

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL MONITOREO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), MONÓXIDO DE CARBONO (CO) Y METANO (CH₄) EN LUGARES RESIDENCIALES UTILIZANDO EL SISTEMA OPERATIVO ANDROID Y ARDUINO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

DIEGO RAÚL ORTEGA SEGURA

diego.ortega02@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARTHA CECILIA PAREDES PAREDES, PhD

cecilia.paredes@epn.edu.ec

Quito, julio 2017

DECLARACIÓN

Yo, Diego Raúl Ortega Segura, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Diego Raúl Ortega Segura

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Raúl Ortega Segura, bajo mi supervisión.

Ing. Martha Cecilia Paredes, PhD

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme valor para seguir adelante en muchas situaciones difíciles en mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional que me han brindado durante todo este tiempo.

A mis herman@s, que siempre me han apoyado y motivado en los momentos difíciles y me han ayuda a seguir adelante.

A la Dra. Martha Cecilia Paredes por su apoyo, paciencia y tiempo en el desarrollo de este proyecto.

A todos mis amig@s que he conocido en la vida universitaria, y se ha formado una linda amistad.

Diego Ortega Segura

DEDICATORIA

A mis padres, quienes siempre me apoyaron y han sido los principales responsables de la culminación de la carrera universitaria.

A mis hermanos y hermanas quienes me apoyaron en su momento de una u otra manera.

Diego Ortega Segura

CONTENIDO

CONTENIDO.....	i
PRESENTACIÓN.....	xi
RESUMEN.....	xii
CAPÍTULO 1 : FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 CONTAMINACIÓN	2
1.2.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN	3
1.2.2 TIPOS DE CONTAMINANTES	3
1.2.2.1 Por su origen	3
1.2.2.1.1 Contaminantes naturales	3
1.2.2.1.2 Contaminantes antrópicos.....	4
1.2.2.2 Por su naturaleza.....	4
1.2.2.2.1 Contaminantes físicos	4
1.2.2.2.2 Contaminantes químicos.....	4
1.2.2.2.3 Contaminantes biológicos	5
1.2.3 NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE LA REGULACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS.....	5
1.2.3.1 Organismos Internacionales	5
1.2.3.2 Organismos Nacionales.....	6
1.2.4 CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LOS GASES DE CO, CO ₂ Y CH ₄	7
1.2.4.1 Monóxido de Carbono (CO).....	7
1.2.4.1.1 Recomendaciones y prevención de la intoxicación de CO	9
1.2.4.2 Dióxido de Carbono (CO ₂)	10
1.2.4.2.1 Variación del Dióxido de carbono en los años	11
1.2.4.3 Metano (CH ₄)	12

1.2.4.3.1 Principales fuentes generadoras.....	13
□ Combustibles fósiles	13
□ Crianza de animales.....	13
□ Vertederos.....	13
1.2.5 NIVELES DE CONCENTRACIONES DE CO, CO ₂ , CH ₄ Y SUS CONSECUENCIAS	14
1.2.5.1 Rangos permisibles de CO	14
1.2.5.2 Rangos permisibles del CO ₂	15
1.2.5.3 Rangos permisibles del CH ₄	16
1.2.6 NIVELES DE EXPOSICIÓN A LOS GASES	17
1.3 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS	18
1.3.1 BLUETOOTH	19
1.3.1.1 Historia	19
1.3.1.2 Características.....	21
1.3.1.3 Topología de red.....	22
1.3.1.3.1 Piconets	22
1.3.1.3.2 Scatternet.....	23
1.3.1.4 Estados de un dispositivo Bluetooth	24
1.3.2 EVOLUCIÓN DE BLUETOOTH	25
1.3.2.1 Bluetooth v1.0 (1994) y 1.0B (1995)	25
1.3.2.2 Bluetooth v1.1 (2002)	26
1.3.2.3 Bluetooth v1.2 (2003)	26
1.3.2.4 Bluetooth v2.0 + EDR (2004).....	27
1.3.2.5 Bluetooth v2.1 + EDR (2007).....	27
1.3.2.6 Bluetooth v3.0 (2009)	27
1.3.2.7 Bluetooth v4.0 Low Energy (2010).....	28
1.3.2.8 Bluetooth v5 (2016-2017)	28
1.3.3 TECNOLOGÍA CELULAR	29
1.3.3.1 Generación Cero (0G)	31
1.3.3.2 Primera generación (1G)	32

1.3.3.3 Segunda generación (2G)	32
1.3.3.4 Generación 2.5G	34
1.3.3.5 Tercera generación (3G)	35
1.3.3.6 Generación (3.5G).....	37
1.3.3.7 Cuarta generación (4G).....	37
1.3.3.8 Quinta generación (5G).....	39
CAPÍTULO 2 : DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	41
2.1 GENERALIDADES DEL PROTOTIPO A IMPLEMENTAR	41
2.2 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN.....	43
2.2.1 APP INVENTOR.....	43
2.2.2 PLATAFORMA ARDUINO	47
2.3 HARDWARE UTILIZADO	47
2.3.1 PLACA ARDUINO	47
2.3.2 MÓDULO BLUETOOTH HC-05	52
2.3.3 SENSORES DE GASES	54
2.3.3.1 Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7	54
2.3.3.1.1 Descripción	55
2.3.3.1.2 Especificaciones técnicas	55
2.3.3.1.3 Conexión con la placa Arduino.....	55
2.3.3.2 Sensor de Dióxido de Carbono SEN0219	56
2.3.3.2.1 Descripción	56
2.3.3.2.2 Especificaciones técnicas	56
2.3.3.2.3 Conexión con la placa Arduino.....	57
2.3.3.3 Sensor de Metano MQ-4	57
2.3.3.3.1 Descripción	58
2.3.3.3.2 Especificaciones técnicas	58
2.3.3.3.3 Conexión con la placa Arduino.....	58
2.3.4 MÓDULO DE CONEXIÓN GSM/ GPRS	59
2.3.4.1 Descripción	59

2.3.4.2 Especificaciones técnicas	60
2.3.4.3 Conexión con la placa Arduino	60
2.3.5 SERVO MOTOR	61
2.3.5.1 Descripción	61
2.3.5.2 Especificaciones técnicas	62
2.3.5.3 Conexión con la placa Arduino	62
2.3.6 FUENTE DE ALIMENTACIÓN	63
2.3.6.1 Descripción	63
2.3.6.2 Especificaciones técnicas	63
2.3.6.3 Forma de conexión	64
2.3.7 CONVERTOR DC-DC.....	64
2.3.7.1 Descripción	64
2.3.7.2 Especificaciones técnicas	64
2.3.7.3 Forma de conexión	65
2.3.8 DISPOSITIVO DE VISUALIZACIÓN DE DATOS.....	65
2.4 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES.....	66
2.5 IMPLEMENTACIÓN.....	67
2.5.1 SISTEMA TRASMISOR	67
2.5.1.1 Adquisición De Datos	68
2.5.1.2 Procesamiento.....	68
2.5.2 SISTEMA RECEPTOR.....	68
2.5.3 UNIFICACIÓN DEL PROTOTIPO DE MONITOREO	69
2.5.4 PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA ARDUINO	72
2.5.4.1 Declaración de Librerías	73
2.5.4.2 Configuración de nuevo puerto serial	73
2.5.4.3 Declaración de variables	73
2.5.4.4 Parámetros de comunicación serial y servomotor	74
2.5.4.5 Funciones para la lectura de datos.....	74
2.5.4.6 Envío de datos hacia el celular a través de Bluetooth	75
2.5.5 PROGRAMACIÓN EN APP INVENTOR.....	77

2.5.5.1 Componentes del designer	78
2.5.5.2 Código y diseño de la pantalla introducción	81
2.5.5.3 Código y diseño de la pantalla inicio.....	82
2.5.5.4 Presentación de la pantalla información	82
2.5.5.5 Código y diseño de la pantalla receptor.....	83
CAPÍTULO 3 : PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87
3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	87
3.1.1 ETAPA DE OBTENCIÓN	87
3.1.2 ETAPA DE RECEPCIÓN Y VISUALIZACIÓN.....	88
3.1.3 ETAPA DE ENVÍO DE ALERTAS	89
3.1.3.1 Mecanismos de ventilación.....	90
3.2 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	90
3.2.1 CENTRO DE GESTIÓN DE LAS OFICINAS DE IBM DEL ECUADOR	91
3.2.2 COMEDOR DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	92
3.2.3 COCINA DE UNA CASA	93
3.2.4 DORMITORIO DE UNA CASA.....	94
3.3 COSTOS REFERENCIALES.....	95
CAPÍTULO 4 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
4.1 CONCLUSIONES	97
4.2 RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
ANEXOS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Incremento de Dióxido de Carbono en las últimas décadas	11
Figura 1.2 Incremento y tendencia del CO ₂ en los últimos años	12
Figura 1.3 Niveles de CH ₄ que pueden provocar una explosión	16
Figura 1.4 Origen del logo Bluetooth.....	20
Figura 1.5 Formación de una Piconet	23
Figura 1.6 Formación de una Scatternet	24
Figura 1.7 Estados de un dispositivo Bluetooth.....	24
Figura 1.8 Primer teléfono inalámbrico.....	30
Figura 1.9 Evolución tecnológica de la telefonía celular.....	31
Figura 1.10 Evolución de la telefonía celular en el transcurso de los años	31
Figura 1.11 Teléfonos portátiles de la Generación Cero	32
Figura 1.12 Velocidades de operación la cada tecnología celular.....	40
Figura 2.1 Diagrama de bloques del prototipo.....	41
Figura 2.2 Elementos del prototipo de monitoreo	42
Figura 2.3 Sitio web de inicio de App Inventor	44
Figura 2.4 Sitio web para creación de aplicaciones móviles	45
Figura 2.5 Creación de un nuevo proyecto.....	45
Figura 2.6 Nueva aplicación en App Inventor a ser programada.....	46
Figura 2.7 Área de trabajo para desarrollar la aplicación	46
Figura 2.8 Placas de la familia Arduino	49
Figura 2.9 Placas Arduino con mayor memoria y número de pines	49
Figura 2.10 Placas Arduino para proyectos interactivos	50
Figura 2.11 Descripción de los pines de la placa Arduino UNO.....	51
Figura 2.12 Módulos Bluetooth HC-05 y HC-06 y su distribución de pines	53
Figura 2.13 Sensor MQ-7 y su distribución de pines.....	54
Figura 2.14 Esquema de conexión del sensor de CO con Arduino	55
Figura 2.15 Sensor SEN0219 y su distribución de pines	56
Figura 2.16 Esquema de conexión del sensor de CO ₂ con Arduino	57
Figura 2.17 Sensor MQ-4 y su distribución de pines.....	58

Figura 2.18 Esquema de conexión del sensor MQ-4 con Arduino	59
Figura 2.19 Módulo GPRS SIM 900	59
Figura 2.20 Esquema de conexión del SIM 900 con Arduino.....	61
Figura 2.21 Servomotor TowerPro –SG-5010	61
Figura 2.22 Esquema de conexión del servomotor TowerPro SG-5010 con Arduino	62
Figura 2.23 Fuente de alimentación 2A a 9V	63
Figura 2.24 Módulo LM2596 DC-DC	64
Figura 2.25 Polarización del módulo LM2596 DC-DC	65
Figura 2.26 Celular para la visualización de datos	66
Figura 2.27 Esquema general del sistema transmisor	68
Figura 2.28 Conexión de los sensores de gases con Arduino UNO.....	69
Figura 2.29 Elaboración del sistema prototipo	70
Figura 2.30 Conexión interna del sistema prototipo	70
Figura 2.31 Compartimiento de los sensores de gases	71
Figura 2.32 Conexión final del sistema Prototipo	71
Figura 2.33 LED que indica la conexión a la red celular	72
Figura 2.34 Diagrama de adquisición, procesamiento y visualización de las concentraciones de gas	76
Figura 2.35 Diagrama de flujo de generación de alertas.....	77
Figura 2.36 Diseño final de la aplicación creada en el área del designer.....	80
Figura 2.37 Diseño de la pantalla introducción.....	81
Figura 2.38 Diseño de la pantalla de inicio.....	82
Figura 2.39 Diseño de la pantalla información	83
Figura 2.40 Diseño de la pantalla del receptor	84
Figura 3.1 Adquisición de datos de los sensores de gases.....	87
Figura 3.2 Visualización de los datos monitoreados a través de un celular	88
Figura 3.3 Registro de llamadas y mensajes realizados por el sistema prototipo	89
Figura 3.4 Apertura de la ventana cuando sobrepasa cierto valor establecido	90
Figura 3.5 Concentración de CO, CO ₂ y CH ₄ vs Tiempo	92
Figura 3.6 Concentración de CO, CO ₂ y CH ₄ en el comedor de la EPN.....	93
Figura 3.7 Concentración de CO en la cocina de una casa	94

Figura 3.8 Concentraciones de CO, CO₂ y CH₄ en un dormitorio94

Figura 3.9 Total de abonados de telefonía celular en el Ecuador95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Efectos de CO en la salud de las personas.....	15
Tabla 1.2 Efectos del CO ₂ en la salud de las personas.....	16
Tabla 1.3 Niveles de exposición al CH ₄ y sus efectos	17
Tabla 1.4 Límites de exposición permisible de los gases CO, CO ₂ y CH ₄	18
Tabla 1.5 Características de la tecnología Bluetooth	21
Tabla 1.6 Características de la tecnología LTE y LTE Advanced.....	38
Tabla 2.1 Características de la plataforma Arduino.....	51
Tabla 2.2 Configuración de fábrica del módulo HC-05.....	53
Tabla 2.3 Nueva configuración del módulo HC-05	53
Tabla 2.4 Características principales del sensor MQ-7	55
Tabla 2.5 Características principales del sensor de CO ₂ SEN0219	57
Tabla 2.6 Características Principales del sensor MQ-4.....	58
Tabla 2.7 Características principales del módulo GPRS SIM 900.....	60
Tabla 2.8 Características principales del servomotor TowerPro SG-5010	62
Tabla 2.9 Características de la fuente de alimentación.....	63
Tabla 2.10 Características del módulo LM2596 DC-DC.....	65
Tabla 3.1 Costo aproximado de los materiales del prototipo de monitoreo	95
Tabla 3.2 Costo de mano de obra, diseño, construcción y asesoramiento del prototipo	96

ÍNDICE DE CÓDIGOS

Código 2.1 Librerías utilizadas en Arduino UNO	73
Código 2.2 Declaración de variables para los sensores y el servomotor	73
Código 2.3 Configuración de la comunicación serial y el servomotor	74
Código 2.4 Función para enviar mensajes de texto	74
Código 2.5 Porción de código para el envío de datos hacia el celular	75
Código 2.6 Porción de código para hacer girar la imagen al abrir la aplicación	81
Código 2.7 Porción de código para verificar el ingreso de la contraseña	83
Código 2.8 Porción de código para desplegar la lista de dispositivos Bluetooth disponibles	84
Código 2.9 Código para el establecimiento de la conexión entre el celular y el módulo Bluetooth	85
Código 2.10 Código para la desconexión del celular y el módulo Bluetooth	85
Código 2.11 Código para la visualización de los datos transmitidos desde el arduino hacia el celular	86

PRESENTACIÓN

Para la realización del presente proyecto de titulación se consideró la forma de contribuir en la sociedad con los conocimientos adquiridos en la vida universitaria. Muchas veces se realizan proyectos de titulación de estudios de nuevas tecnologías pero esto toma su tiempo hasta que pueda ser útil en la experiencia práctica de un ingeniero. Con lo expuesto anteriormente, el autor del presente proyecto optó por la realización de una aplicación que permita prevenir intoxicaciones e incluso la muerte por la inhalación de ciertos gases contaminantes que son letales para el ser humano.

Otro tema que ha llamado la atención para la elaboración del presente proyecto es el uso de *Arduino*, una plataforma de hardware libre (es decir, el código es de libre acceso para todos los usuarios), y App Inventor, una plataforma creada por Google Labs para la realización de aplicaciones celulares para el sistema operativo Android.

En este proyecto se presenta la implementación de un prototipo para el monitoreo de gases de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en lugares residenciales utilizando Arduino UNO y los resultados del monitoreo se muestran en un teléfono celular con un sistema operativo Android.

La comunicación entre el prototipo de monitoreo y el celular es a través de la tecnología de comunicación inalámbrica Bluetooth. Se tiene integrado en el prototipo un sistema de generación de alertas capaz de enviar un SMS (*Short Message Service*) y efectuar una llamada perdida a un número telefónico registrado previamente para recibir la alerta. Para mitigar los efectos de la contaminación de los gases en el ser humano, el prototipo cuenta con un mecanismo de ventilación (el cual permite abrir una ventana cuando exista altos niveles de contaminación) para disipar el gas contaminado en el ambiente.

RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en la implementación de un prototipo de monitoreo de gases de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en un ambiente cerrado y residencial. Además, con el fin de evitar que las personas inhalen estos gases contaminantes, el prototipo es capaz de generar alertas cuando exista un nivel de la concentración de cualquiera de estos gases según las normas establecidas por los organismos internacionales.

Debido a que actualmente, las personas tienen gran dependencia del teléfono celular, los valores obtenidos en el monitoreo se los podrá visualizar en un teléfono inteligente, siempre y cuando se instale previamente la aplicación desarrollada específicamente para esta tarea.

Como mecanismo de alarmas, el sistema prototipo procederá a enviar mensajes de texto y realizará llamadas telefónicas perdidas hacia un celular que ha sido registrado para que lleguen las alertas.

Para cumplir con los objetivos propuestos se ha dividido en los siguientes cuatro capítulos.

En el capítulo uno se presentan los fundamentos teóricos, iniciando una revisión de las concentraciones del dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄) en el aire, el tiempo de inhalación y sus efectos hacia las personas, adicionalmente se describirán, de forma general, las tecnologías inalámbricas usadas para el prototipo como el estándar IEEE 802.15.1 (Bluetooth) y las comunicaciones celulares.

En el capítulo dos se revisan las herramientas de software y hardware usados para el prototipo, así se revisa la programación de la plataforma Arduino y la plataforma de App Inventor; en cuanto al hardware utilizado para el prototipo se describen: la placa Arduino, módulo Bluetooth HC-05, módulo SIM 900, los sensores para los gases a ser monitoreados y algunos otros elementos complementarios.

Posteriormente se explica el diseño e implementación del prototipo, adicionalmente se realiza la unificación del prototipo de monitoreo. Finalmente se detalla el desarrollo de la aplicación en App Inventor para dispositivos que tengan instalado el sistema operativo Android.

En el capítulo tres se explica el procedimiento de evaluación y análisis del funcionamiento del prototipo, adicionalmente se presentan los costos referenciales del prototipo implementado.

En el capítulo cuatro se presentan las conclusiones obtenidas a lo largo del proyecto y las recomendaciones.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico que se está dando en las últimas décadas ha revolucionado al mundo entero, por lo que las personas se han visto obligadas a adaptarse a los cambios rápidos y constantes que se dan en la actualidad.

Muchos campos de la tecnología han evolucionado, uno de ellos ha sido la telefonía celular que ha permitido a las personas comunicarse desde cualquier parte del planeta, informarse de los últimos acontecimientos que se dan en el día a día e interactuar con personas vía mensajes, es decir, hay un sinnúmero de aplicaciones que se pueden realizar, hasta llegar al punto de saber el mínimo detalle de cualquier suceso que se presenta en tiempo real, todo esto gracias a un pequeño dispositivo llamado teléfono celular.

El celular ha logrado integrar la tecnología con el estilo de vida que llevan actualmente las personas, incluso ha logrado salvar vidas gracias a las aplicaciones que se han desarrollado, por ejemplo, el teléfono celular podría presentar de forma amigable los resultados del monitoreo en lugares residenciales de los valores de concentración de gas presentes en el medio ambiente como son: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4), los cuales son gases muy nocivos para los seres humanos.

Con el propósito de prevenir la inhalación de gases nocivos se requiere implementar alguna aplicación que permita notificar sobre los niveles elevados de contaminación en lugares residenciales y para ello se puede utilizar un teléfono celular para visualizar los valores obtenidos al monitorear y recibir alertas cuando existan altas concentraciones dichos gases.

En el mercado existen ciertos dispositivos electrónicos que se instalan en los lugares residenciales para detectar fugas de gases nocivos, pero sería óptimo unificar estos aparatos electrónicos con el celular para obtener los valores monitoreados y recibir alertas cuando existan niveles de contaminación elevados de estos gases, es por eso que, en este trabajo de titulación se desarrolla un prototipo para el monitoreo de estos gases, además se integra una aplicación para visualizar los datos en el celular, debido a que en la actualidad las personas se encuentran muy ligadas a estos dispositivos electrónicos. Adicionalmente, el prototipo permite la apertura de una ventana como un mecanismo de ventilación para disipar la contaminación de los gases.

En este capítulo se revisan los conceptos de contaminación, tipos de contaminantes y las principales fuentes generadoras. Adicionalmente se revisan las normativas nacionales e internacionales respecto a la contaminación y se presentan datos sobre la afectación en la salud de las personas dependiendo de las concentraciones que se presenten en el medioambiente. Finalmente se revisan, en forma general los conceptos relacionados con la tecnología celular y Bluetooth, sus características y funcionamiento, debido a que son las tecnologías usadas en la implementación del prototipo.

1.2 CONTAMINACIÓN

La contaminación es un problema global que afecta a la salud de las personas y al medio ambiente, los índices de contaminación se han incrementado desde que se inició la Revolución Industrial desde finales del siglo XVIII [1].

La contaminación ha ido incrementando con el pasar de los años debido al desarrollo tecnológico que se ha presentado en el mundo y/o por el aumento en el consumo de combustibles por parte de las industrias. Si bien, el consumo de combustible ha permitido un mejor estilo de vida de las personas, esto ha provocado niveles de contaminación elevados en los países desarrollados y en menor cantidad en los países en vías de desarrollo.

1.2.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINACIÓN

La contaminación se puede definir como la presencia en el ambiente de cualquier compuesto químico, físico o biológico que pueden causar daños, riesgos o molestias para la salud y bienestar de las personas, de los animales y de las plantas [2].

Según la NECA (Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire), la contaminación del aire se define como [3]: *“La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente”*.

Adicionalmente, la NECA define a los contaminantes del aire como [3]: *“Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente”*.

1.2.2 TIPOS DE CONTAMINANTES

Sin duda hay muchos tipos de contaminantes presentes en el medio ambiente, los cuales se clasifican por su origen o por su naturaleza. A continuación se realiza una breve revisión [4].

1.2.2.1 Por su origen

Los contaminantes por su origen se clasifican en: naturales y antrópicos los cuales se explican a continuación.

1.2.2.1.1 Contaminantes naturales

Este tipo de contaminantes pueden ser producto de eventos tales como: erupciones volcánicas, incendios forestales, aguas estancadas, descargas eléctricas, entre otros.

1.2.2.1.2 Contaminantes antrópicos

Son generados por la actividad humana, como por ejemplo: procesos industriales, ensayos nucleares, combustión de hidrocarburos, actividad agrícola, entre otros [4].

1.2.2.2 Por su naturaleza

Por su naturaleza se clasifican en: físicos, químicos y biológicos.

1.2.2.2.1 Contaminantes físicos

Los contaminantes físicos se caracterizan por el intercambio de energía entre las personas y el ambiente, y su presencia modifica la calidad de sus componentes en el ambiente.

Entre los contaminantes físicos se tiene [4]:

- El ruido
- Radiaciones ionizantes
- Radiaciones electromagnéticas no ionizantes
- Contaminación lumínica

1.2.2.2.2 Contaminantes químicos

Son sustancias químicas que se emiten hacia la atmósfera, las cuales son producidas por: automóviles, industrias, aerosoles, insecticidas. Estos gases se disuelven en el aire, por lo que se les denomina emisiones [4].

La emisión representa la cantidad del contaminante evacuado a la atmósfera en un intervalo de tiempo, mientras que la inmisión representa los contaminantes presentes en el suelo.

Entre los contaminantes químicos se tiene los siguientes compuestos:

- Dióxido de Carbono (CO₂)

- Metales pesados
- Monóxido de Carbono (CO)
- Otros Hidrocarburos (COVs: compuestos orgánicos volátiles)
- Óxido de Nitrógeno (N_xO)
- Óxido de Azufre (SO_x)
- Ozono troposférico O₃

1.2.2.2.3 Contaminantes biológicos

Son los microorganismos con un determinado tiempo de vida que influyen en la calidad del aire, agua, suelo y alimentos y pueden generar enfermedades infecciosas o parasitarias.

Todos los contaminantes descritos anteriormente poseen un límite en sus niveles de concentración máxima en el aire para considerarlos como perjudiciales para la salud de las personas [4].

1.2.3 NORMAS NACIONALES E INTERNACIONALES SOBRE LA REGULACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS

Hay organismos nacionales e internacionales responsables de emitir normas de salud y seguridad sobre sustancias peligrosas.

1.2.3.1 Organismos Internacionales

Entre los organismos internacionales se destacan [5]:

- OSHA (*Occupational Safety and Health Administration* o Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo) es una agencia federal de los Estados Unidos responsable de la adopción de normas de salud y seguridad de los trabajadores.
- NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health* o Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo) es un organismo encargado de verificar los equipos de respiración y que estén adecuadamente

certificados, estudiar posibles peligros laborales, ensayos de equipos laborales y también sugiere normas a la OSHA.

- EPA (*U.S. Environmental Protection Agency* o Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América) encargada de establecer los límites máximos permitidos de concentraciones de contaminantes comunes a nivel del suelo y en el medio ambiente.
- ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* o Conferencia estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales) realiza recomendaciones acerca de los límites permitidos de exposición laboral a sustancias químicas.
- Estándar ASHRAE 62-1989 (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* o Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) es una asociación que se enfoca en brindar servicios tecnológicos en los sistemas para edificios, eficiencia energética, calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria [6].

1.2.3.2 Organismos Nacionales

En Ecuador, el organismo encargado de brindar una Gestión de la Calidad del Aire, con el fin de proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio Cultural, es el Ministerio del Ambiente.

Actualmente, en Ecuador existen pocas investigaciones sobre los efectos que produce la contaminación del aire en la salud de la población, no se ha encontrado estudios epidemiológicos en lo que se refiere a la contaminación del aire ni tampoco se está incluyendo en los programas de desarrollo urbano [6]. Si bien existen sistemas de monitoreo de gases contaminantes, estos están implementadas solo en algunas provincias, los cuales están enfocadas solamente al control ambiental en lugares donde existe alta congestión vehicular, refinerías y zonas industriales que producen gases contaminantes en su entorno más no en el monitoreo de lugares residenciales.

El Plan Nacional de la Calidad del Aire [7], presentado por el Ministerio del Ambiente indica que: *“La gestión de la calidad del aire en el Ecuador tiene como referencia a la ciudad de Quito debido a los niveles de contaminación que presenta. En el año 2004 se creó la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), cuyas tareas a cumplir son la operación de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ), la revisión técnica vehicular y el desarrollo del Índice Quiteño de Calidad del Aire”*. Por lo que Quito, actualmente cuenta con varias estaciones de monitoreo ambiental distribuidas en distintos sectores de la ciudad, lo que permite monitorear continuamente la concentración de los gases.

En otras ciudades como Guayaquil, no se tiene un monitoreo permanente, por lo que no se puede establecer un rango sobre el incremento de la contaminación del aire; mientras que en Cuenca los niveles de contaminación del aire son menores en comparación a los niveles de Quito. [7]

En el presente proyecto de titulación se considera a los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) como motivo de estudio y debido a que estos gases se los puede encontrar en lugares residenciales.

1.2.4 CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LOS GASES DE CO, CO₂ Y CH₄

La inhalación de CO, CO₂ y CH₄ a niveles que sobrepasen los valores umbrales permitidos pueden afectar gravemente a la salud de las personas, sobretodo la inhalación de CO. A continuación se describen los síntomas que una persona padece cuando inhala cierta cantidad de concentración de estos gases presentes en el ambiente.

1.2.4.1 Monóxido de Carbono (CO)

El CO es un gas que no posee olor ni color, pero es muy tóxico, este gas no irrita los ojos ni la nariz pero puede causar la muerte si se inhala en niveles elevados debido a

que no es detectable con los sentidos [8]; adicionalmente es el contaminante del aire más abundante en las grandes ciudades.

El CO se produce por la mala combustión de los automóviles, camiones, cocinas y hornos a gas, sistemas de calefacción, carbón, tabaco, cocinas a leña y se acumula en lugares donde no existe ventilación o circulación de aire fresco, por lo que una persona puede envenenarse al respirar, esto debido a que la capacidad de la sangre para llevar oxígeno se bloquea, lo que reduce la cantidad de oxígeno que llega al corazón, al cerebro y al resto del cuerpo.

El CO produce dos tipos de contaminación: la aguda que es provocada por niveles elevados de concentración del gas y causa la muerte sin producir síntomas; y la crónica que produce malestar en el cuerpo, entre los cuales se tiene: dolor de cabeza, sueño, mareos, vómitos, debilidad, zumbido en los oídos, dolor en el pecho, aumento del ritmo respiratorio y confusión [8]. Muchos de estos síntomas se pueden confundir con un estado gripal o mala ingesta de alimentos.

La persona que inhala CO no se da cuenta del peligro que le está asechando ya que este gas no provoca ninguna sensación de ahogo o asfixia y es muy complicado saber si una persona se está intoxicando. Una vez que el monóxido de carbono llega a los pulmones, este empieza a producir lentamente un adormecimiento y parálisis de los músculos y posteriormente llega la pérdida de sentido y culminar con la muerte del individuo.

El CO se puede producir en zonas residenciales por la mala combustión de cocinas y hornos a gas, sistemas de calefacción sobre todo en temporada de invierno y vehículos en lugares cerrados donde el aire no fluye. Entre las causas principales en las que se origina el CO en los artefactos que funcionan a gas están:

- Poca ventilación en lugares cerrados donde se produce la combustión
- Se instalan los artefactos en lugares inapropiados
- Mal estado y falta de mantenimiento de los conductos de evacuación de los gases

- Exceso de hollín en el quemador

1.2.4.1.1 Recomendaciones y prevención de la intoxicación de CO

La empresa Metrogas explica acerca del CO, las afectaciones a en la salud de las personas y brinda una serie de recomendaciones que se detallan posteriormente [9]. Se tiene algunas señales que pueden dar una pista sobre la presencia de CO en el ambiente, Metrogas menciona, por ejemplo, el color de la llama en los artefactos, a continuación más detalles.

- Azul, este color se visualiza normalmente (más claro en los bordes y más colorido en el centro), implícitamente indica una combustión correcta.
- Amarillo o naranja, indica la presencia de monóxido de carbono debido a la mala combustión del gas, en estos casos se debe limpiar el artefacto de cualquier residuo que pueda presentarse, ya sea ceniza u hollín, esto permitirá el ingreso del oxígeno necesario para que se produzca un combustión correcta.
- Verde, se produce por la combustión de metales como zinc, cobre, bronce, entre otros. Se puede dar el caso que se produzca esta llama debido a que se realizó la limpieza de la cocina con productos que contienen estos metales, existirá la presencia de partículas extrañas y generará una mala combustión.
- Rojo, indica la presencia de ciertas partículas de óxido que han sido arrastradas por la cañería provocado por la presión del gas.
- Aparición de manchas, acumulación de suciedad en los conductos de evacuación. En estos casos se debe realizar un adecuado mantenimiento y verificar que los conductos de evacuación de los gases y chimeneas no se encuentren tapados.

Cuando se tiene algún indicio que una persona está intoxicada por CO se debe retirar del ambiente contaminado y trasladar a la persona a un lugar en el que pueda respirar aire fresco y llamar a un médico capacitado de manera inmediata.

El CO ha cobrado la vida de muchas personas en Ecuador y en varios países, muchas veces por descuido y otras por la falta de precaución a este gas que es muy tóxico.

Se podría prevenir la inhalación de monóxido de carbono mediante un detector que alerte a las personas cuando existan altos niveles de concentraciones en el ambiente.

1.2.4.2 Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y es muy importante para que exista vida en el planeta tierra. El CO₂ proviene de fuentes naturales como aguas subterráneas (debido a que el CO₂ es más soluble en el agua), volcanes, aguas termales orgánicas, al respirar, incendios forestales naturales y de fuentes antrópicas (es decir, las generadas por los humanos) como son: deforestación, quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural, productos del petróleo [10].

La EPA (Agencia de protección ambiental de Estados Unidos) menciona que [11]: *“Las plantas, los océanos y los suelos emiten y absorben grandes cantidades de dióxido de carbono como parte del ciclo natural de carbono de la tierra. Estas emisiones y absorciones naturales de dióxido de carbono en promedio se equilibran con el pasar del tiempo. El dióxido de carbono generado por actividades humanas no es parte de este equilibrio natural.”*

El CO₂ es un gas de efecto invernadero que influye en el cambio climático, es el principal responsable del calentamiento global que se está dando desde las últimas décadas, una mayor presencia de CO₂ conlleva a un incremento de la temperatura en todo el planeta y sus consecuencias a largo plazo podrán ser [12]:

- Incremento del nivel del mar
- Extinción de las especies
- Aparecimiento de nuevas enfermedades
- Disminución de los recursos hídricos

Las personas son fuentes emisoras de CO₂ al expulsar el aire que respiran. Un ejemplo claro es en aulas mal ventiladas, oficinas cerradas y salas de conferencia donde el aire no fluye con facilidad. Cuando existen eventos en donde implica la agrupación de varias personas en un mismo sitio se tiene la presencia de CO₂. Este gas a ciertos niveles de concentración produce disminución de la concentración y de rendimiento de las personas

1.2.4.2.1 Variación del Dióxido de carbono en los años

Es dióxido de carbono es un gas propio del planeta tierra que tiene aproximadamente una concentración de 250 a 350 ppm (partes por millón) en la atmósfera [13], en la actualidad este valor se ha ido incrementando y ha superado las 400 ppm [14]. En la Figura 1.1 se aprecia el incremento de CO₂ que se ha dado en las últimas décadas, se presentan resultados desde 1960 hasta 2010, se observa claramente que para el 2010 el CO₂ ha superado las 400 ppm.

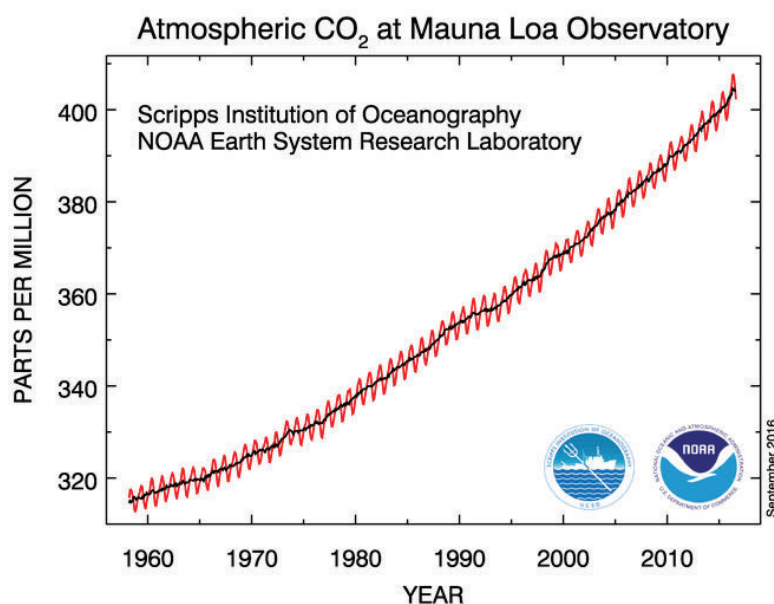


Figura 1.1 Incremento de Dióxido de Carbono en las últimas décadas [14]

En la Figura 1.2 se visualiza a detalle el incremento de dióxido de carbono que se ha producido en los últimos años y sus tendencias en los años posteriores, adicionalmente se observa que el mes de Agosto del 2016 ha superado las 400 ppm

[14]. La línea roja representa los valores promedios mensuales de CO₂ y la línea negra indica los mismos valores pero después de haber realizado una corrección para el ciclo de temporada media.

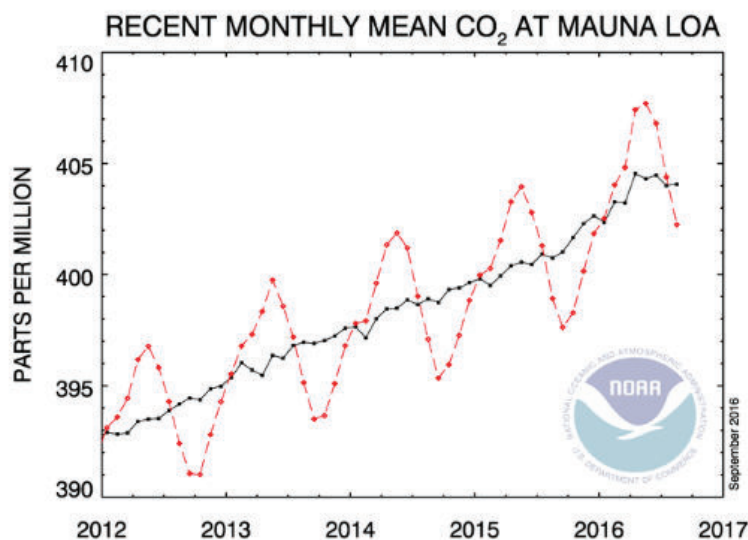


Figura 1.2 Incremento y tendencia del CO₂ en los últimos años [14]

1.2.4.3 Metano (CH₄)

Es un gas inodoro, incoloro e insoluble que está presente en la naturaleza y también puede ser generado por el ser humano, no es tóxico para las personas pero es altamente inflamable. Debido a que se recolectó muestras por primera vez en los pantanos, se lo conoce como gas de los pantanos. Es un gas muy difícil de detectar y se requiere de instrumentos de detección apropiados.

Si bien el metano no es tóxico, en altas concentraciones puede producir asfixia, esto debido a la disminución de la cantidad de oxígeno, entre los síntomas que presenta la persona son [15]:

- Mareos
- Dolor de cabeza
- Náuseas

- Aumento de la frecuencia respiratoria
- Pérdida de la conciencia

1.2.4.3.1 Principales fuentes generadoras

Se presume que el 60 % de todo el metano en la atmósfera es provocado por las actividades humanas. Las principales fuentes generadoras del metano se describen a continuación [16]:

- Combustibles fósiles

El metano es muy probable encontrarlo en lugares donde exista acumulación de combustibles fósiles. Se emite cuando se realiza la extracción del petróleo que se encuentra debajo de la tierra, gas natural y carbono.

- Crianza de animales

Ciertos animales rumiantes (vacas, cabras y ovejas) emiten metano debido a que durante el proceso natural de digestión se generan altas cantidades de metano, esto se conoce como fermentación entérica que es provocada en el estómago de los animales mencionados y produce dichas emisiones.

Otra forma que se produce el CH₄ es mediante la descomposición de grandes cantidades de estiércol que son producidos por las grandes empresas dedicadas a la crianza de animales y no tienen adecuados procedimientos para su tratamiento.

- Vertederos

La acumulación de basura produce metano, esto debido a que la materia orgánica como restos de organismos que tenía vida como las plantas o los animales, restos de comida empiezan en un proceso de descomposición. Los pantanos y los microorganismos en las plantaciones de arroz también generan metano.

El metano es considerado el segundo gas más contribuyente al efecto invernadero. Las concentraciones de metano se han duplicado en las últimas décadas y ha

producido el aumento del 20 % del efecto invernadero, siendo esto más notorio en los países desarrollados [16].

El gas natural está conformado por más del 90% de metano y es utilizado como combustible en los hogares en estufas, hornos, calentadores de agua, lavadoras, calefones entre otros.

La fuga de este gas a ciertos niveles de concentración durante un periodo de tiempo puede generar una explosión y ocasionar muertes.

1.2.5 NIVELES DE CONCENTRACIONES DE CO, CO₂, CH₄ Y SUS CONSECUENCIAS

Las normas internacionales han establecido ciertos límites cuando una persona está expuesta de ciertos gases y estos afectan la salud de las personas, dichos límites se detallan a continuación [17].

1.2.5.1 Rangos permisibles de CO

El monóxido de carbono posee ciertos umbrales para considerarse como perjudicial para la salud humana, esto dependiendo de la concentración que se tenga en el ambiente analizado. Según las normas internacionales se establece un límite de exposición laboral los cuales se detallan a continuación [18].

- La OSHA establece el límite de exposición permisible PEL (*Permissible Exposure Limit*) de 50 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas.
- La NIOSH establece un PEL de 35 ppm como promedio durante un turno laboral de 10 horas y de 200 ppm, que nunca debe excederse durante ningún periodo laboral de 15 minutos.
- La ACGIH establece un valor límite umbral TLV (*Threshold Limit Values*) de 25 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas.

En la Tabla 1.1 se puede observar los niveles de concentraciones de monóxido de carbono y sus consecuencias en la salud de las personas emitidas por los organismos internacionales, para este caso se ha elegido la norma emitida por la OSHA [19].

Tabla 1.1 Efectos de CO en la salud de las personas

Nivel de CO [ppm]	Resultado en humanos
50	Nivel de exposición admisible para 8 horas (OSHA)
200	Posible dolor de cabeza frontal leve en 2 a 3 horas.
400	Dolor de cabeza frontal y náuseas después de 1 a 2 horas. Occipital después de 2-1/2 a 3-1/2 horas.
800	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 45 minutos. Descompensación y posible muerte en 2 horas
1600	Dolor de cabeza, mareos y náuseas en 20 minutos. Descompensación y posible muerte en 1 hora.
3200	Dolor de cabeza y mareos en 5 a 10 minutos. Pérdida de la conciencia y peligro de muerte en 30 minutos.
6400	Dolor de cabeza y mareos en 1 a 2 minutos. Pérdida de la conciencia y peligro de muerte en 10 a 15 minutos
12800	Efectos inmediatos, pérdida de la conciencia. Peligro de muerte en 1 a 3 minutos

1.2.5.2 Rangos permisibles del CO₂

Los rangos permisibles del CO₂ en niveles extremos pueden resultar perjudiciales para todos los seres vivos que habitan en el planeta. En la Tabla 1.2 se detallan los niveles de concentración de CO₂ permisibles para las personas y el rango en el cual puede ser peligrosa su inhalación [20].

Según el estándar ASHRAE 62-1989 que se explicó en la sección 1.2.3.1, se establece un valor de 1000 ppm en el interior un edificio. Esto es una oficina cerrada que fácilmente se puede llegar a este nivel de concentración. Pero también la OSHA emite una norma ponderada en el tiempo de un turno laboral de 5 días y 8 horas y este no debe sobrepasar las 5000 ppm.

Tabla 1.2 Efectos del CO₂ en la salud de las personas

Nivel de CO ₂ [ppm]	Resultado en Humanos
350 - 450	Concentración atmosférica típica
600 - 800	Calidad del aire interno aceptable
1000	Calidad del aire interno tolerable
5000	Límite promedio de exposición en un período de ocho horas
6000 - 30000	Preocupación, solo exposición breve
3 - 8%	Incremento de la frecuencia respiratoria, dolor de cabeza
> 10%	Náuseas, vómitos, pérdida de conocimiento
> 20%	Pérdida de conocimiento repentina, muerte

1.2.5.3 Rangos permisibles del CH₄

Como se mencionó en la sección 1.2.4.3, el metano es altamente inflamable, por lo que a una cierta concentración en el aire provocaría una explosión. La Figura 1.3 muestra la cantidad de metano que debe estar presente en el ambiente para que exista riesgo de una explosión [19], adicionalmente se observa los términos LEL (Lower Explosive Limits) y UEL (Upper Explosive Limits) que indica el límite inferior y límite superior de explosividad respectivamente y se aplica solo a concentraciones bajas o altas de los combustibles.

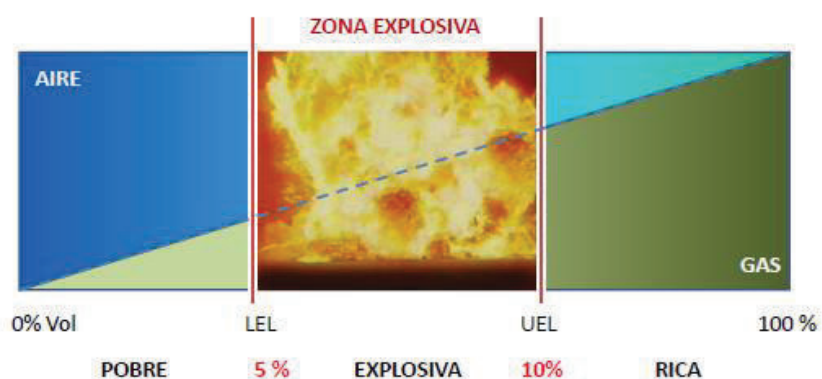


Figura 1.3 Niveles de CH₄ que pueden provocar una explosión

En la Figura 1.3 se indica que existirá riesgo de explosión cuando las concentraciones de CH₄ en el ambiente sobrepasen las 50000 ppm (5% vol)

La OSHA, no presenta los límites de exposición permisibles para el metano, pero el Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo NIOSH realiza una recomendación de la concentración del metano de 1000 ppm para los trabajadores que están expuestos durante ocho horas diarias.

En la Tabla 1.3 se muestran los rangos permisibles emitidos por la NIOSH y los riesgos y consecuencias en la salud de las personas [21].

El metano no es tóxico pero a niveles de concentraciones altas puede provocar asfixia y explosiones, afectando a la salud de las personas.

Tabla 1.3 Niveles de exposición al CH₄ y sus efectos

Nivel de CH ₄ [ppm]	Efectos o resultados
1000	El valor límite umbral (TLV) que una persona puede ser sometida al gas antes de que empiece a sentir síntomas en su salud.
50000 - 150000	Potencialmente explosivo
500000	Asfixia

1.2.6 NIVELES DE EXPOSICIÓN A LOS GASES

Por lo general, los estándares concernientes con la seguridad ocupacional requieren que los gases sean monitoreados en niveles expresados en promedios ponderados en el tiempo TWA (*Time Weighted Averages*), de la exposición larga (8 horas) y corta duración (10 minutos) [22].

Se mencionó anteriormente que la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA) se enfoca en el monitoreo ambiental atmosférico de las ciudades y que la contaminación no exceda con los valores establecidos, con el fin de preservar la salud de las personas. Para el caso del monitoreo de CO, CO₂ y CH₄ en lugares residenciales no

se tiene datos referenciales concretos en otras fuentes bibliográficas, solo se cuenta con las normativas emitidas por los organismo internacionales.

Normalmente cada país establece sus límites de exposición ocupacional tomando como referencia los valores oficiales de otros países. Para establecer los límites de exposición permisibles de los gases mencionados en el presente proyecto y con el objetivo de generar alertas mediante el prototipo con el fin de prevenir afecciones en la salud de las personas, se toma como referencia los valores emitidos por la OSHA, NIOSH y el estándar ASHRAE 62-1989, estos valores se los puede visualizar en la Tabla 1.4, aclarando que estos valores son considerados seguros para las personas que se encuentran expuestas a un agente químico las 8 horas del día, 40 horas a la semana, 50 semanas aproximadamente al año a lo largo de la vida laboral. Estos valores límite normalmente se denominan promedios ponderados en el tiempo TWA.

Tabla 1.4 Límites de exposición permisible de los gases CO, CO₂ y CH₄

Gas	Exposición [ppm]
CO	50
CO ₂	5000
CH ₄	1000

1.3 TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

En un sistema de comunicación inalámbrica, la información se transmite en forma de señales electromagnéticas a través del aire hasta llegar a su destino para ser otra vez transformadas en información tal que sean entendibles.

Las comunicaciones inalámbricas han revolucionado al mundo entero ya que se han abierto nuevos campos en la tecnología que aún no estaban descubiertas y han permitido un gran avance en las comunicaciones a nivel mundial.

La aparición de la tecnología celular ha originado que las personas puedan comunicarse desde cualquier parte del mundo con otra persona, el envío de mensajes de texto ha sido factible, con el transcurso de los años se han

implementado muchas aplicaciones que hoy en día resultan muy útiles para la sociedad.

Otra tecnología inalámbrica que se puede mencionar es Bluetooth, que permite el intercambio de información (ya sean datos, audio y video) a corta distancia, eliminando el uso de cables al momento de la transmisión de los datos. Adicionalmente se tiene tecnologías de corto alcance como son: UWB (*Ultra Wide Band*), ZigBee y conexiones infrarrojo las cuales permiten establecer conexiones de unos pocos metros, un ejemplo es el control remoto usado en los hogares, que al igual que Bluetooth son denominadas redes inalámbricas de área personal (WPAN, *Wireless Personal Area Network*) [23].

Con el uso de estas tecnologías inalámbricas y su interacción con otras áreas del conocimiento, actualmente se puede brindar un sin número de aplicaciones a los usuarios. Así por ejemplo, en el presente proyecto de titulación se construye un prototipo para el monitoreo de los niveles de CO, CO₂ y CH₄ aceptables para la salud humana y a través de las tecnologías inalámbricas como Bluetooth y celulares se da una solución a dicho problema. Por lo que a continuación se revisan dichas tecnologías.

1.3.1 BLUETOOTH

1.3.1.1 Historia

También conocido como estándar IEEE 802.15.1 [23], está basado en un sistema de radio inalámbrico diseñado especialmente para corto alcance cuyo objetivo es eliminar el uso de cualquier infraestructura física existente en los periféricos del computador y facilidad de intercambio de información entre equipos móviles y fijos [24].

En el año 1994 la empresa Ericsson inició sus investigaciones con el fin de crear un interfaz a través de ondas de radio que permita la interconexión de equipos a corto alcance y se elimine el uso de cables en los dispositivos. Los avances que se

realizaron fueron despertando el interés de otras empresas que desarrollaban equipos portátiles, es por esta situación que en el año 1998 se creó el grupo llamado SIG (*Special Interest Group* o Grupo de Interés Especial) conformado por cinco empresas: Ericsson, Nokia, IBM, Toshiba e Intel denominadas como compañías promotoras, cuyo objetivo fue implementar esta tecnología de forma masiva en dispositivos de diferentes fabricantes [24].

En sus inicios la tecnología Bluetooth nació del proyecto denominado MC Link (enlace de radio de corto alcance) y con los avances del proyecto se vio de gran utilidad en muchas aplicaciones.

El nombre Bluetooth significa en español “diente azul” y proviene de un apodo que tenía el Rey Danés Harald Blåtand, el cual ayudó a unir a las tribus noruegas, suecas y danesas durante el siglo 10.

El logo se originó por la unión de las letras iniciales de Harald (H) y Blåtand (B) del alfabeto rúnico. En la Figura 1.4 se puede observar la fusión de las letras H y B, las cuales originan el logo de Bluetooth.

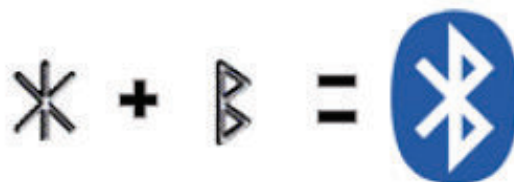


Figura 1.4 Origen del logo Bluetooth.

El objetivo de la creación de la tecnología Bluetooth era realizar una comunicación inalámbrica de corto alcance que esté operativa en todo el planeta, para ello se necesitaba una banda de frecuencia abierta a cualquier sistema de radio. Bluetooth opera en la banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*), la cual se utiliza libremente sin la necesidad de licencia y acatando las regulaciones de los niveles de potencia transmitida establecida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Usa una frecuencia de 2,4 GHz, esta banda de frecuencia es utilizada en teléfonos

inalámbricos de los hogares, mouse inalámbricos, hornos microondas, ZigBee, entre otras y tiene ciertas restricciones en países como España, Francia y Japón [24].

La primera versión del estándar IEEE 802.15.1 fue publicado en el año 1999.

1.3.1.2 Características

Las principales características generales de la tecnología Bluetooth se observan en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Características de la tecnología Bluetooth

Parámetro	Característica
Bluetooth	IEEE 802.15.1
Banda de frecuencia	2,4 GHz
Velocidad de señal máxima	1 Mb/s
Alcance	10 m
Potencia de transmisión nominal	0 - 10 dBm
Ancho de banda del canal	1 MHz
Tipo de modulación	GFSK
Spreading	FHSS
Celda básica	Piconet
Extensión de la celda básica	Scatternet
Número de nodos celulares	8
Protección de datos	CRC de 16 bits

En la Tabla 1.5 se indica un alcance de 10 metros, pero esto dependerá de la potencia de transmisión que se utilice, por lo que se tiene: 1mW para un alcance de 10 metros y 100 mW para un alcance de 100 metros.

Bluetooth utiliza la técnica de espectro expandido por salto de frecuencia FHSS (*Frequency-Hopping Spread Spectrum*) que realiza 1600 saltos por segundo. Con este sistema se divide la banda de frecuencia en varios canales de salto y los transceptores, durante la conexión, van saltando de un canal a otro de manera pseudoaleatoria [24].

1.3.1.3 Topología de red

Las comunicaciones Bluetooth se llevan a cabo mediante el modelo maestro/esclavo, en Bluetooth necesariamente existirá un dispositivo que actúe como maestro y otro como esclavo. Un dispositivo maestro decide el canal a utilizar para transmitir información y puede comunicarse hasta con siete esclavos de forma simultánea. Los esclavos se sincronizan con el reloj del dispositivo maestro a través de una señal de sincronización para posteriormente recibir la información que el maestro está enviando.

En una transmisión Bluetooth se puede formar dos topologías de conectividad entre diferentes dispositivos las cuales son: las Piconets y Scatternet.

1.3.1.3.1 Piconets

Una piconet es una colección de dispositivos Bluetooth que puede comunicarse entre sí y que comparten el mismo canal de conexión. Un dispositivo que se encuentre cerca del radio de cobertura puede establecer una conexión, pero solo los dispositivos que quieran intercambiar algún tipo de información compartirán un mismo canal creándose la piconet.

La piconet está formada por ocho dispositivos, un maestro y los siete restantes como esclavos.

La conexión de los dispositivos que son esclavos únicamente se realiza con un maestro y solo cuando el maestro autoriza de manera punto a punto. La transmisión del maestro puede ser punto a punto o punto multipunto. En la Figura 1.5 se observa la conformación de una piconet [24], en la cual se tiene un maestro y tres esclavos, además de otros dispositivos que se encuentran en el radio de cobertura.

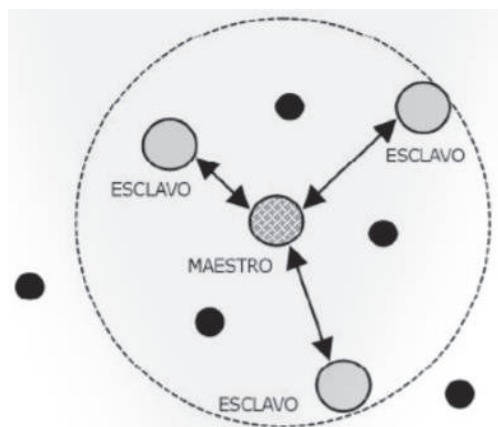


Figura 1.5 Formación de una Piconet [24]

1.3.1.3.2 Scatternet

Un dispositivo que actúa como esclavo de una piconet puede ser esclavo en otras piconets o maestro en otra piconet y un dispositivo que es maestro, únicamente puede ser esclavo en otra piconet lo que provoca que se generen varias piconet en áreas superpuestas, a este grupo de piconets se las denomina scatternet; la ventaja de la formación de varias piconets es la posibilidad que la información pueda fluir más allá de la zona de cobertura de una sola piconet [24].

El incremento del número de piconets afecta al rendimiento del sistema de salto en frecuencia, ya que se disminuye la misma alrededor de un 10 %. En la Figura 1.6 presenta la formación de una scatternet debido a que se tiene dos piconet cercanas, además se puede distinguir la conexión de un esclavo de la piconet A con el maestro de la piconet B.

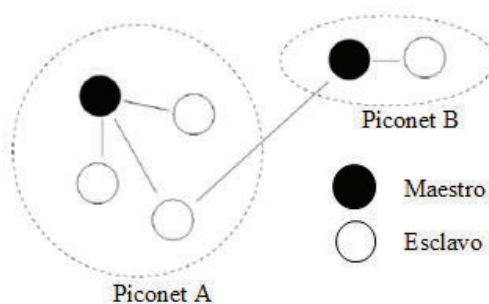


Figura 1.6 Formación de una Scatternet [24]

1.3.1.4 Estados de un dispositivo Bluetooth

Un dispositivo Bluetooth puede estar en diferentes estados con el propósito de reducir el consumo de potencia y mejorar la duración de la batería de los dispositivos [24, 25].

Para iniciar una conexión entre dos dispositivos, primero debe estar en un estado de búsqueda o inspección para descubrir otros dispositivos (INQUIRY), después que se ha creado una piconet, se debe establecer el canal de transmisión con el objetivo de definir el tráfico del canal y que dispositivo será el maestro o esclavo.

Finalmente se establece la conexión con el dispositivo (PAGING) y una vez conectado se inicia la transmisión de información. En la Figura 1.7 se observan estos estados.

- Si se desconoce el dispositivo remoto, se debe realizar el procedimiento de INQUIRY y después el de PAGING.
- Si se conocen los detalles del dispositivo remoto, únicamente se necesita el procedimiento de PAGING.

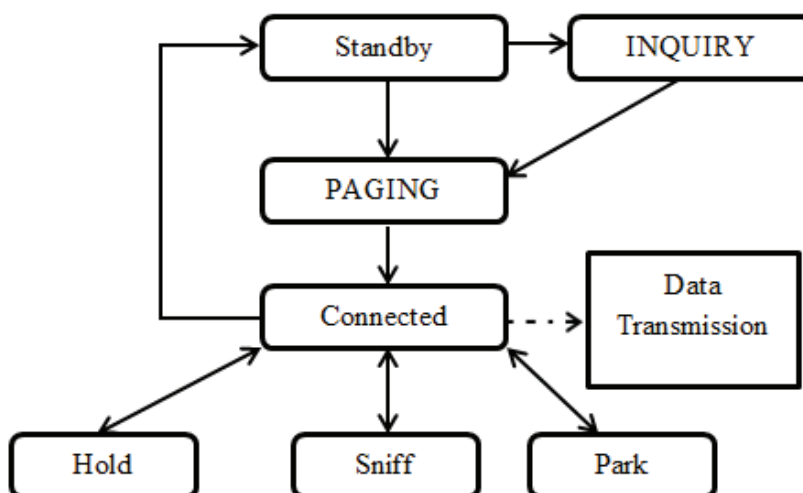


Figura 1.7 Estados de un dispositivo Bluetooth [24]

En el instante en el cual los dos dispositivos están conectados es realmente el momento que se está transfiriendo información, una vez culminado el proceso de intercambio de información, el dispositivo puede quedar en estado de *standby* o espera, o puede adoptar unos de los siguientes estados que se detallan a continuación, con el fin de ahorrar energía.

SNIFF.- El maestro y el esclavo transmiten y reciben información en intervalos de tiempo determinados.

HOLD.- El dispositivo permanece inactivo durante un intervalo de tiempo específico sin importarle que llegue información.

PARK.- El dispositivo ya no actúa en la Piconet y permanece en un estado de actividad mínima, pero no abandona por completo la receptividad de eventos, en este modo una piconet puede tener más de siete esclavos.

1.3.2 EVOLUCIÓN DE BLUETOOTH

En el transcurso de los años la tecnología Bluetooth ha ido evolucionando y se han implementado mejoras en las diferentes versiones que se han publicado. Desde la primera publicación que salió al mercado en 1998, se han realizado varias modificaciones en la velocidad de transmisión, implementación de seguridad y un mejor aprovechamiento de consumo de potencia. Todas las versiones de Bluetooth que se han publicado son compatibles con las versiones anteriores [26-28].

La tecnología Bluetooth generalmente se clasifica en dos tipos, el clásico BR/EDR (*Basic Rate/ Enhanced Data Rate*) y BLE (*Bluetooth Low Energy*). Cada una de estas dos clases se encuentra en diferentes versiones. A continuación se realiza un breve resumen de las versiones publicadas con sus respectivas características.

1.3.2.1 Bluetooth v1.0 (1994) y 1.0B (1995)

En sus inicios, los primeros emisores y receptores Bluetooth fueron las versiones v1.0 y el v1.0B, los cuales actualmente están obsoletos. Tenían muchas fallas en lo

que se refiere a compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes, además en la transmisión se enviaba la dirección privada del dispositivo Bluetooth ocasionando que se pierda el anonimato que en la conexión.

1.3.2.2 Bluetooth v1.1 (2002)

Se solucionan muchos errores (compatibilidad y anonimato entre dispositivos) que se presentaba en las versiones anteriores, entre las características que sobresalen están:

- Usa el estándar IEEE 802.15.1
- Corrige errores de las versiones anteriores.
- Se añade el indicador de fuerza de la señal recibida RSSI (*Received Signal Strength Indicator*), el cual permite medir el nivel de potencia de la señal recibida.

1.3.2.3 Bluetooth v1.2 (2003)

Se implementa las siguientes mejoras:

- Permite una conexión más rápida
- Implementa la característica de Discovery que permite detectar otros dispositivos Bluetooth
- En calidad de audio se tiene notables mejoras
- Velocidad de transmisión de 721kbps.
- Se introdujo control de flujo
- *Host Controller Interface* (HCI) es la forma en que se conecta un computador (o un móvil) con un dispositivo Bluetooth mediante comandos
- Se mejora la resistencia a las interferencias
- Se ratifica como estándar IEEE 802.15.1

1.3.2.4 Bluetooth v2.0 + EDR (2004)

- Se tiene una velocidad de datos mejorada EDR (*Enhanced Data Rate*) para una transferencia de datos más rápida. Esta mejora es opcional y dependerá del fabricante para que sea incorporada en el dispositivo
- Velocidad nominal de EDR es alrededor de 3 Mbps, aunque su tasa real máxima es de 2,1 Mbps
- EDR permite un menor consumo de energía debido a que se reduce un ciclo de trabajo

1.3.2.5 Bluetooth v2.1 + EDR (2007)

Las mejoras fueron sustanciales enfocadas a la seguridad de datos:

- Una seguridad simple para el emparejamiento de dispositivos SSP (*Secure Simple Pairing*), se tiene mejoras en la seguridad y se incrementa el uso de la tecnología Bluetooth
- Se implementa el EIR (*Extended Inquiry Response*), el cual permite un mejor filtrado de los dispositivos antes de una conexión
- Se utiliza el mecanismo *sniff sub rating*, lo cual permite la reducción del consumo de potencia

1.3.2.6 Bluetooth v3.0 (2009)

- El mayor logro fue el incremento de una transferencia de datos teórica de hasta 24 Mbps, aunque no a través del enlace Bluetooth sino a través de la tecnología Wi-Fi. La conexión nativa de Bluetooth se utiliza para definir los parámetros de negociación y establecimiento de la conexión; para el envío y recepción de grandes paquetes de datos se utiliza la versión del enlace adyacente 802.11 (Wi-Fi), esta nueva característica es denominada Alternativa MAC / PHY. Esta especificación no es obligatoria en los dispositivos.

1.3.2.7 Bluetooth v4.0 *Low Energy* (2010)

A esta versión se la conoce normalmente como BLE (*Bluetooth Low Energy*) y usa protocolos Bluetooth de bajo consumo, cuyo objetivo es reducir el consumo de energía del dispositivo. Esta versión está enfocada a aplicaciones que requieren poca energía y una baja velocidad de transmisión de datos. Su utilización principalmente está en el ámbito de la biomedicina, deporte, seguridad y la domótica.

Entre sus características se tiene [28]:

- Compatible con la versión 3
- Velocidad de transmisión de datos de 1 Mbps
- En la arquitectura BLE no se permiten las scatternet, siendo la topología estrella el único modo de creación de redes
- Se implementa mayor seguridad en el cifrado de los datos con respecto a las versiones anteriores
- Utiliza la misma técnica de salto de frecuencia de espectro ensanchado FHSS
- Se mejoran los mecanismos de reducción de consumo de energía y da la impresión que no se requiere energía en absoluto para que funcione, lo que permite mayor duración de sus baterías

1.3.2.8 Bluetooth v5 (2016-2017)

Bluetooth 5 se enfoca en mejorar las características para ser aplicado en el Internet de las cosas. Gracias a esta nueva tecnología se evitará interferencias con otras conexiones inalámbricas y las conexiones serán más confiables y robustas.

Esta versión fue publicada en Diciembre del 2016 y se mejora su funcionalidad para dispositivos *IoT* e incluye las siguientes características.

- La velocidad será el doble que su antecesor, es decir, 2 Mbps
- La cobertura puede llegar a 40 m
- La capacidad se mejora incrementándose en un 800%
- Soporta flujos de datos con varios dispositivos de manera simultánea

Una característica muy importante de Bluetooth es la compatibilidad con dispositivos de diferentes fabricantes, lo cual lo hace una tecnología muy aceptada a nivel mundial. Si bien Bluetooth puede parecer una tecnología antigua, una de las aplicaciones más populares es la de transmitir música o una llamada hacia el automóvil que una persona está conduciendo, además de otras aplicaciones que existen en el mercado como son: mouse, impresoras, computadoras portátiles, entre otros, y han contribuido a la comodidad y confort de las personas.

1.3.3 TECNOLOGÍA CELULAR

La tecnología celular ha permitido la comunicación a larga distancia entre las personas desde cualquier parte del mundo. Desde sus inicios en los años 70, esta tecnología tuvo gran aceptación y su desarrollo en el transcurso de los años ha sido acelerado.

La telefonía móvil ha avanzado constantemente. En las primeras comunicaciones se implementó un sistema de radio-teléfonos en los autos, que estaba conformado solamente por una antena para cada ciudad, la cual necesitaba una potencia muy alta para brindar el servicio y se tenía pocos canales para los usuarios. Adicionalmente se necesitaba de un operador para que direccionara la llamada [29].

En el año 1971 Finlandia lanzó la red pública de telefonía móvil llamada ARP (*Autoradiopuhelin*, o Teléfono de Radio para el Carro) vista en la historia como la generación cero (0G) de la telefonía celular [29].

Martin Cooper desarrolló el primer teléfono portátil y a él se le considera como “El padre de la telefonía celular” [29]. En la Figura 1.8 se observa a Martin Cooper usar un teléfono sin cables para llamar a otra persona por primera vez.

Si bien, el primer teléfono portátil se introdujo en 1973, fue en el año 1979 que aparece el primer sistema comercial ofertado por la compañía Japonesa *Nippon Telegraph & Telephone Corp.* NTT [29].



Figura 1.8 Primer teléfono inalámbrico

En 1983 se lanzó el primer estándar de telefonía celular en el mundo llamada AMPS (*Advanced Mobile Phone System* o Sistema Avanzado de Telefonía Móvil) y desde ese año el número de usuarios se incrementó a pasos enormes, ocasionando que el servicio se sature [30]. Esto obligó a buscar nuevas formas para expandir la capacidad del sistema de telefonía celular e implementar mejoras en el servicio.

La evolución de la telefonía celular fue muy buena para el avance de la tecnología y los gigantes tecnológicos luchaban por tratar de imponer su tecnología y que se adopte a nivel mundial como un único estándar, en esta lucha estuvieron Estados Unidos (AMPS) y Europa (ETACS, *Extended Total Access Communications System*), que trataban de imponer su estándar; hasta que finalmente se logró imponer la tecnología Europea y actualmente LTE (*Long Term Evolution*) es la tecnología más popular en el mercado [30].

En las Figuras 1.9 y 1.10 se puede observar la evolución de la telefonía celular en el transcurso de los años con algunas características principales [30].

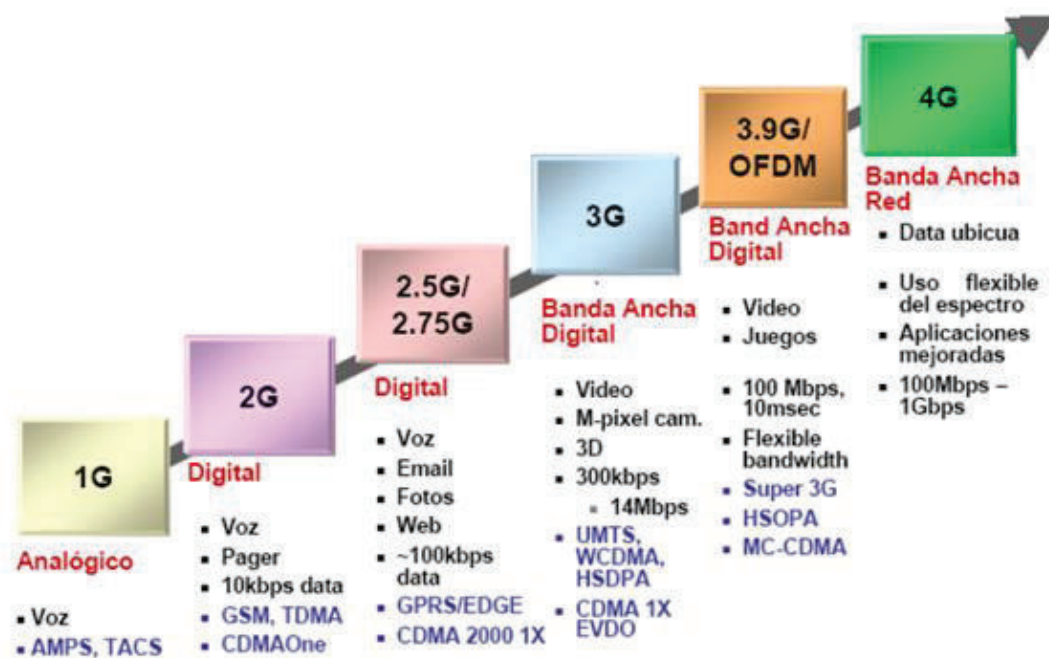


Figura 1.9 Evolución tecnológica de la telefonía celular

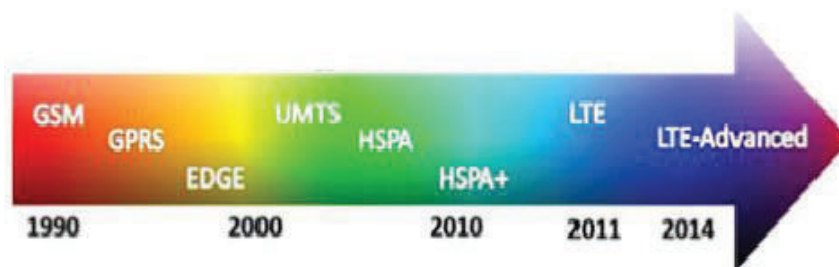


Figura 1.10 Evolución de la telefonía celular en el transcurso de los años [31]

A continuación se procede a describir en forma general cada una de estas tecnologías [29-32].

1.3.3.1 Generación Cero (0G)

Conocida como ARP (*Autoradiopuhelin*), su lanzamiento fue en Finlandia en 1971.

Se considera como la telefonía móvil previa a la era celular. Eran teléfonos portátiles que se ubicaban en carros o camiones, y se necesitaba de una antena ubicada en la

parte trasera del vehículo para poder recibir la llamada, aunque también se realizaron modelos en portafolios tal como se observa en la Figura 1.11. Su principal mercado estaba compuesto por celebridades.

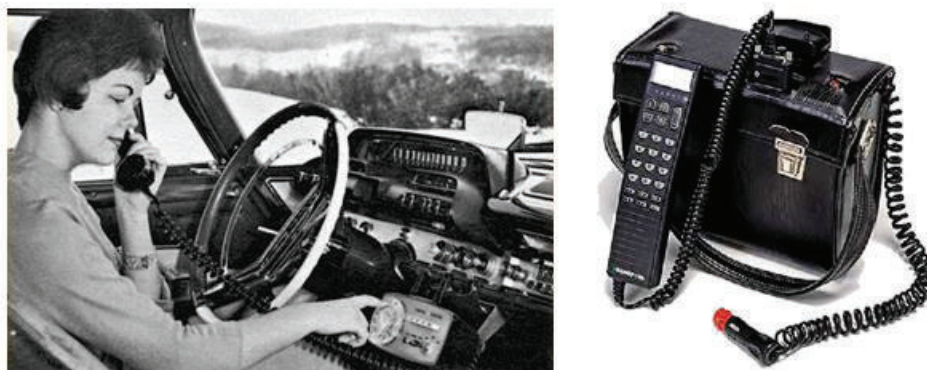


Figura 1.11 Teléfonos portátiles de la Generación Cero

1.3.3.2 Primera generación (1G)

Dentro de la 1G se tiene la tecnología AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), que fue desarrollada por la empresa Bell y es una tecnología analógica exclusiva para voz, con capacidad basada en FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), la calidad de los enlaces muy baja, además de una velocidad de conexión de 2400 baudios.

No se tenía mecanismos de seguridad y el tamaño de los dispositivos era mucho más grande que los actuales y se los conocía con el nombre “ladrillos”. En Ecuador se implementó esta tecnología en el año 1993

1.3.3.3 Segunda generación (2G)

Las tecnologías predominantes en esta generación son: GSM; IS-136 (conocida también como *TIA/EIA-136* o *ANSI-136*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) y PDC (*Personal Digital Communications*) que es utilizado en Japón.

La 2G inicia en 1990 y en 1991 se instala la primera red GSM (*Global System for Mobile communications*) en Europa, entre sus principales características están:

- Tecnología digital
- Se incluye el servicio de envío de SMS (*Short Message Service* o servicio de mensaje cortos) y el identificador de llamadas
- Soporte para roaming internacional, el cual permite que un celular funcione en cualquier otro país
- Calidad de voz mejorada
- En esta generación se empezaron a fabricar dispositivos más cómodos para los usuarios, se redujo significativamente el tamaño, peso y se implementaron mejoras en la duración de la batería y mecanismo para el bajo consumo energético.

La tecnología GSM utiliza la técnica de acceso TDMA (*Time Division Multiple Access*) que consiste en dividir el canal de transmisión en varias ranuras de tiempo (8 en GSM), permitiendo que varios usuarios utilicen el mismo canal en distintos intervalos de tiempo sin interferirse entre sí. TDMA se utiliza con modulaciones digitales.

- Cobertura internacional gracias a la utilización de una banda reservada común.
- Modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) y utiliza la técnica de acceso TDMA que permitía un incremento de los usuarios.
- Trabaja en el bandas de frecuencia de: 850 MHz, 900 MHz, 1800 y 1900 MHz
- Transmisión de voz y datos a diferentes velocidades.
- Velocidad de transmisión por usuario, considerando el overhead es de 22,8 kbps
- Mecanismos de encriptación para brindar confidencialidad en las comunicaciones.

En lo que se refiere a seguridad, GSM utiliza algoritmos de cifrado como:

- A3, permite la autenticación para evitar la clonación del teléfono.
- A5/1 y A5/2, que permiten el cifrado de voz entre el teléfono y la estación base.
- A8, genera claves para el algoritmo A5

CDMA es una tecnología de espectro ensanchado que se desarrolló en los años 40 para aplicaciones militares, como una alternativa a la técnica TDMA para redes celulares de 2G. La señal se emite con un ancho de banda superior al que se ha establecido para transmitir los datos a través de todo el ancho de banda que dispone, las llamadas se superponen en el canal, diferenciándose por códigos que son únicos para cada usuario [33].

1.3.3.4 Generación 2.5G

Es el paso intermedio que dio la telefonía móvil antes de llegar hasta la tercera generación. La evolución a 2.5G se dio debido a las necesidades de transferencia de información y mucho más con el uso de las computadoras y la popularidad que fue obteniendo el Internet.

La generación 2.5G es más rápida que 2G y más económica para migrar hacia 3G, además se tiene una conexión continua permitiendo un acceso más rápido a la información.

Las tecnologías predominantes son: GPRS (*General Packet Radio System*), HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*), EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*), IS-136B, IS-95B, entre otros.

La velocidad máxima transmisión de GPRS es 171,2 kbps, aunque en la práctica no sobrepasa los 40 kbps de bajada y de 9,6 kbps de subida. Sin duda GPRS implementa mejoras significativas en comparación a GSM.

GPRS es una extensión mejorada de GSM y hace uso de mucha de la infraestructura de GSM, introduce servicios sobre conmutación de paquetes y permite un servicio de mensajería multimedia y correo electrónico, adicionalmente permite asignar calidad de servicio (QoS) y hace uso eficiente del espectro radioeléctrico compartiendo las bandas de frecuencia con GSM. Los datos que se transmiten dentro de la red inalámbrica son protegidos utilizando el protocolo GTP (*GPRS Tunneling Protocol*).

Entre las principales características de la tecnología GSM se tiene [34]:

Por otro lado EDGE es una actualización de GPRS que actúa como un puente entre las redes de 2G y 3G, permite tener velocidades de transmisión de datos que alcanza los 384 kbps en condiciones ideales en modo de conmutación de paquetes y recibir alto volumen de datos.

El estándar fue diseñado con la intención que los esquemas de modulación sean cambiables utilizando GSMK y 8PSK (*8 Phase Shift Keying*).

1.3.3.5 Tercera generación (3G)

En el camino hacia la evolución de la tercera generación (3G), el núcleo de la red necesitaba estar basada en IP (*Internet Protocol*) en lo que se refiere a su arquitectura [35]. El significado 3G fue estandarizado por el proceso IMT 2000 (*International Mobile Telecommunication 2000*), el cual no estandarizó la tecnología, sino definió requerimientos para que sea considerado como 3G, se estableció una velocidad de transmisión de máxima de transmisión de 2 Mbps para usuarios estáticos y de 384 kbps para usuarios en movimiento moderado [29].

Hubo mejoras en la seguridad utilizando el cifrado de bloques KASUMI (es un algoritmo de cifrado que permite garantizar la confidencialidad e integridad de los datos en las redes celulares, utiliza claves de 128 bits).

Esta tecnología comenzó a operar en el año 2001 en Japón, en Europa y parte de Asia en 2002 [29].

En la 3G, el núcleo de la red está dividido en dos dominios:

- Dominio de circuitos conmutados basado en la red GSM
- Dominio de paquetes conmutados que permitió la conectividad IP, pero para brindar este servicio el IMS (*IP Multimedia Subsystem*) debía cumplir con ciertos requisitos como son: una o más aplicaciones por sesión, interactuar con otras redes, soportar roaming, entre otras

Las tecnologías predominantes son: UMTS (*Universal Mobile Telephone Service*), CDMA 2000, UWC-136, entre otras.

La tecnología UMTS utiliza WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access* o Acceso múltiple por división de código de banda ancha), es un sistema de comunicaciones móviles que surgió con el objetivo de implementar servicios multimedia, voz de alta calidad y acceso a Internet. UMTS permite el incremento de usuarios y los costos de servicio se reducen con el objetivo de expandirse en el mercado.

Gracias a la implementación de UMTS, las comunicaciones móviles han cambiado bruscamente, pasando de ser un simple dispositivo de comunicación a larga distancia, para convertirse finalmente en un terminal multimedia que permite navegar por Internet, uso de redes sociales, videoconferencias reproducción y transferencia de audio y video, entre otras.

Los inconvenientes iniciales que existieron en la tecnología 3G fue la falta de cobertura por ser un nuevo servicio y los precios elevados para el acceso al Internet y redes móviles [29]. Además, una desventaja de IP en 3G fue la disminución de la cobertura de la celda cuando se incrementa el flujo de tráfico, esto debido a una reducción de la potencia de emisión, ocasionando zonas de sombra (zonas sin cobertura).

WCDMA utiliza varios conceptos y características de CDMA, entre sus principales características se tiene [36]:

- Utiliza técnicas de CDMA con el fin de ubicar varios canales en la misma frecuencia. Está diseñada para la coexistencia con GSM.
- Proporciona una mayor eficiencia espectral, lo que permite brindar servicios de voz y datos a distintas velocidades.
- Soporta las técnicas de duplexación FDD (*Frequency Division Duplexing*) y TDD (*Time-Division Duplexing*).
- Se utilizan antenas adaptivas y detección multi-usuario con el objetivo de incrementar la cobertura y capacidad.

1.3.3.6 Generación (3.5G)

En esta generación se optimiza las tecnologías UMTS y WCDMA.

Las tecnologías son: HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) y HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*), es la evolución a la tecnología UMTS, está enfocado a brindar mayor ancho de banda para las comunicaciones de redes móviles o celulares y tener altas velocidades de transmisión. Está definido en el Release 5/6.

La velocidad de transmisión de HSDPA inicialmente fue en el rango de 1,8 a 3,6 Mbps, teóricamente hasta 14,4 Mbps y para HSUPA una velocidad de 1,46 Mbps, teóricamente hasta 5,76 Mbps.

1.3.3.7 Cuarta generación (4G)

La creciente demanda de mayores velocidades de transmisión, menores retardos y redes móviles basadas en IP motivó a la creación de un nuevo estándar denominado LTE (*Long Term evolution* o evolución a largo plazo). LTE es un estándar aprobado en el año 2007 y sus características se encuentran especificadas en el Release 8 [37].

LTE se desarrolla para la banda 2600 MHz, pero también puede trabajar en las bandas de 700 MHz y 1700/2100 MHz.

Esta generación está basada totalmente en IP, brinda mayor cobertura y retardos más bajos comparados con las anteriores generaciones.

Los servicios adicionales y mejorados que soporta son: MMS (servicio de mensajería multimedia), Video Chat, Mobile TV, HDTV content, entre otros.

Es importante aclarar que la tecnología LTE no es la tecnología 4G debido a que no cumple con las características técnicas definidas por la ITU, no solo por los requisitos iniciales que se establecieron en el IMT Advanced (*International Mobile Telecommunications-Advanced*), sino también por las características de eficiencias espectrales.

La ITU define para las tecnologías 4G los valores máximos de transmisión de datos los cuales deben ser de 100 Mbps para usuarios móviles y de 1Gbps para usuarios fijos.

La evolución de UMTS a LTE es espectacular y muchas veces los usuarios confunden la tecnología LTE como 4G, esto debido a que las operadoras celulares la promocionan por motivos de marketing, adicionalmente la IMT-Advanced permitió que los candidatos a ser evolucionados a 4G, como LTE, pueden publicitarse como 4G. LTE aún no es una tecnología muy conocida por los usuarios, pero a pesar de eso ya se viene una nueva actualización conocida como LTE Advanced. Sus especificaciones se encuentran en el Release 10 y se tiene mejoras significativas frente a LTE como son: mayor cobertura, retardos más bajos, soporta una velocidad de transmisión más alta, entre otros.

En la Tabla 1.6 se observan las principales características de LTE y LTE Advanced [37].

Tabla 1.6 Características de la tecnología LTE y LTE Advanced

Tecnología	LTE	LTE-A
Velocidad de datos pico de bajada	300 Mbps	1 Gbps
Velocidad de datos pico de subida	75 Mbps	500 Mbps
Ancho de Banda de Transmisión de bajada	20 MHz	100 MHz
Ancho de Banda de Transmisión de subida	20 MHz	40 MHz (Requerimientos definidos por la ITU)
Mobilidad	Óptimo para velocidad menores a 15 km/h Alto rendimiento a velocidades superiores a 120 km/h El enlace se mantiene a velocidades superiores a 350 km/h	
Cobertura	Rendimiento completo hasta 5Km	Rendimiento completo hasta 5 km, Debe ser optimizado y desplegado en áreas o ambientes locales con micro celdas
Ancho de banda escalable	1,3; 3; 5; 10 y 20 MHz	entre 20 a 100 MHz
Capacidad	200 usuarios activos por celda en 5MHz	Tres veces mayor que LTE

1.3.3.8 Quinta generación (5G)

En la actualidad aún se está desarrollando esta nueva generación celular y aún no es una tecnología estandarizada, su estandarización iniciará en el 2017. La 5G está desarrollada sobre la base de 4G LTE. Se espera que la implementación de esta tecnología llegue en el año 2020 y revolucione al mundo entero automatizando e interconectando todos los dispositivos de uso diario y de paso se incluya al *IoT*.

Según los desarrolladores, la conexión 5G no tendrá problemas de falta de señal debido a interferencias de microondas, señal Wi-Fi, edificios, entre otros y emitirá una señal más nítida que permitirá una conexión estable [38].

Cada generación celular descrita anteriormente tiene sus características o mejoras que se han ido implementando.

Adicionalmente, la Figura 1.12 indica las velocidades de operación de cada tecnología celular mencionadas anteriormente [37].

	Downlink		Uplink	
	Peak Network Speed	Peak and/or Typical User Rate	Peak Network Speed	Peak and/or Typical User Rate
EDGE (type 2 MS)	473.6 Kbps	Not Applicable (N/A)	473.6 Kbps	N/A
EDGE (type 1 MS) (Practical Terminal)	236.8 Kbps	200 Kbps peak 160 to 200 Kbps typical ¹	236.8 Kbps	200 Kbps peak 80 to 160 Kbps typical ²
HSDPA Initial Devices (2006)	1.8 Mbps	> 1 Mbps peak	384 Kbps	350 Kbps peak
HSDPA	14.4 Mbps	N/A	384 Kbps	N/A
HSPA ³ Initial Implementation	7.2 Mbps	> 5 Mbps peak 700 Kbps to 1.7 Mbps typical ⁴	2 Mbps	> 1.5 Mbps peak 500 Kbps to 1.2 Mbps typical
HSPA	14.4 Mbps	N/A	5.76 Mbps	N/A
HSPA+ (DL 64 QAM, UL 16 QAM, 5+5 MHz)	21.6 Mbps	1.9 Mbps to 8.8 Mbps typical ⁵	11.5 Mbps	1 Mbps to 4 Mbps typical
HSPA+ (2X2 MIMO, DL 16 QAM, UL 16 QAM, 5+5 MHz)	28 Mbps	N/A	11.5 Mbps	N/A
HSPA+ (2X2 MIMO, DL 64 QAM, UL 16 QAM, 5+5 MHz)	42 Mbps	N/A	11.5 Mbps	N/A
HSPA+ (DL 64 QAM, UL 16 QAM, Dual Carrier, 10+5 MHz)	42 Mbps	Approximate doubling of 5+5 MHz rates - 3.8 to 17.6 Mbps.	11.5 Mbps	1 Mbps to 4 Mbps typical
HSPA+ (2X2 MIMO DL, DL 64 QAM, UL 16 QAM, Dual Carrier, 10+10 MHz)	84 Mbps	N/A	23 Mbps	N/A
HSPA+ (2X2 MIMO DL, DL 64 QAM, UL 16 QAM, Quad Carrier ⁶ , 20+10 MHz)	168 Mbps	N/A	23 Mbps	N/A
HSPA+ (2X2 MIMO DL and UL, DL 64 QAM, UL 16 QAM, Eight Carrier, 40+10 MHz)	336 Mbps	N/A	69 Mbps	N/A
HSPA+ (4X2 MIMO DL, 2X2 MIMO UL, DL 64 QAM, UL 16 QAM, 8 carrier, 40+10 MHz)	672 Mbps	N/A	69 Mbps	N/A
LTE (2X2 MIMO, 10+10 MHz)	70 Mbps	6.5 to 26.3 Mbps ⁷	35 Mbps ⁸	6.0 to 13.0 Mbps
LTE (4X4 MIMO, 20+20 MHz)	300 Mbps	N/A	71 Mbps ⁹	N/A
LTE Advanced (8X8 MIMO, 20+20 MHz, DL 64 QAM, UL 64 QAM)	1.2 Gbps	N/A	568 Mbps	N/A
CDMA2000 EV-DO Rel. 0	2.4 Mbps	> 1 Mbps peak	153 Kbps	150 Kbps peak
CDMA2000 EV-DO Rev. A	3.1 Mbps	> 1.5 Mbps peak 600 Kbps to 1.4 Mbps typical ¹⁰	1.8 Mbps	> 1 Mbps peak 300 to 500 Kbps typical
CDMA2000 EV-DO Rev. B (3 radio channels 5+5 MHz)	14.7 ¹¹ Mbps	Proportional increase of Rev A typical rates based on number of carriers.	5.4 Mbps	N/A
CDMA2000 EV-DO Rev B Theoretical (15 radio channels 20+20 MHz)	73.5 Mbps	N/A	27 Mbps	N/A

Figura 1.12 Velocidades de operación la cada tecnología celular [37]

CAPÍTULO 2: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

El prototipo presentado en este proyecto de titulación mide la cantidad de CO, CO₂ y CH₄ en el ambiente y muestra los datos obtenidos en una aplicación asociada a los sensores de medición; además, el prototipo es capaz de enviar mensajes de texto o hacer llamadas telefónicas a fin de alertar niveles altos de estos gases en el ambiente; adicionalmente dicho prototipo abre una ventana a fin de permitir la ventilación del sitio donde se ha detectado niveles altos.

En el presente capítulo se describen las herramientas de programación utilizadas, el hardware necesario para el diseño del prototipo de monitoreo con sus características y los subsistemas que actúan como transmisor y receptor. Adicionalmente se describirá la implementación del prototipo.

2.1 GENERALIDADES DEL PROTOTIPO A IMPLEMENTAR

El siguiente diagrama de bloques que se visualiza en la Figura 2.1 indica el proceso que se debe seguir para cumplir con la implementación del prototipo.

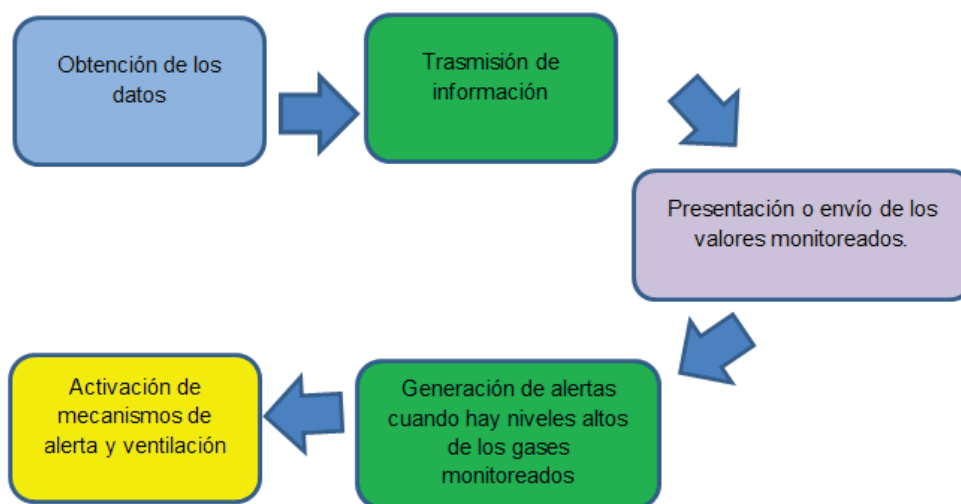


Figura 2.1 Diagrama de bloques del prototipo

Los requerimientos que debe cumplir el prototipo son los siguientes:

- a) Obtención de las concentraciones de los gases CO, CO₂ y CH₄ en el ambiente.
- b) Interpretar los datos adquiridos por los sensores y adaptarlos para una fácil comprensión.
- c) Transmitir los datos obtenidos hacia el receptor (teléfono celular).
- d) Presentar los datos en la aplicación instalada en el celular, desarrollada en App Inventor.
- e) Envío de mensajes de texto o realización de llamada perdida hacia un celular que se encuentra en un lugar remoto cuando existen niveles elevados de concentraciones de los gases.
- f) Implementar mecanismo de ventilación mediante la apertura de una ventana.

Adicionalmente, en la Figura 2.2 se puede observar los elementos que forman parte del prototipo de monitoreo tal que cumplan con las especificaciones mencionadas anteriormente. Adicionalmente resaltar que la comunicación entre el hardware y el teléfono celular se realiza por medio de la tecnología Bluetooth y para el envío de alertas (mensajes SMS y llamadas perdidas) se utiliza una comunicación celular por medio de GSM /GPRS.



Figura 2.2 Elementos del prototipo de monitoreo

2.2 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN

Permiten crear programas y rutinas específicas, para que se ejecuten de acuerdo a los requerimientos deseados por el programador. En la actualidad existen múltiples herramientas de programación ya sean para personas que están iniciando en el mundo de la programación o para personas expertas. En el presente proyecto se utilizará las herramientas de programación App Inventor para desarrollar la aplicación del teléfono móvil y la plataforma Arduino.

2.2.1 APP INVENTOR

Es una herramienta de programación que permite desarrollar aplicaciones para teléfonos con el sistema operativo Android. App Inventor es de uso gratuito y ha sido una de las grandes innovaciones realizadas por Google con el fin de ser un lenguaje de programación educativo para las personas; su programación se basa en un lenguaje visual a partir de bloques.

App Inventor es muy usado en la realización de prototipos para el control domótico a través de un teléfono celular y se han creado muchas aplicaciones para la realización de casas inteligentes. En [39] se menciona que App Inventor fue *“desarrollado por Google a través de su desaparecido Google Labs, pero dejó de soportarlo en diciembre de 2011. El Massachusetts Institute of Technology (MIT) decidió proseguir con su desarrollo y mantenimiento, a través de su Center for mobile learning, motivo por el cual sigue disponible para quien desee utilizarlo”*.

Actualmente se tiene App Inventor 2 que aún está en fase de pruebas e incorpora mejoras a la versión anterior del App Inventor. Entre las novedades que se tiene en App Inventor 2 están:

- La programación se realiza en el navegador de Internet.
- Se puede implementar múltiples pantallas al editor de bloques.

- Al momento de realizar la programación en el editor de bloques, los bloques tienen múltiples opciones que se pueden seleccionar, esto facilitará en la programación que el programador está realizando.

En el presente proyecto se utilizará App Inventor para el desarrollo de una aplicación que permita visualizar los datos obtenidos por los sensores a través de un teléfono inteligente. A continuación se detallan los pasos a seguir para la creación de la aplicación.

Primero, para desarrollar cualquier aplicación en App Inventor se debe tener una cuenta de correo electrónico en *Gmail*, caso contrario se debe crear una y posteriormente se debe ingresar al siguiente enlace:

<http://appinventor.mit.edu/explore/> y se desplegará la pantalla, tal como se muestra en la Figura 2.3.

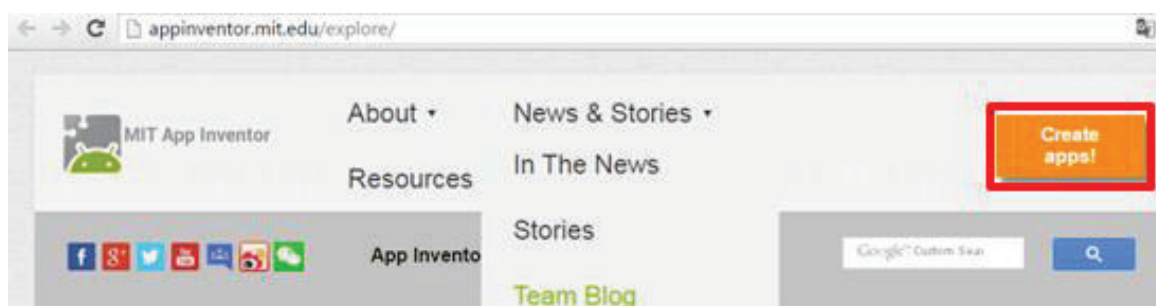


Figura 2.3 Sitio web de inicio de App Inventor

Segundo, se debe dar un clic en *Create apps*, si es la primera vez que se ingresa, la parte donde se observa la opción *My Projects* estará vacío. En el caso que ya se haya realizado aplicaciones (Figura 2.4) se observarán los nombres de las aplicaciones que ya se han desarrollado.

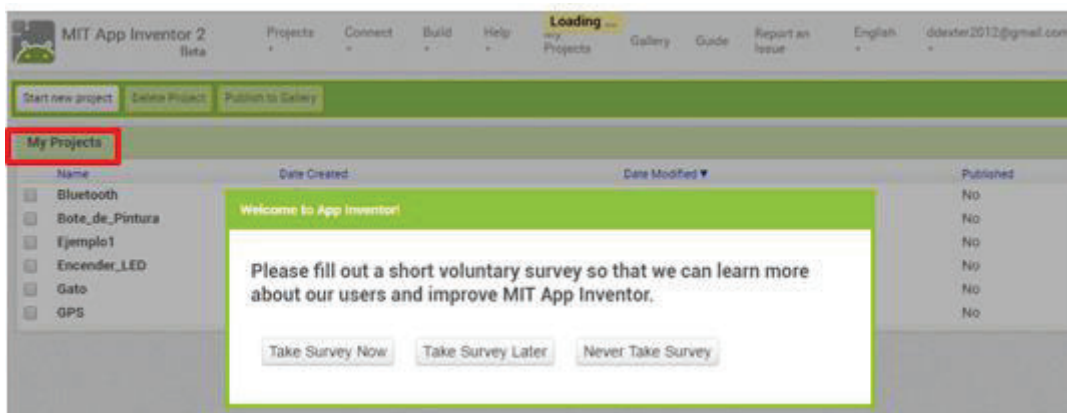


Figura 2.4 Sitio web para creación de aplicaciones móviles

Tercero, dar clic en *Take Survey later* (tomar la encuesta más tarde o sino llenarla en ese momento). Se visualizará la ventana de trabajo con muchas opciones. Para iniciar con la creación de una aplicación se debe dar clic en *Projects* → *Start new projects*, tal como se muestra en la Figura 2.5.

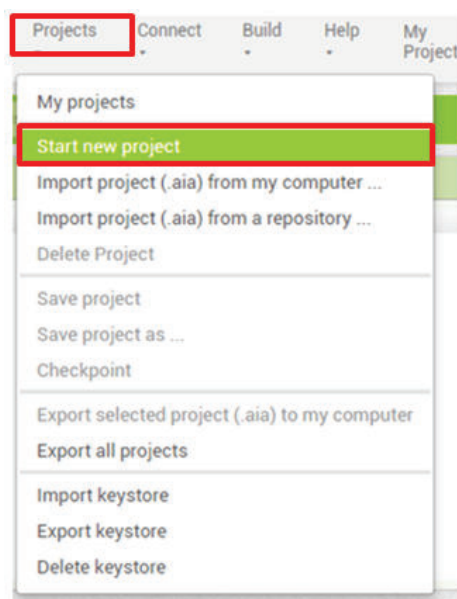


Figura 2.5 Creación de un nuevo proyecto

Se debe asignar un nombre (se asigna el nombre: *Home_Monitoring*) y automáticamente se visualizará la nueva aplicación a ser desarrollada y programada.

En la Figura 2.6 se observa la aplicación que se desarrollará para el presente proyecto.

My Projects		
Name	Date Created	Date Modified ▼
<input type="checkbox"/> Home_Monitoring	Apr 13, 2017, 10:15:06 AM	Apr 13, 2017, 10:16:24 AM

Figura 2.6 Nueva aplicación en App Inventor a ser programada

Al hacer clic en el nombre de la aplicación creada (*Home_Monitoring*) se desplegará la pantalla de trabajo para iniciar con el diseño de la aplicación, tal como se observa en la Figura 2.7, en la pantalla de trabajo se observan las opciones: *designer* (diseñador) y el *blocks editor* (editor de bloques), cuyas funciones se describen a continuación.

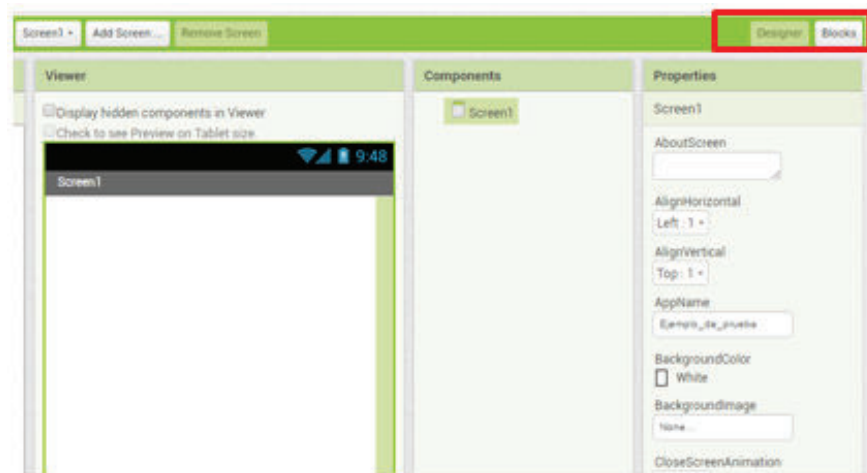


Figura 2.7 Área de trabajo para desarrollar la aplicación

El *designer*, es el lugar donde se diseña la aplicación y se agregarán todos los componentes necesarios para su desarrollo.

El *blocks editor*, es una aplicación Java donde se configura la programación por bloques para indicar que actividades debe realizar la aplicación.

Los detalles de cómo se ha programado la aplicación de visualización de los datos medidos por el hardware se presentan en las siguientes secciones.

2.2.2 PLATAFORMA ARDUINO

Arduino [40] es un lenguaje de programación para la plataforma hardware de Arduino, el lenguaje que opera dentro de Arduino se llama *Wiring* basado en la plataforma *Processing* y primordialmente en el lenguaje de programación C/C++ que es un lenguaje de alto nivel. Es de código abierto y está conformada por una placa con entradas y salidas ya sean analógicas o digitales. La programación en Arduino está enfocada para un aprendizaje fácil de cualquier persona.

Se escogió la plataforma Arduino por los siguientes motivos:

- Bajo costo de las placas
- Plataforma fácil de usar
- Permite realizar proyectos electrónicos interactivos
- Se ejecutan en varias plataformas como son: Windows, Macintosh OSX y Linux
- Fácil uso para programadores principiantes, pero también lo pueden usar programadores avanzados.
- Es un código abierto.

2.3 HARDWARE UTILIZADO

Para elaborar el prototipo de monitoreo es necesario el uso de la placa Arduino UNO, otros elementos electrónicos que sean compatibles con Arduino y un teléfono inteligente para la visualización de los datos monitoreados. A continuación más detalles.

2.3.1 PLACA ARDUINO

Arduino permite realizar prototipos interactivos desde los más simples como son encender un led, activar alarmas, control de luminosidad de una habitación, entre otras; hasta las más complejas como el desarrollo de brazos robóticos, realización de figuras solo con el movimiento de los ojos de una persona y complejos instrumentos

científicos. El único límite que tiene Arduino es la imaginación que tengan las personas y las ganas de quienes quieran adentrarse en el mundo de Arduino.

Todas las placas de la familia Arduino son de código abierto y esto ha permitido que se expanda rápidamente y gane popularidad en muchos países, adicionalmente su precio es relativamente barato si se compara con otros microcontroladores.

En el mercado existen una variedad de placas Arduino y dependiendo de las actividad que se va a realizar se debe seleccionar el tipo de placa. Para elegir una placa adecuada para la implementación de cualquier prototipo debe considerar lo siguiente:

- Que es lo que se va a implementar
- Número aproximado de dispositivos electrónicos que va a ir conectado a la placa Arduino, por lo que se necesitará cierta cantidad de pines analógicos y digitales.
- Tamaño del código que se va a implementar y dependiendo la extensión se necesitará una cantidad mayor de memoria flash para su almacenamiento.
- Velocidad de procesamiento de Arduino
- La placa debe ser de fácil conexión con los shields (dispositivos que incrementan las funcionalidades de la placa Arduino).

En [41] se menciona que la placa más vendida es Arduino UNO, sobre todo si se está iniciando en el mundo de Arduino, aunque dependiendo de lo que se va a implementar se debe escoger la placa más adecuada.

Arduino UNO es una placa estándar y ampliamente conocida en muchos países, es la primera versión que salió al mercado con varias mejoras en hardware con respecto a su predecesor Duemilanove. Todas las características que presenta Arduino UNO se han implementada en casi todas las placa que han salido al mercado, a excepción de unas pocas. En [41,42] se observan una mayor cantidad de placas arduino oficiales y no oficiales que existen el mercado y se explican a continuación. En la

Figura 2.8 y 2.9 se observan varias placas que tienen similares características a las de Arduino UNO, en lo que difieren son: mayor o menor cantidad de memoria flash, SRAM (*Static Random Access Memory*) y EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*), número de pines entrada/salida y tamaño de la placa.

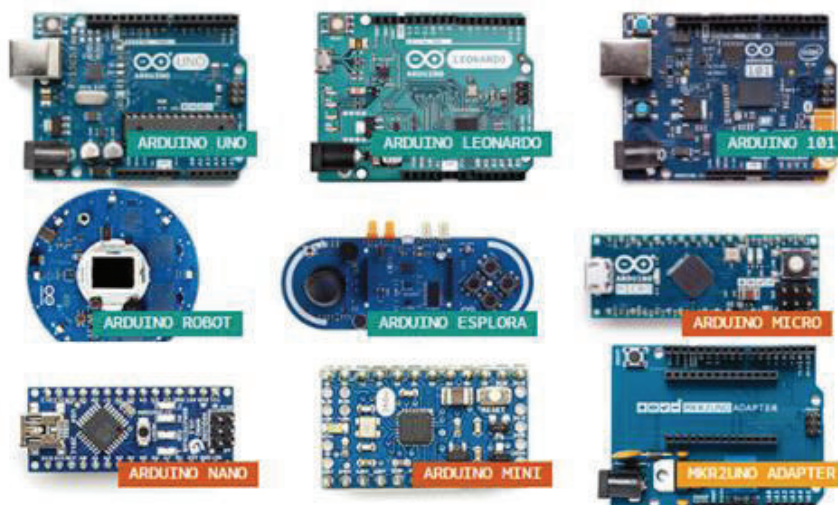


Figura 2.8 Placas de la familia Arduino [42]



Figura 2.9 Placas Arduino con mayor memoria y número de pines [42]

En la Figura 2.10 se observan las placas de Arduino que son adecuadas para realizar proyectos interactivos y pueden conectar con la World Wide Web (Red Informática Mundial), debido a que ya tienen incluido módulos Ethernet, Wi-Fi, GPRS, Bluetooth, entre otros, los mismos que facilitan la conexión inalámbrica, aunque en otros modelos de arduino se pueden adaptar shields para realizar este tipo de conexiones.

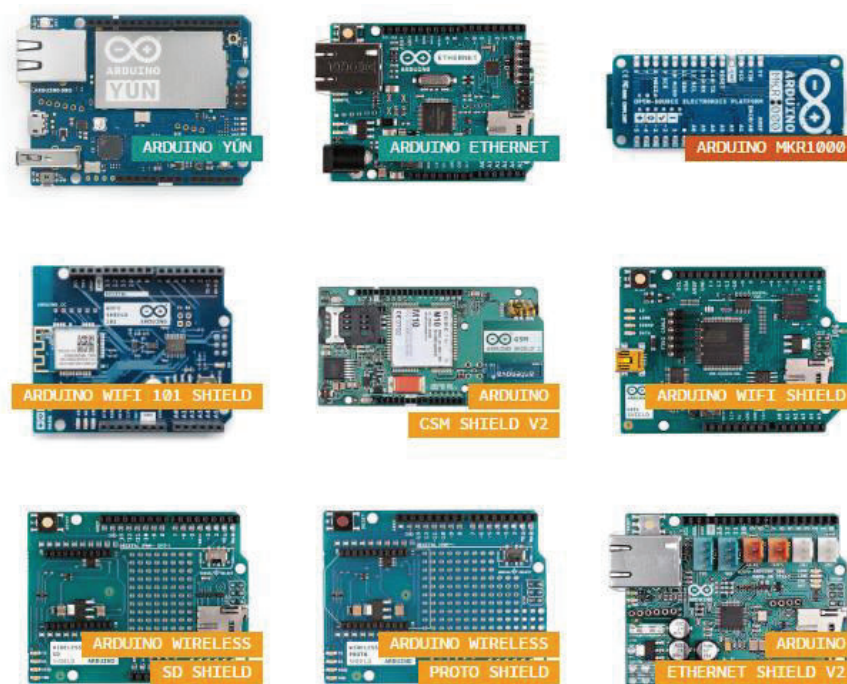


Figura 2.10 Placas Arduino para proyectos interactivos [42]

Para el presente proyecto de titulación se eligió la placa Arduino UNO debido a que se utilizará pocos pines para conectar los sensores de medición de gases, además de su bajo costo y fácil obtención de los resultados. Las principales características que tiene la placa Arduino UNO se muestra en la Tabla 2.1, mientras que la descripción y distribución de pines se presenta en la Figura 2.11.

Tabla 2.1 Características de la plataforma Arduino

Parámetro	Valor
Microcontrolador	ATmega328p
Voltaje de Operación	5 V
Voltaje de entrada recomendado	7-12 V
Pines de Entrada/Salida digital	14 (6 de los cuales proporcionan salida PWM)
Pines digitales PWM Entrada/Salida	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por pin Entrada /Salida	20 mA
Corriente DC para el 3,3 V	50 mA
Memoria Flash	32KB, de los cuales 0,5 KB es usada por el gestor de arranque
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
Largo	68,6 mm
Ancho	53,4 mm
Peso	25 gramos

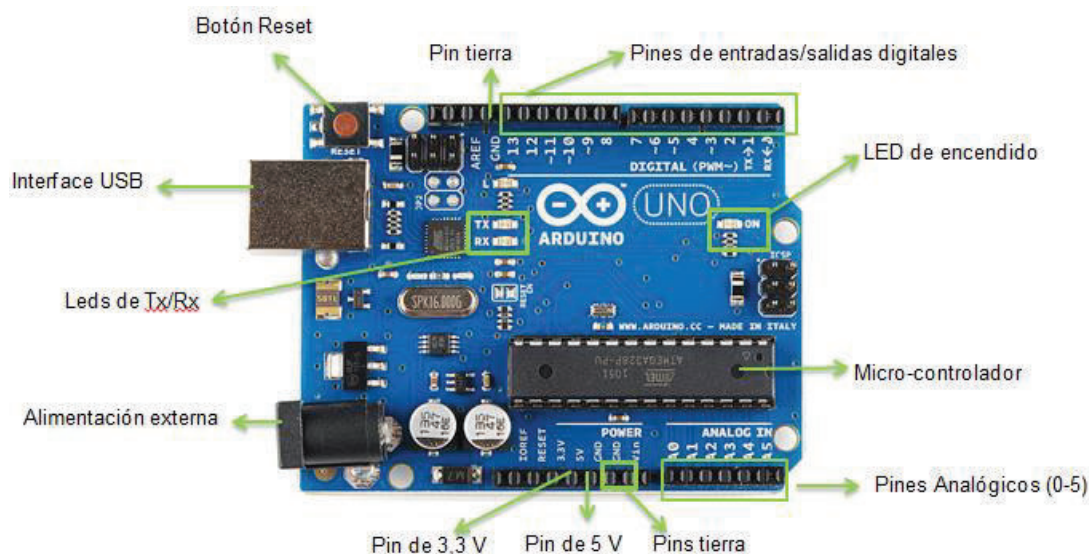


Figura 2.11 Descripción de los pines de la placa Arduino UNO [41]

Una de las consideraciones importantes que se debe tener de la placa Arduino UNO es el valor máximo de corriente que soporta, en su página oficial menciona que tiene un valor aproximado de 500 mA.

Para realizar la alimentación del sistema prototipo se debe utilizar una fuente de alimentación externa para satisfacer las demandas del consumo corriente de todo el sistema del sistema prototipo.

2.3.2 MÓDULO BLUETOOTH HC-05

Los módulos Bluetooth para Arduino son dispositivos de fácil manipulación, tamaño pequeño y su precio es relativamente económico, son muy conocidos en el mundo de la electrónica cuando se trabaja con microcontroladores PIC (Programable Integrated Circuit) y Arduino. Este dispositivo permitirá realizar una comunicación inalámbrica hasta una distancia de 10 m, por lo que se podría utilizar en el prototipo de monitoreo para visualizar si existe o no la presencia de gases contaminantes en el sitio monitoreado.

Se tiene dos tipos de módulos Bluetooth para la familia Arduino, los cuales son: módulo HC-05 y HC-06. Las principales diferencias entre ellos están:

- El modo de operación ya que el módulo HC-05 trabaja como maestro-esclavo y el HC-06 solo como esclavo, es decir, con el módulo HC-06 se recibe conexiones únicamente desde una computadora o un celular/tablet, mientras que en el módulo HC-06 se agrega la característica de realizar conexiones hacia otros dispositivos Bluetooth.
- Distribución y número de pines, el módulo HC-05 tiene 6 pines y el HC-06 tiene 4 pines. En la Figura 2.12 se puede apreciar la estructura y distribución de pines de los módulos.

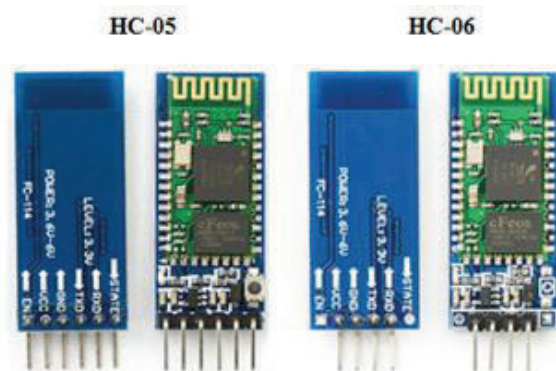


Figura 2.12 Módulos Bluetooth HC-05 y HC-06 y su distribución de pines

Para obtener información más detallada sobre este módulo se puede referir a [43].

El módulo Bluetooth HC-05 viene configurado de fábrica con las siguientes características mostradas en la Tabla 2.2, pero puede ser modificada mediante comandos AT (*Attention*) que son un conjunto de instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre una persona y un terminal módem.

Tabla 2.2 Configuración de fábrica del módulo HC-05

Modo o role	Esclavo
Nombre	HC-05
Código de emparejamiento	1234
Velocidad (baud rate)	9600

Se procedió a cambiar la configuración de fábrica del módulo HC-05 mediante comandos AT, con lo cual la nueva configuración del HC-05 se observa en la Tabla 2.3:

Tabla 2.3 Nueva configuración del módulo HC-05

Modo o role	Esclavo
Nombre	Monitoreo
Código de emparejamiento	EPN2017
Velocidad(Baud rate)	9600

2.3.3 SENSORES DE GASES

Los sensores son dispositivos que están diseñados para captar valores de magnitudes físicas o químicas presentes en el ambiente tales como humedad, temperatura, control de luminosidad, velocidad, contaminación de cierto gas, entre otras y se transforman estos valores normalmente en magnitudes eléctricas con el objetivo de interpretarlas y manipularlas para que se generen alarmas.

En el mercado hay sensores de gas de la serie MQ que usan un pequeño calentador dentro del sensor electroquímico y son usados dentro de los hogares a temperatura ambiente.

En el presente proyecto se eligieron los sensores de la serie MQ para el CO y CH₄ ya que son compatibles con la plataforma Arduino, facilidad en la obtención de los datos monitoreados y su costo relativamente económico.

Para la medición de CO₂ no se encontró sensores de la serie MQ, por lo que se utilizó un sensor de infrarrojo elaborado por DFRobot compatible con Arduino. Este sensor utiliza una tecnología que posee una alta precisión en la obtención de los datos, pero su costo es elevado.

2.3.3.1 Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7

Se utiliza el sensor de gas de Monóxido de Carbono de la serie MQ que se visualiza en la Figura 2.13 con su respectiva distribución de pines.

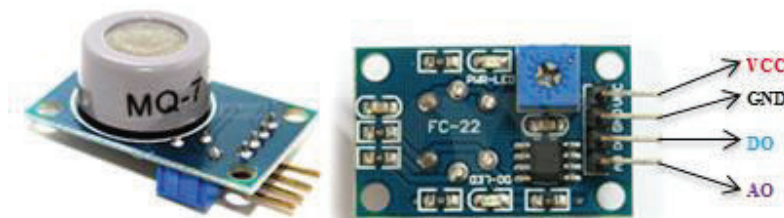


Figura 2.13 Sensor MQ-7 y su distribución de pines.

2.3.3.1.1 Descripción

Es un sensor que utiliza tecnología electroquímica, tiene alta sensibilidad al monóxido de carbono, largo tiempo de vida útil y es estable.

2.3.3.1.2 Especificaciones técnicas

Sus principales características se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Características principales del sensor MQ-7

Alimentación	5 V
Rango de detección	20ppm-2000ppm
Tiempo de precalentado	48 horas
Concentración de oxígeno	21%

Para obtener información más detallada sobre este sensor se puede referir a [44].

2.3.3.1.3 Conexión con la placa Arduino

El esquema de conexión del sensor con la placa Arduino se visualiza en la Figura 2.14.

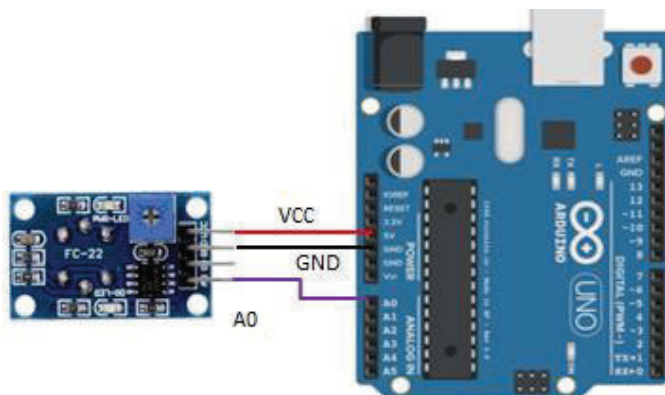


Figura 2.14 Esquema de conexión del sensor de CO con Arduino

2.3.3.2 Sensor de Dióxido de Carbono SEN0219

Se utiliza el sensor de gas de Dióxido de Carbono Analog Infrared CO₂ (SEN0219) fabricado DFRobot y se visualiza en la Figura 2.15 con su respectiva distribución de pines. Es compatible con arduino y otros microcontroladores.

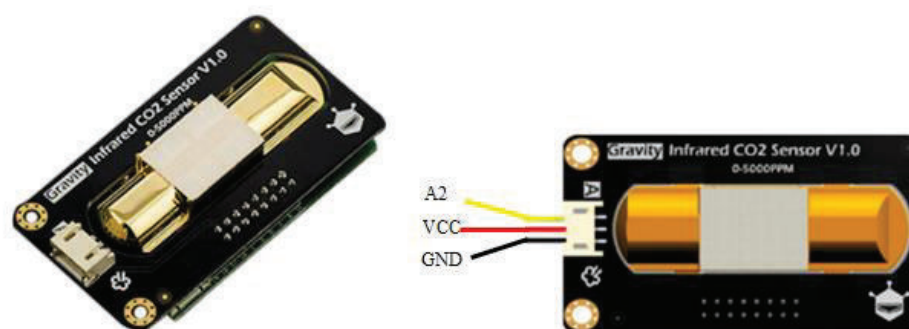


Figura 2.15 Sensor SEN0219 y su distribución de pines

2.3.3.2.1 Descripción

El sensor SEN0219 es un dispositivo de fácil uso, de alta precisión y su rango de detección está entre 0 ppm y 5000 ppm. Este sensor está basado en la tecnología Non-Dispersive Infrared (tecnología infrarroja no dispersiva, NDIR), tiene una buena selectividad al CO₂ y tiene mecanismos de compensación de temperatura que permite obtener valores confiables al momento de realizar alguna medición.

El sensor ya está calibrado por el fabricante, adicionalmente es un producto de alto rendimiento y combina la tecnología de detección de gas de absorción infrarrojo con un diseño de circuito óptico de precisión.

Este sensor se lo puede utilizar para el control de calidad del aire en interiores, control de procesos de fermentación y monitoreo de procesos en la agricultura y ganadería.

2.3.3.2.2 Especificaciones técnicas

Sus principales características se muestran en la Tabla 2.5.

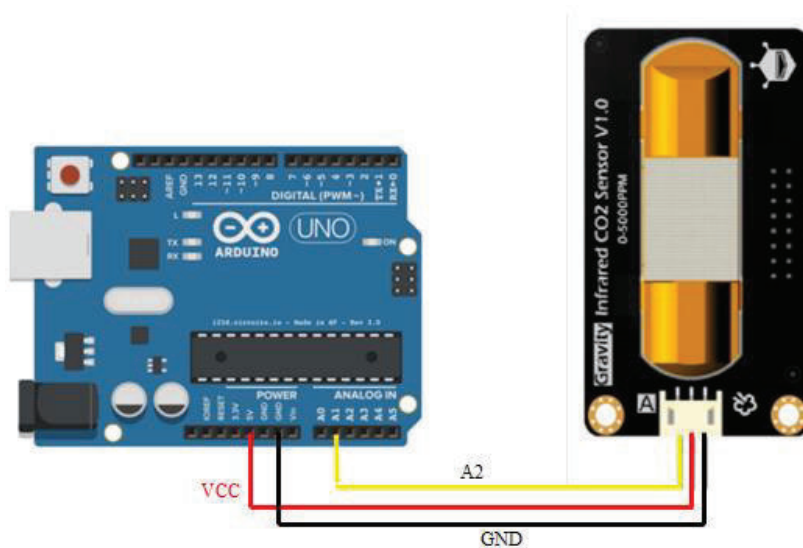
Tabla 2.5 Características principales del sensor de CO₂ SEN0219

Alimentación	4,5-5,5 V
Rango de detección	0 ppm-5000 ppm
Tiempo de precalentado	3 minutos

Para obtener información más detallada sobre este sensor se puede referir a [45,46]

2.3.3.2.3 Conexión con la placa Arduino

El esquema de conexión del sensor con la placa Arduino se visualiza en la Figura 2.16.

**Figura 2.16** Esquema de conexión del sensor de CO₂ con Arduino

2.3.3.3 Sensor de Metano MQ-4

Se utiliza el sensor de gas de Metano de la serie MQ que se visualiza en la Figura 2.17 con su respectiva distribución de pines.

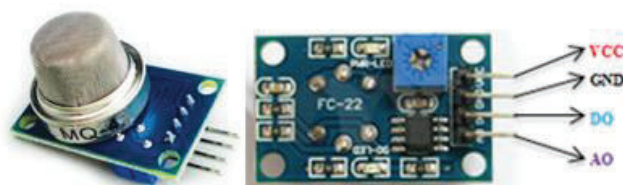


Figura 2.17 Sensor MQ-4 y su distribución de pines

2.3.3.3.1 Descripción

El sensor MQ-4 tiene alta sensibilidad al metano y al gas natural y baja sensibilidad al humo y alcohol. Presenta una respuesta rápida, largo tiempo de vida útil y es estable.

Se utilizan en la detección de fugas de gas de uso doméstica y en la industria. Son apropiados para detectar metano y gas natural. Se debe evitar el humo producido por los cigarrillos y de la cocina.

2.3.3.3.2 Especificaciones técnicas

Sus principales características se muestran en la Tabla 2.6. Según los fabricantes, se recomienda utilizar una fuente de alimentación externa superior a los 500 mA.

Tabla 2.6 Características Principales del sensor MQ-4

Alimentación	5 V
Rango de detección	20ppm-10000ppm
Tiempo de precalentado	24 horas
Concentración de oxígeno	21%

Para obtener información detallada sobre este sensor se puede referir a la hoja de datos en [47].

2.3.3.3.3 Conexión con la placa Arduino

El esquema de conexión del sensor MQ-4 con la placa Arduino se visualiza en la Figura 2.18.

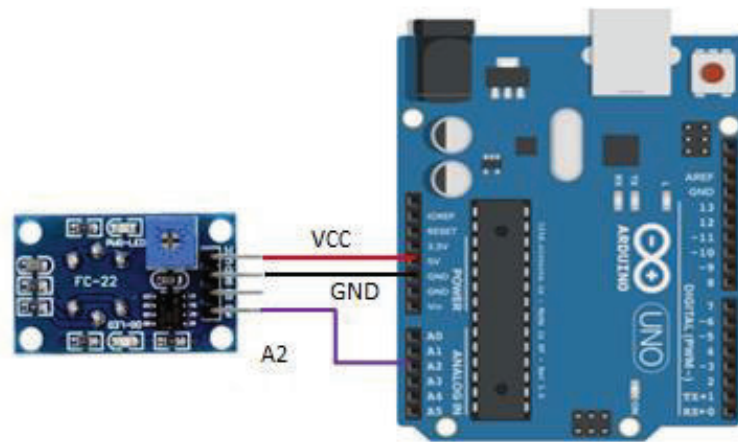


Figura 2.18 Esquema de conexión del sensor MQ-4 con Arduino

2.3.4 MÓDULO DE CONEXIÓN GSM/ GPRS

El módulo shield de Arduino GSM/ GPRS SIM 900 que se visualiza en la Figura 2.19, se usa en el prototipo a fin de proporcionar un mecanismo de alerta ya sea vía mensajes de texto o una llamada perdida.

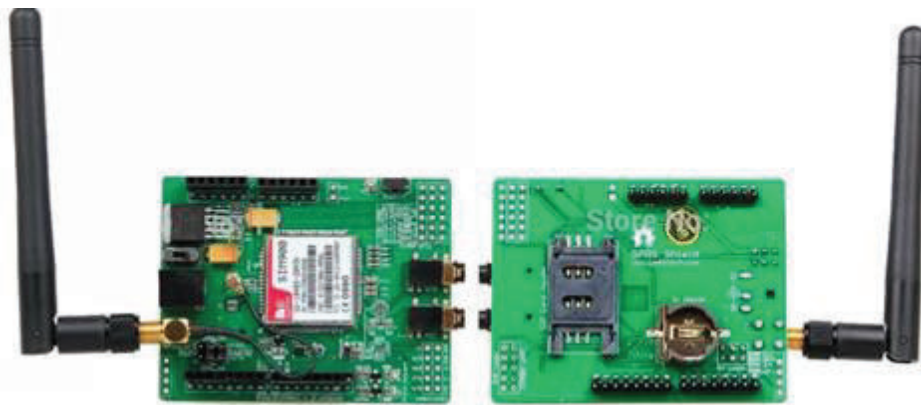


Figura 2.19 Módulo GPRS SIM 900

2.3.4.1 Descripción

El shield SIM 900 es un módulo que aumenta las funcionalidades de la placa Arduino, está basada en el módulo SIM900 de SIMCON, adicionalmente es

compatible con todas las versiones de Arduino y también puede ser utilizada con otros microcontroladores.

Es una tarjeta ultra compacta que permite la conexión a la placa Arduino de forma remota, es ideal para sistemas remotos, puntos de control, enviar mensajes de texto y realizar llamadas telefónicas usando la red celular. Es muy utilizada debido a que es ideal para la comunicación inalámbrica.

El módulo SIM 900 está configurado y controlado vía UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) que es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie usando comandos AT.

2.3.4.2 Especificaciones técnicas

Sus principales características se muestran en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Características principales del módulo GPRS SIM 900

Banda cuádruple	850/900/ 1800/ 1900 MHz
Clase de estacion móvil	Clase B
Dimensiones	24*24*3 mm
Peso	3,4 gramos
Voltaje de operación	5V
Temperatura de operación	-30 °C a +80 °C
Bajo consumo de potencia	Si

Para una información más detallada de las características del módulo GPRS SIM 900 consultar [49].

2.3.4.3 Conexión con la placa Arduino

El esquema de conexión del SIM 900 con la placa Arduino se visualiza en la Figura 2.20.

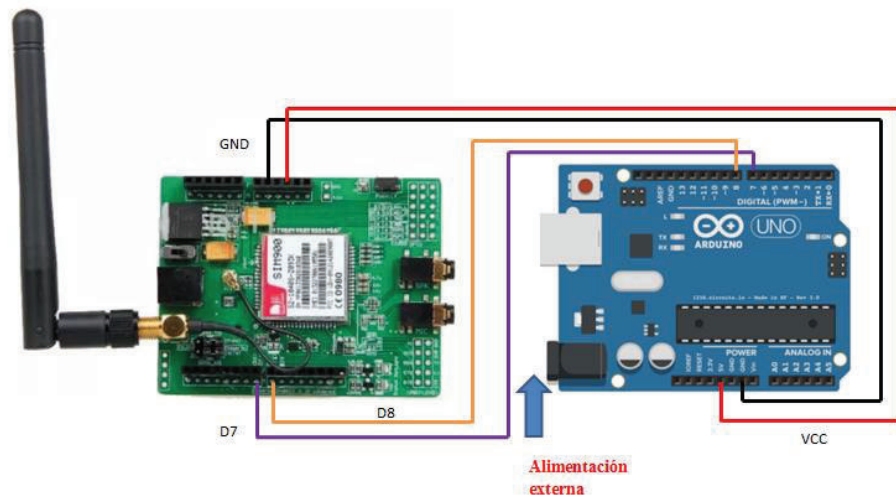


Figura 2.20 Esquema de conexión del SIM 900 con Arduino

2.3.5 SERVO MOTOR

Se utiliza el servomotor Tower Pro SG-5010 que se observa en la Figura 2.21 para abrir una ventana, esto como mecanismo de ventilación en caso de que los sensores detecten altos niveles de concentración del gas. El servomotor es ideal para controlar el movimiento de objetos con precisión regular.



Figura 2.21 Servomotor TowerPro –SG-5010

2.3.5.1 Descripción

Es un servomotor estándar de bajo consumo, es muy útil en actividades de mecatrónica que deseen controlar el movimiento de objetos. Posee un torque medio y puede rotar 180 grados.

2.3.5.2 Especificaciones técnicas

Las principales características se observan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Características principales del servomotor TowerPro SG-5010

Voltaje	4.8-6 V
Peso	9 gramos
Velocidad promedio	0.2seg/60grados (@ 4.8 V), 0,16seg/60grados (@ 6 V)
Torque	A 5V, 5.5kg-cm, a 6V 6.5kg-cm
Dimensiones	40*20*38 mm
Rango de temperatura	0 °C - 55 °C

Para un detalle más específico del servomotor consultar [50].

2.3.5.3 Conexión con la placa Arduino

El esquema de conexión del servomotor TowerPro SG-5010 con la placa Arduino se visualiza en la Figura 2.22. El servomotor viene con tres cables de diferente color, los cuales deben ser conectados de la siguiente manera: rojo (Vcc), amarillo (señal) y marrón, café o negro (GND).

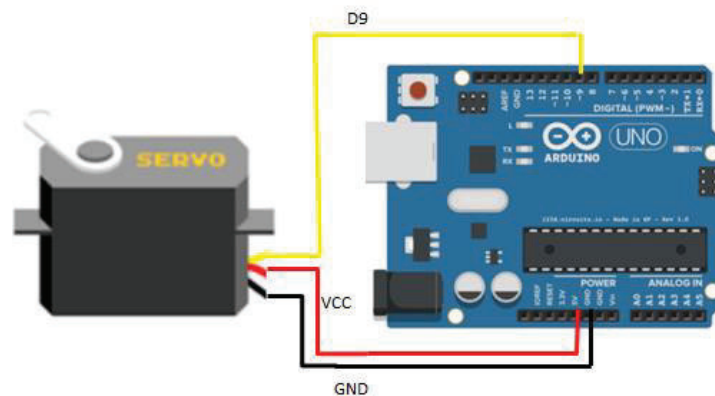


Figura 2.22 Esquema de conexión del servomotor TowerPro SG-5010 con Arduino

2.3.6 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para la alimentación del sistema prototipo se utiliza una fuente de alimentación de 2A a 9 V como se observa en la Figura 2.23, debido a la demanda de corriente requerida por el circuito.



Figura 2.23 Fuente de alimentación 2A a 9V

2.3.6.1 Descripción

La fuente de alimentación permite brindar el suministro de voltaje necesario para que un circuito funcione correctamente. Este dispositivo sirve como una fuente externa para alimentar al sistema prototipo que se está implementando en el presente proyecto de titulación.

2.3.6.2 Especificaciones técnicas

Las principales características de la fuente de alimentación se observan en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Características de la fuente de alimentación

Voltaje de entrada	100 - 240 V AC
Voltaje de salida	9V DC
Corriente máxima	2A

2.3.6.3 Forma de conexión

La conexión de la fuente de alimentación es muy sencilla, basta con conectar el plug con el conector del sistema prototipo y ya estará hecha la alimentación.

2.3.7 CONVERTOR DC-DC

Se utiliza el módulo LM2596 DC-DC que se visualiza en la Figura 2.24, este dispositivo permite realizar la alimentación de los sensores de gases y el servomotor debido a que estos dispositivos tienen un alto consumo de corriente y la placa arduino no puede abastecer dicha demanda.



Figura 2.24 Módulo LM2596 DC-DC

2.3.7.1 Descripción

El módulo LM2596 está basado en el regulador DC-DC Step Down LM2596, el cual es un circuito integrado monolítico de fácil diseño. La eficiencia es mayor en comparación con otros reguladores lineales de tres terminales.

Este dispositivo es un convertor de corriente directa DC-DC que permite obtener un voltaje de salida variable. En este caso se tiene un voltaje de entrada de 9 V y como salida se tendrá un voltaje regulado de 5 V para la alimentación de los sensores de gases y el servomotor.

2.3.7.2 Especificaciones técnicas

Las principales características del módulo LM2596 DC-DC se muestran en la Tabla 2.10.

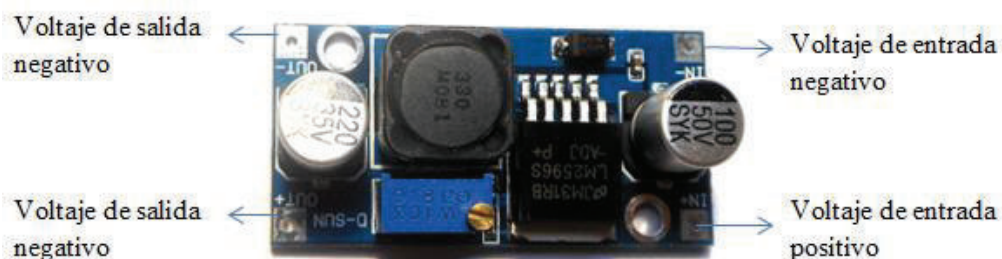
Tabla 2.10 Características del módulo LM2596 DC-DC

Voltaje de entrada	4,5-40 V
Voltaje de salida	1,5-35 V
Corriente de salida máxima	3 A
Dimensiones [mm]	43*20*14
Frecuencia de conmutación	150 KHz

Para una información más detallada de las características del módulo LM2596 DC-DC consultar [51].

2.3.7.3 Forma de conexión

Al módulo LM2596 DC-DC se conectará el voltaje positivo y negativo de la fuente de alimentación para obtener un voltaje regulado, dependiendo de las necesidades del circuito. En la Figura 2.25 se visualiza la polarización del mismo.

**Figura 2.25** Polarización del módulo LM2596 DC-DC

2.3.8 DISPOSITIVO DE VISUALIZACIÓN DE DATOS

Para visualizar los datos monitoreados se utiliza un Smartphone, con el fin de descargar la aplicación desarrollada escaneando un código de barras que se genera en la página de App Inventor. No se adjunta el código de barras de la aplicación debido a que el código es válido únicamente por dos horas.

En el presente proyecto se utilizó el celular Sony Xperia M4 Aqua, el mismo que se muestra en la Figura 2.26.



Figura 2.26 Celular para la visualización de datos

2.4 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

La calibración sin duda es uno de los aspectos más importantes en el presente proyecto de titulación, ya que se debe asegurar que los valores obtenidos se aproximen a los valores reales y garantizar un correcto funcionamiento del sistema.

Para la calibración del sensor de CO se ha utilizado la calibración multipunto, el cual consiste en someter al sensor a diferentes concentraciones de gas con el objetivo de generar una recta de respuesta de voltaje en función de la cantidad de gas presente.

La calibración del sensor de CO fue realizada según [52] por lo que en este proyecto se asume la misma calibración.

Las ecuaciones (2.1) y presentan la recta de calibración para el sensor CO según [52] y vienen expresadas en ppm:

$$CO = 0,568x - 212,9 \quad (2.1)$$

La calibración para el sensor de CO₂ no se realiza debido a que ya viene calibrado por el propio fabricante.

Para el caso del sensor CH₄ no se ha encontrado en ninguna referencia bibliográfica una adecuada calibración, por lo cual, para obtener el valor medido por el sensor se

utiliza la ecuación 2.2, la cual devuelve valores referenciales en el rango de 20 ppm a 10000 ppm que es el rango de detección del sensor.

$$CH_4 = \frac{10000 * x}{4095} \quad (2.2)$$

Donde x (en las dos ecuaciones) es el valor resultante de la conversión ADC que varía entre 0 y 4095 debido a que Arduino UNO está trabajando a una resolución de 12 bits.

2.5 IMPLEMENTACIÓN

El prototipo consta de un sistema transmisor (adquisición y procesamiento), sistema receptor (para la visualización de los datos). En esta sección se describe la elaboración de cada sistema y la circuitería empleada en mismo.

Para la implementación del prototipo se utilizará la placa Arduino UNO, los sensores MQ-7, SEN0219 y MQ-4 para la obtención de las concentraciones de los gases CO, CO₂ y CO₄ respectivamente, el módulo Bluetooth HC-05 y el módulo GSM/GPRS SIM 900 para el envío de los mensajes y generación de llamadas perdidas.

Además, para utilizar el módulo SIM 900 se requiere un chip de cualquier operadora celular con un plan de mensajes de texto y saldo mensual, pero para Bluetooth únicamente necesita establecer el enlace inalámbrico con otro dispositivo para recibir la información y gracias al receptor (celular) se podrá visualizar la información enviada de manera gratuita, con el limitante que será en un rango de 10 metros.

2.5.1 SISTEMA TRASMISOR

En la Figura 2.27 se muestra un diagrama de bloques de los dispositivos utilizados en el sistema transmisor, cuya función principal es la obtención de las concentraciones de los gases y el envío de esta información de manera inalámbrica hacia un celular (receptor) para su respectiva visualización.

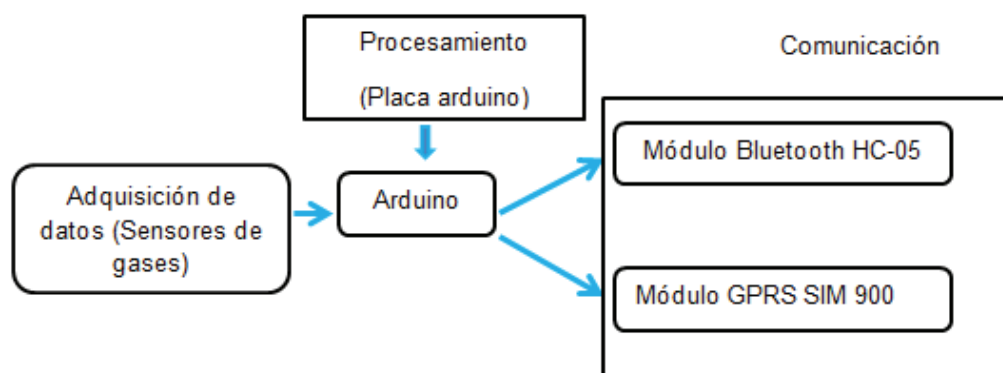


Figura 2.27 Esquema general del sistema transmisor

El sistema transmisor desempeña un papel importante en el prototipo implementado, ya que en él se obtiene los datos de los sensores, se realiza un procesamiento de los mismos para que estén en la correcta unidad de medida y posteriormente sean preparados para la transmisión inalámbrica hacia los receptores.

2.5.1.1 Adquisición De Datos

Los datos serán obtenidos a través de los sensores MQ-7, SEN0219 y MQ-4 que toman las concentraciones de los gases CO, CO₂ y CH₄ en el medio ambiente y dichos valores son procesados en la placa Arduino UNO para posteriormente ser enviados.

2.5.1.2 Procesamiento

El procesamiento lo realizará el programa implementado en la placa Arduino UNO, el cual consiste en procesar los valores obtenidos por los sensores en el rango de 0 a 4095, para luego ser convertidos y calculados en la unidad partes por millón (ppm).

2.5.2 SISTEMA RECEPTOR

En el sistema receptor se contempla al dispositivo (celular) que va a permitir la visualización de las concentraciones de gases en el sitio afectado y a los dispositivos

(celular/celulares) que recibirán las alertas cuando sobrepase los límites de concentración de los gases establecidos por los organismos internacionales.

La recepción y visualización de los valores monitoreados se realiza mediante dos formas que se describen a continuación:

- A través de una aplicación para teléfonos móviles desarrollada en App Inventor, que permitirá observar las concentraciones de los gases CO, CO₂ y CH₄ de manera inalámbrica basada en la tecnología Bluetooth. Bluetooth se usará para conexiones locales con el objetivo de evitar el consumo de datos móviles que incurren en costos adicionales
- Envío de mensajes de texto y realización de llamadas telefónicas hacia los celulares a través del módulo SIM 900 cuando exista episodios de altas concentraciones de gases en el ambiente monitoreado. Para esto se deberá tener un plan de datos mensual.

2.5.3 UNIFICACIÓN DEL PROTOTIPO DE MONITOREO

En la sección 2.3 se detalló la forma de conexión del hardware utilizado en la implementación del sistema prototipo, por lo que se procede a unificar todos los elementos electrónicos y a explicar cómo se armó el prototipo. En la Figura 2.28 se observa la conexión de los sensores de gases con la placa arduino para comprobar un buen funcionamiento de los mismos.

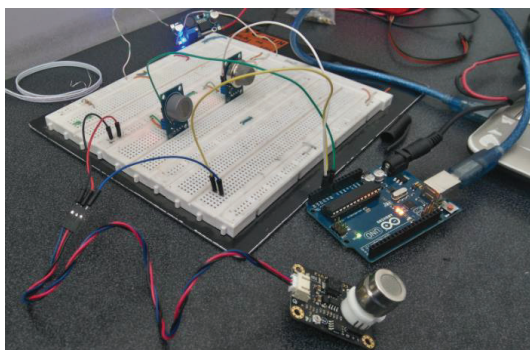


Figura 2.28 Conexión de los sensores de gases con Arduino UNO

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de los sensores, se procede a elaborar y realizar toda la circuitería en una caja plástica para que sea fácil de probar y transportar el sistema. En las Figuras 2.29 y 2.30 se observan los elementos electrónicos y la circuitería que se utilizó para la implementación del sistema prototipo, entre los cuales están: placa Arduino UNO, módulos SIM 900, LM2695, y Bluetooth HC-05.



Figura 2.29 Elaboración del sistema prototipo

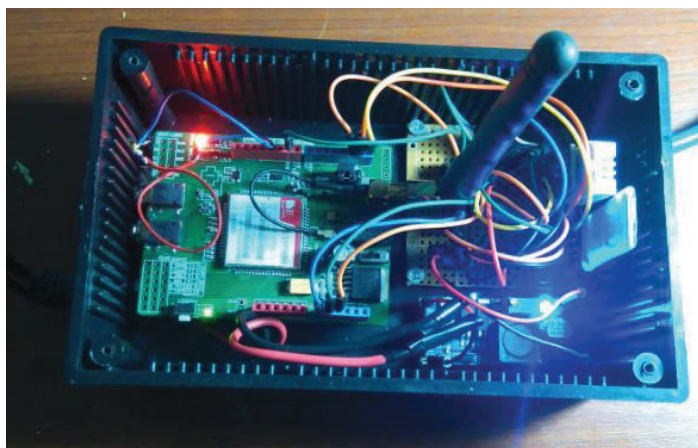


Figura 2.30 Conexión interna del sistema prototipo

Para el caso de los sensores de gases, se utilizó una caja plástica para cada uno, con el objetivo de que cada sensor tenga un compartimiento aislado y así lograr obtener las mediciones lo más exactas posibles. Los compartimientos de cada

sensor se puede observar en la Figura 2.31. Adicionalmente se ha utilizado un pedazo de madera para camuflar los cables de conexión.

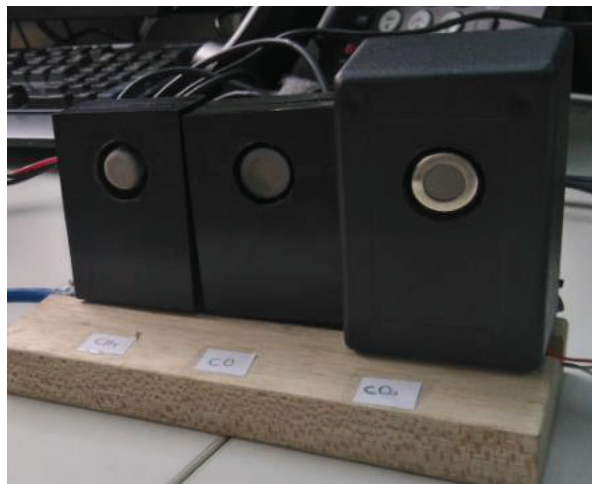


Figura 2.31 Compartimiento de los sensores de gases

Una vez culminado la elaboración de los compartimientos de los sensores, se procede a polarizar y realizar la conexión con cada pin analógico de arduino, para ello se ha utilizado el cable categoría UTP (*Unshielded Twisted Pair*) cat.6 de ocho hilos, los cuales han sido seleccionados de la siguiente manera: dos hilos para la polarización de los sensores, tres hilos para la conexión con los pines analógicos de arduino y un hilo para la conexión del servomotor. La conexión final queda tal como se observa en la Figura 2.32.



Figura 2.32 Conexión final del sistema Prototipo

Como dato adicional se observa en la Figura 2.33 un LED en el sistema prototipo, el cual se encenderá cada tres o cuatro segundos indicando que el módulo SIM 900 se ha conectado a la red celular. En el caso que no sea así, significa que el módulo SIM 900 está buscando la red celular.

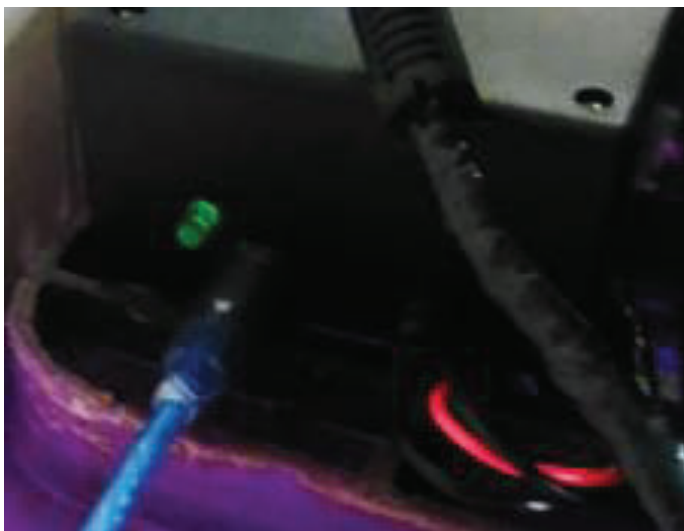


Figura 2.33 LED que indica la conexión a la red celular

2.5.4 PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA ARDUINO

Como se mencionó en la sección 2.3.1, la plataforma Arduino permite realizar prototipos interactivos y brinda la facilidad para realizar proyectos electrónicos desde los más simples hasta los más complejos, para ello arduino facilita el uso de librerías (son porciones de código realizadas por terceras personas que facilitan la programación y la interconexión de dispositivos) que se las utiliza dependiendo de lo que se esté realizando.

En el presente proyecto se contempla el monitoreo de las concentraciones de gases con actualizaciones constantes por lo que el programa consistirá en la adquisición de datos, su procesamiento y finalmente la transmisión y visualización de los mismos.

A continuación se realiza un breve resumen de la programación implementada para el prototipo.

2.5.4.1 Declaración de Librerías

Las librerías utilizadas para la programación de Arduino UNO se observan en el Código 2.1.

```
#include <eRCaGuy_NewAnalogRead.h> //Librería para realizar la lectura ADC a 12 bits para
// el sensor de CO
#include <Servo.h> // Librería para activar el servomotor
#include <SoftwareSerial.h> // Librería para el módulo SIM 900 debido a que no se
// utilizará los pines 0 y 1 Tx/Rx, sino los pines 7 y 8
```

Código 2.1 Librerías utilizadas en Arduino UNO

2.5.4.2 Configuración de nuevo puerto serial

Para realizar la conexión del módulo SIM 900 se necesita un puerto serial, Arduino UNO solo tiene un puerto serial en los pines 0 y 1, por lo que se procede a configurar los pines 7 y 8 para emular un nuevo puerto serial; esto se logra mediante la siguiente línea de código: `SoftwareSerial SIM900(7, 8)`.

2.5.4.3 Declaración de variables

Se procede a declarar las variables que se utilizará en la programación, la declaración de una variable se realiza mediante el comando *int* (si es un número entero) o *float* (si es un número decimal).

En el fragmento de Código 2.2 se observa la declaración de algunas variables que se utilizó en la programación.

```
int control=0;
int sensor_CO=0; //Pin analógico para el sensor CO.
int sensor_CO2=1; //Pin analógico para el sensor CO2.
int sensor_CH4=2; //Pin analógico para el sensor CH4.
int pin9=9; //Pin para el servomotor....
```

Código 2.2 Declaración de variables para los sensores y el servomotor

2.5.4.4 Parámetros de comunicación serial y servomotor

La configuración de parámetros de la comunicación serial para el módulo SIM 900, así como también los parámetros de configuración para el servomotor se observa en la porción de Código 2.3.

```
SIM900.begin(19200);           //Se configura la velocidad serial para el SIM900
Serial.begin(9600);           //Se configura la velocidad serial para el Arduino
my_servo.attach(pin9,500, 2500); //Se configura el pin para el servomotor y se calibra
                                //los pulsos para un correcto giro del motor
my_servo.write(180);          // Se posiciona al servomotor en cero grados
delay(20000);                  //Retardo para que encuentre la red celular....
```

Código 2.3 Configuración de la comunicación serial y el servomotor

2.5.4.5 Funciones para la lectura de datos

El uso de funciones (son porciones de código que permite realizar tareas repetitivas y una programación más ordenada) son muy útiles para que el programa implementado en el presente proyecto sea entendible para cualquier persona con conocimientos en programación. Se utilizaron funciones para la lectura de datos de los sensores, para enviar mensajes, para hacer una llamada telefónica y para activar el servomotor para la apertura de una ventana. En la porción del Código 2.4 se observa un ejemplo de una función la cual ha sido creada para enviar el mensaje de texto con el valor de la concentración de gas.

```
void enviar_mensaje_CO(){ //Función para enviar un mensaje de texto hacia cualquier celular

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // Poner en modo msm de text
delay(100);
SIM900.println("AT+CMGS=\"0982595640\""); //Hacia que número se desea enviar el mensaje
delay(100);
SIM900.println("Niveles elevados de contaminacion, CO= "); // Contenido del mensaje a enviar
SIM900.println(valor_COppm);
delay(100);
SIM900.println((char)26); //ponemos el simbolo ascii 26, que corresponde a CTRL+Z en arduino,
                          //con lo que el modulo sabe que el sms terminó
delay(4000); // Tiempo para que se envíe el mensaje al móvil

}.....
```

Código 2.4 Función para enviar mensajes de texto

2.5.4.6 Envío de datos hacia el celular a través de Bluetooth

Las instrucciones necesarias para enviar los datos obtenidos por los sensores de gases hacia el celular se observa en el Código 2.5. Para este caso se utiliza el símbolo de la “coma” para poder separar los datos y visualizarlos por separado en la aplicación desarrollada en App Inventor, caso contrario se observarían los datos aglomerados y en línea seguida.

```
Serial.print(valor_COppm);  
Serial.print(","); //Se utiliza el símbolo de la coma para poder dividir cada valor que  
                //se envía y ubicarlas en diferentes casillas en el App Inventor  
Serial.print(valor_CO2ppm);  
Serial.print(",");  
Serial.print(valor_CH4ppm);  
Serial.println("");  
delay(2000);
```

Código 2.5 Porción de código para el envío de datos hacia el celular

Nota: Para observar a detalle la programación completa, dirigirse al Anexo A.

En el programa implementado es de vital importancia obtener los datos correctos para ser procesados y adaptarlos a las correspondientes unidades de medida. En la Figura 2.34 se presenta un diagrama de flujo sobre la adquisición, procesamiento y visualización de los datos obtenidos por los sensores y que representarán las concentraciones de los gases presentes en el ambiente. En el diagramas de flujo se incluye únicamente el monitoreo a través del celular por medio de la conexión por Bluetooth.

Para la generación de las alertas hacia los receptores, con el fin de informar sobre los elevados niveles de contaminación, se deberán exceder ciertas condiciones que han sido establecidas en el programa implementado, este proceso se observa en el diagrama de flujo de la Figura 2.35.

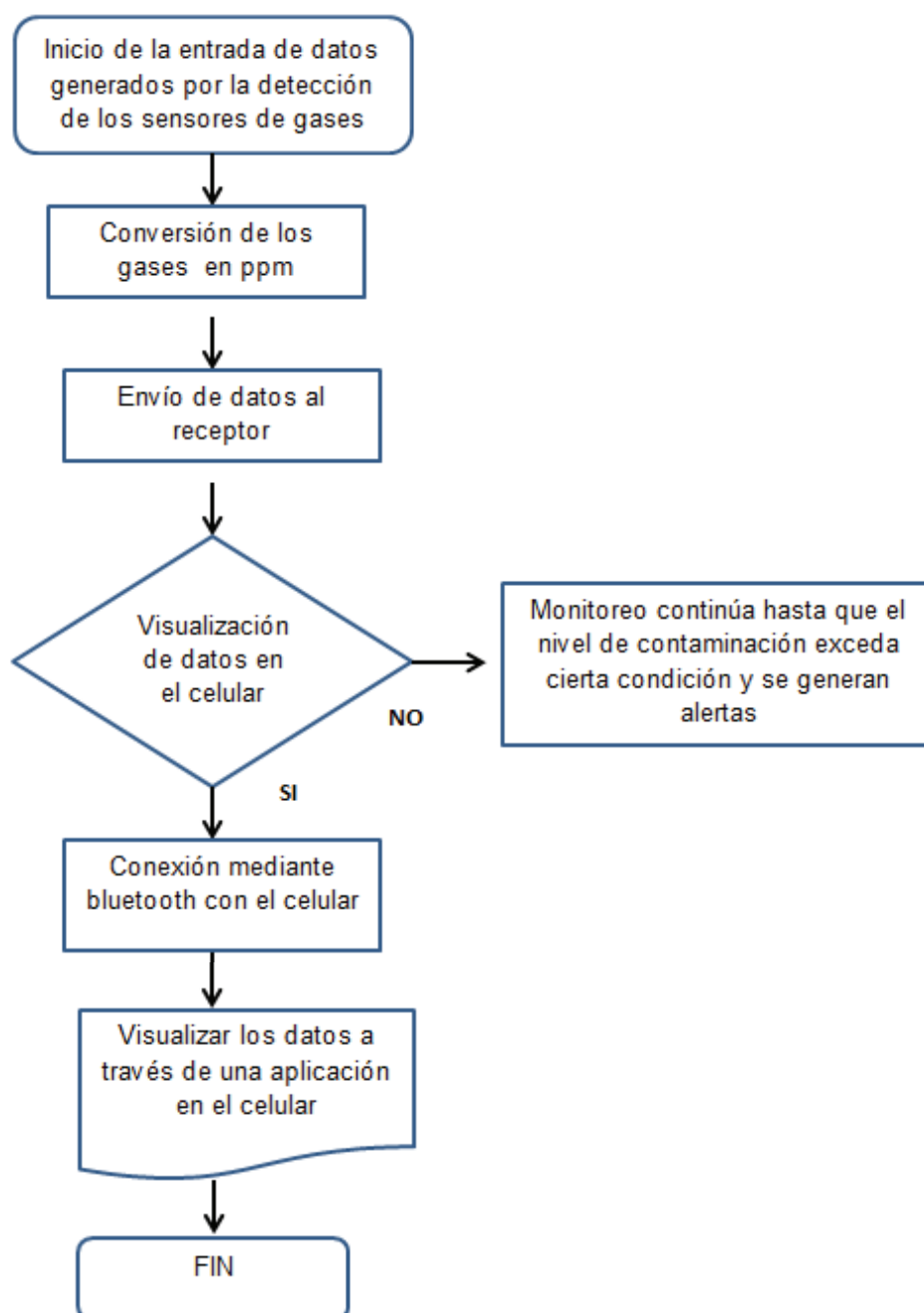


Figura 2.34 Diagrama de adquisición, procesamiento y visualización de las concentraciones de gas

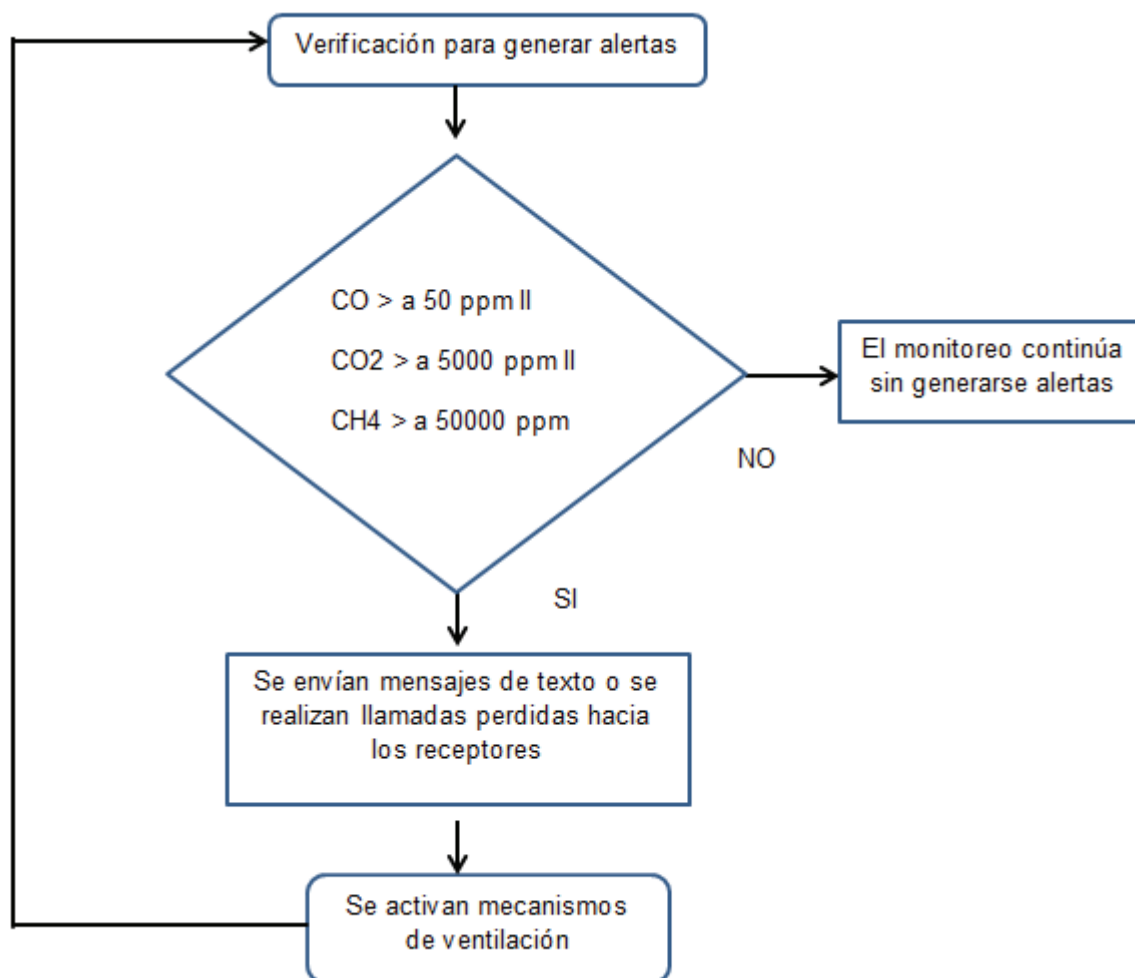


Figura 2.35 Diagrama de flujo de generación de alertas

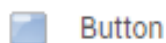
2.5.5 PROGRAMACIÓN EN APP INVENTOR

Como se mencionó en la sección 2.2.1, App Inventor permite desarrollar aplicaciones para teléfonos móviles con el sistema operativo Android, para el presente proyecto se utiliza esta herramienta de programación con la finalidad de desarrollar una aplicación que permita obtener los valores de los niveles de contaminación obtenidos por los sensores que previamente procesarán esta información para convertirlos en la unidad de medida adecuada y posteriormente enviarán los datos hacia el receptor (celular).

En la sección 2.2.1 se revisó la forma de crear una nueva aplicación y se explicó las actividades que se realizan en el *designer* y el *block editor* por lo que en esta sección se procede a detallar los bloques empleados para la realización de la aplicación desarrollada.

2.5.5.1 Componentes del designer

- *Button* (Botón)



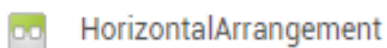
Los botones son componentes que el usuario toca para que se ejecute cierta actividad en la aplicación. En el botón se puede agregar una imagen de fondo, modificar la apariencia, el color de fondo, tamaño, entre otros.

- *Label* (Etiqueta)



Las etiquetas son elementos que se utilizan para mostrar texto, adicionalmente se puede poner imágenes de fondo, apariencia, color, entre otros.

- *Horizontal Alignment* (Alineamiento horizontal)



El alineamiento horizontal permite mostrar de manera ordenada un grupo de componentes (botones) de izquierda a derecha. Tienes opciones para alinear a la izquierda, derecha o en el centro.

- *VerticalArrangement* (Alineamiento vertical)



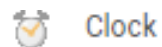
El alineamiento vertical permite mostrar de manera ordenada un grupo de componentes (botones) dispuestos de arriba hacia abajo. Tienes opciones para alinear a la izquierda, derecha o en el centro.

- *ListPicker* (Lista de selección)



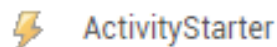
La lista de selección como su nombre lo dice permite elegir un elemento de una lista que se desplegará en el celular, para el presente proyecto se usa este bloque con el fin de seleccionar el dispositivo Bluetooth correcto al momento de establecer la conexión entre el celular y el módulo HC-05.

- *Clock* (Reloj)



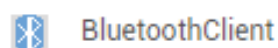
El reloj permite crear un contador de tiempo que señala los sucesos a intervalos regulares. El reloj también permite realizar varias conversiones y manipulaciones con unidades de tiempo.

- *ActivityStarter* (Arranque de actividades)



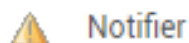
El *activity Starter* permite ejecutar otras actividades desde la aplicación desarrollada, para el presente proyecto se utilizó esta opción para la activación del Bluetooth del celular.

- *BluetoothClient* (Cliente de Bluetooth)



El cliente Bluetooth permite realizar la conexión inalámbrica entre el celular y el módulo Bluetooth HC-05 de Arduino.

- *Notifier* (Notificador)



El notificador es un componente no visible que permite desplegar avisos y alertas hacia los usuarios y puede registrar las respuestas de los mismos.

El resultado final con los componentes utilizados se muestra en la Figura 2.36.

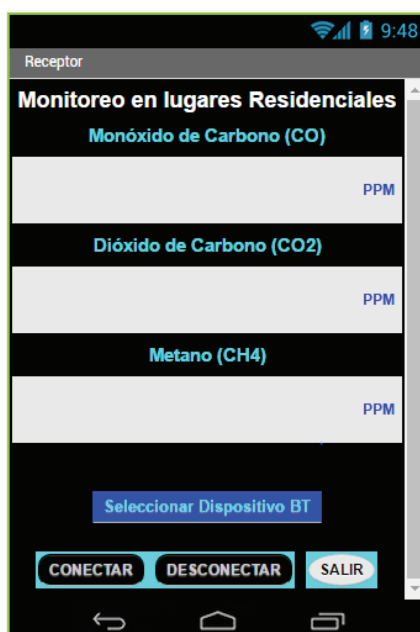


Figura 2.36 Diseño final de la aplicación creada en el área del *designer*

La aplicación desarrollada en App Inventor consiste en cuatro pantallas las cuales se las nombró como: introducción, inicio, información y receptor. En cada pantalla se ha programado y configurado. Se procede a realizar una breve explicación de la programación por bloques implementada en App Inventor, los detalles se muestra a continuación:

2.5.5.2 Código y diseño de la pantalla introducción

En la Figura 2.37 se observa el diseño de la pantalla de introducción de la aplicación del teléfono móvil, en esta pantalla se configura un logotipo que simula que está cargando la aplicación desarrollada, esto se logra mediante una imagen que empieza a rotar durante un cierto tiempo. En el Código 2.6 se observa las instrucciones necesarias para que la imagen empiece a girar, el cual consiste en activar dos temporizadores (relojes) al instante que se abra la aplicación, para luego empezar a girar durante 5 segundos la imagen y finalmente se dirija a la pantalla inicio.

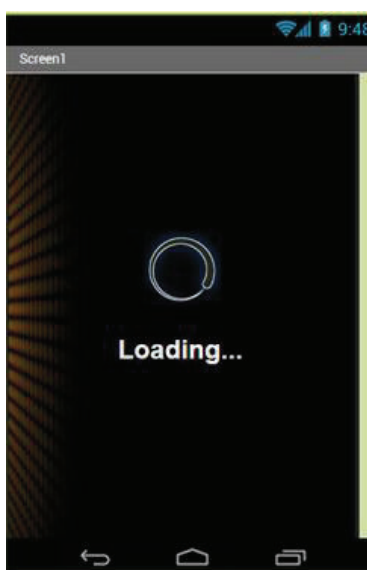


Figura 2.37 Diseño de la pantalla introducción

```

when Screen1.Initialize
do
  set Clock_animacion.TimerEnabled to true
  set Clock_inicio.TimerEnabled to true

when Clock_animacion.Timer
do
  set Loading.RotationAngle to Loading.RotationAngle + 5

when Clock_inicio.Timer
do
  set Clock_animacion.TimerEnabled to false
  set Clock_inicio.TimerEnabled to false
  open another screen screenName "Inicio"
  
```

Código 2.6 Porción de código para hacer girar la imagen al abrir la aplicación

2.5.5.3 Código y diseño de la pantalla inicio

En la Figura 2.38 se observa la pantalla de inicio de la aplicación, la cual solicitará una contraseña de acceso para la visualización de los datos monitoreados. Adicional a esto, hay un botón con el nombre información, si se presiona dicho botón se abrirá una nueva ventana la cual es una pantalla informativa acerca de los gases contaminantes estudiado en el presente proyecto y los niveles concentración aceptables en el ambiente.

En el Código 2.7 se observa la programación por bloques necesaria para la configuración de la contraseña de acceso, en este caso la contraseña se ha configurado como EPN2017.

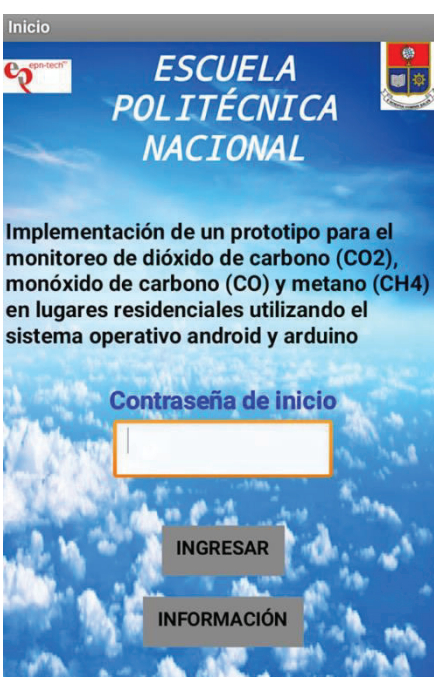
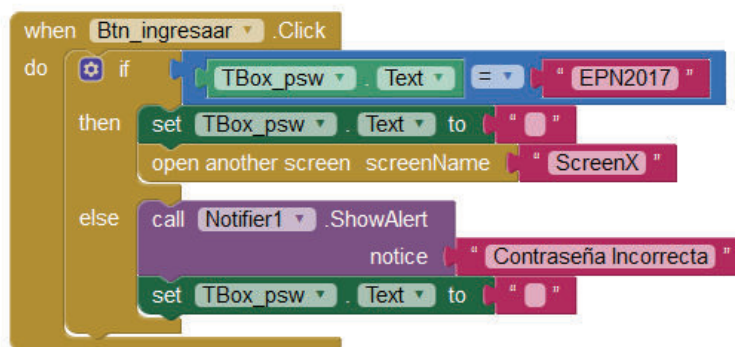


Figura 2.38 Diseño de la pantalla de inicio

2.5.5.4 Presentación de la pantalla información

En la Figura 2.39 se observa la pantalla información, la cual indica un breve resumen acerca de los límites máximos de las concentraciones de los gases de CO, CO₂ y CH₄. En esta pantalla no se implementó ningún código de bloques.



Código 2.7 Porción de código para verificar el ingreso de la contraseña

Esta aplicación permite monitorear el nivel de concentración de gases de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), y metano (CH₄) en lugares residenciales

CO es producido por la mala combustión de automóviles, cocinas y hornos a gas. Este gas es un asesino silencioso y ha producido en muchas ocasiones la muerte de personas

CO₂ El CO₂ es un gas de efecto invernadero que produce el calentamiento global en el planeta. Las personas emiten CO₂ de manera natural y se lo puede detectar en lugares donde existe la aglomeración de personas y no existe un buen sistema de ventilación, por ejemplo, oficinas, salas de conferencia y esto produce un bajo rendimiento o cansancio en las personas

CH₄ El CH₄ es el principal elemento del gas natural, en altas concentraciones puede ocasionar explosiones

La concentraciones de gas recomendables en el ambiente residencial es el siguiente:

Figura 2.39 Diseño de la pantalla información

2.5.5.5 Código y diseño de la pantalla receptor

Finalmente se tiene la pantalla del receptor en donde se visualizará los datos monitoreados obtenidos a través de los sensores de gases.

En la Figura 2.40 se observa el diseño de la pantalla del receptor en la cual se desplegará los datos enviados desde Arduino a través del enlace Bluetooth, para esto se configuró de la siguiente manera:

La porción de código necesario para que el dispositivo Bluetooth del celular busque todos los dispositivos cercanos y se despliegue una lista para que permita elegir el correcto se muestra en el Código 2.8.

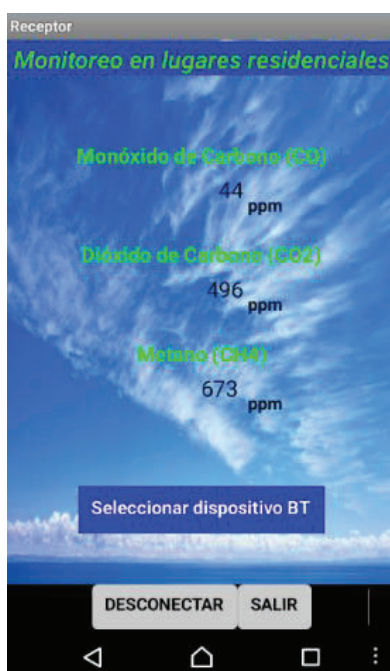


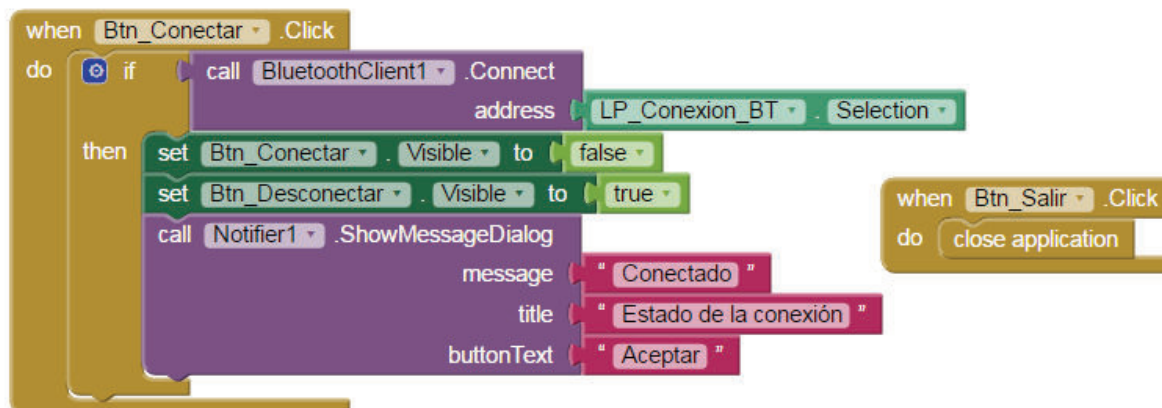
Figura 2.40 Diseño de la pantalla del receptor

```
when LP_Conexion_BT .BeforePicking
do set LP_Conexion_BT . Elements to BluetoothClient1 . AddressesAndNames
```

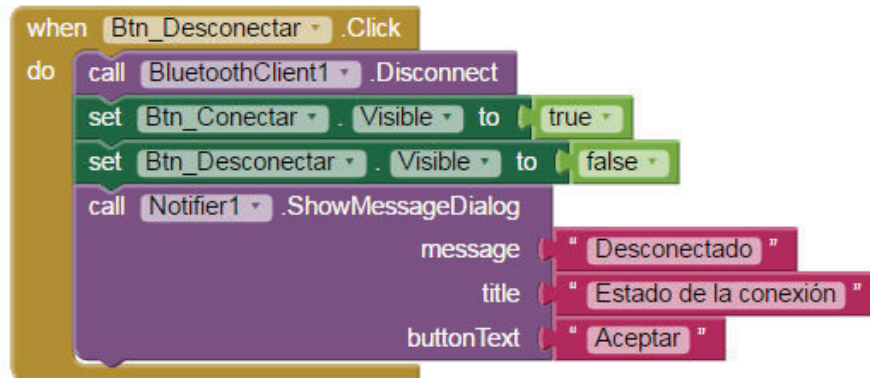
Código 2.8 Porción de código para desplegar la lista de dispositivos Bluetooth disponibles

Posteriormente se visualiza en el Código 2.9, la programación realizada para establecer la conexión con el módulo Bluetooth que esta conectado con arduino y la cual permitirá realizar la trasmisión de los datos de forma inalámbrica. Adicionalmente se incluye un notificador que indicará el estado de la conexión del

dispositivo y un boton que permitirá salir de la aplicación. El Código 2.10 representa el proceso que realiza para la desconexión del dispositivo Bluetooth y el despliegue del estado de la conexión del dispositivo cuando el usuario sale de la aplicación.



Código 2.9 Código para el establecimiento de la conexión entre el celular y el módulo Bluetooth



Código 2.10 Código para la desconexión del celular y el módulo Bluetooth

Finalmente, el Código 2.11 representa el corazón de la aplicación, a continuación se explica las actividades que realiza esta porción de código.

Se define una variable global que almacenará temporalmente los datos enviados desde Arduino UNO por medio del módulo Bluetooth HC-05 hacia el celular.

Una vez que el celular ha hecho la conexión con el módulo HC-05, los datos provenientes de la placa Arduino UNO empiezan a almacenarse en la variable global para ser desplegada en el celular. Para la visualización de los valores de CO, CO₂ y CH₄ de manera independiente, se necesita utilizar los bloques de código *length of list* y *select list ítem list* de App Inventor, si no se utilizan estos bloques, los datos provenientes desde Arduino UNO se los visualizará aglomerados y a línea seguida, por lo que no se los podrá diferenciar.

```

when Clock1.Timer do
  if BluetoothClient1.IsConnected then
    initialize global Datos to create empty list
    call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive > 0
    then
      set global Datos to split text call BluetoothClient1.ReceiveText
      at " "
      numberOfBytes call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive
      if length of list list get global Datos ≥ 2
      then set Datos_CO.Text to select list item list get global Datos
      index 2
      if length of list list get global Datos ≥ 3
      then set Datos_CO2.Text to select list item list get global Datos
      index 3
      if length of list list get global Datos ≥ 4
      then set Datos_CH4.Text to select list item list get global Datos
      index 4
  
```

Código 2.11 Código para la visualización de los datos transmitidos desde el arduino hacia el celular

El código completo del desarrollo de la aplicación se encuentra en el **Anexo B**, consta de una pantalla de introducción a lo que se carga la aplicación, una pantalla de inicio en la cual se solicita una contraseña de ingreso, una pantalla de información acerca de las concentraciones límite de los gases y finalmente la pantalla del receptor que permite visualizar las concentraciones de los gases monitoreados.

CAPÍTULO 3: PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

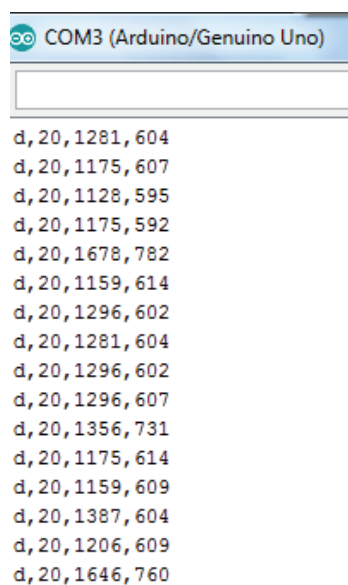
Para comprobar el funcionamiento del prototipo se ha dividido en tres etapas:

- Etapa de obtención de datos
- Etapa de recepción y visualización
- Etapa de envío de alertas

3.1.1 ETAPA DE OBTENCIÓN

En esta etapa se contempla la adquisición de los datos provenientes de los sensores de CO, CO₂ y CH₄. Para comprobar que se está obteniendo las mediciones de los sensores, se verificó a través del terminal de la plataforma Arduino.

En la Figura 3.1 se observan en el terminal de Arduino tres columnas en los cuales los datos que se han desplegado corresponden a: la primera columna representa al CO, la segunda al CO₂ y la tercera al CH₄.



```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
d, 20, 1281, 604
d, 20, 1175, 607
d, 20, 1128, 595
d, 20, 1175, 592
d, 20, 1678, 782
d, 20, 1159, 614
d, 20, 1296, 602
d, 20, 1281, 604
d, 20, 1296, 602
d, 20, 1296, 607
d, 20, 1356, 731
d, 20, 1175, 614
d, 20, 1159, 609
d, 20, 1387, 604
d, 20, 1206, 609
d, 20, 1646, 760
```

Figura 3.1 Adquisición de datos de los sensores de gases

Por tanto, se ha verificado que las mediciones de gases llegan hasta la placa Arduino.

3.1.2 ETAPA DE RECEPCIÓN Y VISUALIZACIÓN

En esta etapa se contempla la recepción y visualización de los valores monitoreados en los receptores, en este caso la visualización de los datos del sitio contaminado será a través de un celular que previamente ha instalado la aplicación desarrollada en App Inventor.

En la Figura 3.2 se observa la aplicación desarrollada en App Inventor que permite visualizar los datos monitoreados a través de un celular.

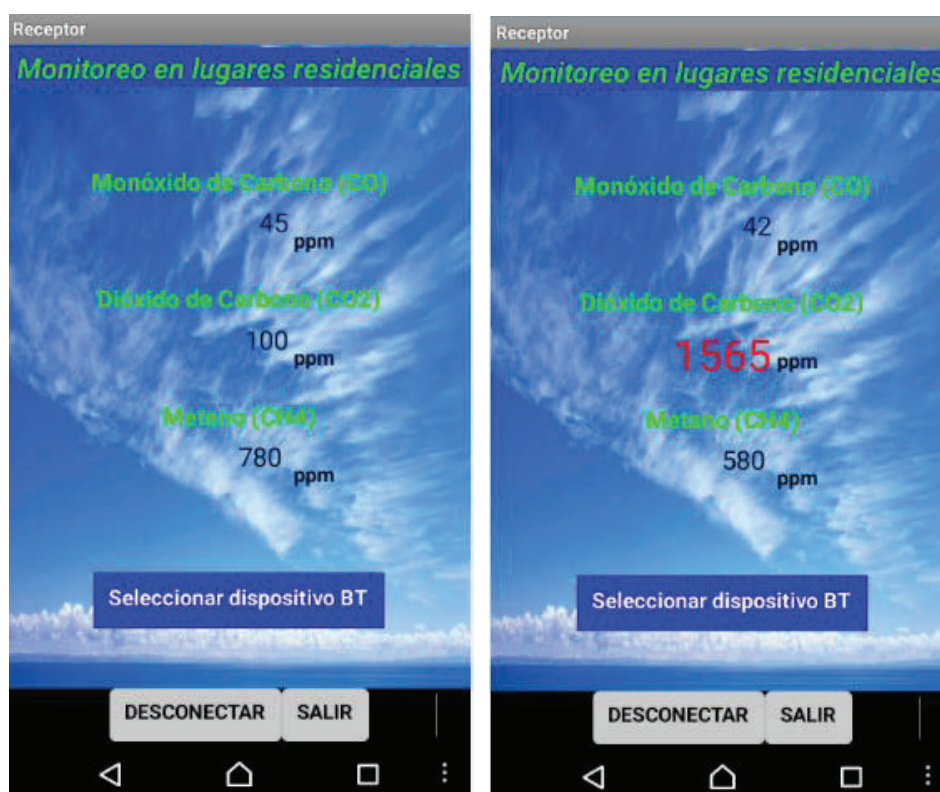


Figura 3.2 Visualización de los datos monitoreados a través de un celular

3.1.3 ETAPA DE ENVÍO DE ALERTAS

En esta etapa se contempla el envío de alertas desde la placa Arduino UNO hacia los receptores cuando existan episodios de alta contaminación en el lugar monitoreado.

Si el lugar monitoreado presenta altas concentraciones de gas, se genera una señal de alarma para indicar que el nivel permisible de la concentración ha sobrepasado el umbral establecido, por lo que el prototipo comienza a enviar mensajes de texto y a su vez se genera una llamadas perdidas hacia los receptores que se encuentren registradas en el código implementado en Arduino.

Se realizaron pruebas para comprobar si generan alertas (envío de mensajes y realización de llamadas perdidas) cuando existían altas concentraciones de CO y CH₄, para esto se utilizó un encendedor o fosforera y se dejaba escapar el contenido del mismo con el objetivo de demostrar el funcionamiento del prototipo.

En la Figura 3.3 se evidencia un registro de las llamadas perdidas y el envío de mensajes de texto que se generaron cuando existió alta contaminación.



Figura 3.3 Registro de llamadas y mensajes realizados por el sistema prototipo

3.1.3.1 Mecanismos de ventilación

El mecanismo de ventilación consiste en la apertura de una ventana cuando la contaminación en el ambiente sobrepase el umbral establecido por los organismos internacionales, con el objetivo que se disipe el aire contaminado.

La ventana se activará (se abrirá) únicamente cuando los niveles de concentraciones de cualquiera de los gases de CO, CO₂ y CH₄ sobrepasen el umbral que se ha establecido, caso contrario permanecerá siempre cerrada. En la Figura 3.4 se observa prototipo unificado.



Figura 3.4 Apertura de la ventana cuando sobrepasa cierto valor establecido

3.2 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez culminado el sistema prototipo, se procede a realizar las pruebas en diferentes sitios, con el objetivo de comprobar el funcionamiento completo del mismo.

Las pruebas del sistema prototipo se realizaron en cuatro lugares diferentes:

- El centro de Gestión de las oficinas de IBM del Ecuador para medir el nivel de CO₂ debido a que es un espacio cerrado con afluencia de personas

- El comedor de la Escuela Politécnica Nacional
- En la cocina de una casa
- Dormitorio de una casa

Estos lugares fueron seleccionados presumiendo que en estos lugares existe la presencia de CO, CO₂ o CH₄.

Los datos que se muestran a continuación fueron monitoreados a través del celular mediante la aplicación en App Inventor y a través el terminal de Arduino UNO para verificar que coincidan los valores y no exista inconsistencias.

3.2.1 CENTRO DE GESTIÓN DE LAS OFICINAS DE IBM DEL ECUADOR

El prototipo de monitoreo su ubicó en las oficinas del centro de Gestión de IBM del Ecuador, el cual tiene un área de aproximada 24 m². El centro de Gestión es un lugar ocupado por al menos 7 personas y con una temperatura permanente que oscilado en los 24 °C.

No se ha encontrado más publicaciones que permita corroborar los valores obtenidos en la obtención de CO₂, solo se encontró las recomendaciones emitidas por el estándar ASHRAE 62-1989 y la OSHA que establecen un nivel de 1000 ppm y 5000 ppm respectivamente como el límite promedio de exposición.

Se realizó pruebas con el sistema prototipo durante ocho horas (desde las 7am hasta las 3pm). Se utiliza la recomendación emitida por la OSHA, para medir el nivel de exposición y el confort de una persona en un sitio cerrado. Después de dejar que el sistema prototipo se calibre por 24 horas, los valores que se obtuvieron son los que se observan en la Figura 3.5.

Utilizar el estándar ASHRAE 62-1989 que establece un valor de 1000 ppm en un edificio ocupado no es muy apropiado debido a que la concentración de CO₂ en un sitio cerrado sobrepasa fácilmente las 1000 ppm.

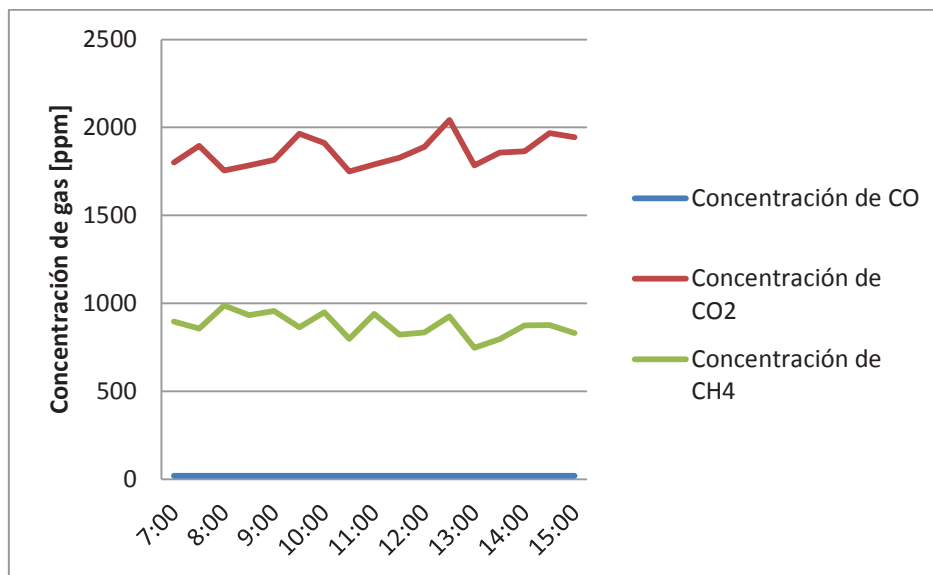


Figura 3.5 Concentración de CO, CO₂ y CH₄ vs Tiempo

Como se observa en la Figura 3.5, los episodios de mayor cantidad de CO₂ son alrededor del mediodía y oscila entre las 1800 ppm y 2000ppm, esto debido a que es un lugar cerrado y al número de personas en el sitio, mientras que la contaminación por CO no presenta ninguna variación y se mantienen en las 20 ppm. Caso contrario con lo que ocurre con la cantidad de CH₄, que varía entre 700 ppm y 900 ppm, pero no sobrepasa el umbral de las 1000 ppm por lo que no existe afectación en la salud.

Cabe aclarar que el área de trabajo si cuenta con aire acondicionado y permanentemente se activa cuando se alcanza cierta temperatura del ambiente.

3.2.2 COMEDOR DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

El prototipo se probó en la cafetería de la Escuela Politécnica Nacional (EPN), específicamente en el área de la cocina con el objetivo de verificar si existe presencia de CO o CH₄, el horario de monitoreo fue desde las 10 am hasta las 3pm aproximadamente.

Los valores que se obtuvieron son los que se observan en la Figura 3.6, en la cual se visualiza que las concentraciones de CO₂ y CH₄ varían en el rango aceptable sin

afectar a la salud de las personas, la concentración de CO si presentan pequeñas variaciones, las cuales oscilan entre 0 y 45 ppm por lo que no se generaron niveles de alerta. Respecto a las concentraciones de CO₂ y CH₄, no se tiene señal para considerarlo como alerta que afecte en la salud de las personas.

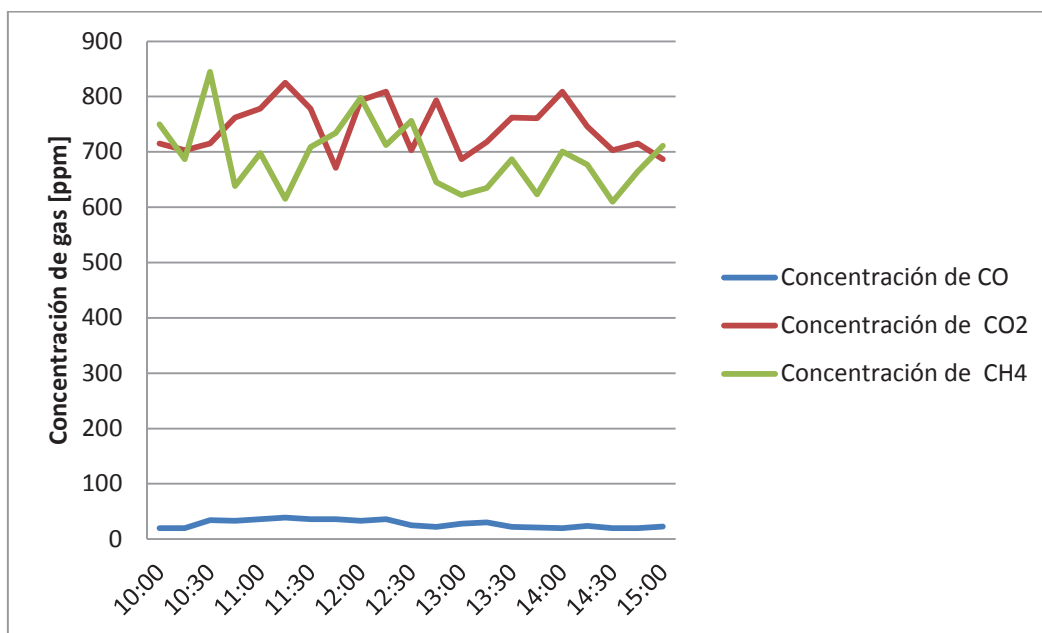


Figura 3.6 Concentración de CO, CO₂ y CH₄ en el comedor de la EPN

Cabe aclarar que el área de la cocina era un lugar en el cual había presencia de pequeñas brisas de aire, por lo cual puede haber surgido cierto rango de error en la toma de datos.

3.2.3 COCINA DE UNA CASA

El prototipo se probó en una casa particular cerca de una cocina que utiliza gas doméstico en el horario de 18H30 hasta las 02H00, esto con el fin de detectar la presencia de monóxido de carbono proveniente al realizar la cocción de alimentos. Previo a esto se calibró el sensor por 12 horas.

De acuerdo a la figura 3.7, se tiene presencia de CO, esto puede ser debido a la mala combustión que sucede en la cocina. No se tiene ningún riesgo por inhalación

de CO debido a que esos picos que sobrepasan las 50 ppm son temporales y luego se estabilizan esparciéndose en el ambiente. Según la recomendación emitida por los organismos internacionales, para que existan afectación en la salud se debe presentar dichos valores durante un lapso de 8 horas diarias los 5 días de la semana.

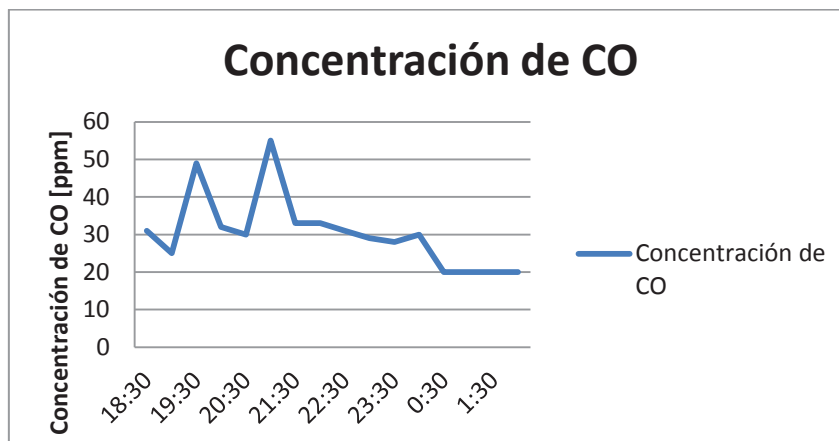


Figura 3.7 Concentración de CO en la cocina de una casa

3.2.4 DORMITORIO DE UNA CASA

Se realizó pruebas en un dormitorio de una casa, los resultados se observan en la Figura 3.8 en la cual solo se observa variación en las concentraciones de CO₂ y CH₄.

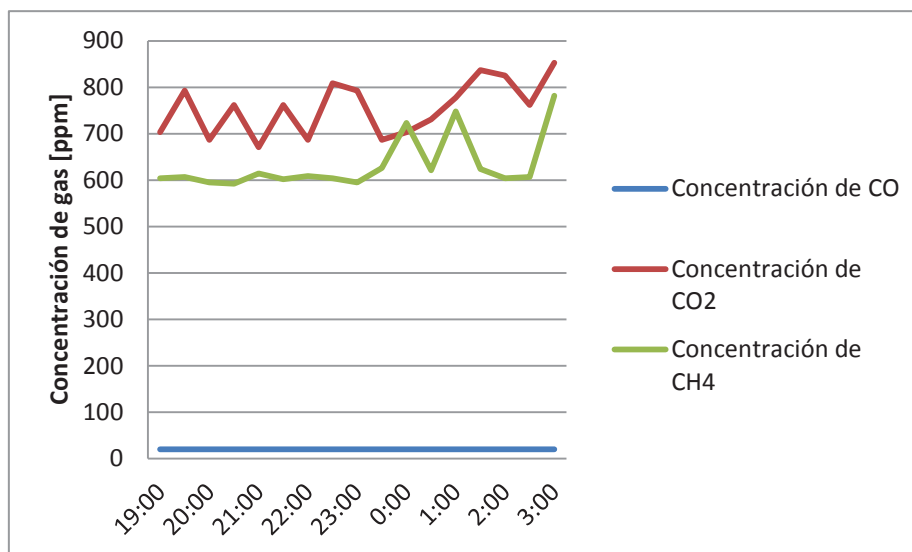


Figura 3.8 Concentraciones de CO, CO₂ y CH₄ en un dormitorio

3.3 COSTOS REFERENCIALES

En la estimación de costos referenciales está compuesto por: presupuesto para la implementación del prototipo y los costos de mano de obra para el diseño y construcción. No se toma en cuenta el teléfono celular, debido a que en la actualidad existen un gran número de abonados en el país y la tendencia del uso del celular aún sigue incrementándose, tal como lo demuestran las cifras de la ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) [53] (estas cifras fueron realizadas desde el año 2009 hasta Marzo del 2015) y se visualizan en la Figura 3.9.

Sin embargo al cierre del año 2015 el número de abonados se ha reducido a un aproximado de 13,8 millones [54].

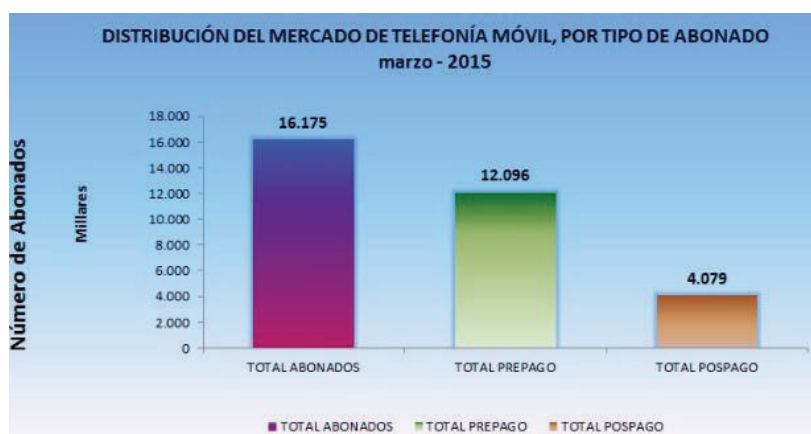


Figura 3.9 Total de abonados de telefonía celular en el Ecuador

El costo aproximado de los materiales utilizados para la implementación del prototipo de monitoreo se visualiza en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Costo aproximado de los materiales del prototipo de monitoreo

Cantidad	Descripción	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
1	Placa Arduino UNO	20	20
1	Shiel GPRS SIM 900	45	45
1	Módulo Bluetooth HC-05	0	0
1	Sensor de CO MQ-7 / Monóxido de carbono	9	9
1	Sensor de CO2 SEN0219 / Dióxido de carbono	130	130
1	Sensor de CH4 MQ-4 / Metano	7	7
1	Servomotor	8	8
1	Elementos electrónicos adicionales	25	25
4	Cajas de plástico	5	20
1	Plan de datos mensual	15	15
		Subtotal	239,94
		IVA 14 %	39,06
		Total	279

Los costos de mano de obra para el diseño, construcción y asesoramiento se visualizan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Costo de mano de obra, diseño, construcción y asesoramiento del prototipo

Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor Total (\$)
Construcción y mano de obra	1	400	400
Diseño y asesoramiento	1	400	400
		Total	800

Por lo tanto el presupuesto aproximado para la Implementación de un prototipo para el monitoreo de dióxido de carbono CO₂, monóxido de carbono CO y metano CH₄ en lugares residenciales utilizando el sistema operativo Android y arduino es de: **\$ 1079**.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La obtención de las concentraciones de gases CO, CO₂ y CH₄ a través del prototipo de monitoreo en el ambiente es de mucha utilidad si se implementa en lugares residenciales con el objetivo de prevenir muertes por la inhalación de cierto gas, evitar explosiones debido a posibles fugas y medir el nivel de confort de una persona en un lugar determinado.
- Se utilizó App Inventor, herramienta útil para la creación de aplicaciones para dispositivos Android, permite desarrollar proyectos de control domótico con ciertas limitaciones, la placa Arduino UNO que permite desarrollar prototipos interactivos de domótica, los módulos Bluetooth y SIM 900, los sensores de gases CO, CO₂, CH₄ y otros elementos complementarios. El uso de estos componentes que permitió que el prototipo de monitoreo sea pequeño y ligero, lo cual facilita su movilidad.
- El teléfono celular permitió recibir los datos de las concentraciones de los gases monitoreados a través de la aplicación desarrollada en App Inventor, con actualizaciones constantes mediante conexión Bluetooth.
- El módulo SIM 900 es de mucha utilidad para el presente proyecto, se utilizó para generar alertas hacia los teléfonos celulares de forma remota cuando existen altas concentraciones de gases.

Este dispositivo funciona en cuadro bandas de frecuencia (850/900/1800/1900 MHz) y tiene un bajo consumo de potencia, por lo que es muy útil en la implementación de sistemas de monitoreo remoto.

- La obtención y visualización de datos en un celular mediante la tecnología Bluetooth es conveniente cuando no existe ninguna infraestructura de comunicación inalámbrica (es decir, no se cuenta con cobertura celular ni acceso a Internet) y se requiera conocer algún valor en un momento determinado.
- Los valores obtenidos a través del prototipo sirven como referencia en el área de seguridad en los lugares residenciales para prevenir inhalaciones de CO y medir el nivel de confort de las personas en el ambiente.
- Se realizó pruebas con el prototipo en diferentes ambientes para verificar su funcionamiento correcto y se evidenció que las concentraciones en cada lugar no sobrepasaron los valores umbrales recomendados por los organismos nacionales e internacionales. Estos valores umbrales son: 50 ppm para el CO, 5000 ppm para el CO₂ y 1000 ppm para el CH₄.

4.2 RECOMENDACIONES

- Si bien, el sistema prototipo está enfocado para el monitoreo de lugares residenciales, con un prototipo con una mejor calibración se podría utilizar para uso industrial.
- Se recomienda la transmisión de datos vía Bluetooth para evitar la contratación de un plan de datos y visualizar los valores monitoreados de manera gratuita.
- Antes de tomar los valores monitoreados, se recomienda dejar que transcurra por lo menos entre 12 y 24 horas (valor recomendado por los fabricantes) como el tiempo de precalentado antes de tomar las medidas.

- Para una mejor calibración de los sensores se recomienda realizar la calibración en la Secretaría del Ambiente, pero es necesario que los sensores de gases estén en contenedores herméticos, evitando cualquier fuga del gas, cubiertos por algún material que no afecte en la toma de medidas y además se debe utilizar mangueras de teflón con sus respectivos acoples facilitando la entrada y salida del gas contaminado para evitar que exista fugas de gas al momento de la calibración.
- Los sensores de la familia MQ aunque son de bajo costo y ampliamente usados en proyectos de electrónica no es recomendable utilizarlos en aplicaciones en el que depende la seguridad y salud de las personas. Para comercializar el prototipo se recomienda utilizar sensores de gases más sofisticados como los sensores que utilizan la tecnología infrarrojo y que estén calibrados por el fabricante.
- Para mejorar el prototipo y no depender de la energía eléctrica se recomienda el uso de baterías.
- La implementación de una base de datos para almacenar toda la información histórica mejoraría al sistema prototipo.
- Para el desarrollo de aplicaciones Android más complejas es recomendable utilizar el lenguaje de programación Android Studio.
- Utilizar sensores de infrarrojo permiten obtener valores más precisos en comparación con los sensores químicos, además tienen mayor tiempo de vida útil y son más sensibles al gas que se desea medir.
- El módulo SIM 900 presenta cierto inconveniente al momento de conectarse a la red celular, por lo que es recomendable probar el prototipo en zonas donde exista buena cobertura celular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Prieto M., “Revolución industrial Producción, Sistemas de Tecnología”. Último acceso: 13 de Noviembre 2017. Available: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/ContamSiglos.htm>
- [2] Aguilar L., “Contaminación ambiental”, 2009. Último acceso: 8 de Marzo 2017. Available: <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com/>
- [3] Secretaría de Ambiente, “Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire”. Último acceso: 15 de Enero 2017. Available: http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf
- [4] Ortega L. P., “La contaminación del Aire”, *IES Santiago Grisolia*, 2014. Último acceso: 18 de Octubre 2016. Available: http://roble.pntic.mec.es/lorg0006/dept_biologia/archivos_texto/ctma_t3_contaminacion_atmosferica.pdf
- [5] United States Department of Labor, “Occupational Safety and Health Administration”. Último acceso: 15 de Octubre 2016. Available: <https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/>
- [6] Ministerio de trabajo y asuntos sociales España, “Ambientes cerrados: Calidad del aire” Último acceso: 9 de Marzo 2017 Available: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_243.pdf
- [7] Ministerio del Ambiente, “Plan Nacional de la Calidad del Aire”, 2010. Último acceso: 20 de Diciembre 2016. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>.
- [8] U.S. National Library of Medicine, “Carbon Monoxide Poisoning”, 2016. Último acceso: 20 de Octubre 2016. Available: <https://medlineplus.gov/carbonmonoxidepoisoning.html>
- [9] Metrogas, “Monóxido de Carbono”. Último acceso: 12 de Enero 2017 Available: <http://www.metrogas.com.ar/consejosmonoxido/index.php?ru=monoxido>

- [10] Po Keung Cheung, “Dióxido de carbono: bendición y maldición”, *DW Made for mind* 2012. Último acceso: 20 de Octubre 2016. Available: <http://www.dw.com/es/di%C3%B3xido-de-carbono-bendici%C3%B3n-y-maldici%C3%B3n/a-15119911>
- [11] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, “Datos sobre el cambio climático” Último acceso 25 de Febrero 2017: Available: <https://espanol.epa.gov/espanol/datos-sobre-el-cambio-climatico-respuestas-las-preguntas-mas-frecuentes#main-content>
- [12] Frers C., “El dióxido de carbono y su impacto en el cambio climático”, *Ecojoven*. Último acceso: 24 de Noviembre 2016. Available: <http://www.ecojoven.com/seis/10/co2.html>
- [13] Mairal D., “Consecuencias del CO2 en los humanos”, *Aragon Valley, A site for a sustainable development*, 2013. Último acceso : 21 de Octubre 2016: Available: <http://www.aragonvalley.com/consecuencias-directas-del-co2-en-los-humanos/>
- [14] National Oceanic & Atmospheric Administration, “Trends in Atmospheric Carbon Dioxide”. Último acceso 16 de Agosto 2016: Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>
- [15] New Jersey Department of Health, “Hoja informativa de sustancias peligrosas” 2012. Último acceso: 30 de Enero 2017 Available: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1202sp.pdf>
- [16] Cuál es tu Impacto, “Principales fuentes emisoras del gas metano”, 2014. Último acceso: 21 de Enero 2017. Available: <http://www.tuimpacto.org/origen-del-metano.php>
- [17] Murco Gas Detection Solutions , “What Gas Concentration to Detect”, Último acceso: 26 de Octubre 2016 Available: <http://www.murcogasdetection.com/faq/faq-7-what-gas-concentration-to-detect/>
- [18] New Jersey Department of Health, “Hoja informativa de sustancias peligrosas”, 2011. Último acceso: 15 de Diciembre 2016 Available: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0345sp.pdf>

- [19] Industrial Scientific, "The Gas Detection". Último acceso: 10 de Enero 2017
Available: <http://www.indsci.es/productos/monoxido-de-carbono/>
- [20] Vaisala, "Nota de aplicación", 2013. Último acceso: 27 de Febrero 2017.
Available:
<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-TIA-Parameter-How-to-measure-CO2-Application-note-B211228ES-A.pdf>
- [21] Atia A., "Methane Safety", 2004. Último acceso: 18 de Enero 2017. Available:
[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex9038](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex9038)
- [22] Murco Gas Detection Solutions, "What Gas Concentration to Detect? (Gas Monitor Range)". Último acceso: 18 de Diciembre 2016. Available:
<http://www.murcogasdetection.com/faq/faq-7-what-gas-concentration-to-detect/>
- [23] Lee, J. S., Su, Y. W., & Shen, C. C. "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi". In *Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE* (pp. 46-51). Último acceso: 11 de Octubre 2016. Available:
http://eee.guc.edu.eg/Announcements/Comparative_Wireless_Standards.pdf
- [24] Villa Téllez, E., & Gama Moreno, L. A. Bluetooth: Aplicabilidad del estándar IEEE 802.15.1. Último acceso: 11 de Octubre 2016. Available:
<https://www.yumpu.com/es/document/view/41090784/Bluetooth-aplicabilidad-del-estandar-ieee-802151>
- [25] Bernal I., "Comunicaciones Inalámbricas", Escuela Politécnica Nacional, 2005. Último acceso: 25 de Febrero 2017. Available:
<http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/AbrilAgosto06/Inalambricas/C LASES/IntroduccionPUB2.pdf>
- [26] Bluetooth SIG, "Bluetooth. Obtenido de What is Bluetooth", 2017. Último acceso: 21 de Enero 2017. Available: <https://www.bluetooth.com/>
- [27] Castellano A. R., "Bluetooth, Introducción a su Funcionamiento", Universidad Pontificia Comillas, 2012. Último acceso: 21 de Enero 2017.
- [28] Avila, L., & Reyes, C., "Revisión estado del Arte de la tecnología Bluetooth", Universidad Simón Bolívar. Último acceso: 25 de Marzo 2017.

- [29] Inzaurre, M., Isi, J., & Garderes, J., "Telefonía celular", Universidad de la República Montevideo – Uruguay, 2006. Último acceso: 26 de Febrero 2017. Available: http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-06-06_11-27-11104608.pdf
- [30] Martínez E., "La evolución de la telefonía móvil", *Revista RED*, 2001. Último acceso: 24 de Febrero 2017. Available: <http://www.evelix.com/mx/La-evolucion-de-la-telefonía-movil.html>
- [31] Portal web de las 5G Americas, "Evolución de Tecnología 3GPP". Último acceso: 27 de Febrero 2017. Available: <http://www.4gamericas.org/es/resources/technology-education/3gpp-technology-evolution/>
- [32] Garg, V., "Wireless Communications and Networking", 2007.
- [33] Bernal I., "Comunicaciones Inalámbricas CDMA", Escuela Politécnica Nacional, 2007. Último acceso: 5 de Octubre 2016. Available: http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Sep07Feb08/ComInalam/ClasesNuevas/CDMA_JULIO.pdf
- [34] Bernal I., "Comunicaciones Inalámbricas GSM", Escuela Politécnica Nacional, 2007. Último acceso: 5 de Octubre 2016. Available: <http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Sep07Feb08/ComInalam/ClasesNuevas/GSM2007.pdf>
- [35] Bernal I., "Comunicaciones Inalámbricas GPRS", Escuela Politécnica Nacional, 2007. Último acceso: 5 de Octubre 2016. Available: http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/2008_Marzo_Sept/ComInalam/ClasesNuevas/GPRS.pdf
- [36] Bernal I., "Comunicaciones Inalámbricas 3G", Escuela Politécnica Nacional, 2006. Último acceso: 6 de Octubre 2016. Available: <http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/AbrilAgosto06/Inalambricas/CALASES/EvolucionA3G.pdf>
- [37] Portal web de las 5G Americas, "LTE-Advanced". Último acceso: 10 de Octubre 2016 Available: <http://www.5gamericas.org/en/resources/technology-education/lte-advanced/>

- [38] “Qué es la tecnología 5G”, *La Red 21*. Último acceso: 16 de Enero 2016. Available: <http://www.lr21.com.uy/tecnologia/1292746-que-es-la-tecnologia-5g-y-cuales-son-sus-ventajas>
- [39] MIT App Inventor Beta, “Aprende App Inventor”. Último acceso: 20 de Marzo 2017. Available: <https://sites.google.com/site/aprendeappinventor/>
- [40] Arduino.cl, “Qué es Arduino”. Último acceso: 10 de Marzo 2017. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- [41] Pe I., “Análisis comparativo de las placas Arduino”, *Como Hacer.eu*, 2014. Último acceso: 29 de Noviembre 2016. Available: <http://comohacer.eu/analisis-comparativo-placas-arduino-oficiales-compatibles/>
- [42] Arduino, “Arduino Products”. Último acceso: 29 de Noviembre 2016. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [43] Itead Studio, “HC-05”. Último acceso: 15 de Marzo 2017. Available: <http://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf>
- [44] Hanwei Electronics Co. Ltd, “Technical data mq-7 gas sensor”. Último acceso: 11 de Noviembre 2016. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- [45] Dfrobot, “Analog Infrared CO2 Sensor For Arduino (0~5000 ppm)”. Último acceso: 12 de Febrero 2017. Available: <https://www.dfrobot.com/product-1549.html>
- [46] Dfrobot, “Analog Infrared CO2 Sensor For Arduino SKU: SEN0219”. Último acceso: 12 de Febrero 2017. Available: https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Gravity:_Analog_Infrared_CO2_Sensor_For_Arduino_SKU:_SEN0219#Data_Analysis
- [47] Hanwei Electronics, “Technical data mq-4 gas sensor”. Último acceso: 12 de Noviembre 2016. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
- [48] Aosong Electronics Co., Ltd, “Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22”. Último acceso: 18 de Febrero 2017. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

- [49] SIM900, "The GSM/GPRS Module for M2M applications". Último acceso: 15 de Noviembre 2016. Available: <http://www.propox.com/download/docs/SIM900.pdf>
- [50] SG-5010 Datasheet Servo Motor Tower pro (2015). Último acceso: 19 de Enero 2017. Available: <http://www.datasheetcafe.com/sg-5010-datasheet-servo-motor/>
- [51] Electronilab, "Módulo LM2596 Convertidor de Voltaje DC-DC". Último acceso: 20 de Febrero 2017. Available: <https://electronilab.co/tienda/modulo-lm2596-convertidor-de-voltaje-dc-dc-buck-1-25v-35v/>
- [52] Pichuasamin J. A. S., "Diseño y construcción de un prototipo portátil de monitoreo ambiental, mediante un sistema autónomo de adquisición de datos portátil con comunicación USB hacia un PC", Quito 2015.
- [53] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, Información Técnica. Available: http://controlenlinea.arcotel.gob.ec/wps/portal/informacion/informaciontecnica/telefoniamovil/estadisticasmovil!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfljo8zjY08DAw8_A28DUJcHQ0cg50d3QPDTAwNgoz0C7ldFQH9kQkn/Dsd
- [54] Ramírez S., 3,7 millones de líneas menos en telefonía celular en el 2015, "*El Comercio*", 19 de Febrero 2016. Último acceso: 24 de Marzo 2017. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador-lineas-telefoniacelular-arcotel.html>

ANEXOS

Anexo A

Programación completa implementada en Arduino

```

#include <eRCaGuy_NewAnalogRead.h> //Librería para realizar la lectura ADC a 12 bits para
// el sensor de CO
#include <Servo.h> // Librería para activar el servomotor
#include <SoftwareSerial.h> // Librería para el módulo SIM 900 debido a que no se
// utilizará los pines 0 y 1 Tx/Rx, sino los pines 7 y 8

/*****Se define a los pines 7 y 8 para la conexión con el SIM 900 *****/
SoftwareSerial SIM900(7, 8); //se crea el puerto serial con los pines 7 y 8 para emular un
//puerto serial para el SIM 900
Servo my_servo; // Se define el nombre del servomotor a utilizarse

/*****Declaración de variables para la lectura analógica de los sensores*****/
int control;
int sensor_CO=0; //Pin analógico para el sensor CO.
int sensor_CO2=1; //Pin analógico para el sensor CO2.
int sensor_CH4=2; //Pin analógico para el sensor CH4.
int pin9=9; //Pin para el servomotor

//*****Declaración de variables para los valores Obtenidos de los sensores en ppm *****

int valor_COppm; // Variables que almacenar el valor de los sensores CO, CO2 y
int valor_CO2ppm; //CH4 en ppm
int valor_CH4ppm;

//char buffer[80]; //Variable que almacenará temporalmente los valores obtenidos por los
// sensores y posteriormente serán enviados al celular vía Bluetooth para
// su visualización. Esto es otra forma de enviar datos al celular
/***** Definición de parámetros para la lectura del ADC a 12 bits *****/
Se utiliza el ADC a 12 bits debido a que mejora la precisión de los valores monitoreados y
porque las ecuaciones de respuestas de los sensores se han calibrado en el rango de 0 a 4096.
*/

/*****Configuración de los parámetros para la lectura ADC de 12 bits*****/
byte bitsOfResolution = 12; //commanded oversampled resolution
unsigned long numSamplesToAvg = 16; //number of samples AT THE OVERSAMPLED RESOLUTION that

ADC_prescaler_t ADCSpeed = ADC_FAST; //you want to take and average

/*****Ecuaciones de las respuestas de los sensores*****/

La ecuación de CO fue utilizada del proyecto de Titulación:Diseño y Construcción de un Prototipo
Portátil de Monitoreo Ambiental, mediante un Sistema Autónomo de Adquisición de Datos Portátil
con comunicación USB hacia un PC. El sensor de CO2 ya está calibrado por el fabricante.
La ecuación para el CH4 se toma datos referenciales entre 20 ppm y 10000ppm con el objetivo de la
demostración del prototipo.
NOTA:
SE DEBERÁ HACER UNA CALIBRACIÓN MÁS SOFISTICADA PARA EL USO EN LA INDUSTRIA DE LOS TRES SENSORES.
*/

```

```

/***** Curva de respuesta del sensor de CO *****/

float Curva_CO[3]={0.568, -212.94, 1}; // ecuación de la recta de la forma y=mx+b,y=0,568x-212,94
// siendo: "x" un valor entre 0y 4095 y la variable "y" el
// valor del gas en ppm.

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  control=0;
  SIM900.begin(19200); //Se configura la velocidad serial para el SIM900
  Serial.begin(9600); //Se configura la velocidad serial para el Arduino
  my_servo.attach(pin9,500, 2500); //Se configura el pin para el servomotor y se calibra
//los pulsos para un correcto giro del motor
  my_servo.write(180); // Se posiciona al servomotor en cero grados
  delay(20000); //Retardo para que encuentre la red celular...

  Serial.println("El modulo SIM GPRS se esta conectando a la red celular.....");
  Serial.println("BUSCANDO RED CELULAR.....");
  //Mensaje que se muestra en el arduino para indicar que toda esta OK.
  Serial.println("Se ha encontrado la red celular MOVISTAR");

  Serial.println("****Conexion exitosa****");
  //Los pins analógicos ya vienen declarados como entradas por eso no se declara.

  //La comunicacion serial solo se da entre el pin 0 y 1 de Arduino pero se ha
  //creado un puerto virtual

  //Se configura el ADC según se definió la "Configuración de los parámetros para la
  //lectura ADC de 12 bits"
  adc.setADCSpeed(ADCSpeed);
  adc.setBitsOfResolution(bitsOfResolution);
  adc.setNumSamplesToAvg(numSamplesToAvg);
}

void loop() {

  valor_COppm= Lectura_CO();
  //Serial.print("CO= ");
  //Serial.print(valor_COppm);
  //Serial.print(" ppm ");

  valor_CO2ppm= Lectura_CO2();

  // Serial.print("CO2= ");
  //Serial.print(valor_CO2ppm);
  // Serial.print(" ppm ");
}

```

```

valor_CH4ppm= Lectura_CH4();
//Serial.print("CH4= ");
//Serial.print(valor_CH4ppm);
//Serial.println(" ppm");
delay(300);

/*****Alternativa para enviar los datos monitoreados hacia el celular *****/
//Permite ordenar los datos que se va a recibir en el celular
//sprintf(buffer, "%d,%d,%d",valor_COppm,valor_CO2ppm,valor_CH4ppm);
// el %d significa que se enviarán números enteros
//Serial.println(buffer);

*/

/*****Comandos para enviar los datos obtenidos por los sensores hacia el celular */
delay(1000);
//Serial.print("d,"); // Inicia la transmisión de los datos y evita perder algún valor
// en el momento de la Tx.
Serial.print(valor_COppm);
Serial.print(","); //Se utiliza el símbolo de la coma para poder dividir cada valor que
//se envía y ubicarlas en diferentes casillas en el App Inventor
Serial.print(valor_CO2ppm);
Serial.print(",");
Serial.print(valor_CH4ppm);
Serial.print("");
Serial.println("");
delay(2000);

/*Condicionales para enviar el mensaje de texto con el valor obtenido por los sensores si
existe niveles de contaminación elevada
*/
if((valor_COppm>=200 || valor_CO2ppm>=5000 || valor_CH4ppm>=1000) && control==0){

    abrir();
    llamar();
    delay(2000);
    //llamar_otro();
    control=1;
}

if(valor_COppm > 200){
    enviar_mensaje_CO();
    // enviar_mensaje_CO_otro();
    delay(1000);
}
if(valor_CO2ppm > 5000){
    enviar_mensaje_CO2();
}
}

```

```

        if(valor_CH4ppm > 1000){
            enviar_mensaje_CH4();
            //enviar_mensaje_CH4_otro();
        }

    if((valor_COppm<200 && valor_CO2ppm<5000 && valor_CH4ppm<1000) && control==1) {
        cerrar();
        control=0;
    }
}

/* Lectura de las concentraciones de gas presentes en el ambiente de lugares residenciales*/
// Funciones para obtener la lectura de los sensores en el rango de 0 a 4095

//*****Lectura del CO*****
int Lectura_CO() {
    int Rs_CO=0;
    Rs_CO=adc.newAnalogRead(sensor_CO);//Esta línea de código realiza la lectura
    //Serial.print(Rs_CO);           //del ADC en el rango de 0 a 4095

    if(Rs_CO<410){ //El condicional 410 se obtiene de igualar la ecuación
        //y=0,568x-212,94=20ppm; resolviendo se obtiene x=410
        return 20; //Retorna el valor de 20 ppm debido a que se sensará
        //valores por debajo del límite de detección del sensor.
    }

    else { //(Rs_CO>=463){ //El valor 463 es la condición cuando se sobrepasa las
        // 50ppm según la Norma Internacional OSHA
        //y= 0,568x-212,94=50ppm como una señal de alerta. Se despeja x y se obtiene el 463

        return ((Rs_CO*Curva_CO[0]+Curva_CO[1])/Curva_CO[2]);
    }
}

//*****Lectura del CO2*****

int Lectura_CO2() {
    int Rs_CO2=0;
    Rs_CO2=analogRead(sensor_CO2);
    //Serial.print(Rs_CO2);
    int voltaje=Rs_CO2*(5000/1024.0);
    int concentracion=(voltaje-400)*50/16;

    if(voltaje<=400){
        return 350; //Retorna el valor de 350 ppm debido a que es la concentración en el ambiente.
    }

    if(voltaje>400) { //La condición 400 por ser el valor del fabricante
        return abs(concentracion);
    }
}

//*****Lectura del CH4*****

int Lectura_CH4() {
    long Rs_CH4=0;
    Rs_CH4=adc.newAnalogRead(sensor_CH4);
}

```



```

//Serial.print(Rs_CH4);
//Serial.print("ppm");
long CH4_concentracion=map(Rs_CH4, 0, 4095, 20, 10000); //Se mapea los valores obtenidos con el fin
//de obtener en el rango de 20 a 10000 ppm

if(CH4_concentracion<=20){
    return 20; //Retorna el valor de 20 ppm debido a que se sensará valores por debajo del limite
    //de detección del sensor.
}
else {//(CH4_concentracion>20){ //
    return CH4_concentracion;
}
}

/****Creacion de las funciones para realizar una llamada telefónica y enviar mensajes de
texto hacia el celular registrado */

void llamar() { // Función que permite realizar una llamada hacia el celular.

    SIM900.println("ATD 098.....540;"); //El número de Celular
    delay(15000); // espera 20 segundos para que se conecte a la red celular y asegurar
    // que se realice la llamada.
    SIM900.println("ATH"); // Cuelga el teléfono
    // Serial.println("La llamada ha finalizado");
    //SIM900.println();
    delay(2000);
}

void llamar_otro() { // Función que permite realizar una llamada hacia el celular.

    SIM900.println("ATD 09.....5;"); //El número de Celular
    delay(15000); // espera 20 segundos para que se conecte a la red celular y asegurar
    // que se realice la llamada.
    SIM900.println("ATH"); // Cuelga el teléfono
    // Serial.println("La llamada ha finalizado");
    //SIM900.println();
    delay(2000);
}

void enviar_mensaje_CO(){ //Función para enviar un mensaje de texto hacia cualquier celular

    SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // Poner en modo msm de text
    delay(100);
    SIM900.println("AT+CMGS=\"098.....640\""); //Hacia que número se desea enviar el mensaje
    delay(100);
    SIM900.println("Niveles elevados de contaminacion, CO= "); // Contenido del mensaje a enviar
    SIM900.print(valor_COppm);
    SIM900.println("ppm");

    delay(1000);
    SIM900.println((char)26); //ponemos el simbolo ascii 26, que corresponde a CTRL+Z en arduino,
    //con lo que el modulo sabe que el sms terminó
    delay(4000); // Tiempo para que se envíe el mensaje al móvil
}

```

```

}

void enviar_mensaje_CO_otro(){ //Función para enviar un mensaje de texto hacia cualquier celular

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // Poner en modo msm de text
delay(100);
SIM900.println("AT+CMGS=\"09      15\"); //Hacia que número se desea enviar el mensaje
delay(100);
SIM900.println("Niveles elevados de contaminacion, CO= "); // Contenido del mensaje a enviar
SIM900.print(valor_COppm);
SIM900.println("ppm");
delay(1000);
SIM900.println((char)26); //ponemos el simbolo ascii 26, que corresponde a CTRL+Z en arduino,
//con lo que el modulo sabe que el sms terminó
delay(4000); // Tiempo para que se envíe el mensaje al móvil

}

void enviar_mensaje_CO2(){ //Función para enviar un mensaje de texto hacia cualquier celular

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // Poner en modo msm de text
delay(100);
SIM900.println("AT+CMGS=\"09.....10\"); //Hacia que número se desea enviar el mensaje
delay(100);
SIM900.println("Niveles elevados de contaminacion, CO2= "); // Contenido del mensaje a enviar
SIM900.print(valor_CO2ppm);
SIM900.println("ppm");
delay(100);
SIM900.println((char)26); //ponemos el simbolo ascii 26, que corresponde a CTRL+Z en arduino,
//con lo que el modulo sabe que el sms terminó
delay(5000); // Tiempo para que se envíe el mensaje al móvil

//Serial.println("SMS enviado exitosamente");
}

void enviar_mensaje_CH4(){ //Función para enviar un mensaje de texto hacia cualquier celular

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // Poner en modo msm de text
delay(100);
SIM900.println("AT+CMGS=\"09      10\"); //Hacia que número se desea enviar el mensaje
delay(100);
SIM900.println("Niveles elevados de contaminacion, CH4= "); // Contenido del mensaje a enviar
SIM900.print(valor_CH4ppm);
SIM900.println("ppm");
delay(100);
SIM900.println((char)26); //ponemos el simbolo ascii 26, que corresponde a CTRL+Z en arduino,
//con lo que el modulo sabe que el sms terminó
delay(5000); // Tiempo para que se envíe el mensaje al móvil
//Serial.println("SMS enviado exitosamente");
}

void enviar_mensaje_CH4_otro(){ //Función para enviar un mensaje de texto hacia cualquier celular

SIM900.print("AT+CMGF=1\r"); // Poner en modo msm de text
delay(100);
SIM900.println("AT+CMGS=\"09.....15\"); //Hacia que número se desea enviar el mensaje

```

```
delay(100);
SIM900.println("Niveles elevados de contaminacion, CH4= "); // Contenido del mensaje a enviar
SIM900.print(valor_CH4ppm);
SIM900.println("ppm");
delay(100);
SIM900.println((char)26); //ponemos el simbolo ascii 26, que corresponde a CTRL+Z en arduino,
//con lo que el modulo sabe que el sms termino
delay(5000); // Tiempo para que se envie el mensaje al móvil
//Serial.println("SMS enviado exitosamente");
}

/****Funciones para abrir y cerrar la ventana****/
int cerrar(){
    my_servo.write(180);
    delay(1500);

}

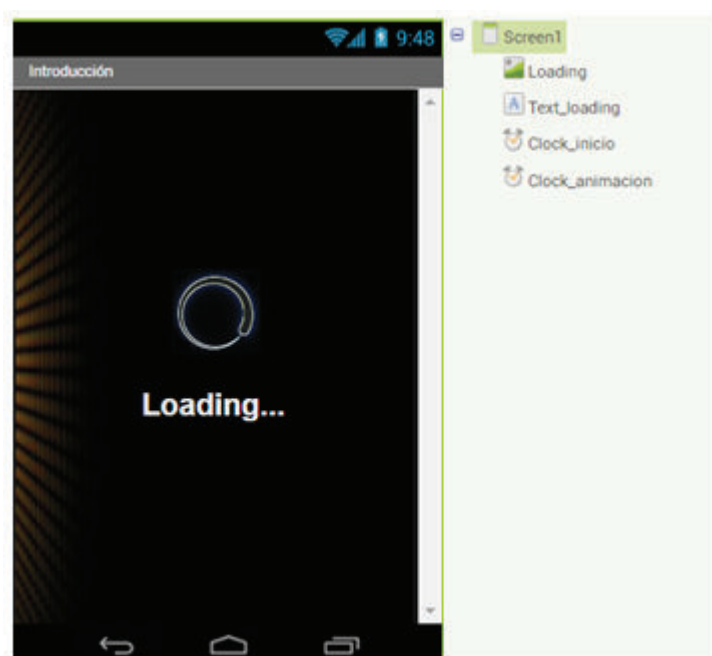
int abrir(){
    my_servo.write(0);
    delay(1500);

}
```

Anexo B

Programación implementada en App Inventor

- Diseño y código de la pantalla de introducción

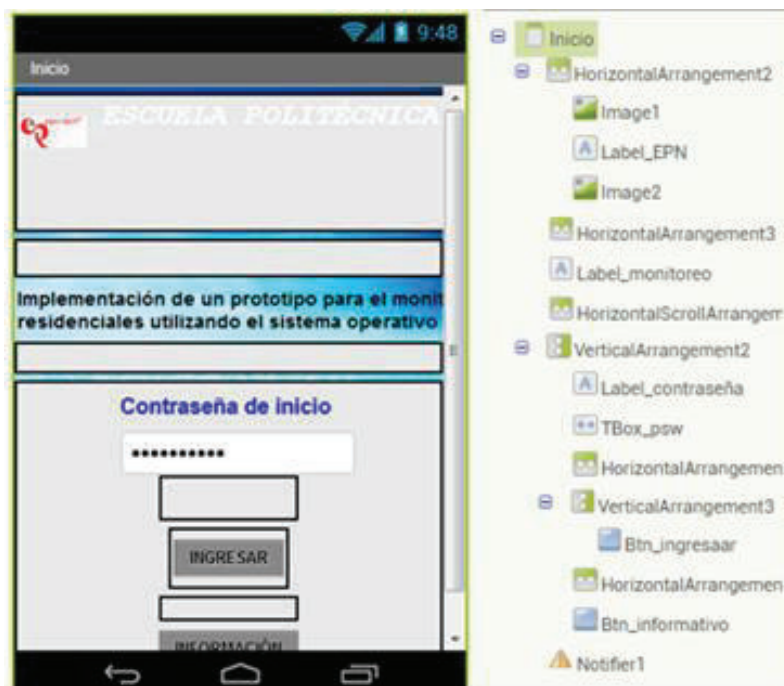


```
when Screen1.Initialize
do
  set Clock_animacion.TimerEnabled to true
  set Clock_inicio.TimerEnabled to true

when Clock_animacion.Timer
do
  set Loading.RotationAngle to Loading.RotationAngle + 5

when Clock_inicio.Timer
do
  set Clock_animacion.TimerEnabled to false
  set Clock_inicio.TimerEnabled to false
  open another screen screenName "Inicio"
```

- Diseño y código de la pantalla de inicio



```

when Btn_ingresar .Click
do
  if TBox_psw .Text = "EPN2017"
  then
    set TBox_psw .Text to ""
    open another screen screenName "ScreenX"
  else
    call Notifier1 .ShowAlert
      notice "Contraseña Incorrecta"
    set TBox_psw .Text to ""
  
```

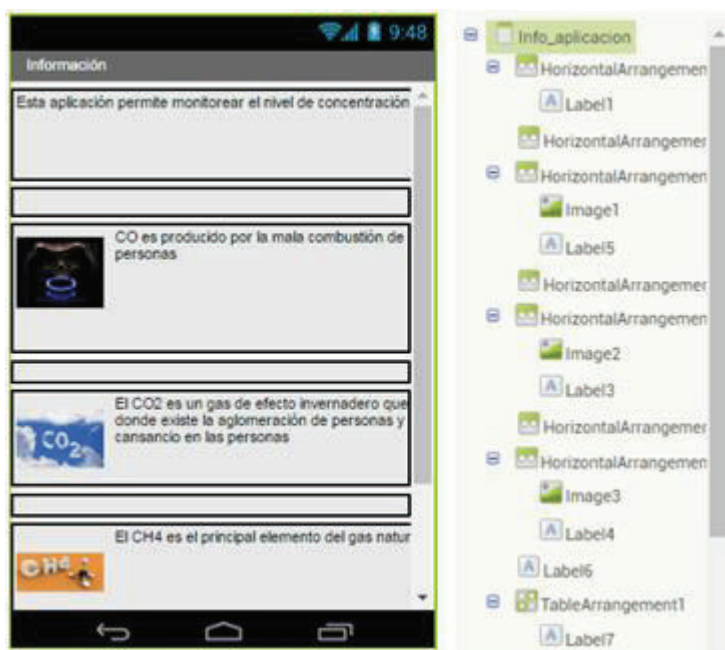
```

when Btn_informativo .Click
do
  open another screen screenName "Info_aplicacion"
  
```

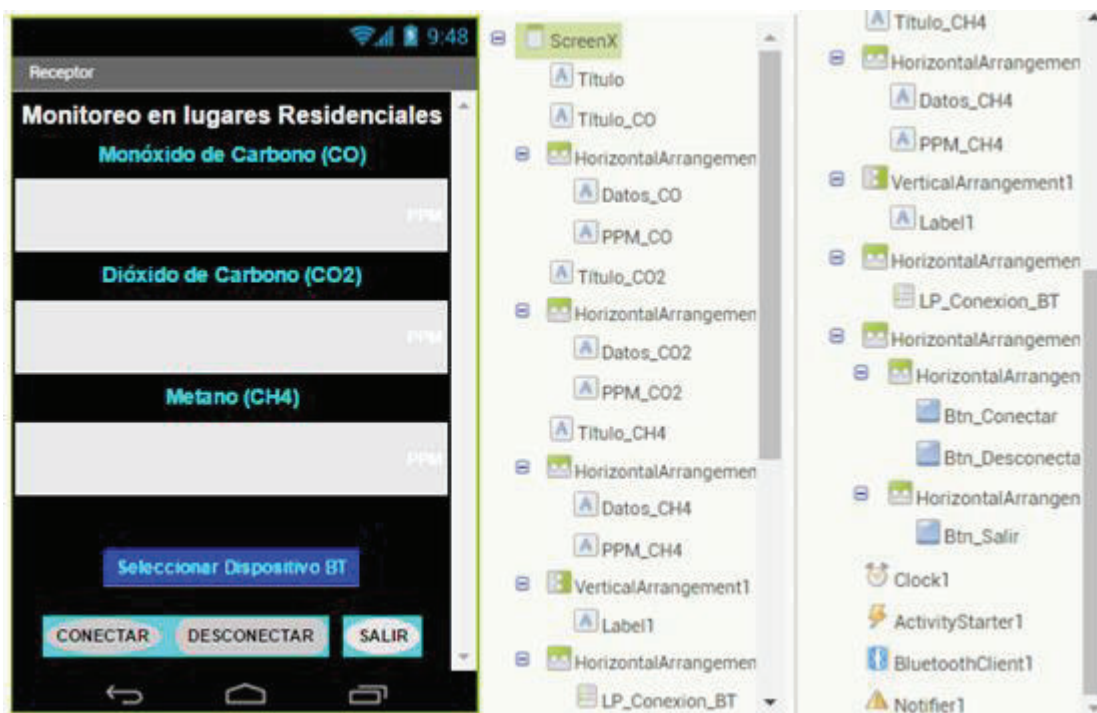
```

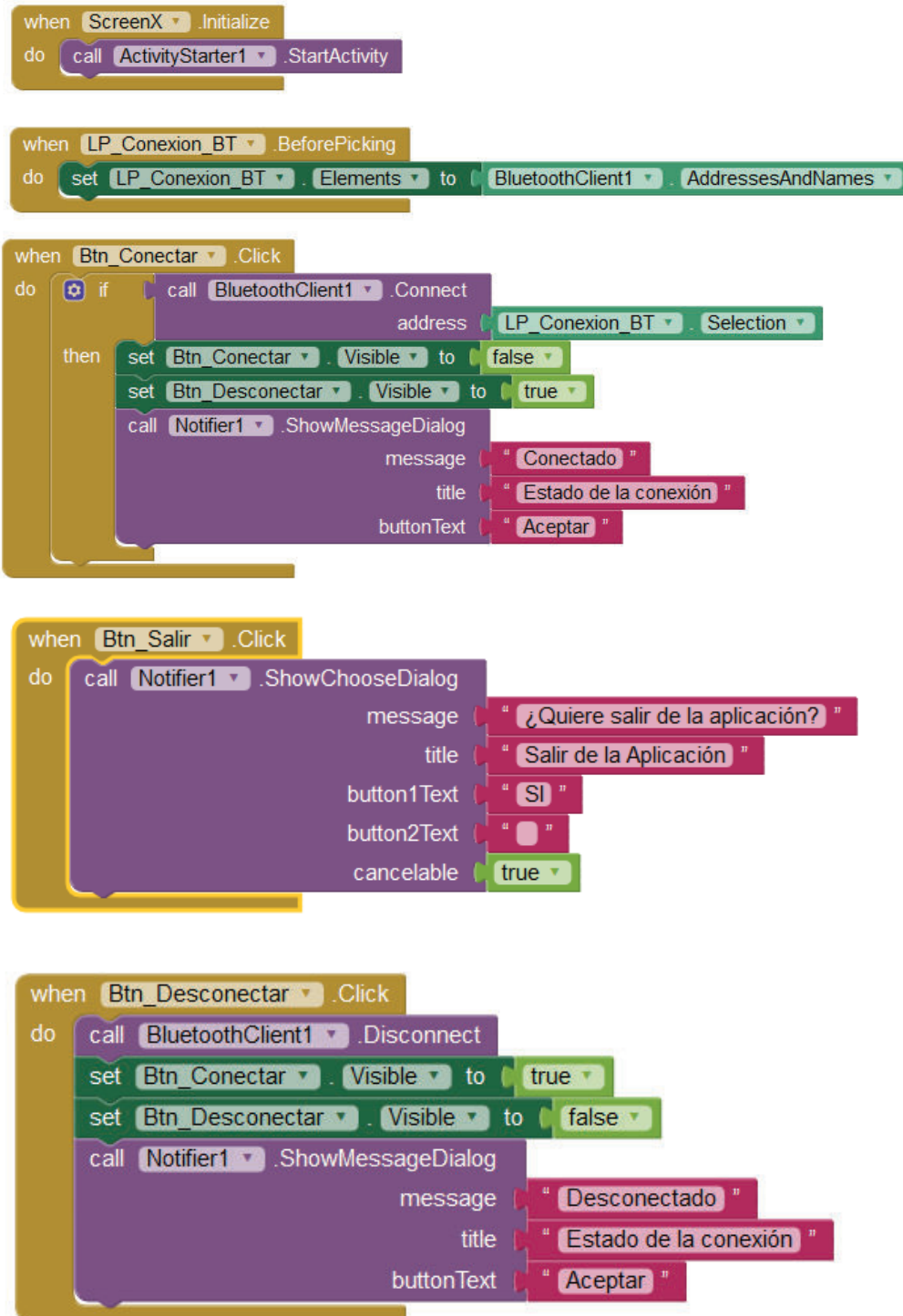
when Inicio .BackPressed
do
  close application
  
```

- Diseño de la pantalla de información de la aplicación



- Diseño y código de la pantalla del receptor que permitirá visualizar las concentraciones de los gases.





```
when Notifier1 .AfterChoosing
  choice
do
  if [get choice] = "SI"
  then close application
```

```
when Clock1 .Timer
do
  if BluetoothClient1 .IsConnected
  then
    if call BluetoothClient1 .BytesAvailableToReceive > 0
    then
      set global Datos to split text call BluetoothClient1 .ReceiveText
      numberOfBytes call BluetoothClient1 .BytesAvailableToReceive
      at " "
      if length of list list get global Datos ≥ 1
      then
        set Datos_CO .Text to select list item list get global Datos
        index 1
        if Datos_CO .Text > 200
        then
          set Datos_CO .TextColor to red
          set Datos_CO .FontSize to 30
        else
          set Datos_CO .TextColor to black
          set Datos_CO .FontSize to 18
      if length of list list get global Datos ≥ 2
      then
        set Datos_CO2 .Text to select list item list get global Datos
        index 2
        if Datos_CO2 .Text > 1500
```

```
then
  set Datos_CO2 .TextColor to red
  set Datos_CO2 .FontSize to 30
else
  set Datos_CO2 .FontSize to 18
  set Datos_CO2 .TextColor to black
  if length of list list get global Datos ≥ 3
  then
    set Datos_CH4 .Text to select list item list get global Datos
    index 3
    if Datos_CH4 .Text > 1000
    then
      set Datos_CH4 .TextColor to red
      set Datos_CH4 .FontSize to 30
    else
      set Datos_CH4 .TextColor to black
      set Datos_CH4 .FontSize to 18
  set global Datos to " "
```