp Pulse Width Low Supply or Degraded Chamber Sensitivity	$t_{w(CH)}$	1	9.5	11.5	ms
15	Rising Edge on I/O to Smoke Alarm Response Time Remote Smoke, No Local Smoke	t_{RR}	—	—	800	ms
16	Strobe Out Pulse Period Smoke Test	t_{STB}	1024	9.67	11.83	s
17	Chamber Sensitivity Test without Local Smoke		4096	38.9	47.1	
18	Low Supply Test without Local Smoke		4096	38.9	47.1	
19	Push Button Test		—	0.302	0.370	

1. Oscillator Period $T (= T_r + T_f)$ is determined by the external components R_1 , R_2 , and C_3 where $T_r = (0.6931) R_2 \times C_3$ and $T_f = (0.6031) R_1 \times C_3$.

The other timing characteristics are some multiple of the oscillator timing shown in the table.

Table 4. Pin Description

Pin	Symbol	Description
1	C1	A capacitor connected to this pin, shown in Figure 8, determines the gain of the on-chip photo amplifier during push button test and chamber sensitivity test (high gain). The capacitor value is chosen such that the alarm is tripped from background reflections in the chamber during push button test. $A_v = 1 + (C1/10)$ where C1 is in pF. CAUTION: The value of the closed-loop gain should not exceed 10,000.
2	C2	A capacitor connected to this pin as shown in Figure 8 determines the gain of the on-chip photo amplifier except during push button or chamber sensitivity tests. $A_v = 1 + (C2/10)$ where C2 is in pF. This gain increases about 10% during the IRED pulse, after two consecutive local smoke detections. Resistor R14 must be installed in series with C2. $R14 = [1/(12 \cdot C2)] - 680$ where R14 is in ohms and C2 is in farads.
3	DETECT	This input to the high-gain pulse amplifier is tied to the cathode of an external photodiodes. The photodiodes should have low capacitance and low dark leakage current. The diode must be shunted by a load resistor and is operated at zero bias. The Detect input must be ac/dc decoupled from all other signals, V_{DD} , and V_{SS} . Lead length and/or foil traces to this pin must be minimized, also. See Figure 9.
4	STROBE	This output provides a strobed, regulated voltage referenced to V_{DD} . The temperature coefficient of this voltage is $\pm 0.2\%/^{\circ}\text{C}$ maximum from -10° to 60°C . The supply-voltage coefficient (line regulation) is $\pm 0.2\%/V$ maximum from 6 to 12 V. Strobe is tied to external resistor string R8, R9, and R10.
5	V_{DD}	This pin is connected to the positive supply potential and may range from +6 to +12 V with respect to V_{SS} . CAUTION: In battery-powered applications, reverse-polarity protection must be provided externally.
6	IRED	This output provides pulsed base current for external NPN transistor Q1 used as the infrared emitter driver. Q1 must have $\beta \geq 100$. At 10 mA, the temperature coefficient of the output voltage is typically $\pm 0.5\%/^{\circ}\text{C}$ from -10° to 60°C . The supply-voltage coefficient (line regulation) is $\pm 0.2\%/V$ maximum from 6 to 12 V. The IRED pulse width (active-high) is determined by external components R1 and C3. With a $100\text{ k}\Omega/1500\text{ pF}$ combination, the nominal width is $105\ \mu\text{s}$. To minimize noise impact, IRED is not active when the visible LED and horn outputs are active. IRED is active near the end of Strobe pulses for Smoke Tests, Chamber Sensitivity Test, and Push button Test.
7	I/O	This pin can be used to connect up to 40 units together in a wired-OR configuration for common signaling. V_{SS} is used as the return. An on-chip current sink minimizes noise pick up during non-smoke conditions and eliminates the need for an external pull-down resistor to complete the wired-OR. Remote units at lower supply voltages do not draw excessive current from a sending unit at a higher supply voltage. I/O can also be used to activate escape lights, auxiliary alarms, remote alarms, and/or auto-dialers. As an input, this pin feeds a positive-edge-triggered flip-flop whose output is sampled nominally every 625 ms during standby (using the recommended component values). A local-smoke condition or the push button-test mode forces this current-limited output to source current. All input signals are ignored when I/O is sourcing current. I/O is disabled by the on-chip power-on reset to eliminate nuisance signaling during battery changes or system power-up. If unused, I/O must be left unconnected.
8	BRASS	This half of the push-pull driver output is connected to the metal support electrode of a piezoelectric audio transducer and to the horn-starting resistor. A continuous modulated tone from the transducer is a smoke alarm indicating either local or remote smoke. A short beep or chirp is a trouble alarm indicating a low supply or degraded chamber sensitivity.
9	SILVER	This half of the push-pull driver output is connected to the ceramic electrode of a piezoelectric transducer and to the horn-starting capacitor.
10	FEEDBACK	This input is connected to both the feedback electrode of a self-resonating piezoelectric transducer and the horn-starting resistor and capacitor through current-limiting resistor R4. If unused, this pin must be tied to V_{SS} or V_{DD} .
11	LED	This active-low open-drain output directly drives an external visible LED at the pulse rates indicated below. The pulse width is equal to the OSC period. The load for the low-supply test is applied by this output. This low-supply test is non-coincident with the smoke tests, chamber sensitivity test, push button test, or any alarm signals. The LED also provides a visual indication of the detector status as follows, assuming the component values shown in Figure 8: Standby (includes low-supply and chamber sensitivity tests) - Pulses every 43 seconds (nominal) Local Smoke - Pulses every 0.67 seconds (nominal) Remote Smoke - No pulses Push button Test - Pulses every 0.67 seconds (nominal)
12	OSC	This pin is used in conjunction with external resistor R2 (10 M Ω) to V_{DD} and external capacitor C3 (1500 pF) to V_{DD} to form an oscillator with a nominal period of 10.5 ms.
13	R1	This pin is used in conjunction with resistor R1 (100 k Ω) to pin 12 and C3 (1500 pF, see pin 12 description) to determine the IRED pulse width. With this RC combination, the nominal pulse width is $105\ \mu\text{s}$.
14	VSS	This pin is the negative supply potential and the return for the I/O pin. Pin 14 is usually tied to ground.
15	LOW-SUPPLY TRIP	This pin is connected to an external voltage which determines the low-supply alarm threshold. The trip voltage is obtained through a resistor divider connected between the V_{DD} and LED pins. The low-supply alarm threshold voltage (in volts) = $(5R7/R6) + 5$ where R6 and R7 are in the same units.

MC145010

Table 4. Pin Description (Continued)

Pin	Symbol	Description
16	TEST	This input has an on-chip pull-down device and is used to manually invoke a test mode. The <i>Push Button Test</i> mode is initiated by a high level at pin 16 (usually depression of a S.P.S.T. normally-open push button switch to V_{DD}). After one oscillator cycle, IRED pulses approximately every 336 ms, regardless of the presence of smoke. Additionally, the amplifier gain is increased by automatic selection of C1. Therefore, the background reflections in the smoke chamber may be interpreted as smoke, generating a simulated-smoke condition. After the second IRED pulse, a successful test activates the horn-driver and I/O circuits. The active I/O allows remote signaling for system testing. When the Push Button Test switch is released, the Test input returns to V_{SS} due to the on-chip pull-down device. After one oscillator cycle, the amplifier gain returns to normal, thereby removing the simulated-smoke condition. After two additional IRED pulses, less than a second, the IC exits the alarm mode and returns to standby timing.

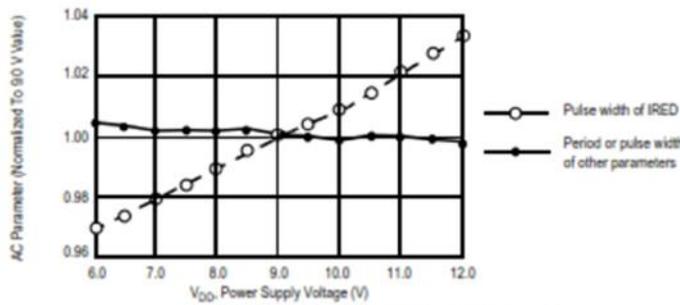


Figure 3. AC Characteristics vs. Supply

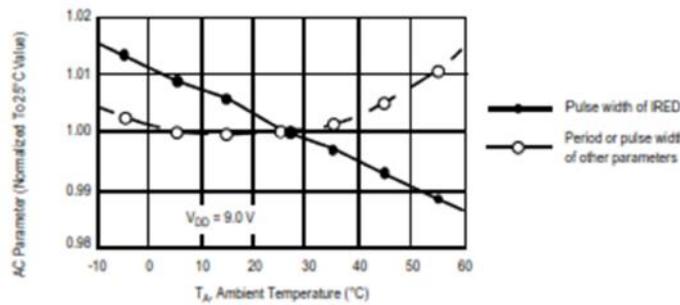


Figure 4. AC Characteristics vs. Temperature

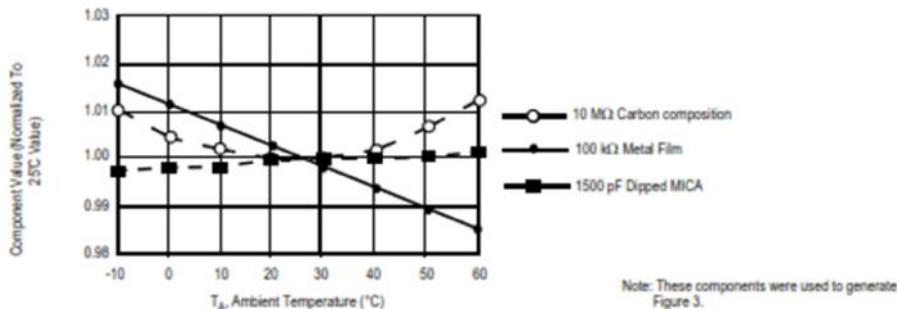


Figure 5. RC Component Variation Overtemperature

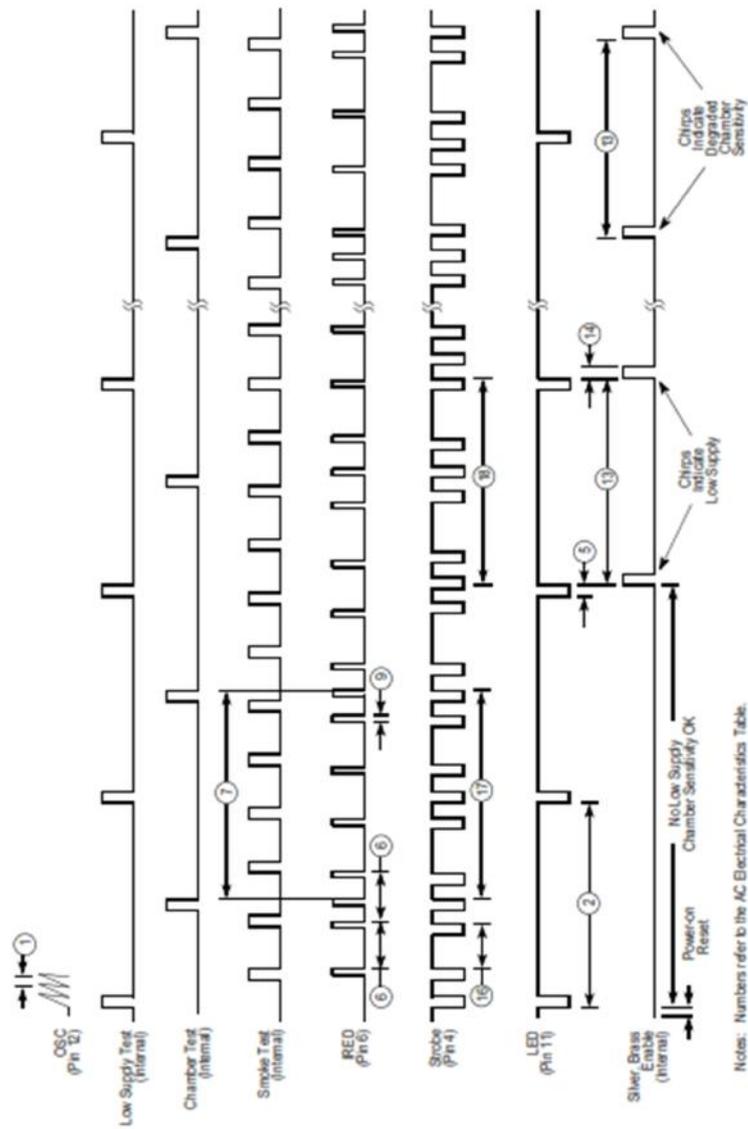


Figure 6. Standby Timing Diagram

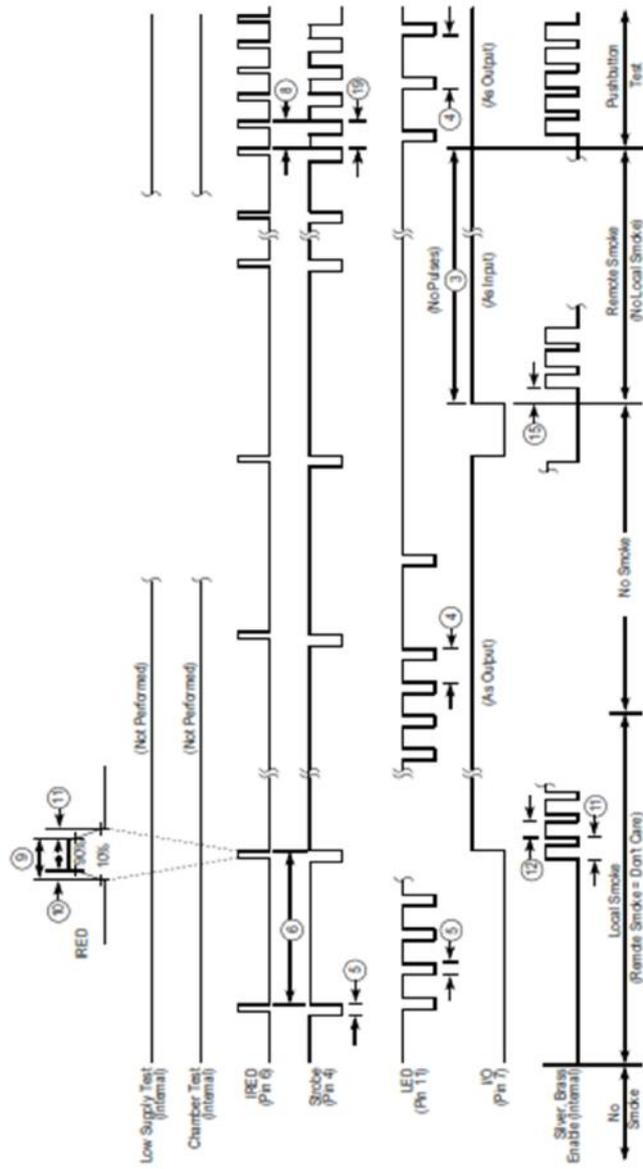
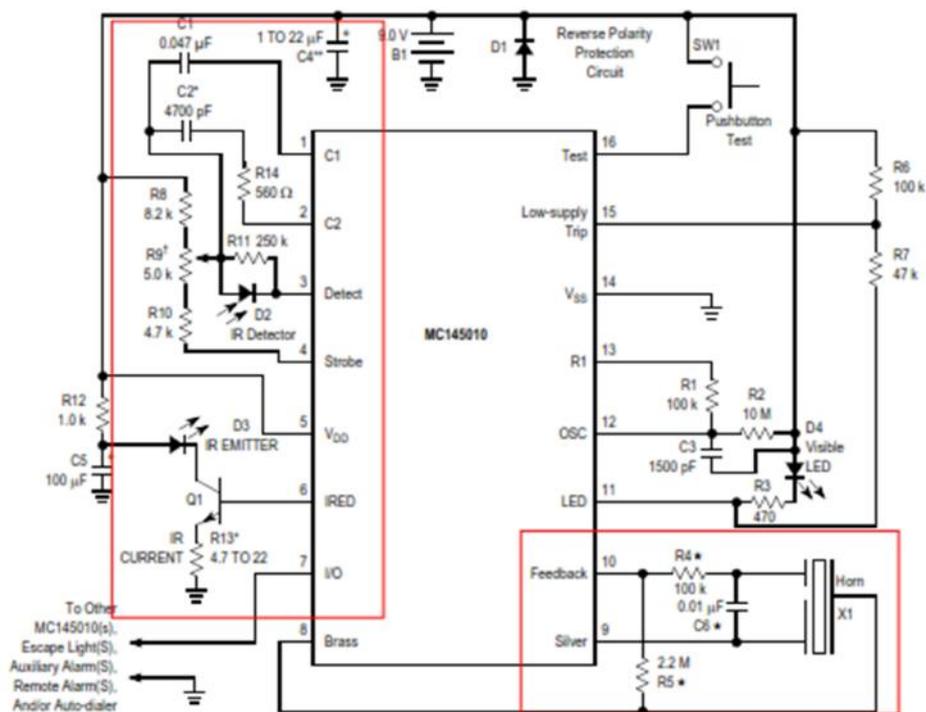


Figure 7. Smoke Timing Diagram



- *Values for R4, R5, and C6 may differ depending on type of piezoelectric horn used.
- * C2 and R13 are used for coarse sensitivity adjustment. Typical values are shown.
- † R9 is for fine sensitivity adjustment (optional). If fixed resistors are used, R8 = 12 k, R10 is 5.6 k to 10 k, and R9 is eliminated. When R9 is used, noise pickup is increased due to antenna effects. Shielding may be required.
- **C4 should be 22 μF if B1 is a carbon battery. C4 could be reduced to 1 μF when an alkaline battery is used.

Figure 8. Typical Battery-Powered Application

CALIBRATION

To facilitate checking the sensitivity and calibrating smoke detectors, the MC145010 can be placed in a calibration mode. In this mode, certain device pins are controlled/reconfigured as shown in Table 5. To place the part in the calibration mode, pin 16 (Test) must be pulled below the V_{SS}

pin with 100 μA continuously drawn out of the pin for at least one cycle on the OSC pin. To exit this mode, the Test pin is floated for at least one OSC cycle.

In the calibration mode, the IRED pulse happens at every clock cycle and strobe is always on (active low). Also, Low Battery and supervisory tests are disabled in this mode.

Anexo 6 - Ensayos de accionamiento del detector de humo:

El presente anexo abarcará dos ensayos:

1. Pruebas de tensiones del detector de humo, consistirá en identificar las tensiones que emite el circuito detector de humo ante la presencia de humo.
2. Pruebas de accionamiento del detector de humo, se busca determinar el voltaje necesario en el pin de entrada/salida del detector de humo para que éste active la alarma sonora.

Pruebas de tensiones del detector de humo:

La presente prueba se realizará activando la alarma con el botón de prueba (test) presente en el detector de humo, el resultado de estas pruebas será la medición de la tensión en el pin de entrada/salida del circuito. Debido a que no es posible adjuntar el video demostrativo en el presente documento la forma visual en la que se comprueba los resultados es el encendido del led del circuito y la medición de la tensión.



Figura 1. Estado inicial del detector de humo (sin activación de alarma).



Figura 2. Estado final del detector de humo (detector de humo activado).

Pruebas de accionamiento del detector de humo:

Las pruebas del accionamiento del detector se realizaron inyectando una tensión al pin de entrada/salida con una fuente eléctrica externa, en paralelo a esta conexión se colocará el multímetro para registrar el nivel de tensión necesario para activar la alarma.

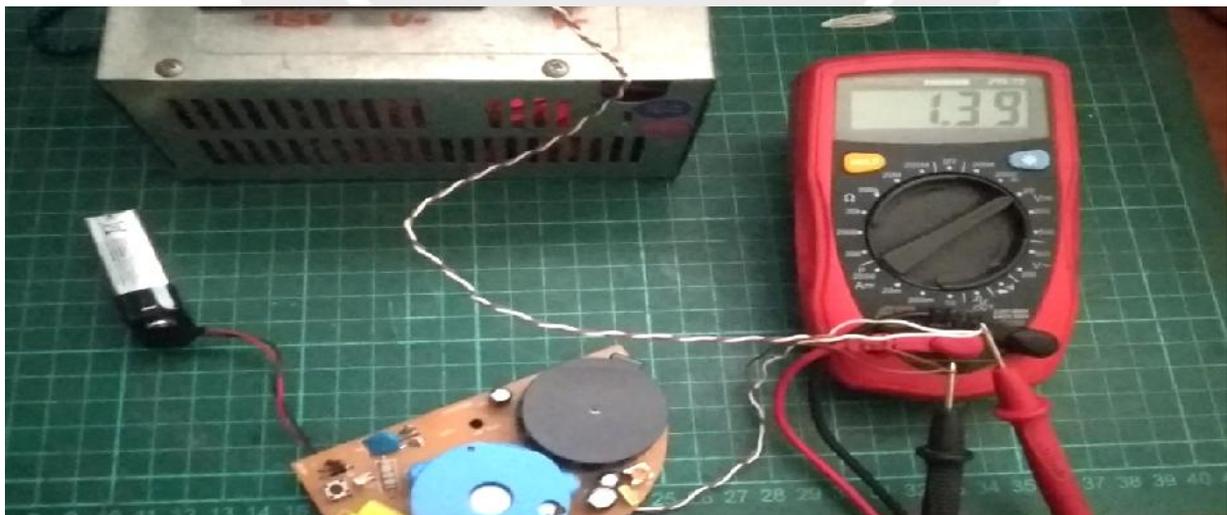


Figura 3. Detector de humo sin activarse con 1.39 V en el pin de entrada.

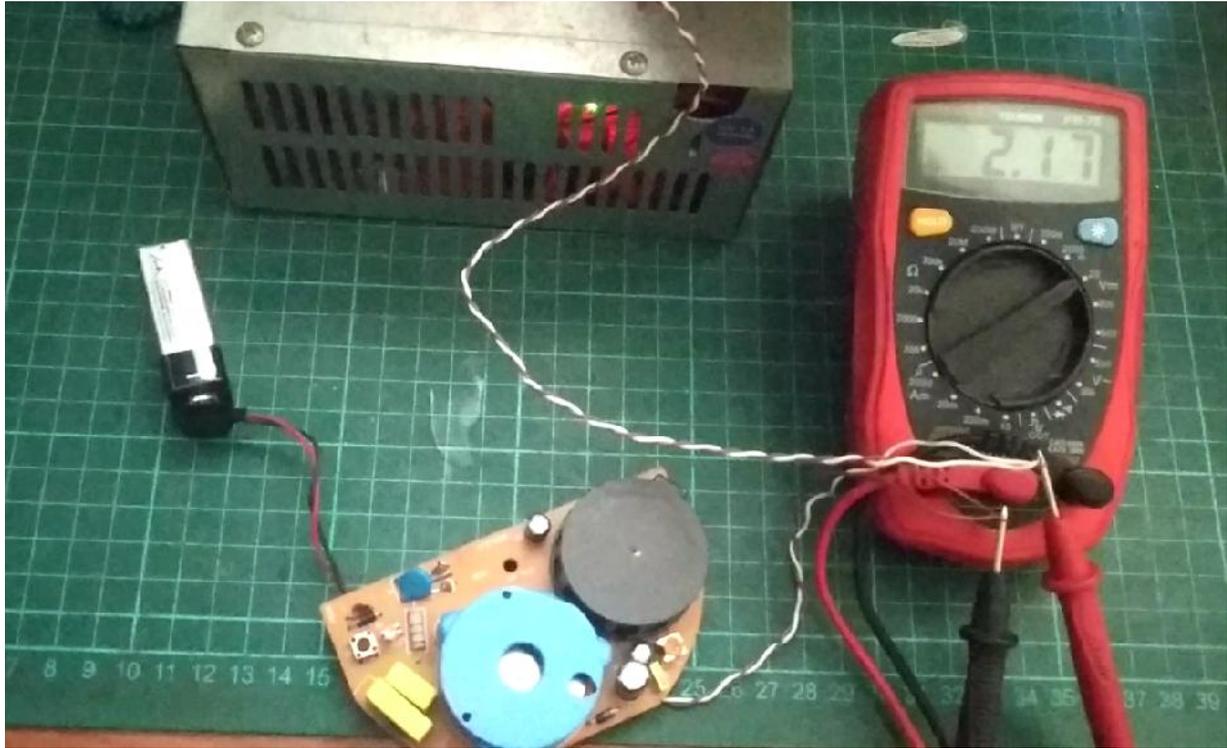


Figura 4. Detector de humo activado con 2.17 en el pin de entrada y salida.

Resumen:

De las pruebas realizadas, se resume los resultados obtenidos en la tabla siguiente:

	Tensión del detector de humo sin activar (V)	Tensión del detector de humo activado (V)
Pruebas de tensiones del detector de humo	0.0	7.86
Pruebas de accionamiento del detector de humo	1.39	2.17

HC-03/05 Embedded Bluetooth Serial Communication Module

AT command set

Last revised: April, 2011

HC-05 embedded Bluetooth serial communication module (can be short for module) has two work modes: order-response work mode and automatic connection work mode. And there are three work roles (Master, Slave and Loopback) at the automatic connection work mode. When the module is at the automatic connection work mode, it will follow the default way set lastly to transmit the data automatically. When the module is at the order-response work mode, user can send the AT command to the module to set the control parameters and sent control order. The work mode of module can be switched by controlling the module PIN (PIO11) input level.

Serial module PINs:

1. PIO8 connects with LED. When the module is power on, LED will flicker. And the flicker style will indicate which work mode is in using since different mode has different flicker time interval.
2. PIO9 connects with LED. It indicates whether the connection is built or not. When the Bluetooth serial is paired, the LED will be turned on. It means the connection is built successfully.
3. PIO11 is the work mode switch. When this PIN port is input high level, the work mode will become order-response work mode. While this PIN port is input low level or suspended in air, the work mode will become automatic connection work mode.
4. The module can be reset if it is re-powered since there is a reset circuit at the module.

=====**Notification**=====

1. How to get to the AT mode.

Way 1:

Step 1: Input low level to PIN34. Step 2: Supply power to the module. Step 3: Input high level to the PIN34. Then the module will enter to AT mode. The baud rate is as

same as the communication time, such as 9600 etc.

Way 2: Step 1: Connect PIN34 to the power supply PIN. Step 2: Supply power to module (the PIN34 is also supplied with high level since the PIN34 is connected with power supply PIN). Then the module will enter to AT module. But at this time, the baud rate is 38400. In this way, user should change the baud rate at the AT mode, if they forget the communication baud rate.

How to get to the communication mode: Step 1: Input low level to PIN34. Step 2: Supply power to the module. Then the module will enter to communication mode. It can be used for pairing.

2. How to set this module be the master role.

Step 1: Input high level to PIO11.

Step 2: Supply power to the module. And the module will enter to the order-response work mode.

Step 3: Set the parameters of the super terminal or the other serial tools (baud rate: 38400, data bit:8, stop bit:1, no parity bit, no Flow Control)

Step 4: Sent the characters "AT+ROLE=1\r\n" through serial, then receive the characters "OK\r\n". Here, "\r\n" is the CRLF.

Step 5: Input low level to PIO, and supply power to the module again. Then this module will become master role and search the other module (slave role) automatically to build the connection.

3. Notes.

(1) HC-03 and HC-05's command should end up with "\r\n". It means when you finish programming, you should add terminator ("ENTER" or "0x0d 0x0a") to the program. It's different from HC-04 and HC-06 (They don't need terminator).

(2) The most common commands for HC-03 and HC-05 are: AT+ROLE (set master-slave), AT+CMODE(set address pairing) , AT+PSWD (set password).

If you want the master module has the function of remembering slave module, the most

simple way is: First, set AT+CMODE=1. Make the master module pair with the slave module. Second, set AT+CMODE=0. Then the master module just can make pair with that specified slave module.

(3) When PIN34 keeps high level, all commands can be used. Otherwise, only some of them can be used.

Detailed description of Command

(AT command is case- sensitive, should end up with terminator ("enter" or "r'n").)

1. Test

Command	Response	Parameter
AT	OK	None

2. Reset

Command	Response	Parameter
AT+RESET	OK	None

3. Get the soft version

Command	Response	Parameter
AT+VERSION?	+VERSION: <Param> OK	Param: Version number

Example :

```
at+version?r'n
+VERSION:2.0-20100601
OK
```

4. Restore default status

Command	Response	Parameter
AT+ORGL	OK	None

The parameter of default status:

Anexo 8 - Prueba de recepción de tramas del sistema superior

Para las pruebas de recepción de tramas del sistema superior se ha simulado el envío de tramas desde un dispositivo con tecnología bluetooth incorporado (celular android con una aplicación que permita el envío de tramas vía bluetooth).

El circuito fue puesto implementado en una tarjeta de prototipado (protoboard) con el software que permite la recepción de tramas a través del módulo bluetooth HC-05.

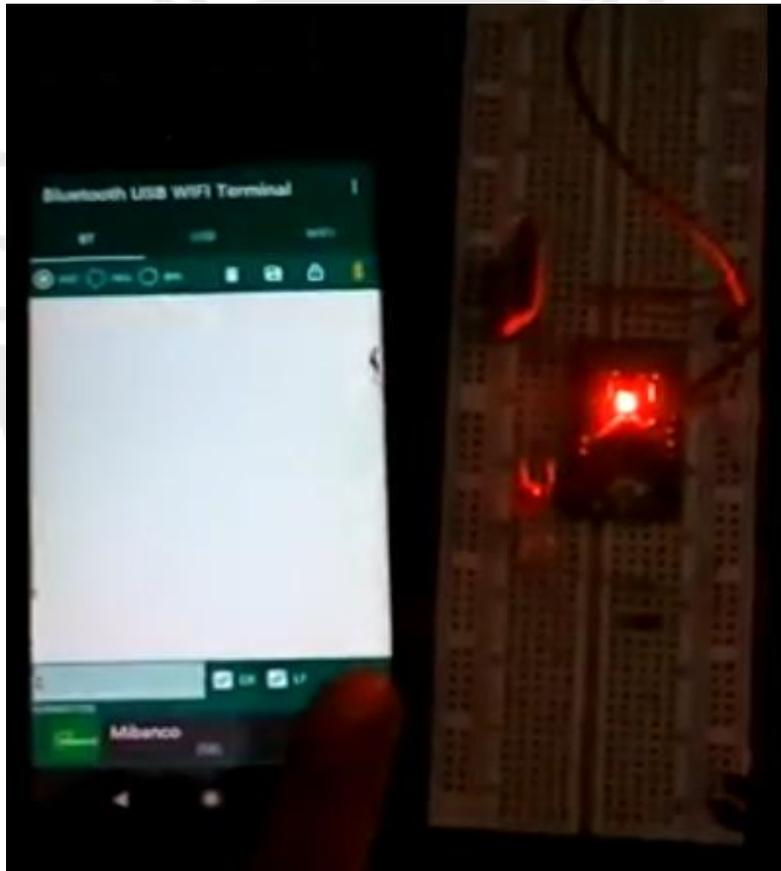


Figura 1. Estado inicial del dispositivo superior (sin recepción de tramas válidas)

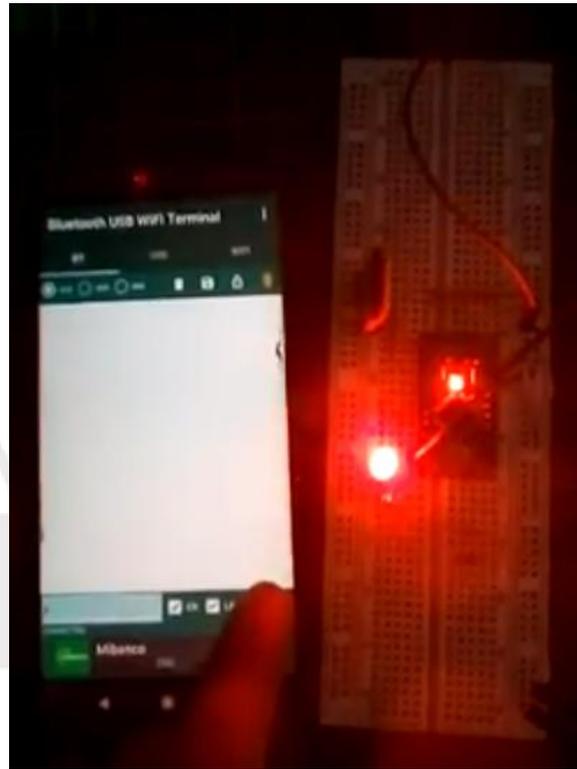
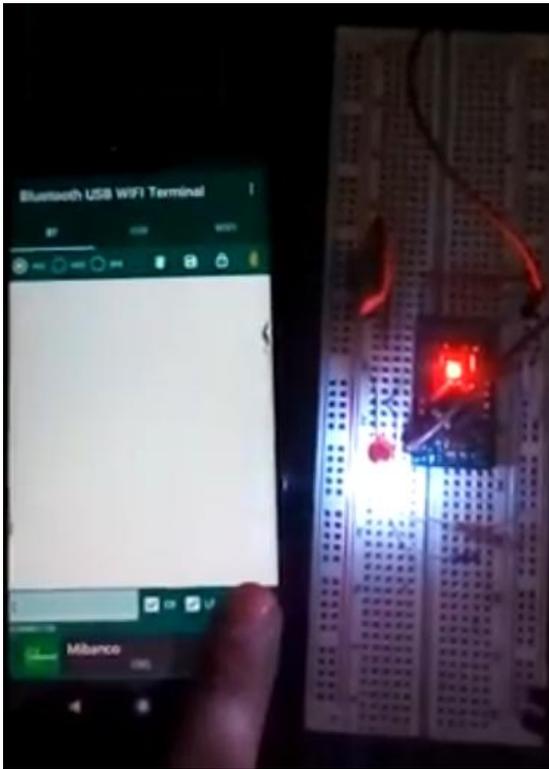


Figura 2. Accionamiento del sistema superior con envío de la trama “B”

Figura 3. Accionamiento del sistema superior con envío de la trama “T”

El funcionamiento de este software difiere con la versión final en que el presente software mantiene encendido el led y por ende la alarma ni bien se ha enviado una sola trama, mientras que el software final mantiene activa la alarma durante el tiempo en el cual el sistema inferior detecta la presencia de gas en el ambiente.

Anexo 9 - Ensayo del sistema superior completo:

El sistema superior consta de dos dispositivos enlazados por la alimentación y las conexiones entre los pines de entrada y salida designados para cada uno.

El estado inicial del dispositivo del sistema superior es como el apreciado en la figura 1, sin emisión de alarma sonora y tampoco deberá estar activos ningún indicador luminoso.

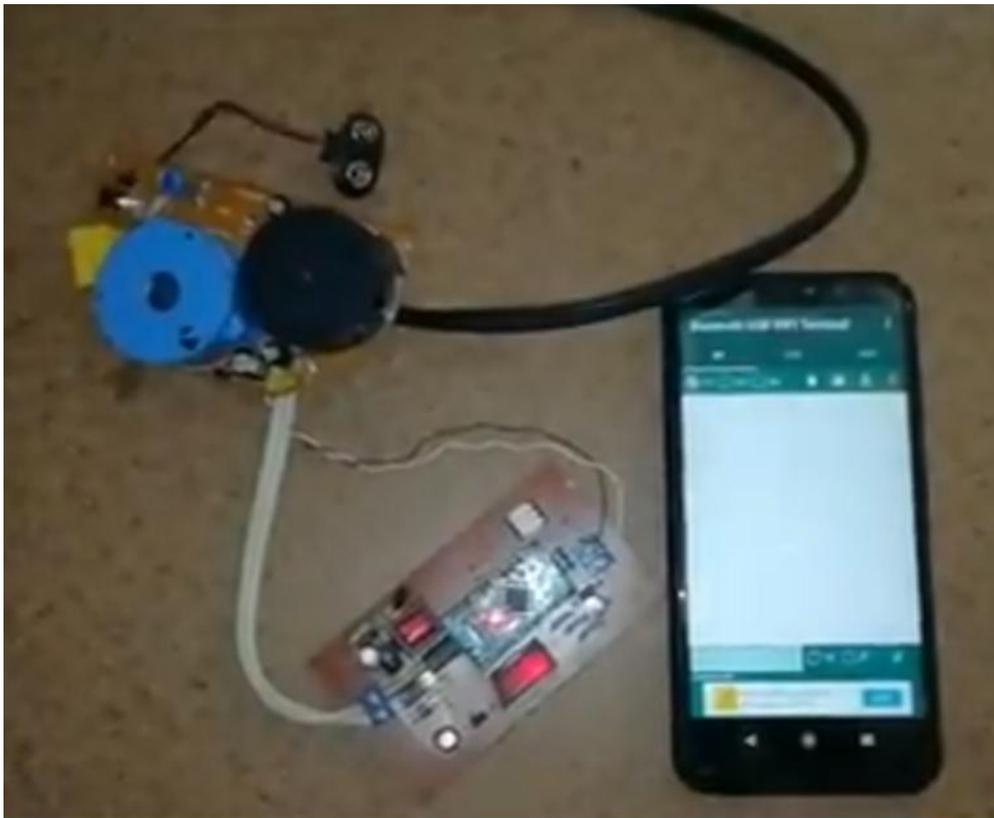


Figura 1. Estado inicial del dispositivo del sistema superior.

La primera prueba se basa en la transmisión de tramas desde un dispositivo móvil con comunicación bluetooth, el dispositivo es capaz de apagarse automáticamente ante la detención del envío de las tramas.

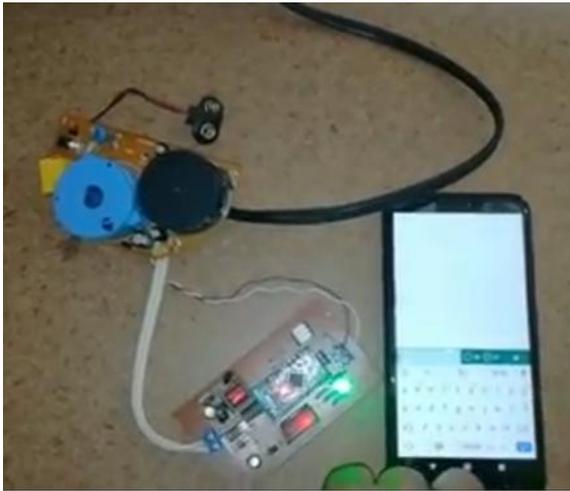


Figura 2. Dispositivo del sistema superior con recepción de trama “B”

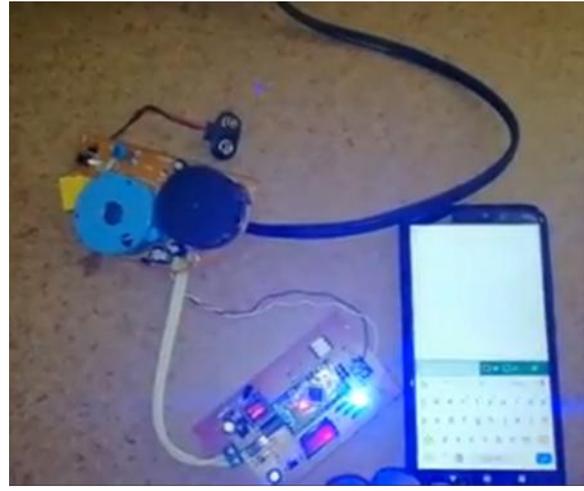


Figura 3. Dispositivo del sistema superior con recepción de trama “T”

La segunda prueba se realizó activando la alarma del detector de humo y probando la recepción de la trama “H” en el dispositivo móvil con la conexión establecida.

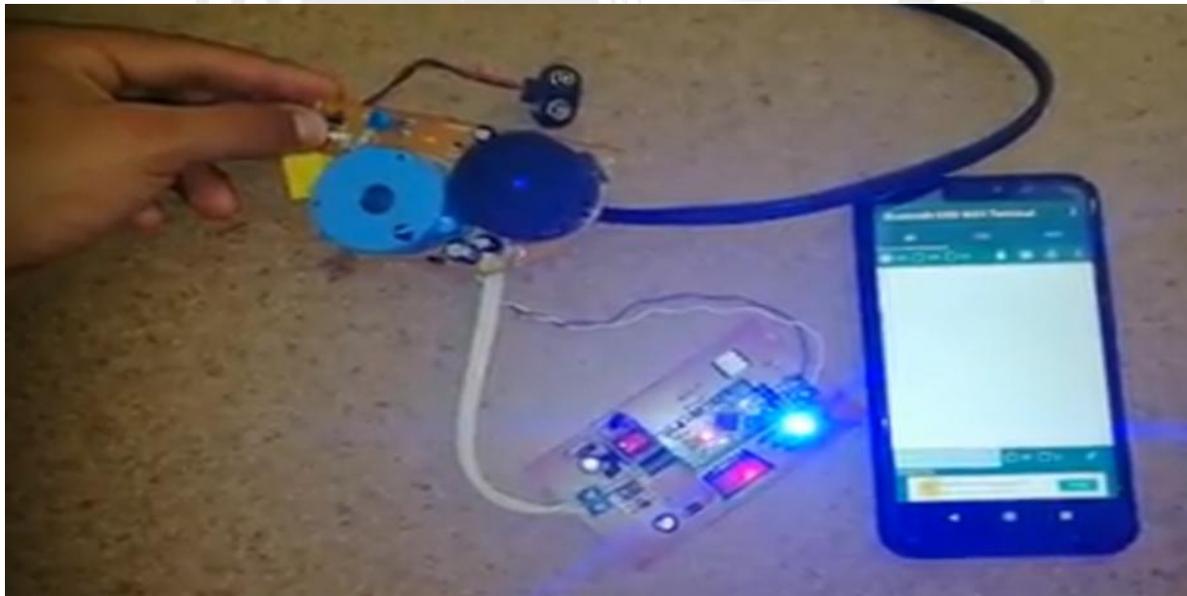


Figura4. Dispositivo superior con el detector de humo activado y envío de tramas al dispositivo móvil

Anexo 10 - Conversor 220 VAC a 9 VDC

Fuente de alimentación del detector de humo

El circuito mostrado en la figura 1 es el encargado de la alimentación del detector de humo, el cual convierte la tensión de la red en 9VDC, cabe señalar que esta es una fuente con capacidad de corriente baja.

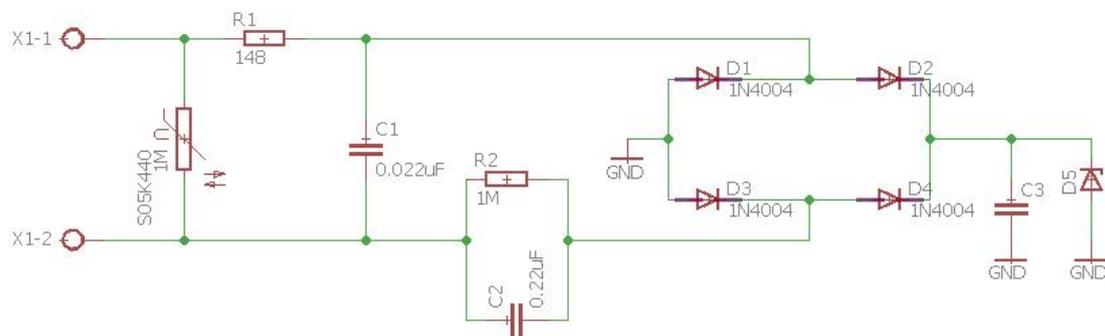


Figura 1. Fuente de alimentación sin transformador

El componente principal del circuito de alimentación es el capacitor de polipropileno (C2), el cual es diseñado para operar con tensión alterna de hasta 275VAC, dicho condensador es conectado en serie a la línea de la red con el fin de reducir la tensión y limitar la corriente que entregará la fuente.

$$X2 = \frac{1}{2\pi \cdot 60 \times 0.22 \mu} = 12\,057.2 \Omega$$

Los cuatro diodos son para rectificar la señal AC, mientras que el capacitor C3 es empleado para filtrar la señal, por último el zener regula la tensión a 9V. Además, la capacidad de corriente de la fuente es aproximadamente (se obvian las pequeñas caídas de tensión de los diodos):

$$I = \frac{220}{12\,057.2} = 18 \text{ mA}$$

Por otro lado, el resistor de R2 está conectado en paralelo a C2, para descargar la corriente almacenada en el condensador cuando el circuito está apagado.

Finalmente, por motivos de seguridad se emplea el capacitor C1 y un varistor conectado en paralelo a la red. La reactancia X1 del C1 es aproximadamente 120,6K, por ello se comporta como un circuito abierto, mientras que a altas frecuencias este se comporta como un circuito cerrado, lo cual permite que no se obtenga los 9 voltios y así brindar seguridad al dispositivo a energizar.



Anexo 11 – Código de programación sistema superior

```
//Define pines de Detector de humo
```

```
const int Detec_humo=3;
```

```
const int Activa_humo=8;
```

```
//Define pines de LED RGB
```

```
const int B=5;
```

```
const int G=6;
```

```
const int R=7;
```

```
char rx;
```

```
int contador;
```

```
void Recepcion(){
```

```
  if(Serial.available()){
```

```
    rx = Serial.read();
```

```
    while(rx=='T'){
```

```
      digitalWrite(R,LOW);
```

```
      digitalWrite(G,HIGH);
```

```
      digitalWrite(B,HIGH);
```

```
      digitalWrite(Activa_humo,HIGH);
```

```
      rx = Serial.read();
```

```
    }
```



```
while( rx=='B'){

    pinMode(3,OUTPUT);

    digitalWrite(R,HIGH);

    digitalWrite(G,LOW);

    digitalWrite(B,HIGH);

    digitalWrite(Activa_humo,HIGH);

    rx = Serial.read();

}

}

}

void Deteccion(){

    if(digitalRead(Detec_humo)){

        digitalWrite(R,HIGH);

        digitalWrite(G,HIGH);

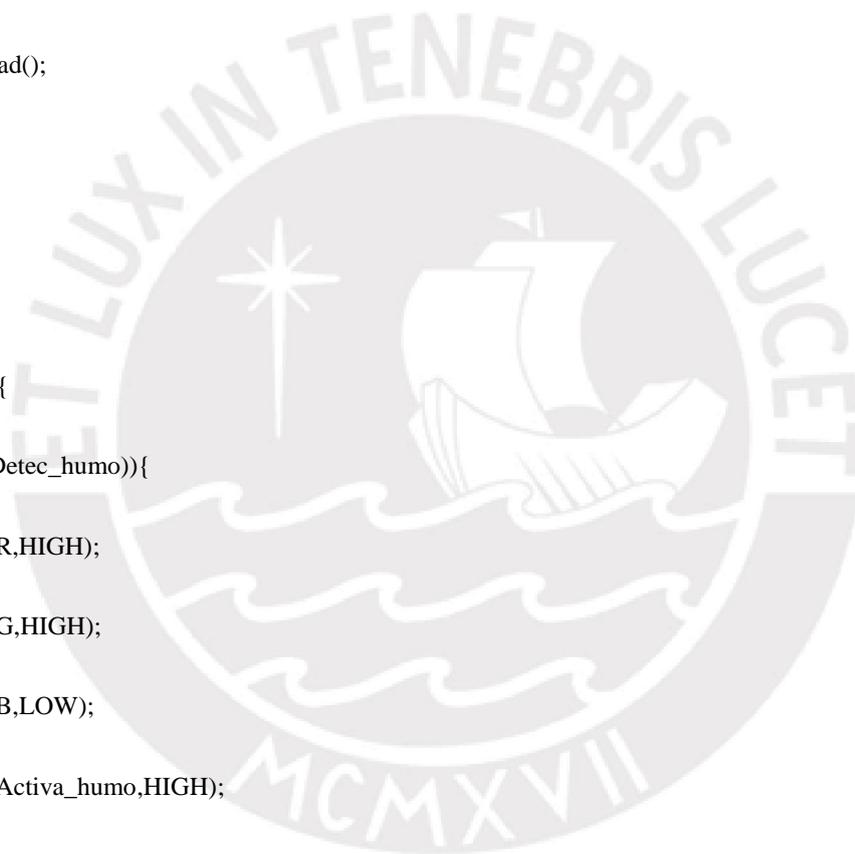
        digitalWrite(B,LOW);

        digitalWrite(Activa_humo,HIGH);

        Serial.print('H');

    }

}
```



```
void setup() {  
  
    // Definir Alarma Entradas y Salidas  
  
    pinMode(Activa_humo,OUTPUT);  
  
    pinMode(Detec_humo,INPUT);  
  
    //Definir pines de Indicar LED  
  
    pinMode(R,OUTPUT);  
  
    pinMode(G,OUTPUT);  
  
    pinMode(B,OUTPUT);  
  
    //Establecer Baudios de comunicacion  
  
    Serial.begin(9600);  
  
    //Condiciones Iniciales  
  
    digitalWrite(R,HIGH);  
  
    digitalWrite(G,HIGH);  
  
    digitalWrite(B,HIGH);  
  
    digitalWrite(Activa_humo,LOW);  
  
}  
  
void loop() {  
  
    Recepcion();  
  
    Deteccion();  
  
}
```

